

HOMO SAPIENS INFORMATICUS chronique de Gilles Dowek

Spoutnik 2.0 : il faut relancer l'enseignement des sciences

Alors que nous vivons une révolution scientifique et technique, l'enseignement accuse un grave retard dans ces domaines.



Le 4 octobre 1957, l'Union soviétique lançait le premier satellite artificiel de la Terre, *Spoutnik 1*. En pleine guerre froide, cette défaite technique a provoqué un véritable traumatisme aux États-Unis et en Europe de l'Ouest.

La riposte de ces pays a alors été notamment de rénover l'enseignement des sciences et des techniques, qui avait tardé à incorporer les mutations de la première moitié du XX^e siècle, afin d'améliorer, à grande échelle, les connaissances de la population, et rattraper les Soviétiques. Dans les années 1960, l'enseignement des sciences et des techniques est devenu une priorité, ce qui a effectivement aidé les Américains et les Européens à combler leur retard. Une fois l'objectif atteint, cet enseignement a hélas perdu, peu à peu, son caractère prioritaire, notamment en France, pour devenir ce qu'il est aujourd'hui.

Nous vivons pourtant une révolution scientifique et technique beaucoup plus profonde que celle des années 1950 et 1960. Les ordinateurs, les robots et les algorithmes remplacent peu à peu les humains pour effectuer des tâches de plus en plus complexes. Le travail perd progressivement la place centrale qu'il occupait dans la production de richesses. Le profit engendré par cette production est ainsi de moins en moins distribué aux détenteurs d'une force de travail et de plus en plus aux propriétaires et aux concepteurs de ces ordinateurs, ces robots et ces algorithmes. Et ces concepteurs ne sont pas seulement des *digital natives*, qui ont grandi avec l'informatique et épâtent leurs grands-parents en postant une photo sur un

réseau social, mais ceux qui, en Amérique et surtout en Asie, ont reçu en plus un enseignement scientifique et technique de qualité.

Relancer, comme il y a soixante ans, l'enseignement des sciences et des techniques n'est pourtant pas si difficile. La première chose à faire est d'augmenter, peu à peu, le volume horaire consacré aux sciences et aux techniques à l'école, au collège et au lycée. Aujourd'hui,



un élève de quatrième y consacre huit heures hebdomadaires, soit moins du tiers de son temps scolaire. De toute évidence, les humanités ont un rôle à jouer dans ce renouveau : l'histoire des sciences et des techniques est trop négligée dans les programmes d'histoire. De même, la philosophie des sciences et des techniques est délaissée dans les programmes de philosophie, alors que, par exemple, les nouvelles questions éthiques posées par la révolution informatique abondent.

Il faut aussi introduire un enseignement des sciences et des techniques dans les Écoles

supérieures du professorat et de l'éducation, qui forment les professeurs des écoles. Car il faut commencer à se construire une culture scientifique dès le plus jeune âge, ce qui est illusoire si les professeurs des écoles n'ont pas eux-mêmes une telle culture.

Un effort doit être mené pour recruter davantage de professeurs de sciences et techniques au collège et au lycée en leur proposant, dès le début de leurs études, de s'orienter vers les métiers du professorat, comme cela se faisait entre 1957 et 1979. Parmi ces nouveaux professeurs, il est important de recruter un nombre important de professeurs d'informatique, en créant des concours de recrutement spécifiques.

Enfin, il est crucial de rénover les enseignements. Cette mise à jour doit s'appuyer sur une analyse des transformations de l'architecture des sciences et techniques dans la seconde moitié du XX^e siècle. Analyse que l'Académie des sciences, les sociétés savantes, l'association La Main à la Pâte, etc. ont conduite et à laquelle les différents ministres qui se sont succédé depuis une ou deux décennies sont, pour l'essentiel, restés sourds.

Plus que tout, il importe que la ou le prochain président de la République nomme une ou un ministre de l'Éducation nationale qui s'approprie pleinement les enjeux scientifiques, techniques, économiques et sociétaux de notre époque. ■

Gilles DOWEK est chercheur à l'Inria et membre du conseil scientifique de la Société informatique de France.

Le Système solaire, une exception née du chaos

JUPITER, dans sa prime jeunesse (*au premier plan*), évoluait dans le disque protoplanétaire de poussières et de gaz entourant le Soleil (*au fond*). Cette planète géante a sans doute joué un rôle crucial dans le Système solaire.

Konstantin Batygin, Gregory Laughlin et Alessandro Morbidelli

Les premiers âges du Système solaire se caractérisent par des planètes vagabondes aux orbites instables et des collisions planétaires destructrices. Ce chaos a engendré un système qui, comparé aux autres systèmes planétaires découverts, constitue une anomalie.

L'ESSENTIEL

- Loin d'être la norme, la configuration actuelle du Système solaire, avec ses planètes internes rocheuses et ses géantes gazeuses externes, est atypique en comparaison de la plupart des autres systèmes planétaires.
- Les récentes simulations numériques et l'étude des exoplanètes suggèrent que les débuts du Système solaire ont été violents et chaotiques.
- Jupiter et Saturne ont connu des changements d'orbite il y a des milliards d'années.
- Lors de ces migrations, les géantes gazeuses auraient poussé des planètes vers le Soleil ou, plus probablement, vers l'espace interstellaire.

© Ken Brown / Morbidelli Studios

Il y a quelques années, telle que nous la concevions, l'histoire de la naissance du Système solaire était assez simple et dénuée d'événements spectaculaires. Elle commence il y a près de 4,5 milliards d'années, avec un nuage sombre de gaz et de poussière en rotation. Le nuage s'est effondré sur lui-même sous l'effet de sa propre gravité. Le Soleil s'est formé en son centre et, petit à petit, huit planètes, ainsi que des objets plus modestes tels que Pluton, ont émergé du reste de gaz et de poussières qui tourbillonnait autour de l'étoile. Depuis, le Système solaire effectue un ballet aux mouvements aussi précis et prévisibles que ceux d'une horloge.

Mais ces dernières années, les astronomes ont commencé à glaner des indices subtils faisant mentir ce scénario bien rodé. Comparé aux milliers de systèmes exoplanétaires nouvellement découverts, le Système solaire a des caractéristiques peu fréquentes. Sa structure, avec ses petites planètes internes rocheuses, ses géantes gazeuses externes et l'absence de planètes plus proches du Soleil que Mercure, est parfaitement atypique. Grâce à des simulations numériques, les astronomes commencent à comprendre que ces entorses à la règle sont le résultat d'une jeunesse turbulente.

De fait, la nouvelle histoire du Système solaire est beaucoup plus mouvementée et chaotique qu'on ne l'imaginait: il y est question de planètes errantes évincées de leur lieu de naissance, de corps précipités dans le Soleil et de géantes solitaires expulsées dans les confins glacés du Système solaire. En étudiant ces événements anciens et les cicatrices qu'ils ont laissées, les astronomes ont brossé un tableau cohérent des époques cruciales de la formation de ce système.

Reprenons d'abord l'ancienne vision du Système solaire dès ses débuts, lors de la formation du Soleil. Celle-ci s'est déroulée au cœur d'un nuage moléculaire géant de gaz et de poussière

ayant une masse de l'ordre de 10 000 fois celle du Soleil. Une zone dense au sein du nuage s'est effondrée sur elle-même, formant au centre une protoétoile – le jeune Soleil –, entourée d'un immense anneau de gaz et de poussière opaque, le disque protoplanétaire.

Pendant des décennies, les théoriciens ont pensé que les propriétés du disque protoplanétaire suffisaient pour expliquer l'une des principales caractéristiques du Système solaire : la répartition de son cortège, d'abord les quatre planètes telluriques rocheuses, puis, sur des orbites plus lointaines, les quatre géantes gazeuses.

Un processus universel explique la formation de ces deux variétés de planètes. Dans le disque gazeux et turbulent, des grains de poussière entrent en collision et se collent les uns aux autres jusqu'à former des objets de taille kilométrique nommés planétésimaux. Ceux-ci s'apparentent aux moutons de poussière formés par les courants d'air et les forces électrostatiques sur un sol non balayé. En un million d'années environ, le disque protoplanétaire du Système solaire regorgeait de planètes embryonnaires de la taille de la Lune.

La plupart de ces corps se trouvaient au-delà de l'actuelle ceinture d'astéroïdes, et au-delà de la « ligne de glace », qui indique la région suffisamment éloignée de la chaleur du jeune Soleil pour qu'il subsiste de la glace d'eau dans le disque. Par conséquent, au-delà de la ligne de démarcation, les planètes embryonnaires pouvaient se repaître de glace en abondance et ainsi atteindre des tailles énormes. Par ailleurs, les plus gros de ces corps étaient aussi ceux qui grossissaient le plus vite. Leur champ gravitationnel, plus intense, accumulait la plus grande part de la glace, du gaz et de la poussière disponibles dans le disque environnant. En un million d'années seulement, l'embryon le plus goulou était devenu la planète Jupiter.

Pour les planétologues, la dichotomie de l'architecture du Système solaire s'est jouée à cette période. Devancées par Jupiter, les autres planètes géantes sont plus petites parce que leur croissance a été plus lente, la quantité de gaz disponible ayant déjà été très réduite par Jupiter au moment où leur attraction gravitationnelle a pris vraiment de l'importance. Les planètes internes étaient encore beaucoup plus petites parce que nées à l'intérieur de la ligne de glace, là où le disque était relativement appauvri en matière solide.

■ LES AUTEURS



Konstantin BATYGIN est maître de conférences en planétologie à l'institut de technologie de Californie, aux États-Unis.



Gregory LAUGHLIN est professeur d'astronomie et d'astrophysique à l'université de Californie à Santa Cruz, aux États-Unis.



Alessandro MORBIDELLI est planétologue à l'Observatoire de la Côte d'Azur, à Nice, et membre des académies des sciences française et belge.

En dehors de quelques détails gênants, comme les masses trop petites de Mars et de Mercure par rapport aux résultats des simulations, ce scénario de « Jupiter en premier » semblait expliquer de façon satisfaisante la structure du Système solaire. Le mécanisme semblait assez universel pour qu'on s'attende à retrouver des organisations similaires autour d'autres étoiles : des planètes géantes sur des orbites de longue période au-delà de la ligne de glace, et des planètes rocheuses en deçà, avec des périodes orbitales de l'ordre de quelques années ou moins. Or les observations ont contredit ces pronostics.

La révolution des exoplanètes

Quand les astronomes ont commencé à découvrir des exoplanètes, il y a plus de vingt ans, ils ont pu mettre à l'épreuve ce qu'ils savaient de la formation du Système solaire. Beaucoup des premières exoplanètes connues étaient des « jupiters chauds », des planètes gazeuses géantes tournant à toute allure près de leur étoile, avec des périodes de révolution de quelques jours seulement. L'existence de planètes géantes si proches de leur étoile, où la chaleur est si forte que la glace est totalement absente, est en contradiction avec le scénario classique de formation planétaire. Pour expliquer ce désaccord, les théoriciens ont conclu que ces planètes s'étaient formées plus à l'extérieur du disque, avant de migrer vers ses régions internes.

Il reste cependant que, avec les milliers d'exoplanètes trouvées par des relevés tels que la mission *Kepler* de la Nasa, le Système solaire apparaît comme une exception dans l'Univers. Le système planétaire moyen contient une ou plusieurs super-terres (des planètes environ deux à dix fois plus grandes que la Terre) avec des périodes orbitales inférieures à une centaine de jours. En revanche, on ne trouve de planètes géantes (des analogues de Jupiter et Saturne) que dans 10 % environ des systèmes extrasolaires, et, parmi elles, celles décrivant des orbites presque circulaires sont encore plus rares.

Leurs attentes ayant été déçues, les planétologues ont compris que les « quelques détails gênants » de la théorie classique de formation du Système solaire exigeaient de meilleures explications. Pourquoi la région interne du Système solaire est-elle si pauvre