

# LE COUT DU DESSALEMENT NUCLEAIRE

Quel serait le prix de revient de l'eau douce obtenue par dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres au moyen d'un réacteur nucléaire? Quelles méthodes sont employées pour l'établissement des coûts et les évaluations dans ce domaine?

Telles sont les questions fondamentales que se posent les pays en nombre toujours plus grand qui envisagent de recourir au dessalement pour la production d'eau douce à des fins domestiques, industrielles ou agricoles.

A la suite des recommandations d'un groupe d'experts réuni par l'AIEA à Vienne (Autriche), en avril 1965, l'Agence a préparé un rapport sur les méthodes de dessalement appliquées ou mises au point dans divers pays. Un autre groupe s'est réuni à Vienne en avril 1966 pour collaborer à l'établissement du texte définitif de ce rapport, qui doit être publié en automne.

La présidence du groupe, qui comprenait 20 spécialistes de sept pays, a été assurée successivement par M.N. Carillo (Mexique) et par M.V.N. Meckoni (Inde).

---

## LA DATATION AU MOYEN DU RADIOCARBONE

par Willard F. Libby

En janvier 1966, le professeur Libby a fait une conférence, au Siège de l'AIEA à Vienne, sur la datation au moyen du radiocarbone.

La nature produit du radiocarbone du fait de l'irradiation de l'air par les rayons cosmiques. Le radiocarbone a une durée de vie moyenne de 8 000 ans et une période (demi-vie radioactive) d'environ 5 700 ans; une bonne partie du radiocarbone qui se trouve chez les êtres vivants a été produite aux temps préhistoriques. Si l'on prend le radiocarbone comme référence, l'histoire écrite est très récente: les plus vieux documents historiques ne remontent même pas à une période du radiocarbone. En revanche, la durée de vie du radiocarbone est très courte, si on la compare à l'âge de la terre; on évalue l'âge de la terre à quelque 5 000 millions d'années, ce qui représente un million de fois la période du radiocarbone. Ce radioélément ne présente donc que peu d'intérêt du point de vue des ères géologiques, mais il est très important pour l'étude de l'histoire de l'homme.



M. Williard Libby, qui a reçu le prix Nobel de chimie en 1960 pour ses travaux sur la datation au-moyen du radiocarbone.

Voici ce qui se passe. Dans les couches les plus élevées de l'atmosphère, à des altitudes d'environ 16000 mètres, les rayons cosmiques produisent du radiocarbone en transformant l'azote en carbone-14, qui a des propriétés chimiques différentes. Par combustion du carbone dans l'air, il se forme essentiellement du gaz carbonique. Le gaz carbonique est la substance qui nous intéresse. En effet, tous les organismes se forment pratiquement avec du gaz carbonique, de la vapeur d'eau, de la lumière solaire et une pincée de sel ! La photosynthèse produit les plantes à chlorophylle en transformant le gaz carbonique et l'eau en substances végétales, par incorporation de lumière solaire. Par conséquent, la vie prend naissance à partir d'un matériau qui vient de l'air, du gaz carbonique contenu dans l'air ; en huit mille ans, les vents auront fait de l'atmosphère un mélange parfait. A ce propos, les travaux sur les retombées radioactives ont montré que le processus de mélange ne demande que cinq à dix ans au plus pour que l'air de l'atmosphère soit complètement mélangé. Ainsi, bien que le radiocarbone soit produit à une altitude de plus de 16 km, il atteint en quelques années la surface de la Terre où il peut s'incorporer aux plantes.

Les végétaux absorbent le radiocarbone produit par les rayons cosmiques. Ensuite, les êtres vivants mangent les végétaux et de cette façon deviennent radioactifs en fixant le carbone-14 qu'ils contiennent. Mais, ce qui est très important pour la datation au moyen du radiocarbone, c'est que le contact des êtres vivants avec les rayons cosmiques ne dure qu'aussi longtemps qu'ils se nourrissent, car alors ils absorbent et assimilent du radiocarbone. Les atomes de radiocarbone présents dans leur organisme ont en moyenne 8300 ans et ont séjourné à maintes reprises dans l'air sous forme de gaz carbonique, à la surface de la Terre sous forme de végétaux, ou plus probablement encore dans les grandes profondeurs de l'océan sous forme de solution. Pendant ces milliers d'années, les vents dispersent le radiocarbone, les courants des océans le mélangent ; de ce fait, bien que l'inten-

sité du rayonnement cosmique augmente beaucoup avec la latitude - elle est beaucoup plus forte aux pôles qu'à l'équateur, la répartition de radiocarbone à la surface de la Terre est uniforme. Nous constatons en effet que dans la nature, les substances vivantes telles que le bois des arbres ou la chair, ou n'importe quelle autre substance de n'importe quelle espèce en n'importe quel lieu, contiennent toutes la même quantité de radiocarbone par unité de masse par gramme de carbone. Ce qui revient à dire que la concentration en radiocarbone du carbone des substances vivantes est la même dans le monde entier et pour toutes les espèces en raison de ce brassage continu. Tant que les êtres vivent, ils font partie des océans et de l'air et appartiennent à un immense système dans lequel les échanges sont continus. Mais les échanges entre eux et le reste du système se font par la voie buccale, par l'intermédiaire des aliments.

## CONCENTRATION UNIFORME DE $^{14}\text{C}$

La datation au moyen du radiocarbone repose sur ce principe fondamental: aussitôt qu'un être meurt, il cesse de se nourrir et par conséquent d'absorber du radiocarbone. On sait que toutes les matières radioactives ont pour caractéristique commune de se désintégrer, de disparaître et de se transformer. Dans le cas qui nous intéresse, celui du radiocarbone, cette transformation se produit au rythme au 50 % tous les 5 700 ans et elle a pour résultat la reformation de l'azote initial à partir duquel ce carbone a été produit. Au cours de cette transformation, l'atome de radiocarbone émet un rayonnement qui permet de constater son décès. Si nous plaçons dans un compteur par exemple du gaz carbonique obtenu en brûlant un morceau de bois, nous pouvons, en écoutant les coups, déceler la disparition des atomes de carbone au moment où ils reviennent à l'état d'azote. Il faut quelque 4 000 millions d'atomes de radiocarbone pour obtenir une désintégration par minute, car la durée de vie moyenne du radiocarbone est de 8 300 ans, soit 4 400 millions de minutes. Nous devons donc avoir 4 400 millions d'atomes de radiocarbone pour obtenir dans notre compteur un rayonnement décelable du gaz carbonique. Bien que ce nombre d'atomes de radiocarbone semble assez élevé; proportionnellement il n'est pas grand. Le nombre total d'atomes contenus dans un gramme de carbone, par exemple, est  $10^{23}$  fois plus grand, c'est-à-dire qu'il n'y a qu'un atome de radiocarbone dans un million de millions d'atomes de carbone ordinaires. C'est là la concentration normale chez les êtres vivants jusqu'au moment de la mort. Le taux de comptage correspond alors à la présence d'environ 66 000 millions d'atomes radioactifs par gramme de carbone - c'est-à-dire à la production d'environ 15 désintégrations par minute et par gramme de carbone.

Le premier travail dans la mise au point de la datation au moyen du radiocarbone a été de prouver qu'il en était bien ainsi, que du radiocarbone était présent dans tous les tissus vivants et que sa concentration était du niveau uniforme prévu. Ce travail a été assez rapidement accompli et il a été satisfaisant de constater que cette théorie relativement simpliste était correcte. Maintenant que des années ont passé et que des mesures plus

précises ont pu être faites, on constate qu'en fait elle n'est pas absolument exacte. Il existe des différences minimes entre les espèces - par exemple les organismes marins sont un petit peu moins radioactifs qu'ils le devraient; il semble en effet qu'il existe une sorte de barrière naturelle qui s'oppose à la dissolution dans l'eau de mer du gaz carbonique de l'air. Cette dissolution ne se fait pas rapidement.

Dans l'ensemble, nous sommes allés de l'avant en toute innocence: tout concordait. Je n'ai jamais eu autant de chance dans d'autres recherches. Par exemple, nous avons supposé que le mélange dans les océans s'opère rapidement et que la plus grande partie du radiocarbone s'accumule dans l'océan qui contient beaucoup plus de carbone sous forme de sels dissous qu'il ne s'en trouve dans toutes les substances vivantes. D'après ce que nous savions de la production de radiocarbone sous l'effet des rayons cosmiques, nous avons dû calculer ce que devait être la concentration. Si nous ne considérions que la biosphère, la concentration prévue serait 30 fois plus grande que la valeur que nous avons trouvée en fait. Cependant, nous avons bien deviné que le mélange dans les océans s'opérait rapidement et que la concentration dans la biosphère serait de 30 fois inférieure à celle que semblerait indiquer la production sous l'effet des rayons cosmiques. Il existe en fait 30 fois plus de carbone dans l'océan que dans l'ensemble de la biosphère. Nous avons donc eu de la chance. Nous en avons eu également lorsque nous avons supposé que le taux de renouvellement de l'humus est rapide, ou plutôt que l'accumulation n'est pas importante par rapport à la quantité totale. Et cela bien que nous sussions fort bien que le charbon, les hydrocarbures et toutes les matières organiques de ce genre seraient depuis longtemps débarrassés de leur radiocarbone du fait de la décroissance radioactive, et qu'une fois formés étaient hors d'équilibre.

## LE LE VERDICT DES MOMIES

La phase suivante de la recherche consistait à vérifier si des momies de 5700 ans contenaient bien deux fois moins de radiocarbone que les êtres vivants. Il n'existe pas de momies de 5700 ans; les plus anciennes ont 4800 ans, du moins celles dont l'âge est connu de façon assez exacte pour que l'on puisse les utiliser aux fins de vérification. Ce sont celles des premières dynasties de l'Égypte, à laquelle ont trait les documents historiques les plus anciens. Lorsqu'on remonte le cours des âges jusqu'à l'aube de l'histoire, les historiens sont de moins en moins sûrs des dates. D'après mes conversations avec des historiens, je crois pouvoir dire qu'ils sont prêts à mettre la main au feu lorsqu'il s'agit d'événements des 3750 dernières années, mais sont beaucoup moins affirmatifs pour les événements plus anciens. Ils peuvent néanmoins remonter jusqu'à Sésostri III de la douzième dynastie et en discuter avec conviction.

La méthode pourrait donc être vérifiée sur deux périodes - l'une remonte à 3700 ans et l'autre précède la première d'environ un millier d'années. Par chance les vérifications ont été excellentes, à une ou deux exceptions

près. L'une de ces exceptions est très intéressante : nous travaillions en coopération avec le célèbre Institut oriental de l'Université de Chicago sur la grande collection ramenée d'Égypte par J.H. Breasted. Et il se trouva que le troisième objet ramené d'Égypte était moderne. Si je m'en souviens bien, c'était une des ses pièces les plus précieuses que l'on pensait être de la cinquième dynastie. Ce fut un mauvais jour. Cependant, nos deux premières vérifications ayant été concluantes, les spécialistes de l'Institut compulsèrent leurs archives et estimèrent qu'il était tout à fait possible que J.H. Breasted ait été victime d'une mystification et la seule interprétation possible que nous ayons aujourd'hui de notre vérification est que ce collectionneur avait été roulé. Cependant, dans l'ensemble, nous avons eu peu de surprises. C'est ainsi qu'à Stonehenge, nous avons trouvé 3700 ans, ce qui concorde parfaitement avec les prévisions du professeur Stuart Piggott, le grand spécialiste des pierres levées. Pour toute l'histoire ancienne de Rome et de l'Égypte nous n'avons pas relevé de divergence. Nous n'avons pas eu beaucoup de mesures à faire parce qu'en général les archéologues connaissent les dates de façon plus précise que nous ne pourrions les déterminer, et c'est généralement un service qu'ils nous rendent de nous donner des échantillons. Nous prélevons normalement environ 20 à 30 gram-

---

Quelques objets datés au moyen du radiocarbone. En haut et à gauche, une corde trouvée au Pérou, vieille de 2600 ans. En haut et à droite, la toile qui entourait le parchemin de la Mer Morte d'Isaïah. En bas et à gauche, une sandale trouvée dans l'Oregon, vieille de 9000 ans. En bas et à droite, la fiente d'un paresseux géant (espèce disparue), qui date de 10000 ans. (Photo : Institut d'étude des métaux)



mes de matières assez riches en carbone, mais pour certains de ces objets on ne peut sacrifier une quantité aussi importante. En revanche, il nous est parfois possible de nous contenter d'échantillons qui, autrement, ne seraient d'aucune utilité. Par exemple, nous avons daté des manuscrits de la mer Morte - celui du Livre d'Isaïe, - en utilisant la toile de lin dans laquelle ils étaient enveloppés.

Je dois avouer que nous avons eu un peu peur de toucher aux objets de culte et que nous n'avons pas cherché à les soumettre à des recherches - nous serons toujours très heureux de coopérer à la mise au point de moyens de recherche, mais nous avons suffisamment de problèmes à considérer sans nous mêler de questions religieuses. Néanmoins, nous n'avons pas manqué de matériaux remontant jusqu'à environ 3700 ans sur lesquelles nous pouvions vérifier l'exactitude et la fiabilité de la méthode. Il a résulté de toutes ces vérifications que la méthode semble être sûre dans la limite de l'erreur de mesure qui se produisait déjà lorsque nous avons commencé à appliquer cette méthode au début de la dernière décennie et qui était de l'ordre de  $\pm 100$  ans. Plus récemment des mesures extrêmement minutieuses faites avec des appareils très précis ont montré l'existence d'une erreur systématique due au fait que la vitesse de production du radiocarbone n'a pas toujours été absolument constante. Au départ il avait été implicitement admis qu'elle était constante. Lorsque nous avons comparé le radiocarbone contenu dans une momie égyptienne avec celui qui se trouvait chez un être vivant, nous avons supposé que les conditions de vie étaient les mêmes dans l'Antiquité et dans les temps modernes, c'est-à-dire que la vitesse de production du radiocarbone était la même, que l'intensité des rayons cosmiques était la même et que la quantité de l'eau des océans était la même. Des indices assez sérieux nous donnent à penser que ni la composition, ni le niveau de l'océan n'ont beaucoup changé en 5000 ans, période très courte dans l'histoire géologique.

## VARIATIONS DES RAYONS COSMIQUES

Cependant, la question des rayons cosmiques est encore entière. Nous ne savons que peu de choses sur l'origine des rayons cosmiques. Sans doute viennent-ils de l'au-delà du système solaire - nous avons des indices assez sérieux pour le penser - mais, si cela est prouvé, on peut se demander comment des rayons venant de cette région de l'univers peuvent atteindre la terre. Les rayons cosmiques sont déviés par la matière et surtout par les champs magnétiques, et le soleil émet continuellement de la matière ionisée par masses qui sont le siège de champs magnétiques capables de faire dévier les rayons cosmiques. Mon distingué collègue, M. Hans Suess, de l'Université de Californie à San Diego, m'a envoyé une étude intitulée «Les variations climatiques de la vitesse de production du radiocarbone par les rayons cosmiques». Il dit, en substance, que si le temps est chaud pendant une période d'un siècle, c'est que le soleil émet du plasma d'une façon particulièrement active. Il en résulte aussi que la production du radiocarbone est particulièrement basse et qu'au cours de ce siècle, les

dates déterminées par le radiocarbone sont trop anciennes. Inversement, si le temps est froid pendant un siècle ou deux, le soleil est inactif et les rayons cosmiques passent mieux, de sorte que les dates déterminées par le radiocarbone sont trop récentes. Les erreurs sont de l'ordre de  $\pm 50$  ans; elles sont donc à peu près dans les limites de l'erreur expérimentale. M. Suess a fait des quantités de mesures en prenant comme matériau des anneaux de croissance d'arbres de manière à pouvoir dater le matériau de façon très précise, et je ne pense pas que le doute soit permis.

Des mesures ont été prises sur des châteaux d'Angleterre au cours des deux dernières années; pour la plupart de ces constructions, les dates historiques sont parfaitement connues; or, l'accord entre nos mesures et ces dates est meilleur si l'on fait la petite correction préconisée par Suess. Il a établi de façon certaine qu'il existe un écart petit mais mesurable. Cependant, dans l'ensemble, l'accord a été très satisfaisant.

Les conséquences de cet accord sont intéressantes: il en résulte que les rayons cosmiques, la quantité de plasma solaire et le champ magnétique terrestre sont restés à peu près constants et que la profondeur de l'océan n'a pas sensiblement changé; ce qui n'a rien de très surprenant.

En remontant jusqu'à l'aube de l'histoire, on n'utilise même pas la moitié du radiocarbone. Dans le processus de croissance radioactive, la moitié des atomes de radiocarbone se transforment en une période (demi-vie radioactive); puis la moitié du reste pendant la période suivante, de sorte qu'à la fin de deux périodes, c'est-à-dire au bout de 11 400 ans, il reste encore 25% du radiocarbone. Il faut dix périodes, soit 57 000 ans pour arriver à 0,1%. Même avec les méthodes de mesure les plus sensibles actuellement disponibles, il n'est pas possible de mesurer 0,1% de la vie de la nature. Ainsi, la détermination de l'âge au moyen du radiocarbone ne peut s'appliquer à des objets plus anciens que 50 000 ans environ - en fait, si l'on remonte à 40 000 ans, on n'est plus très sûr de ce que l'on avance. Mais entre l'aube de l'histoire - c'est-à-dire 4 800 ans - et 40 000 ans, il y a un intervalle de temps considérable. Pour la vérification, les objets ne manquent pas. Les recherches avaient pour but principal l'étude de la méthode; pour cela il fallait obtenir des objets pour procéder à des vérifications. De ce point de vue il est décevant de constater que finalement la période historique est bien courte.

## PREUVES FOURNIES PAR LES GLACIERS

Au cours des derniers 40 à 50 000 ans, il y a eu trois époques glaciaires. Il semble qu'une époque glaciaire soit mondiale - à tout le moins, il serait surprenant qu'elle ne le fût pas. Il est certain, de toute façon, qu'elle est à l'échelle d'un hémisphère. Par conséquent, si nous découvrons que les glaciers ont avancé à une certaine époque en Amérique du Nord, nous devons trouver que le même événement s'est produit à la même époque en Europe. C'est une des premières vérifications critiques sur l'époque préhistorique qui ont été faites. On a prélevé des matériaux provenant d'une

forêt du Wisconsin qui avait été recouverte par un glacier. On a fait des mesures sur des troncs d'arbres, sur le sol dans lequel les arbres avaient poussé et sur toutes les parties du feuillage qui avaient été protégées lorsque, par sa poussée, le glacier avait recouvert cette forêt d'une masse de débris de 7 mètres de hauteur. Tous les échantillons ont donné le même résultat - 11 400 ans - à deux ou trois cents ans près. Ces mesures ont fourni plusieurs indications importantes. L'une d'elles était que même les fibres les plus tenues des radicules, si elles sont convenablement nettoyées, peuvent être utilisées pour dater de façon certaine, parce qu'elles sont de la même date que le bois des grands arbres. L'humus du sol est aussi authentique et sûr.

Des mesures faites ultérieurement en Europe - en Angleterre, dans le Nord de l'Allemagne et dans le Nord de la France - ont donné les mêmes dates. Dans l'hémisphère austral, le même événement est attesté par des preuves moins nombreuses certes, mais qui paraissent concluantes.

Une autre époque de l'histoire de l'humanité est l'apparition de l'homme en Amérique du Nord, en Amérique du Sud et en Amérique centrale. Pour des raisons qui ne sont pas parfaitement claires, l'homme est arrivé en Amérique après la fonte de la dernière couche de glace, il y a 10 400 ans, et à la même époque dans les trois parties de ce continent. Il y a là un contraste frappant avec la situation en Europe. Le plus vieil Anglais connu a 10 400 ans, parce que l'homme a été chassé d'Angleterre par le glacier et qu'ensuite le glacier a fait disparaître toute preuve de la présence de ceux qui l'ont précédé. C'est pourquoi l'homme de Piltdown a causé tant d'ennuis, car il avait prétendument plus de 10 400 ans, et c'est pourquoi ce fut un grand soulagement de découvrir qu'il s'agissait d'une mystification. La méthode de datation par le radiocarbone a contribué quelque peu à cette découverte. Le plus vieil Anglais connu a donc 10 400 ans, parce que c'est là le nombre des années qui se sont écoulées depuis l'époque où, la dernière couche de glace ayant fondu en Angleterre, l'homme a pénétré dans le pays (la Manche était à sec). Le plus vieil Américain connu a aussi 10 400 ans.

Il est facile de comprendre pourquoi le plus vieil Anglais a 10 400 ans, étant donné les raisons que je viens d'indiquer, mais on est nécessairement amené à se demander pourquoi il n'y a pas d'homme plus ancien en Amérique, puisque ce continent n'a pas été recouvert tout entier par les glaces. En Europe, l'homme s'est déplacé vers le bassin méditerranéen - où il existe des preuves abondantes de sa présence qui remontent à une date bien antérieure à l'âge mesurable par le radiocarbone. Des fouilles viennent de commencer en Israël, près de la mer de Galilée, sur un site qui, pense-t-on, a deux millions d'années. Cette époque est également bien antérieure à l'âge de ce radioélément, mais le site est intéressant parce que la méthode pourrait peut-être aider à établir la date de ses dernières phases. Après avoir déterminé les dates pour une douzaine de sites habités par des hommes préhistoriques en Amérique du Nord, en Amérique centrale, en Amérique du Sud, et obtenu chaque fois 10 400 ans, il a bien fallu se rendre

à l'évidence. Pour autant que je sache - peut-être à une exception près - tous les sites qui ont été habités par les hommes les plus anciens dans les trois parties de l'Amérique ont 10 400 ans, à l'erreur de mesure près en plus ou en moins. Ce résultat est non seulement une vérification de la méthode, mais une donnée nouvelle sur l'histoire de l'humanité.

Il serait possible de dire que, pour des raisons qui nous sont inconnues, l'homme n'est venu en Amérique qu'au moment où le détroit de Behring s'est trouvé découvert par une baisse du niveau de la mer résultant de la dernière glaciation. La quantité de glace était si élevée que le niveau de la mer, dans le monde entier, avait baissé de 50 mètres. Si le niveau de l'océan baissait de 50 mètres, il en résulterait l'assèchement d'une large bande de terre entre la Sibérie et l'Alaska et le long de la côte ouest jusqu'à l'Etat de Washington, qui s'avancerait très loin dans l'océan. En Alaska même, aucune trace d'hommes de 10 400 ans n'a été trouvée. Cela est également conforme à la théorie puisque cette région était couverte de glace. L'homme n'est pas venu par l'Alaska. Il a marché à travers le détroit de Behring et il a ensuite longé la côte qui est maintenant submergée et sa trace se trouve à 50 mètres sous les eaux. Il a pénétré vers l'intérieur des terres à la latitude de l'Etat de Washington et s'est déplacé vers le sud. Ses vestiges ont été trouvés à l'extrémité méridionale de l'Amérique du Sud. La date déterminée le plus récemment concerne le site le plus élevé des Andes péruviennes, et elle est de 10 400 ans.

## UN MAGASIN DE CHAUSSURES PREHISTORIQUE

Les mesures de vérification ont porté sur diverses cultures : les archéologues ne peuvent pas les dater de façon précise, mais peuvent relever certains traits caractéristiques de la culture à une période donnée. Je pourrais en mentionner une ou deux. L'homme d'il y a 10 400 ans était, à certains égards, un individu assez avancé. Il avait 1,80 à 1,85 m, il portait des vêtements de la taille de ceux que nous portons aujourd'hui et, comme je l'ai dit, il s'est répandu dans les trois parties de l'Amérique au cours d'une période égale à la marge d'erreur des mesures au radiocarbone - c'est-à-dire en l'espace de deux siècles. Nous avons eu la bonne fortune de faire une trouvaille remarquable dans l'Est de l'Oregon. Il y a une vingtaine d'années, on y faisait des excavations pour la construction d'une route. Cette région est très volcanique, et un archéologue de l'Université de l'Oregon M. Cressman avait recommandé au chef d'une équipe chargée de certains travaux d'ouvrir l'oeil - il savait que cette équipe devait faire une coupe profonde dans du tuf ponceux du Mount Mewbury. Quelque temps après, le chef d'équipe fit dire à M. Cressman qu'il avait trouvé quelque chose. Dans une caverne qui avait été, selon toute apparence, accidentellement recouverte par la lave - comme à Pompéi - il avait découvert un stock de sandales, faites d'une façon remarquablement artistique, dont l'âge a été fixé à un peu plus de 9000 ans. Depuis, d'autres sandales ont été trouvées ailleurs notamment une l'an dernier qui remonte à 8500 ans. Ce

sont là les chaussures que portait l'homme préhistorique. Cette trouvaille de M. Cressman et de son équipe de terrassiers contenait 300 paires de ces chaussures soigneusement empilées. Un véritable magasin de chaussures. Et voici pourquoi nous avons eu beaucoup de chance dans ce cas. Cela se passait avant l'invention de la méthode du radiocarbone. M. Cressman passa un enduit protecteur sur ces chaussures, mais il se trouva à court d'enduit ; le produit utilisé rend les objets impropres à la datation au moyen du radiocarbone ; heureusement, il en restait six paires qui n'avaient pas été enduites et dont on a pu déterminer l'âge.

## DEGRE DE PRECISION

Il y a quelques années, le corps d'un de ces hommes préhistoriques a été découvert dans l'île de Santa Rosa. Il est extraordinaire que ces hommes n'aient pas écrit - des hommes si doués ! Les caves de Lascaux dans le centre de la France remontent, on le sait, à 15 000 ans ; de merveilleuses peintures ont donc été exécutées 5000 ans avant l'apparition des hommes qui nous occupent. Il est difficile d'imaginer que ces hommes n'étaient pas assez intelligents. Il me semble tout à fait évident qu'ils étaient aussi intelligents que nous. Peut-être écrivaient-ils ; il se peut tout simplement que nous n'ayons pas trouvé trace de leur écriture. Quoi qu'il en soit, ils nous ont laissé des oeuvres remarquables. De la première époque de la

---

La pyramide de Tectihuacan, au Mexique. (Photo: Instituto Nacional de Antropologia e Historia, Mexique)



préhistoire, du Paléolithique, il existe de très beaux monuments anciens dont l'âge et l'histoire nous sont inconnus, même en Egypte. Nous avons étudié la période prédynastique de l'Egypte et nous sommes remontés jusqu'à 6 500 ans dans le temps pratiquement sans interruption. Dans cette étude nous avons coopéré avec Madame Caton Thompson de Cambridge qui nous a fourni des échantillons remarquables de grains de l'ancienne Egypte trouvés dans des greniers creusés dans les collines qui surplombent la vallée du Nil. Près de 1 500 ans avant la première dynastie, ces greniers avaient été remplis par des cultivateurs et il s'y trouvait encore des grains lorsqu'elle les découvrit il y a quelque 50 ans. Il s'agissait de trous creusés au sommet des collines et garnis de paille ; après avoir été remplis de grains, ils avaient été recouverts. L'âge de ces grains a été déterminé.

En Angleterre, on trouve des vestiges qui permettent de remonter sans solution de continuité jusqu'à l'homme d'il y a 10 400 ans et certains des sites sont vraiment remarquables, comme par exemple celui de Star Carr que le professeur Graham Clarke de Cambridge a mis à jour et qui date de près de 8 000 ans. Même pour l'époque historique, il existe de nombreux sites connus - notamment en Amérique. Dans ce continent il n'y a aucun document écrit, à l'exception de ceux qu'ont laissés les Mayas ; il ne reste donc que les preuves indirectes, et le radiocarbone est à peu près le seul moyen de dater. Les résultats concordent raisonnablement avec les preuves sociologiques que fournissent la poterie et des objets de ce genre, et permettent de constituer une histoire de l'Amérique. Ceci montre que, pour l'époque historique couvrant les 4 000 dernières années, le radiocarbone trouve des applications dans diverses parties du monde, comme pour les époques de la préhistoire : c'est le seul moyen de fixer une date de façon absolue.

Cette question du caractère absolu de la datation est particulièrement ardue. Il n'est pas possible d'affirmer de façon certaine que les dates déterminées au moyen du radiocarbone sont exactes, mais je crois pouvoir dire que pour les 3 700 dernières années, une date déterminée au moyen du radiocarbone est probablement exacte à 1 ou 2% près en plus ou en moins. En ce qui concerne les époques préhistoriques, il est à souhaiter que puisse être mis au point un moyen auxiliaire de vérifier si la variation du champ magnétique solaire est importante. A cet égard, la première dynastie de l'Egypte fournit déjà un indice ; en effet, les dates de cette dynastie ont tendance à différer un peu des dates historiques, et ce dans une mesure qui pourrait confirmer les suppositions que M. Suess a faites. Il a supposé en effet - et il insiste lui-même sur le fait qu'il s'agit d'une supposition puisqu'il est parti d'une extrapolation - que l'on pourrait poser le problème de la façon suivante : « Si nous avons une période vraiment froide, il s'agirait d'une période glaciaire et les dates déterminées au radiocarbone seraient différentes ; nous devrions donc leur apporter une correction pouvant aller jusqu'à 2 000 ans sur 11 000 ans. » C'est là la plus grande catastrophe qui puisse être imaginée pour le moment en ce qui concerne la datation au moyen du radiocarbone. Pour les 4 000 dernières années, les dates sont

probablement exactes à deux siècles près environ. Pour les 2000 dernières années, elles sont probablement aussi précises que les mesures le permettent.

Ces mesures soulèvent bien d'autres questions que celle de l'erreur de comptage; d'autres problèmes se posent, comme celui des anneaux de croissance des arbres. Prenons un morceau de bois - il a plusieurs anneaux de croissance et chaque année y a déposé son radiocarbone. Il faut déterminer avec beaucoup de soin combien il y a d'anneaux et si le bois provient du centre ou de la périphérie du tronc. Par exemple, dans les vieilles maisons anglaises les preuves sont nombreuses d'une réutilisation des grandes poutres. Dans le cas de la pyramide de Teotihuacan, près de Mexico, il est absolument certain que les bâtisseurs ont utilisé pour les ouvrages du centre du monument des poutres dont le bois avait été coupé plusieurs siècles avant les travaux de construction. Il faut tenir compte de cas de ce genre. Pour cette raison de nouvelles recherches sont actuellement en cours sur les douze premières dynasties d'Egypte, auxquelles participe le British Museum. Toutes les tombes de l'ancienne Egypte ont été pillées et, par conséquent, la question la plus importante est celle de l'authenticité de tout objet meuble. Une technique mise au point récemment permet d'enlever les protéines de l'os et d'en déterminer la date. Elle sera employée pour dater les momies, car il est fort peu probable que les pilliers de tombes les aient volées et remplacées.