

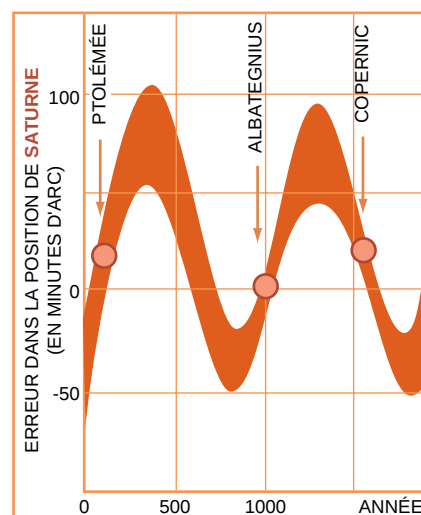
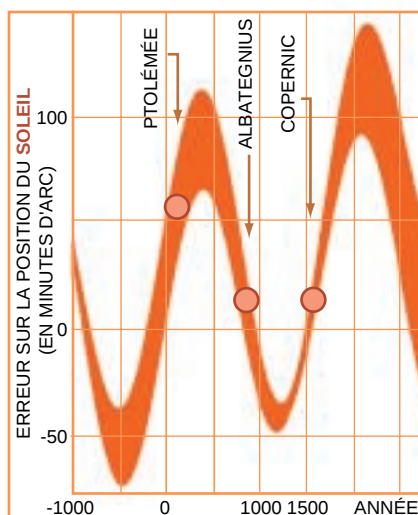
UN NOUVEL EXAMEN DES TABLES PRUTÉNIQUES

Pour analyser les théories planétaires anciennes, notamment les Tables pruténiques, on retrace la façon dont les auteurs les ont établies : nous avons cherché à décrire le modèle cinématique de chaque planète et à en retrouver les constantes et les paramètres fondamentaux. Nulle part, Reinhold ne donne directement les valeurs qu'il utilise, ni ses calculs ; de surcroît, il emploie des valeurs différentes de celles de Copernic.

Après avoir élucidé la façon dont sont construites ces tables, après avoir isolé chaque paramètre orbital et étudié son évolution dans le temps, nous avons rassemblé toutes ces données sous forme informatique. Ensuite, nous avons comparé le mouvement des planètes établi par Reinhold et celui issu des théories planétaires élaboré par le Bureau des longitudes, dans les années 1980, et qui est d'une grande précision sur de longs intervalles de temps : les Tables pruténiques – autrement dit tout l'échafaudage de Copernic – étaient vouées inexorablement à se détériorer en moins d'une centaine d'années. Une mauvaise approximation de la précession des équinoxes et l'ignorance de la grande inégalité de Jupiter et de Saturne, en sont partiellement responsables.

L'axe de rotation de la Terre change de direction au cours du temps, de sorte que le point de référence des coordonnées des astres bouge par rapport aux étoiles d'un angle de 50 secondes par an ; c'est la précession des équinoxes. Or, Copernic est convaincu que ce mouvement de précession n'est pas uniforme et lui attribue une variation dont les effets sont perceptibles sur de longs intervalles de temps. Or, cette correction dégrade périodiquement toutes les positions des corps célestes et, dans la seconde moitié du XVI^e siècle, l'écart entre les prévisions astronomiques et les observations croît.

En comparant les données issues des Tables pruténiques avec les résultats fournis par les théories modernes, on constate que l'erreur principale commise sur la position du Soleil dans le ciel (due à la correction erronée de la précession des équinoxes) évolue avec une période de quelque 1 700 ans (voir la figure 2). Les positions les plus correctes correspondent aux époques où Ptolémée, Albategnius et Copernic ont fait leurs observations (Copernic adapte son modèle pour qu'il en soit ainsi !). D'autres facteurs se conjuguent pour dégrader les prévisions à long terme, et les modèles cinématiques s'écartent progressivement de la réalité.



2. Reinhold, dans ses Tables pruténiques, donnait le moyen de calculer la position des astres, plusieurs centaines d'années à l'avance. Pour évaluer la précision de ces prévisions, l'auteur a comparé les positions indiquées par ces tables avec celles qu'indiquent les modèles astronomiques d'aujourd'hui. Pour ce faire, il a fait la différence entre les positions des astres d'après Reinhold et d'après les modèles actuels, sur de longs intervalles de temps. Si les prévisions de Reinhold avaient été correctes, la différence serait nulle. On constate que les erreurs sur la position du Soleil (à gauche) et sur celle de Saturne (à droite) sont périodiques. Les mesures de Ptolémée, au II^e siècle, d'Albategnius, au IX^e siècle et de Copernic, en 1515, sont cohérentes, car Copernic s'est efforcé d'adapter son modèle à ces observations.

La planète Mercure présente les plus fortes erreurs, puisque les positions diffèrent parfois de plus de dix degrés de la réalité. Heureusement ces écarts se produisent à des moments où la planète n'est pas observable de la Terre ! Si, pour Vénus, les erreurs restent inférieures à quatre degrés, de telles incertitudes interdisent toute prévision d'un passage de ces planètes devant le Soleil.

Jupiter et Saturne intéressaient particulièrement les astrologues des XVI^e et XVII^e siècles : ils prétendaient que les conjonctions de Jupiter et de Saturne étaient des phénomènes essentiels, qui rythmaient toute l'histoire du monde et annonçaient de grands événements. Les tables astronomiques qui permettaient de les prévoir précisément détrônaient les autres. Or, les mouvements de ces planètes sont assez bien traités par les Tables pruténiques. Cela s'explique notamment par le fait que Jupiter et Saturne étant des planètes lentes, les erreurs des modèles ne se manifestent que lentement.

Par ailleurs, les résultats étaient perturbés par la «grande inégalité de Jupiter et de Saturne». Copernic ignorait cette anomalie, mais, depuis, on a constaté des ralentissements pour Saturne et des accélérations pour Jupiter. Ces perturbations, dont la période est proche de 900 ans, sont responsables d'anomalies de grande amplitude, mais Copernic a eu de la chance : les accélérations et les ralentissements de ces planètes étaient faibles, lorsqu'il fit ses observations, entre 1514 et 1529.

Les mathématiciens déduisaient des tables astronomiques, notamment des Tables pruténiques, les éphémérides qui indiquaient, pour chaque jour de l'année, la position des astres. Puis, les astrologues interprétaient ces éphémérides, et leurs almanachs étaient une liste de recommandations ou d'interdictions, destinées aux paysans notamment (Napoléon III, mesurant l'effet désastreux de ces almanachs, en interdira la publication).

L'adoption des Tables pruténiques par les astronomes européens du XVI^e siècle a contribué à légitimer le système héliocentrique en prouvant la qualité des prévisions astronomiques de Copernic. Toutefois, quand on y regarde de plus près, on constate que les prévisions se dégradent irrésistiblement et parfois rapidement.

Travail de Titan, ces tables ont été utilisées pendant près de 80 ans. Elles domineront jusqu'en 1627, année où paraissent les Tables rodolphines de Kepler. Fondées sur le mouvement elliptique des planètes autour du Soleil, débarrassées des encombrants épicycles, et élaborées d'après les nombreux relevés de Tycho Brahé, qui avait compris qu'il fallait renouveler le stock des observations, ces nouvelles tables seront utilisées pendant la plus grande partie du XVII^e siècle.

Denis SAVOIE a préparé une thèse sur les Tables pruténiques, à l'Observatoire de Paris.

Al dente

Comment cuire les pâtes alimentaires.

Comment cuire les pâtes ? Qui-conque se contente de plonger des spaghettis dans l'eau chaude, pendant huit minutes environ, n'obtient pas un bon résultat : bien que simple, la cuisson des pâtes pose de nombreuses questions. Le sel tout d'abord : doit-il être mis dans l'eau de cuisson et pourquoi ? L'huile qui, dit-on, doit être ajoutée à l'eau de cuisson, est-elle vraiment nécessaire ? Et les pâtes elles-mêmes : peut-on en préparer chez soi d'aussi bonnes que dans l'industrie ? Enfin comment éviter que les pâtes collent ?

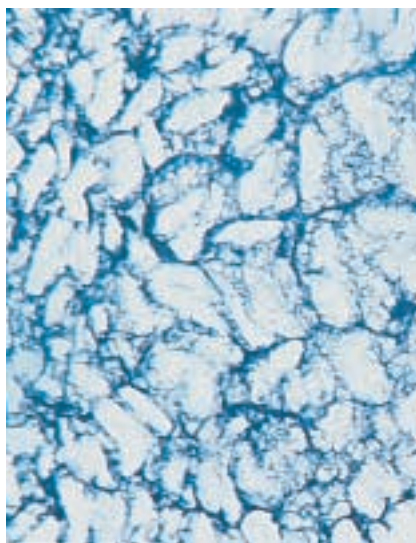
Chez soi, on prépare rapidement de bonnes pâtes en mélangeant de la farine (de blé, à laquelle on peut ajouter de la farine de maïs, de châtaigne...), un peu de sel, de l'eau, de l'huile et des œufs. Un long malaxage donne du corps à la pâte, qu'on lamine et qu'on découpe, avant de la cuire pendant trois à six minutes. Lors de cette cuisson, les grains d'amidon de la farine gonflent en absorbant de l'eau (ils s'«empêsent») pendant que les protéines de l'œuf et de la farine forment un réseau insoluble qui enserme les grains d'amidon, limitant leur lessivage dans l'eau de cuisson. Pour ces pâtes domestiques, le collant est évité par l'augmentation de la proportion d'œuf ; si le réseau de protéines est formé avant que l'amidon ne s'empêse, les pâtes restent fermes et ne collent pas ; si, au contraire, l'empesage de l'amidon intervient avant la formation du réseau protéique, une partie de l'amidon (surtout une de ses deux sortes de molécules, nommée l'amylose) diffuse dans l'eau de cuisson, enrichissant la surface des pâtes en amylopectine (l'autre sorte), qui fait coller. Après égouttage, un bon morceau de beurre ou une large rasade d'huile d'olive évite aux pâtes, maintenues chaudes, de coller dans l'assiette.

Pour étudier la fabrication industrielle des pâtes, Pierre Feillet, Joël Abecassis, Jean-Claude Autran et leurs collègues du Laboratoire INRA de technologie des céréales, à Montpellier, ont exploré la biochimie de la cuisson des pâtes. Ils cherchent à déterminer les protéines qui communiquent aux pâtes leur bonne qualité culinaire.

L'industrie prépare les pâtes à partir de blé dur. En l'absence d'œuf, le réseau de protéines est formé par les protéines de la farine et, plus précisément, du gluten. Ce gluten s'observe par malaxage

de farine et d'eau : après une longue trituration, la masse obtenue, mise sous un filet d'eau courante, n'est pas totalement lessivée ; la matière élastique restante est composée des protéines du gluten. Ce gluten est plus abondant dans les blés durs que dans les blés tendres. Aussi des laboratoires tels que celui de Montpellier se préoccupent de la composition et de la variabilité génétique des protéines des blés durs, ainsi que des procédés de fabrication des pâtes qui favorisent la formation du réseau protéique.

La qualité d'une pâte industrielle s'apprécie par sa couleur jaune-ambéré et par sa qualité culinaire, c'est-à-dire son apti-



Sur cette coupe d'un spaghetti observé au microscope, Daniel Gallant (INRA-Nantes) a coloré en bleu le réseau de protéines.

tude à ne pas coller après cuisson et, même, après une légère surcuisson. Pour satisfaire cette demande de l'industrie, les sélectionneurs ont donc mis au point des blés durs possédant un gluten ferme et élastique. Les chercheurs de Montpellier ont montré que ce dernier caractère était associé à la présence d'une protéine particulière, nommée gliadine gamma 45, qui n'est en fait que l'indicateur de variétés de blés durs riches en gluténines de faible masse moléculaire.

D'autre part, les chercheurs ont exploré les conditions optimales de fabrication des pâtes et ils ont montré que le séchage des pâtes vers la température de 90 °C prépare la formation d'un réseau de protéines qui s'insolubilise plus rapi-

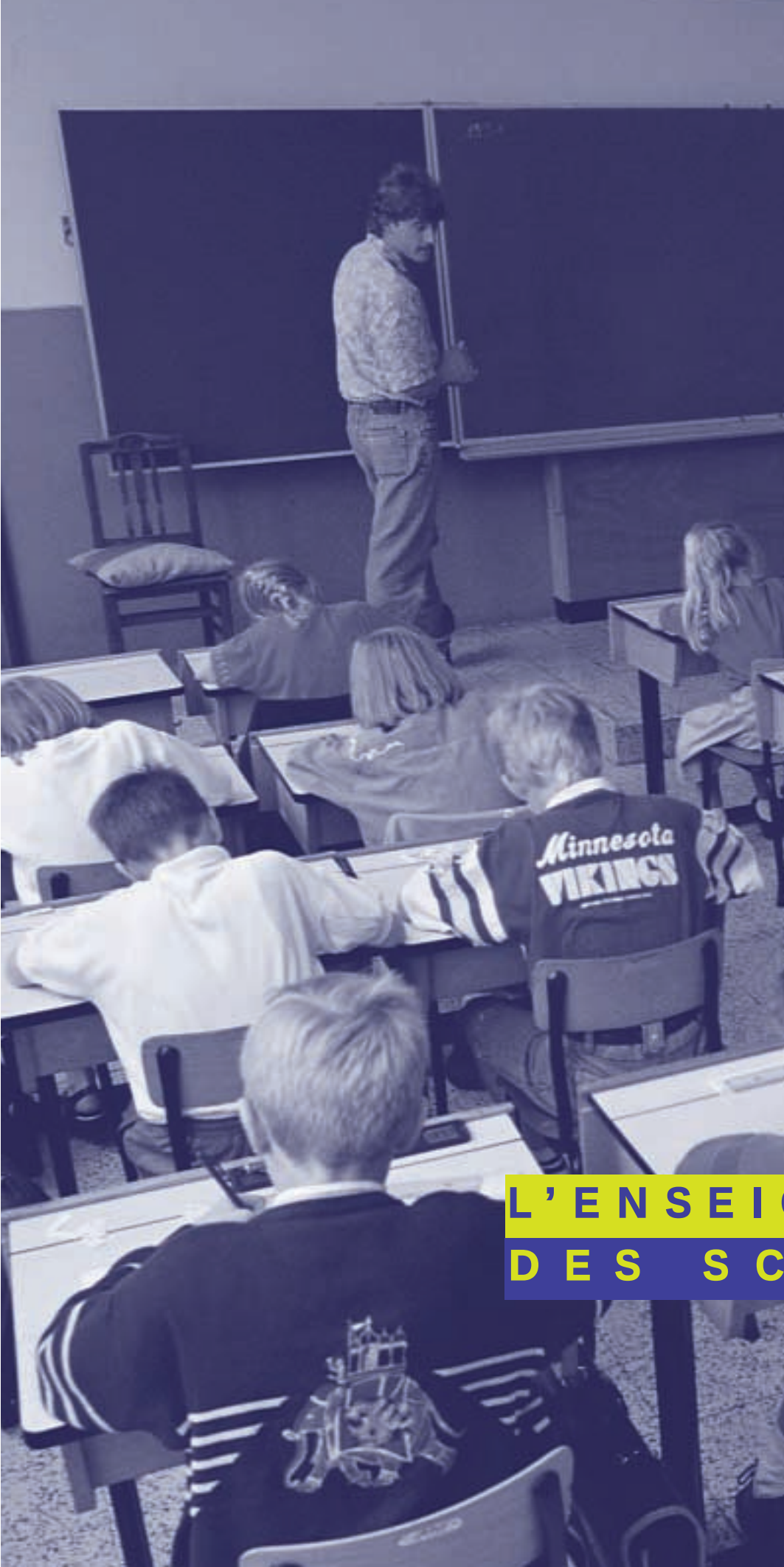
dement, à la cuisson. La haute température doit être appliquée en fin de séchage, afin de ne pas endommager les grains d'amidon. Le malaxage et le tréfilage, dans une vis d'Archimède sous pression, doivent également respecter ces grains. L'application de hautes températures (90 °C) agit sur la couleur, parce qu'elle inactive les enzymes (lipoxygénases) qui détruisent les pigments jaunes et celles (peroxydases) qui développent le brunissement.

Comment cuire les pâtes, à la lumière de ces travaux ? Notons tout d'abord que la proportion de protéines doit être élevée. Si l'on n'utilise pas du blé dur, on devra ajouter des œufs, ou bien triturer ou laminer soigneusement la pâte, afin de développer le réseau de gluten, en présence d'une quantité d'eau suffisante pour hydrater les protéines et permettre leur liaison. Quelle que soit leur composition, les pâtes doivent être jetées dans l'eau bouillante, de sorte que le temps de cuisson soit réduit et que la délitescence soit diminuée. L'huile ajoutée à l'eau de cuisson est-elle utile ? Des expériences qui consistent à cuire trop longtemps des spaghettis dans de l'eau additionnée ou non d'huile n'ont pas montré de différences sur le collant quand les pâtes ne traversaient pas l'huile de la surface de l'eau, en fin de cuisson. L'huile est surtout utile parce qu'elle enrobe les pâtes quand celles-ci sont sorties de l'eau, en fin de cuisson, de sorte qu'il revient au même d'ajouter un bon morceau de beurre ou une rasade d'huile d'olive dans le plat de service.

Enfin l'eau de cuisson a son importance. À l'INRA de Nantes, Jacques Lefebvre a montré que l'amidon perd moins d'amylose dans l'eau de cuisson si celle-ci contient des protéines : on pourra donc cuire les pâtes dans un bouillon riche. L'équipe de Montpellier a aussi montré que la cuisson dans une eau minérale s'accompagne d'un accroissement progressif de la délitescence et du collant, tandis que les pâtes cuites dans une eau légèrement acide (par exemple additionnée d'une cuillerée à soupe de vinaigre ou de jus de citron, ou encore une eau de pluie) conservent un état de surface satisfaisant, même après surcuisson. En effet, une légère acidité de l'eau (pH égal à 6) permet aux protéines de se trouver sous une forme électriquement neutre, de sorte qu'elles s'associent davantage, formant un réseau capable de piéger l'amidon.

Hervé THIS

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science, le 30 avril 1996, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.



Comment doit-on enseigner les sciences, à l'école, puis au collège et au lycée?

Pour la Science participe au débat sur une réforme de l'enseignement en présentant les points de vue de *Pierre-Gilles de Gennes*, de *Jean-Marie Lehn*, de *Claude Allègre* et de *Jean-Christophe Yoccoz*.

Aucun de ces chercheurs n'enseigne sa discipline à des élèves de l'école primaire ou du secondaire, mais ils ont accepté de regarder d'un œil critique, indépendamment les uns des autres, l'enseignement des sciences. Leurs points de vue sont parfois contradictoires : c'est la preuve que le débat est nécessaire.

L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES