

Terre chaude... terre glacée...

Des ours blancs dans les Pyrénées ? Pas de panique, amis éleveurs de moutons ! S'il y en eut – il y a peu de chances, la calotte glaciaire n'a pas été jusque là – ce ne put être au plus tard que quelques dizaines de milliers d'années avant notre ère, quand les glaces recouvraient bien des régions aujourd'hui tempérées. Notre planète était alors frigorifiée. Les glaces ont reculé, elles reculent même un peu trop de nos jours pour toutes sortes de causes, dont l'accroissement du célèbre effet de serre – effet bien utile, au demeurant, sinon nous serions tous gelés.



Une grosse Terre glacée (vue d'artiste de l'exoplanète tellurique découverte autour d'une naine rouge)

Pendant ce temps, à 22 000 années-lumière, une grosse Terre environ cinq fois plus massive que la nôtre tourne autour de son étoile, mais elle en est trois fois plus éloignée que notre planète du Soleil. Il y fait dans les moins 220°C. Glagla ! Même les ours blancs n'y résisteraient pas, et à cette température, du moins sur notre planète, l'azote est solide. Cette « exoplanète » est probablement la plus petite détectée à ce jour. Et contrairement à d'autres exoplanètes géantes récemment découvertes, elle n'est pas gazeuse mais sans doute entièrement solide. Les astronomes et les physiciens parlent d'une « planète tellurique ». C'est, selon toute vraisemblance, une boule de roches et de glace, bien trop froide pour héberger la vie telle que nous la connaissons. Alain Milsztajn du SPP nous détaille d'une plume claire et précise les prouesses ayant permis de la débusquer. Découverte d'importance, qui donne de l'assise au modèle théorique de formation des planètes par « accréation » de petits corps rocheux.

Notre Terre, elle aussi, est une boule de roches et de glace. Mais la glace occupe une faible surface qui réduit comme peau de chagrin, et les roches ne sont solides que dans une couche mince, la croûte terrestre. En profondeur, elles sont pâteuses ou liquides, on le voit lorsqu'un volcan vomit sa lave. Notre Terre est une planète tellurique chaude. Et elle abrite la vie. Il faudrait que cela dure. Or ce n'est pas le refroidissement de la planète qui nous pend au nez. L'azote de l'atmosphère ne se solidifiera pas. Pourtant, on peut se demander si le genre humain n'est pas complètement givré au point de transformer à petit feu, enfin disons petit à petit, notre atmosphère en cocotte-minute à force d'y déverser à jet continu des milliards de tonnes de ces trop fameux gaz à effet de serre. Ne vous méprenez pas, fidèles lecteurs, cet édito d'un journal du CEA n'est pas inspiré par Greenpeace. Il annonce un passionnant article d'un invité de ScintillationS : Jean Poitou, ancien physicien nucléaire de Dapnia qui a bifurqué vers la climatologie. Jean s'est penché sur la saga des glaciers, qui ont avancé, reculé, encore avancé etc., mais qui reculent à présent de façon alarmante. La Terre se réchauffe inéluctablement, et l'Homo industrialis en est en bonne partie responsable. Ça, c'est la mauvaise nouvelle. La bonne, c'est qu'il s'en rend compte à présent. Depuis peu, car il a fallu plus de deux siècles de recherches pour acquérir les connaissances et les preuves capables de convaincre les sceptiques. Jean Poitou nous narre cette aventure historico-scientifique glaciaire et atmosphérique.



Le recul du glacier d'Argentières (Massif du Mont-Blanc, en Haute-Savoie)

Un film catastrophe récent envisage une conséquence paradoxale du réchauffement : plus aucune glace au pôle nord, le Gulf Stream s'arrête, ne réchauffe plus nos côtes et nous gelons. L'auteur n'a pas été jusqu'à imaginer que notre Terre chaude deviendrait comme sa lointaine cousine, un bloc glacé de roches sans vie. Nous l'avons échappé belle ! Mais ne tentons pas le Diable, gare au réchauffement, nous serions tous refroidis...

Une cousine lointaine de la terre

Grâce à un phénomène prévu par Einstein, on a découvert une planète solide dans la Voie lactée, à 22 000 années-lumière

Depuis 1995, les observations de planètes hors du système solaire se sont accumulées. Mais aujourd'hui, pour la première fois, on en a découverte une que l'on peut qualifier de « grande soeur » de la Terre car elle est « tellurique » (non gazeuse) et seulement quelque cinq fois plus massive. Les médias se sont faits l'écho à juste titre de cette grande première. Cependant cette découverte n'est pas remarquable par son seul contenu, mais aussi par la nouveauté de la méthode utilisée, celle des microlentilles gravitationnelles, pour le moment la seule qui permette de découvrir des planètes similaires à la Terre.

Notre galaxie, la Voie lactée, est en rotation. Tous ses composants tournent autour de son centre ; le Soleil, par exemple, met environ 200 millions d'années pour en faire le tour. Toutes les étoiles, visibles ou non, se déplacent donc dans le ciel mais, à l'échelle d'une vie humaine, ces mouvements sont imperceptibles. Mais ils sont bien réels et, comme les étoiles de notre Galaxie sont très nombreuses (près de mille milliards), à tout instant, environ une étoile sur un million passe devant une autre étoile.

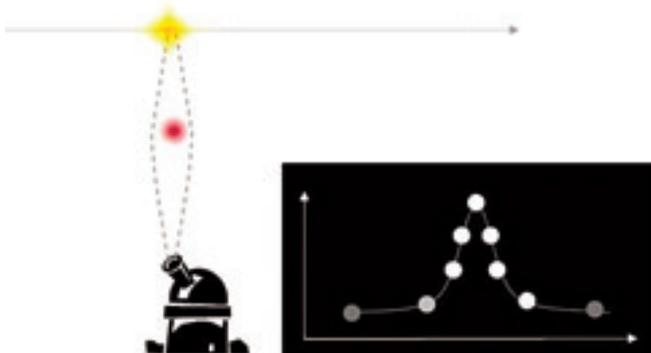


Figure 1 : Lorsqu'une étoile peu brillante (ici en mauve) s'interpose entre une étoile lointaine (en jaune) et le télescope terrestre, elle peut concentrer la lumière de l'étoile lointaine. Il y a alors formation de deux images, tellement proches que l'observateur terrestre ne peut les séparer. A cause de ce phénomène, on reçoit plus de lumière de l'étoile lointaine. La courbe représente la variation de la lumière reçue de l'étoile sur plusieurs mois.

Lorsque ces rares alignements se produisent, ils donnent lieu à un phénomène – calculé dès 1912 par Einstein – dit de *microlentille gravitationnelle*. Alors professeur à Prague, le génial Albert est en train de bâtir la théorie de la relativité générale. L'une de ses conséquences est que toute matière dévie la lumière passant à proximité. Einstein n'est pas encore en possession de la théorie finale. Mais il calcule correctement l'influence d'une étoile qui traverse le chemin de la lumière se propageant d'une étoile lointaine vers un observateur terrestre. Cette étoile, au lieu de faire écran comme on s'y attendrait classiquement, sert de « loupe » en concentrant la lumière de l'étoile lointaine : on la qualifie alors de microlentille¹. Pour l'observateur, tout se passe comme si la luminosité de l'étoile lointaine augmentait au fur et à mesure que la lentille s'approche du « point d'aligne-

ment », puis décroissait quand elle s'en éloigne (voir figure 1). À l'époque, Einstein juge l'observation de ce phénomène rare si improbable qu'il ne publiera ses résultats qu'en 1936, sur l'insistance d'un de ses correspondants². C'est pourtant ce calcul qui est une des bases de la découverte.

Vu la rareté des microlentilles, il faut, pour en observer quelques unes, surveiller des dizaines, voire des centaines de millions d'étoiles. Cela conduit les observateurs à se focaliser sur le centre de notre galaxie, une zone appelée le bulbe, où la densité d'étoiles est importante. Quand une étoile ordinaire de la Voie lactée (une naine rouge) passe devant une étoile du bulbe, la luminosité apparente de cette dernière varie sur environ deux mois. L'objectif des observateurs est de mesurer ces variations de luminosité pour de nombreuses microlentilles. En comparant les mesures avec des prédictions obtenues à partir de nos modèles de la distribution des étoiles dans la Voie lactée, on vérifie que ces modèles sont de bonne qualité.

Les planètes semblent bien loin dans tout cela. Et en effet, au menu des microlentilles, c'est presque toujours « plat unique » : les variations de luminosité sont régulières, parfaitement expliquées par le passage d'une étoile devant une autre (figure 1). Mais certaines de nos lentilles peuvent se transformer en « plat garni ». Si elles sont accompagnées

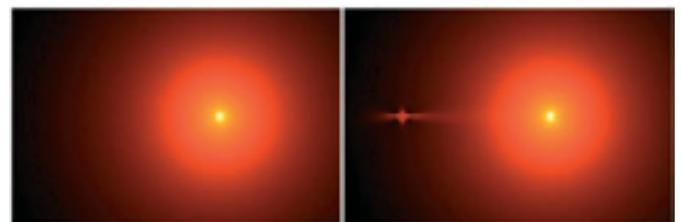


Figure 2 : Une cartographie de la capacité d'amplification des microlentilles. A gauche, le cas où la microlentille est une étoile unique. Le niveau de brillance indique de combien sera augmentée la lumière reçue de l'étoile source lointaine en fonction de la position de celle-ci par rapport à l'étoile-lentille. La brillance maximale correspond à un alignement parfait entre source et lentille. Noter la symétrie circulaire de la figure. A droite, la lentille est une étoile accompagnée d'une petite planète. La figure est similaire à celle de gauche, mais la présence de la planète se traduit par une zone de l'espace – en forme de carreau d'un jeu de cartes, les opticiens parlent de « caustique » (ScintillationS n° 38) – où la lumière reçue de l'étoile lointaine est notablement accrue. Cette zone n'est alignée ni avec l'étoile-lentille, ni avec la planète elle-même. Si l'étoile lointaine passe derrière le « carreau », une anomalie sera visible dans les variations de luminosité. Sinon, on observera une courbe analogue à celle de la figure 1 (Merci à Arnaud Casan de l'Institut d'astrophysique de Paris).

(1) Micro, car la déviation de la lumière est infime : 2,5 nanoradians, soit un deux-millième de seconde d'arc, ce qui représente un déplacement d'environ un mètre à la distance de la Lune !

(2) Les calculs originaux n'ont été découverts qu'en 1997 dans un document des archives d'Einstein, mais ce n'était pas un brouillon des cahiers. L'article d'Einstein fut publié dans le volume 84 de Science (1936), page 506. L'article sur ses calculs de 1912 : Science, volume 275 page 184 (1997).

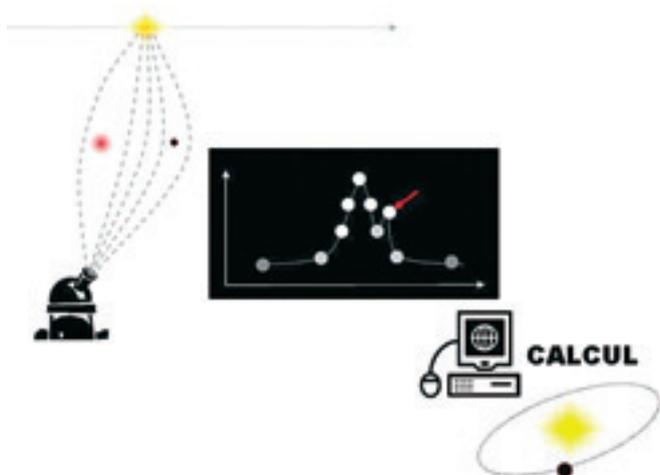


Figure 3 : Le cas favorable où l'étoile lointaine (en jaune) passe « derrière le carreau » de la Figure 2. Le système de lentille double étoile (mauve) + planète (noir) peut fabriquer jusqu'à 5 images de l'étoile lointaine. Ce passage se traduit par la petite bosse secondaire observée dans les variations de luminosité sur la courbe (flèche rouge). De nombreux calculs sont encore nécessaires pour estimer la masse de la planète.

d'une planète, celle-ci, bien que moins massive que son étoile-lentille, peut contribuer notablement aux variations de luminosité. Cela ne se produit pas à tout coup : il faut en plus que la trajectoire relative de la lentille et de l'étoile du bulbe passe par certains points favorables (voir figures 2 et 3), ce qui fait intervenir une dose de hasard. Les observateurs contournent ce hasard en observant de nombreuses microlentilles. Finalement, la présence de la planète se traduit par une petite excursion dans la variation de luminosité, d'autant plus courte et moins intense que la planète est petite (respectivement 8 heures et 20 % pour la découverte récente, voir figure 4). C'est la petite taille de cette excursion qui guide la stratégie des observations.

Pour détecter un tel phénomène, une bonne coordination est indispensable. Tout d'abord, un groupe, dit « d'alerte », doit surveiller des dizaines de millions d'étoiles et être capable de détecter les phénomènes de microlentille dès leur début. C'est le rôle joué par la collaboration polonaise Ogle, qui repère et annonce 500 phénomènes de microlentille par an, dont plus de cent sont en cours à tout moment. Parmi cette centaine, d'autres groupes « de suivi » doivent savoir faire de bons choix : quelles microlentilles en cours sont les plus susceptibles de révéler la présence de nouvelles planètes ? Ces groupes de suivi doivent impérativement disposer de télescopes répartis tout autour de la Terre, car un phénomène de 8 heures ne peut être suivi que par un observatoire où il fait nuit au bon moment. Le groupe Planet, auteur de la découverte, dispose de télescopes au Chili, en Australie et en Afrique du Sud (tous dans l'hémisphère Sud, d'où le centre de la Galaxie s'observe plus longtemps chaque nuit). Les membres du groupe aiment à dire que « *Le Soleil ne se lève jamais sur Planet* ».

Après une persévérance peu commune, puisqu'il effectue ces suivis de microlentilles depuis 1997, le groupe Planet a enfin trouvé sa récompense. Suite à une alerte d'Ogle le 11 juillet 2005, Pascal Fouqué (Observatoire Midi-Pyrénées) a détecté au Chili le début d'une anomalie le 11 août sur le

390e événement de microlentille de 2005. Elle a pu être confirmée quelques heures après par des observations en Australie (encart de la figure 4). Le travail est alors loin d'être terminé. Il faut d'abord continuer à surveiller cette étoile pendant plusieurs semaines, le temps que le phénomène de microlentille s'atténue ... ou que de nouvelles anomalies se produisent.

En parallèle, il faut se convaincre que la petite perturbation observée dans la variation de luminosité est bien due à une planète en orbite autour de l'étoile-lentille, et pas à une étoile double par exemple. Pour cela, on recourt à des simulations, faites à l'aide d'énormes programmes informatiques, permettant d'associer un ou plusieurs types de système planétaire plausible avec la courbe de variation lumineuse mesurée. Cette première recherche systématique peut fournir plusieurs solutions. Il faut alors d'autres calculs plus fins et une bonne dose de flair des chercheurs pour réussir, quand

Courbe de lumière de OGLE-2005-BLG-390 L'échelle verticale mesure l'amplification de la luminosité

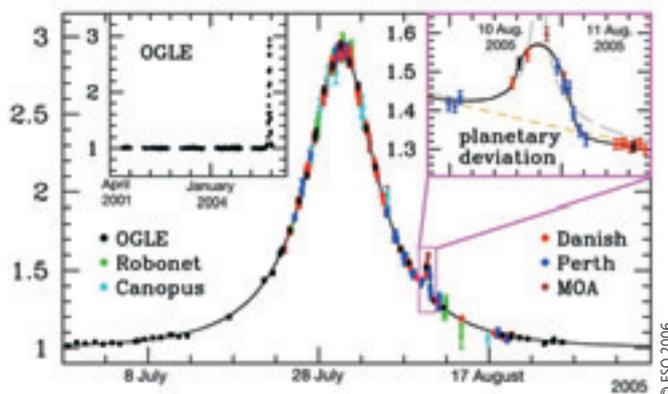


Figure 4 : Les observations des variations de luminosité d'une étoile galactique dues à la microlentille Ogle-2005-BLG-390. Dans l'insert en haut à gauche, les observations d'Ogle entre 2001 et 2005. Pendant 4 ans, rien ne se passe. Et puis en juillet-août 2005, c'est le Jackpot : un phénomène de microlentille avec « excursion planétaire ». La figure principale représente la variation de la luminosité en juillet-août 2005 ; l'excursion survenue vers le 11 août est zoomée en haut et à droite. Les différentes couleurs correspondent à divers télescopes ayant suivi ce phénomène. La ligne noire correspond à la meilleure description théorique.

c'est possible, à sélectionner la meilleure solution. Meilleures ont été les observations, plus cela est facile. Et l'on n'aura confiance dans le résultat que s'il est obtenu indépendamment par plusieurs programmes informatiques. Le calcul de la masse de la planète peut alors débiter ; il ne fournit pas une valeur précise mais un intervalle assez vaste, même quand les observations sont irréprochables. Dans le cas présent, la masse de la planète est probablement comprise entre 3 et 11 fois celle de la Terre, avec une valeur favorisée à 5,5 (c'est ce chiffre qui a été rapporté dans la presse).

La clef de cette découverte a été la persévérance, car il faut suivre de nombreuses microlentilles pour tomber sur la « bonne combinaison » de facteurs favorables : une étoile lointaine suffisamment brillante – pour avoir des mesures pré-

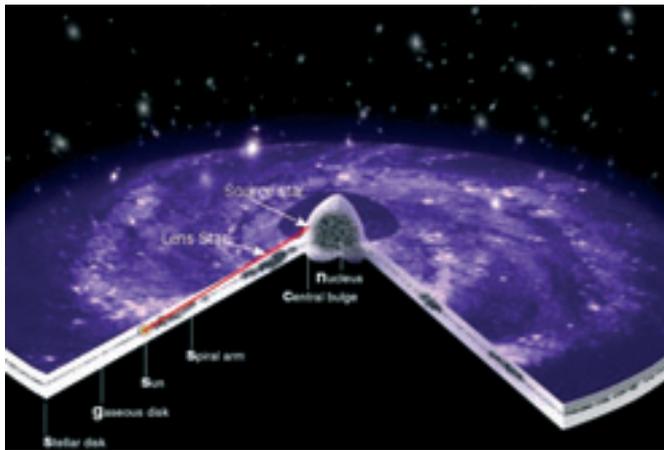
cises –, tout en n'étant pas trop grande – car l'anomalie est d'autant plus petite que le diamètre de l'étoile est grand – ; une planète suffisamment petite pour qu'on puisse parler de découverte, mais pas trop car il faut observer l'anomalie ; une trajectoire bien ajustée de l'étoile-lentille ; et enfin une bonne météo au bon moment.

Mais cette persévérance n'est peut-être pas le seul facteur. A ce jour, 170 planètes extrasolaires ont été découvertes, dont seulement trois par la technique des microlentilles. Sur ces 170 planètes, une seule a des caractéristiques la rapprochant de la Terre. Or, quelle que soit la technique utilisée, il est toujours plus difficile d'identifier une telle planète « tellurique » qu'une planète gazeuse géante (telle que Jupiter). Le fait qu'elle ait été détectée via le phénomène de microlentille est peut-être un simple hasard ... à moins que cette technique ne soit la première à obtenir la sensibilité suffisante pour détecter des planètes telluriques. Si c'est le cas, ces planètes pourraient être bien plus nombreuses que les planètes

géantes gazeuses, et Planet pourrait avoir effleuré le sommet de l'iceberg. C'est d'ailleurs ce que prévoient des calculs récents sur la formation de systèmes planétaires autour des étoiles « tout venant » de la Galaxie, les naines rouges.

La compétition sera néanmoins rude - et fertile - avec les tenants d'autres méthodes (voir l'encadré), telle que celle des vitesses radiales (qui a mené à la première détection d'une planète extrasolaire en 1995, à l'observatoire de Haute-Provence, par Michel Mayor et Didier Queloz de l'Observatoire de Genève)³, ou celle des transits⁴, qui devrait connaître en 2006 un développement important avec le lancement du satellite Corot du Cnes. Aucune de ces deux méthodes ne semble pour l'instant capable de révéler des planètes dont les caractéristiques rappellent celles de la Terre, tant en terme de masse que de distance à son étoile. Mais les progrès sont constants ... Qui sait ?

Alain Milsztajn (SPP)



Sur cette représentation en coupe de notre Galaxie, la Voie lactée, l'étoile-source appartient à la région centrale qu'on appelle le bulbe galactique, tandis que l'étoile-lentille se trouve à une distance intermédiaire, soit dans les bras spiraux du disque de la galaxie, soit aussi dans le bulbe. Image originale empruntée à l'Agence spatiale européenne, et retouchée par Andrew Williams, auteur des observations australiennes de la planète OGLE-2005-BLG-390Lb.



Le télescope danois de 1,54 m à l'Observatoire de La Silla, où les observations qui ont conduit à la détection de l'exoplanète ont été menées en juillet et août 2005

Ce qui nous réjouit particulièrement au Dapnia, outre d'avoir pu contribuer à ce très beau résultat, c'est qu'il illustre une certaine perméabilité des frontières entre disciplines ainsi que la difficulté de prévoir les retombées des recherches. En effet, Christian Coutures, physicien des particules au Dapnia et chercheur associé à l'institut d'astrophysique de Paris (IAP), qui a participé à cette découverte travaillait initialement dans une expérience de recherche de la matière noire par effet de microlentille (Eros). C'est cette activité qui l'a conduit à intégrer la collaboration Planet.

A. M.

Site à débiller :

http://www-dapniai cea.fr/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast_fm.php?id_ast=899

http://www.iap.fr/Actualites/Archives/2006/PLANET/LaUneArticle_0125.html

Contacts :

Christian Coutures (01 69 08 38 38) et Alain Milsztajn (01 69 08 70 49), tous deux du SPP.

(3) Pour être tout à fait exact, des objets « planétaires » ont été détectés en 1992 autour du pulsar PSR B1257+12. Leur nature demeure mystérieuse et leurs caractéristiques sont probablement bien différentes de celles des planètes orbitant autour d'étoiles plus ordinaires.

(4) Ceux qui ont observé le passage de Vénus devant le Soleil le 8 juin 2004 imagineront sans peine le phénomène (voir l'encadré).

Les diverses méthodes de recherche de planètes

Il existe de nombreuses méthodes de recherche de planètes autour d'étoiles de type solaire. Celle à ce jour la plus productive est basée sur la *mesure de la vitesse radiale de l'étoile*. En effet, l'étoile et sa planète tournent autour de leur centre de gravité commun, lequel ne coïncide pas tout à fait avec le centre de l'étoile, précisément à cause de la présence de la planète. L'étoile ainsi se rapproche et s'éloigne périodiquement de la Terre. Ce faible mouvement relatif peut se détecter via un minuscule effet Doppler périodique*. L'effet est proportionnel à la masse de la planète (plus la planète est grosse, plus le centre de l'étoile est éloigné du centre de gravité du système) et à l'inverse de la racine carrée de sa distance à l'étoile (plus la planète est proche de l'étoile et plus elle lui tourne vite autour). Il est donc plus facile de détecter des planètes massives et proches de leur étoile. Les appareils actuels permettent de mesurer une vitesse de 10 m/s pour des étoiles brillantes. On peut ainsi détecter des planètes de la masse de Saturne, distantes de leur étoile de moins que la distance Terre-Soleil. Une indétermination sur la masse de la planète subsiste car on ne connaît pas l'inclinaison du plan de l'orbite de la planète par rapport à la ligne de visée.

La *méthode astrométrique* vise à détecter le mouvement de l'étoile autour du centre de gravité étoile-planète par des mesures de *position* et non par des mesures de vitesse, comme pour la méthode des vitesses radiales. Cette méthode devrait produire ses premiers résultats prochainement car elle nécessite une mesure de position précise à quelques dizaines de microsecondes d'arc, un objectif qui sera atteint soit au sol, soit dans l'espace avec le satellite Gaia (ESA). La « détectabilité » est proportionnelle à la masse de la planète et à sa distance à l'étoile. Cette méthode favorise donc les planètes loin de leur étoile. Mais de telles planètes prennent beaucoup de temps pour faire un tour complet autour de l'étoile**. Cela impose de poursuivre les observations sur une longue période.

D'autres planètes ont été détectées par *transit*, c'est-à-dire lorsqu'elles passent devant le disque stellaire, en occultant une fraction (voir la note n° 4). Pour cela, il faut d'abord que le plan de l'orbite contienne la ligne de visée, et il faut mesurer la luminosité de l'étoile à 0,1 % voire 0,01 % près. La détectabilité est d'autant meilleure que la planète est grosse et proche de l'étoile. Des satellites tels que Corot (Cnes) ou Kepler (Nasa) pourraient fournir d'ici quelques années entre quelques dizaines et quelques centaines de nouvelles planètes d'une taille comparable à celle de la Terre.

La technique d'*imagerie directe* est difficile, mais pas impossible. On peut procéder en masquant l'étoile par *coronographie stellaire*, ou avec des techniques interférométriques.

Enfin, la technique des *microlentilles* fait l'objet de cet article. La détectabilité est proportionnelle à la racine carrée de la masse de la planète. La dépendance suivant sa distance à l'étoile est plus complexe ; pour faire simple, la détectabilité est optimale pour des distances planète-étoile allant de 2 à 5 fois celle de la Terre au Soleil.

Alain Milsztajn

* Voir ScintillationS n° 49

** Jupiter est environ 5 fois plus éloignée du Soleil que la Terre. Son « année » (durée d'une révolution complète) vaut presque douze fois la nôtre.

L'invité du Dapnia

Ancien du Dapnia et retraité du LSCE, Jean Poitou est particulièrement bienvenu dans nos colonnes, surtout depuis que le Dapnia contribue aux mesures de la teneur en CO₂¹. Et il est particulièrement bien placé pour nous narrer deux siècles de recherches qui ont permis aux scientifiques de se rendre à ce qui n'a pas toujours, et de loin, été une évidence : la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre, la surface occupée par les glaces et la température moyenne régnant sur Terre sont corrélées.

Effet de serre et grandes glaciations Deux siècles de recherches étroitement imbriquées

C'est à la fin du XVIII^{ème} siècle qu'eurent lieu les premières expériences sur ce que nous appelons « effet de serre ». Le naturaliste suisse Horace-Bénédict de Saussure célèbre pour son ascension du Mont Blanc en 1787, construisit son « héliothermomètre », une boîte en bois à fond noir fermée par quatre épaisseurs successives de verre, avec un thermomètre dans chaque compartiment. Il l'exposa au soleil. La température obtenue croissait

de l'extérieur vers l'intérieur, pour atteindre 87,7 ° Réaumur (soit 109,6°C) dans le compartiment le plus interne : il venait de fabriquer le premier panneau solaire. Il y avait donc piégeage de la chaleur par le verre. Il répéta ses expériences dans les vallées et sur les sommets des Alpes. Il suggéra que, comme le verre, l'atmosphère était susceptible de retenir la chaleur.

Ce naturaliste passionné des montagnes, avait aussi été très étonné par la

Qui aurait accordé du crédit aux intuitions d'un Aristote : « De même que l'hiver prend place dans les saisons de l'année, de même dans quelque grande période de temps, il survient un grand hiver [...]. Comparés à notre propre existence, ces phénomènes passent inaperçus... »

(Aristote, Les Météorologiques, 450 av. J.C.).

présence dans les Alpes de « blocs erratiques », ces blocs rocheux déposés, de façon mystérieuse pour l'époque, sur un sol de nature différente du bloc lui-

(1) Voir l'article sur Caribou dans ScintillationS n° 70.

même : « *Les granites ne se forment pas dans la terre comme des truffes, et ne croissent pas comme des sapins sur les roches calcaires.* »

Fasciné par le Mont Blanc, Saussure avait en 1760 offert une prime au premier qui atteindrait le sommet. Ce ne fut réalisé que le 8 août 1786 par Jacques Balmat, chamoniard chercheur de cristaux, et un médecin, Michel-Gabriel Paccard. Saussure fut le deuxième à gravir le toit de l'Europe, un an plus tard, accompagné de 18 guides et de son valet de chambre.



Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799)

Ils sont plusieurs Suisses à s'intéresser aux glaciers de leurs montagnes dans les années 1810-1830 : ils observent les blocs erratiques ça et là dans le paysage. Ils remarquent que des collines éloignées de tout glacier ont la même structure que les moraines qui bordent leurs glaciers. Enfin, des roches curieusement striées dans le sens de la pente se trouvent au fond des vallées. Ils se persuadent que les glaciers alpins ont eu par le passé une



Louis Agassiz (1807-1873)

Agassiz était un naturaliste aux vastes domaines d'intérêt, titulaire d'un doctorat de médecine, paléontologue et spécialiste des poissons. À côté de son important travail de zoologue, il se passionne pour les glaciers au point d'aller jusqu'à planter sa hutte sur le glacier de l'Aar pour y faire ses observations. Reconnu comme grand zoologue, il est invité à donner un cours à Boston et s'installe définitivement aux États-Unis où il obtient une chaire de zoologie et de géologie à l'université de Harvard, puis une chaire d'anatomie comparée à Charlestown. Il a profondément marqué l'enseignement de la zoologie aux États-Unis, mais sera le dernier grand zoologue à refuser la théorie de Darwin.

extension beaucoup plus grande que celle qu'ils connaissent. Idée totalement incroyable à cette époque. On pensait que la Terre, initialement en fusion, n'avait pu que se refroidir au cours des temps. Si elle avait subi un climat permettant une telle extension des glaciers, elle n'aurait jamais reçu l'énergie suffisante pour les faire fondre. En 1837, un autre naturaliste suisse, Louis Agassiz, comprend la réalité de l'extension passées des glaciers lors d'une exploration sur le terrain. Enthousiasmé par cette découverte et ce qu'il en a déduit, il l'expose avec fougue dans son discours d'ouverture d'une réunion scientifique internationale où il est censé parler de ses travaux de zoologie : le nord de l'Europe, de l'Amérique et de l'Asie ont connu une grande glaciation. Théorie invraisemblable, réfutée par tous ses collègues. Comment un continent aurait-il pu être recouvert d'un immense glacier ? Personne à l'époque ne connaissait les calottes de glaces polaires. On ne connaissait de l'Arctique que la partie maritime. L'intérieur du Groenland n'avait pas été exploré. Le continent Antarctique avait été aperçu en 1820 ou 1821 par les Anglais. La découverte de la Terre Adélie par Dumont d'Urville eut lieu en 1840 ; il y planta le drapeau français. Ce n'est qu'en 1895 que l'équipage norvégien du baleinier Antarctic prend vraiment pied pour séjourner sur le continent.

En 1840, Agassiz trouve sur le terrain en Écosse la preuve d'une glaciation ayant submergé la Grande-Bretagne ; mais les sceptiques ne seront convaincus qu'en 1862 de l'origine glaciaire et non aquatique des phénomènes observés. Il est vrai qu'entre temps (1852) une expédition avait découvert, avec la calotte groenlandaise, la possibilité d'existence d'un grand glacier continental.

L'énigme ne s'arrête pas là car les observations géologiques effectuées dans la seconde moitié du 19^{ème} siècle montrent qu'il n'y a pas eu une mais plusieurs glaciations séparées par des périodes chaudes.

Une fois admis le fait qu'il y a eu glaciation, puis déglaciation, il faut expliquer comment le climat a pu changer au point de permettre la formation

ou la fonte de ces grands glaciers. Si une glaciation unique posait déjà la question du réchauffement, pour expliquer plusieurs glaciations il fallait un phénomène cyclique permettant de basculer entre le chaud et le froid.

Parmi les phénomènes connus, certains soupçonnèrent l'effet de serre. Depuis les travaux de Saussure, la connaissance de cet effet avait progressé, grâce aux travaux de Joseph Fourier. En 1824, il décrit le fonctionnement général de la machine climatique : « La Terre est plongée dans la température du ciel planétaire mais elle est échauffée par les rayons solaires dont l'inégale distribution produit la diversité des climats. Tous les effets terrestres de la chaleur du Soleil sont modifiés par l'interposition de l'atmosphère et la présence de l'océan. Les grands mouvements de ces fluides rendent la distribution des températures plus uniforme. ». Il décrit l'effet de serre de l'atmosphère : « La température est augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur trouve moins d'obstacles pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière, qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure. »

En 1838, la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone sont reconnus comme gaz responsables de l'effet de serre, par le physicien français Claude Pouillet, qui effectua aussi la première mesure de la constante solaire (le flux de puissance rayonnée par le soleil).

En 1860, le savant irlandais John Tyndall envisage que l'effet de serre est une cause possible des déglaciations. Il fabrique le premier spectrophotomètre relatif, qui lui permet de mesurer



John Tyndall (1820-1893)

l'absorption des infrarouges par la vapeur d'eau, le gaz carbonique, l'ozone et les hydrocarbures. Il attribue l'essentiel de l'effet de serre à la vapeur d'eau. Il se convainc qu'une modification de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère a la faculté de modifier le climat.

Mais il y a d'autres voies d'exploration possibles pour un changement de climat. Une variation d'insolation

(3) L'humanité est en train de mener une expérience de géophysique à très grande échelle, cela pour la première fois de son histoire, et probablement aussi la dernière (Traduction d'Alain Milsztajn, du SPP).



James Croll
(1821-1890)

pourrait-elle produire ces cycles climatiques ? Dès 1864, l'écosais James Croll s'intéresse à l'influence de l'excentricité de l'orbite de la terre, dont il calcule la variation en s'appuyant sur les calculs qui avaient permis à Le Verrier de découvrir Neptune. Associant un hiver plus froid à une plus grande excentricité, et un renforcement du refroidissement provoqué par l'albédo de la neige qui aura pu s'accumuler, il conclut qu'il devrait y avoir une glaciation tous les 22 000 ans en alternance dans chaque hémisphère.

L'italien Luigi de Marchi publie à Pavie en 1895 une étude où il envisage, pour finalement toutes les exclure, neuf causes possibles de la variation des glaciations : 1) la température de l'espace environnant la terre ; 2) la constante solaire (puissance reçue du soleil) ; 3) l'obliquité de l'axe de la terre sur le plan de l'écliptique ; 4) la position géographique des pôles ; 5) la forme de l'orbite terrestre et particulièrement son excentricité ; 6) la forme et la dimension des continents et des océans ; 7) la couverture végétale ; 8) les courants atmosphériques et océaniques ; 9) la position des équinoxes. Les ayant toutes exclues, il conclut que seul un assombrissement de l'atmosphère pouvait provoquer une glaciation.

De Marchi a-t-il envisagé la conjonction de plusieurs de ces causes comme le fera Milankovitch ? Arrhénius cite de Marchi, mais réfute ses conclusions. L'avenir dira que ce fut à juste titre.

En 1896, le suédois Svante Arrhénius, soucieux lui aussi d'élucider le mystère des glaciations successives, calcule, par bandes de latitude, l'hypothétique effet d'une variation de la concentration du dioxyde de carbone atmosphérique et de la vapeur d'eau sur le climat. Une augmentation de CO₂ produirait un réchauffement général, un peu plus élevé aux hautes latitudes. S'appuyant sur divers travaux de ses contemporains, il arrive à la conclusion que des processus physiques et chimiques dont la Terre est le

siège ont la capacité de produire les variations du CO₂ nécessaires.



Svante Arrhenius
(1859-1927)

Son travail de thèse sur les électrolytes qui lui valut le prix Nobel de chimie en 1903 fut très mal reçu par ses professeurs de l'université de Stockholm : ils ne lui accordèrent sa thèse qu'avec la mention la plus basse, dans le but de lui fermer les portes de l'enseignement universitaire...

Les travaux d'Arrhénius furent confortés par le géologue américain Thomas Chamberlin, lui aussi désireux de comprendre les glaciations, qui en 1897 publia une étude sur le stockage du CO₂ par les roches et les possibilités de variations importantes de sa concentration au cours des âges géologiques. Il réalisa le premier que pour comprendre le climat, il fallait tenir compte de différents phénomènes, et pas seulement de l'atmosphère et de l'océan.

En 1900, Knut Angström mesure l'énergie infrarouge absorbée en fonction de la quantité de CO₂ traversée, dans un tube contenant la même quantité, ou la moitié, ou le double du CO₂ de la colonne atmosphérique. Et il ne trouve pratiquement aucune différence. Personne à l'époque n'a compris que le phénomène atmosphérique n'était pas l'absorption simple par une masse donnée, mais qu'il fallait prendre en compte toute la colonne atmosphérique sur toute sa hauteur

Pour la communauté scientifique dans son ensemble, Arrhénius s'était donc trompé dans son raisonnement, considéré comme trop simpliste. Ainsi, on lui objectait que la vapeur d'eau, principal gaz à effet de serre, devait bien certainement inhiber toute action du CO₂, beaucoup moins abondant et dont les bandes d'absorption sont occultées par celles de l'eau : la résolution des spectromètres de l'époque ne permettait pas d'identifier les raies individuelles.

Dans les décennies qui suivent, Edward Hulburt est l'un des rares dissidents à croire encore au rôle climatique du CO₂. En 1931, il refait des calculs

sérieux d'absorption atmosphérique et confirme les résultats d'Arrhenius : augmentation de 4°C pour un doublement du CO₂ atmosphérique ; l'effet de serre est donc une explication plausible

Arrhénius voyait dans le réchauffement global un bienfait pour l'humanité, comme il l'a écrit dans son livre « *Världarnas utveckling* » (l'évolution des mondes) en 1906 : « Par suite de l'augmentation de l'acide carbonique dans l'air, il nous est permis d'espérer des périodes qui offriront au genre humain des températures plus égales et des conditions climatiques plus douces. Cela se réalisera sans doute dans les régions les plus froides de notre Terre. Ces périodes permettront au sol de produire des récoltes considérablement plus fortes qu'aujourd'hui, pour le bien d'une population qui semble en voie d'accroissement plus rapide que jamais. » [Edition en français : *L'évolution des mondes*, Béranger (1910)]. Mais il ne prédisait le doublement du CO₂ qu'au bout de plusieurs millénaires, compte tenu du taux de combustion annuel de charbon de l'époque. Le physicien Walter Nernst a d'ailleurs suggéré de brûler les excès de charbon pour augmenter l'effet de serre et fertiliser les cultures.

La mesure d'Angström serait probante si l'atmosphère ne faisait qu'absorber le photon émis par la surface terrestre. Or l'atmosphère, chauffée, émet aussi des infrarouges, qui peuvent à leur tour être absorbés, avec réémission etc. Il faut donc non seulement tenir compte de l'absorption primaire, quasi-totale dans la plupart des bandes d'absorption du CO₂, mais aussi des émissions et absorptions successives sur toute la hauteur de l'atmosphère. Un ajout de CO₂ n'augmente pas l'absorption primaire, déjà saturée, mais étend les réabsorptions successives vers les hautes altitudes, zones où les raies d'absorption ne sont pas saturées. Mais on ne l'a su qu'en 1952, grâce aux travaux théoriques de Lewis Kaplan.

(4) Fondée par Abraham Lincoln en 1863, la National Academy of Sciences se trouve à Washington.

des glaciations. Ses travaux, publiés dans *Physical Review*, une revue ignorée des météorologistes, n'auront pratiquement aucun écho dans cette communauté. En 1951, la société américaine de météorologie en est encore à publier un article expliquant que l'idée d'un effet climatique dû au CO₂ était abandonnée depuis qu'on avait noté que le CO₂ ne causait pas d'absorption supplémentaire par rapport à la vapeur d'eau. En outre, on considérait que la végétation et l'océan régulaient automatiquement la composition atmosphérique (G. N. Hutchinson, 1948).

En 1938, l'Anglais Guy Stewart Callendar, un ingénieur en machines à vapeur, passionné de météo, reprend la vieille idée d'Arrhénius du rôle du CO₂ dans les glaciations. Pour éclairer ce rôle, il met en évidence l'augmentation en cours de la température depuis le 19^{ème} siècle et évalue les concentrations correspondantes de CO₂. Il calcule que la variation de l'altitude de l'absorption due à l'augmentation de CO₂ explique l'augmentation de température observée. Il prédit la possibilité d'un changement climatique dû à l'accumulation du CO₂ par les activités industrielles, un changement climatique qui lui semble plutôt favorable. Mais lui non plus ne parvient à convaincre la communauté.

Entre temps, le serbe Milutin Milankovitch a repris les idées de Croll sur les variations d'insolation avec les paramètres de l'orbite terrestre. Ses études sur le climat débutent en 1912. C'est en 1920 qu'il publie sa courbe de l'insolation à la surface de la terre. En 1930 paraît un traité de climatologie dont il écrit l'introduction intitulée : Climatologie mathématique et théorie astronomique des variations du climat. Suivra un traité de géophysique dans lequel il développe sa théorie des glaciations, celle qui est maintenant universellement connue



Guy Stewart Callendar
(1898-1964)



Milutin Milankovitch
(1879-1958)

sous le nom de cycles de Milankovitch. Largement combattue dans les années 1950 par les météorologistes, qui trouvent les variations d'insolation beaucoup trop faibles pour causer les glaciations, cette théorie sera finalement étayée dans les années 1969-1976 par les mesures des sédiments océaniques qui montreront clairement les changements climatiques avec les fréquences prédites par Milankovitch. Le calcul précis sera effectué en 1978 par l'astronome belge André Berger.

De son côté, la recherche sur l'absorption atmosphérique se développe dans les années 50 à cause de la guerre froide. Tout ce qui touche l'atmosphère (ou les océans) peut être important pour les militaires. En 1956, Gilbert

Les cycles glaciaires-interglaciaires sont pilotés par la répartition géographique et saisonnière de l'insolation à la surface de la terre. Sous l'action gravitationnelle des autres planètes du système solaire, cette insolation varie de façon pseudopériodique avec l'excentricité de l'orbite, l'inclinaison de l'axe de la terre sur le plan de son orbite, et la précession des équinoxes. Les périodicités correspondantes sont de 100 000 et 413 000 ans pour l'excentricité, 41 000 ans pour l'inclinaison, 19 000 et 23 000 ans pour la précession.

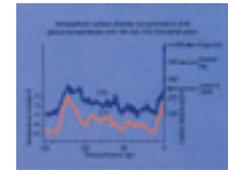
La variation de l'insolation est le processus déclencheur. Mais les climatologues comprennent aussi que si le phénomène a une telle ampleur, c'est qu'il induit des processus fortement amplificateurs tels que l'accumulation ou la fonte de neige, qui modifie fortement l'albédo de la terre ou la variation de la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre.

Plass effectue le calcul complet de l'absorption par le CO₂ sur toute la colonne atmosphérique, en considérant non plus des bandes mais bien les raies d'absorption du CO₂. Il en déduit le rôle climatique du CO₂, dont les variations peuvent conditionner les glaciations-déglaciations. Et compte tenu de ce qu'il sait des émissions de CO₂, il prédit une élévation de la température globale de 1,1°C par siècle.

Les sceptiques sur l'accumulation du CO₂ d'origine humaine cessent de l'être quand les mesures du taux relatif du carbone 14 dans l'atmosphère démontrent une augmentation de la part du carbone d'origine fossile (Hans Suess 1955).

Le principe d'une autorégulation de l'atmosphère est battu en brèche par l'océanographe Roger Revelle, lorsqu'il prend conscience que la chimie de l'océan empêche celui-ci d'être l'absorbant rapide de CO₂ qu'on imaginait. Et il prédit que les gaz à effet de serre vont réchauffer significativement le climat « Human beings are now carrying out a large scale geophysical experiment of a kind that could not have happened in the past nor be reproduced in the future . » (1957).

C'est à la fin des années 1950 aux États-Unis que les premiers signaux d'alarme sont lancés vers le grand public (Plass), puis au début des années 1960 en URSS (Mikhail Budiko), avec des prédictions d'augmentation exponentielle de la consommation de carbone fossile.



Courbes montrant la corrélation entre la teneur en CO₂ et la température mesurée à l'aide des carottes glaciaires prélevées à Vostok en 1987.

Mais les mesures du CO₂ atmosphérique, effectuées dans des pays industrialisés, sont très fluctuantes, du fait de l'activité humaine au jour le jour. Charles David Keeling installe des stations de mesure dans deux lieux éloignés des perturbations humaines, où il pourra mesurer la concentration globale du CO₂ : l'une sur le Mauna Loa, dans l'archipel d'Hawaï, l'autre en Antarctique. Deux ans de mesures lui suffisent en Antarctique pour mettre en évidence la croissance de la concentration atmosphérique du CO₂. Néanmoins, nombreux sont encore les scientifiques à penser que le CO₂ ne saurait être un problème pour le climat ; en outre, la baisse des températures enregistrée depuis les années 40 n'incitait pas à croire à un réchauffement.

Ensuite, le processus d'étude s'accélère, les différentes communautés scientifiques concernées par l'une ou l'autre composante de la machine cli-

matique collaborent. Le premier calcul complet de l'effet du doublement du CO₂ est effectué (Syukuro Manabe et Richard T. Weherald, 1967).

Les carottes de sédiments marins confirment l'existence des cycles avec les périodes de Milankovitch (James Hays, John Imbrie et Nicholas Shackleton, 1976) tandis que l'analyse du gaz emprisonné dans les carottes de glace montre la fantastique corrélation entre température et gaz à effet de serre (Jean Jouzel et ses collaborateurs, 1987).

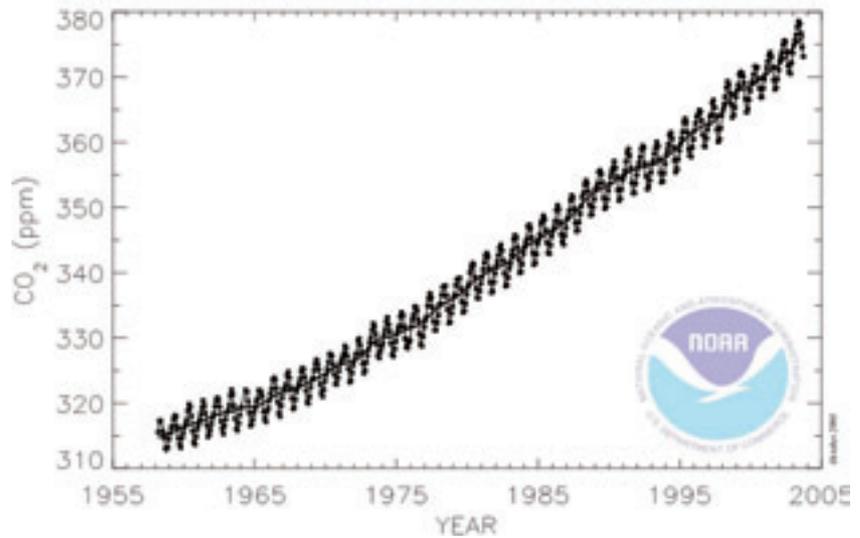
En 1979, un rapport sur le climat de la National Academy of Sciences (NAS) prévient que « attendre et voir venir signifie attendre qu'il soit trop tard pour prévenir un changement climatique inéluctable. »

En 1983, un autre rapport de la NAS confirme qu'un doublement du CO₂ conduira à une augmentation de 1,5 à 3,5°C de la température globale. La même année, toujours aux États-Unis, l'Agence pour la protection de l'environnement publie un rapport qui prévoit des impacts importants sur l'agriculture.

La prise de conscience mondiale se concrétise en 1988 par la création du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat). La forte éventualité d'un rôle de l'effet de serre sur le climat est ainsi officiellement reconnue. Le problème n'est plus seulement scientifique. Il fait son entrée dans le monde politique à l'échelle de la planète.

Jean Poitou (retraité du LSCE)

Le carbone 14 a une période de décroissance radioactive de 5736 ans. Les combustibles fossiles n'en contiennent donc plus depuis longtemps. Une augmentation du taux relatif de carbone 12 dans l'atmosphère est donc l'indice d'un rejet de carbone d'origine fossile dépourvu de cet isotope radioactif.



CO₂ atmosphérique mesuré au Mauna Loa (moyennes mensuelles)

Quelques sites à déballer pour en savoir plus

Un site très complet sur tout ce qui concerne le changement climatique :

<http://www.aip.org/history/climate/>

Historique des glaciations :

<http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Historique/Glaciation/Histoi-reglaciation.htm>

Effet de serre :

<http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Rayonnement/Articles/histoi-reffetdeserre.html>

Exploration des pôles

<http://www.cosmovisions.com/ChronoPolesExplo.htm>

Saussure

<http://hypo.ge-dip.etat-ge.ch/www/saussure/html/HBS/HBS.html>

Tyndall

<http://earthobservatory.nasa.gov/Library/Giants/Tyndall/>

http://en.wikipedia.org/wiki/John_Tyndall

Agassiz

http://fr.wikipedia.org/wiki/Louis_Agassiz

Arrhénius

<http://nobelprize.org/chemistry/laureates/1903/arrhenius-bio.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/Svante_Arrhenius

Milankovitch

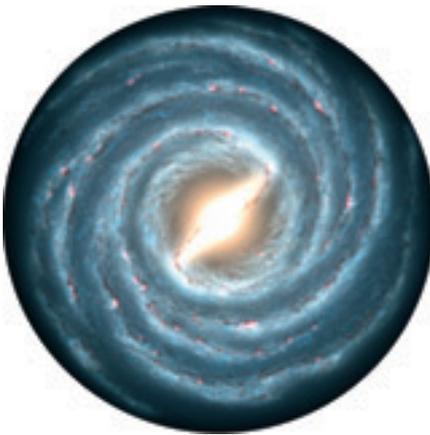
<http://www.answers.com/topic/milutin-milankovi>

<http://www.emporia.edu/earthsci/student/howard2/man.htm>

Une salve expresse de gluons d'honneur co(s)miques

Joli chapelet de gluons d'honneur dans un court article de *L'Express* (16-22 mars) : « Flash-back sur le big bang ».

Déballons et citons : « *Imaginez une explosion cosmique d'une poignée de secondes, détectée sous la forme d'un rayon gamma et qui s'est produite au plus profond de notre galaxie il y a quelques... 12,8 milliards d'années !* »

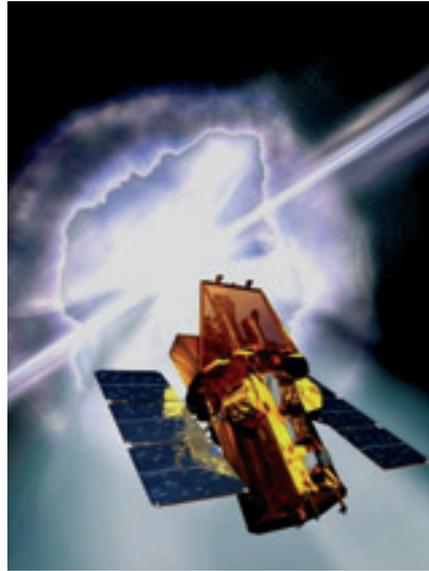


Non, les bras spiraux de cette galaxie ne représentent pas la trajectoire du photon express évoqué ci-dessus

Notre galaxie a beau être vaste, son diamètre n'est « que » d'un peu plus de cent mille années-lumière. Or un rayon gamma, c'est un photon. Zébrant l'Univers à la vitesse de la lumière (par définition), il ne lui faut environ « que » un peu plus de cent mille ans pour traverser la totalité de notre Voie lactée. Même produit au « plus profond de la Galaxie » (c'est où ?), il ne peut signaler un événement qui s'y serait produit voici 12,8 milliards d'années. En outre, un photon, un



Lancement de Swift



Swift en vue d'un sursaut gamma (vue d'artiste)

seul, c'est un peu juste pour tirer des conclusions. Les astronomes ont dû en détecter quelques autres...

Deuxième gluon : « *Telle est l'extraordinaire observation [...] grâce au télescope italo-américain Swift, situé en Pennsylvanie...* » C'est un scoop : la Pennsylvanie est satellisée ! En effet, lancé par une fusée Delta 4 depuis Cap Kennedy, le télescope Swift est en orbite depuis le 20 novembre 2004...

Jamais deux sans trois : « *Comme les rayons X, les rayons gamma sont des particules de lumière (photons) qui se situent dans l'infrarouge.* » Bon, d'accord, il existe des photons infrarouges, qui comme leur nom l'indique, ont moins d'énergie que les photons rouges, les moins énergiques des photons visibles. Mais les rayons X sont bien plus énergiques que les photons visibles et les rayons gamma encore plus. Surtout ceux qui proviennent de cataclysmes cosmiques. Notre confrère ne se trompe « que » d'un facteur d'au moins un million. Il pulvérise donc le gluon record d'Allègre (titulaire par ailleurs d'une chronique – non scientifique – dans *L'Express*), qui, confondant l'unité astronomique (environ huit minutes-lumière) et le parsec (3,26 années-lumière) ne se trompait « que » d'un facteur de l'ordre de 206 000 (*ScintillationS* n° 65).

Allez, encore un pour la route : « *Les*

spécialistes ont en effet calculé que le big bang avait été suivi pendant 200 à 500 millions d'années par une période de totale obscurité. » Or l'Univers, jusqu'alors plongé comme dans une sorte d'épais brouillard à la fois opaque (les photons s'y propageaient très difficilement, constamment diffusés par les particules électriques qui peuplaient l'espace) et presque aussi lumineux que le Soleil, est devenu transparent lorsque se sont formés les atomes, électriquement neutres, environ 300 000 ans après le big bang.

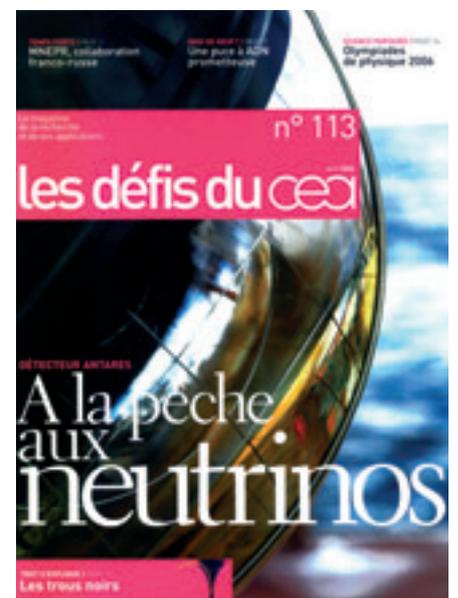
L'article s'achève en beauté : « *[...] ce type de travaux pourrait [...] lever le voile sur la mécanique céleste primitive.* »

Newton n'a qu'à bien se tenir...

Joël Martin (ScintillationS et SPhN)

Les défis d'avril (Défis viables)

En ce mois d'avril poissonneux où nous goûtons particulièrement les farces, notre excellent confrère *Les Défis du CEA* nous offre cette superbe couverture. Bienvenue au club des « *ndlr* » et vive les pêcheurs aux neutrinos, pêcheurs à belle mine, enquêteurs ambulants, véritables Maigret rêvant de découvrir des neutrinos tout au fond de leurs lignes !



Plumes du Dapnia



Le tandem de choc des astrophysiciens écrivains gamma du SAP, Michel Cassé (*photo de gauche*) et Jacques Paul (*photo de droite*), signe chez Odile Jacob un thriller cosmologique où le polar s'entrelace avec le dialogue scientifique : *Spin, roman noir de la matière*. Polar, ou, plutôt, pièce de théâtre. En scène, deux astrophysiciens, nommés A*** et B*** – afin, peut-être, que nul ne croie se reconnaître – qui n'ont en commun que leur discipline scientifique. A*** est l'archétype du chercheur brillant, mondain, médiatique mais un peu juste au plan théorique. Confiné dans son antre et dans ses équations, B*** cherche à passer directeur de recherche. Il compte sur A***. Tous les ressorts d'une noire rivalité sont en place.

Dans la salle, deux autres astrophysiciens, nos amis Jacques Paul et Michel Cassé. Assis côte à côte lors d'un colloque, ils ne s'y épanouissent guère, se retrouvent devant une grillade et s'abreuvent. *In vino veritas* : un dialogue s'engage, détendu, débridé, sur les trous noirs, la matière noire, l'énergie noire... Avant que d'être complètement noirs, nos duettistes décident d'écrire un roman scientifique où l'aridité des concepts serait tempérée par une intrigue haletante.

Le résultat se savoure à petites bouchées. L'intrigue est bien menée, le suspense ne faiblit pas, bien qu'on connaisse la chute dès les premières pages. Les dialogues aussi sont bien menés, mais parfois un peu longs, rompant quelque peu le rythme. Réserve mineure. On a deux bouquins pour le prix d'un, et ils se complètent fort bien : l'intrigue nous questionne, les questions nous intriguent. Belle symétrie, même si elle n'est pas (encore) super...

Joël Martin (ScintillationS)

Ceux que la muse habite



Nous, on Sédi,
Mais sans cause à effet :
Cette recherche on en causa... et fait.
Car si l'appliquer
Fonde un mental
D'enfer,
Comment expliquer
Qu'il est fondamental
D'en faire ?

Jean-Louis Ritou (Sédi)

Journées Dapnia, le 22 mars 2006

Va-et-vient (Faits et tribulations)

Février 2006 – Spécialiste en robotique, Gérard Hamon est muté de la DRT (Département des technologies des systèmes intelligents, à Fontenay-aux-Roses) vers le SAP. Doris Neumann-Maazi quitte le SAP pour la Direction des relations internationales à Saclay (elle s'occupera plus précisément des coopérations internationales dans le cadre des recherches fondamentales). Frédéric Michel est muté du SACM au Service des basses températures du Département de recherche fondamentale sur la matière condensée, à Grenoble. Souhaitons-leur réussite et épanouissement dans leurs nouvelles activités.



Mars 2006 – Maurice Gros (SAP) part en retraite. Ce n'est qu'un au-revoir, Maurice et bonne route ! Didier Gauthereau (Sédi) passe annexe I. Toutes nos félicitations ! Après un fructueux passage à la direction du Dapnia, Bijan Saghaï revient au SPhN. Bon retour au bercail Bijan ! Xavier Charlot quitte le Sédi pour le département de recherche médicale de la DSV.

Bonne route, « docteur Mégacam » ! Fabien Éozéno est recruté au SACM. Bienvenue dans la tribu !

Avril 2006 – Patrick Graffin (SIS), Rémi Granelli (Sédi), Johan Relland (SIS) et Philippe Venault (Sédi) passent Annexe I. Toutes nos félicitations ! Philippe Galdemard, un ancien du SAP, est muté du LSCE au SIS. Bonne route, Philippe !

Michel de Beer (SPP) et Michel Gagne partent en retraite, et on la leur souhaite pleine de bonnes choses joyeuses.

Mai 2006 – Vincent Hennion est muté du SIS au Département de recherches sur la fusion contrôlée. Bonne chasse et bon placement, euh pardon, bonne chance et bon plasma ! Yannick Mariette est recruté au SIS. Bienvenue dans la tribu !

Les lauriers du Dapnia Une thèse bonifiante

Jamais deux sans trois : Carlos Muñoz Camacho, ancien doctorant du SPhN, a obtenu le prix de la meilleure thèse de doctorat octroyé par le laboratoire Jefferson (JLab), en Virginie, aux États-Unis. Carlos a fait sa thèse sur la « diffusion Compton profondément virtuelle » dans le Hall A du JLab, un des « terminaux » de l'accélérateur Cebaf. Ses travaux ont contribué à une compréhension plus fine de la structure du proton en termes de quarks, via l'étude expérimentale des *distributions de partons généralisées*. Un des enjeux majeurs : mieux comprendre le spin du nucléon en fonction de celui de ses constituants¹.

Un grand bravo, Carlos !



Carlos au labo

(1) Voir *ScintillationS* n° 42, 50, 54, 55, 62.

C'est la troisième fois en quelques années que ce prix très convoité est attribué à un(e) docteur(e) formé(e) au SPhN, après Maud Baylac (en 2000) et Ludyvine Morand (en 2003). Ces succès récurrents témoignent de la qualité des étudiants sélectionnés, mais aussi de celle de leur formation. Cela devrait encourager d'autres doctorantes vocations d'après, en cette époque de vaches réputées maigres...

Merci à Franck Sabatié (SPhN)



Toupie or not toupie ?

Site à déballer :

<http://www-dapnia.cea.fr/Sphn/Clas/> et http://www-dapnia.cea.fr/Sphn/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_visu.php?id_unit=&id_ast=309

Un prix bien visé

La Division de physique nucléaire de la Société française de physique (SFP) et le Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse (CSNSM) du CNRS ont tenu leurs journées de physique nucléaire à Orsay les 23 et 24 février 2006. Lors de ces journées, un jury a décerné trois prix à des doctorants en physique nucléaire. Le premier prix est revenu à Emmanuel Clément (SPhN), et constitue une excellente pub pour sa thèse. Bravissimo, Emmanuel !

Titre de la thèse soutenue le 16 juin 2006 : « Étude de la coexistence de formes dans les isotopes légers du krypton et du sélénium par excitation coulombienne de faisceaux radioactifs ».

Selon son contenu en protons et neutrons et selon son état (fondamental ou excité), un noyau atomique peut prendre toutes sortes de formes : ballon de foot ou de rugby, cigare, soucoupe volante, et même d'autres formes encore plus biscornues. Pour faire court (et très schématique), un noyau de krypton (dont l'atome est un gaz « noble » de l'air) possède 36 protons. Il en existe plusieurs isotopes, dont le nombre de neutrons s'étage entre $N=33$ et $N=69$. Certains sont stables ($N=42, 44, 46, 47, 48, 50$), les autres instables.



Emmanuel Clément dans deux états d'excitation après son étude du krypton 74

Emmanuel s'est intéressé à deux isotopes instables « légers » : $N=38$ (^{74}Kr) et $N=40$ (^{76}Kr). À l'aide du faisceau de noyaux radioactifs Spiral², il a mesuré que ces deux isotopes étaient de forme allongée dans leur état fondamental et aplatie dans un état excité. Ces mesures sur le krypton (celles sur le sélénium ne mettent pas encore en évidence un tel phénomène) constituent autant de tests pour les théories qui prédisent mathématiquement ces formes. Ce qui est remarquable dans le cas du ^{74}Kr , c'est

qu'il faut très peu d'énergie d'excitation pour changer sa forme : une petite pichenette, un souffle d'énergie change le cigare en soucoupe volante.

Superman et sa planète natale Krypton n'ont rien à voir avec ces soucoupes volantes-là...

Contacts : Emmanuel Clément et Wolfram Korten (SPhN)
emmanuel.clement@cea.fr
wolfram.korten@cea.fr

Un petit nouveau au comité



Françoise Gougnaud



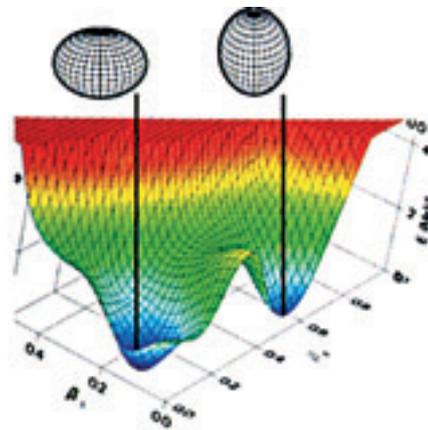
Olivier Cloué

Françoise Gougnaud, qui a longtemps représenté le SIS au comité éditorial de *ScintillationS* avec constance, gentillesse et efficacité, a souhaité prendre du champ vu sa charge de travail. Olivier Cloué, également du SIS et dont nos lecteurs connaissent la plume depuis son bel article sur « Caribou » (n° 70), la remplace.

Un gros merci, Françoise, et la plus cordiale bienvenue à toi, Olivier !

Le porte-parole

Krypton 74



Calcul de la variation d'énergie potentielle du krypton-74 en fonction des déformations du noyau

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Jean ZINN-JUSTIN
COMITÉ ÉDITORIAL : Joël MARTIN (porte-parole), Claire ANTOINE, François BUGEON, Rémi CHIPAUX, Olivier CLOUÉ, Philippe CONVERT, Christian GOUFFES, Pierre GUICHON, Christophe MAYRI, Alain MILSZTAJN, Xavier-François NAVICK, Yves SACQUIN, Angèle SÉNÉ, Didier VILANOVA

MAQUETTE : Christine MARTEAU

MISE EN PAGE : GRAPHOTEC

CONTACT : Joël MARTIN - Tél. 01 69 08 73 88 - Fax : 01 69 08 75 84 - E-mail : joel.martin@cea.fr

<http://www-dapnia.cea.fr/ScintillationS/>

Dépôt légal juin 2006

16!

(2) Spiral : acronyme du Système de production d'ions radioactifs en ligne (voir *ScintillationS* n° 53 et 59) du Ganil (Grand accélérateur national d'ions lourds), institut mixte CEA/CNRS situé près de Caen. Pour le krypton et les états fondamentaux et excités, voir *ScintillationS* n° 56.