

CBPF-NF-023/85

UNE HORLOGE ASTRONOMIQUE RYTHMERAIT-ELLE
LA DISPARITION DES ESPECES?*

par

G. Poupeau

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CNPq/CBPF
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
22290 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

CNRS - Paris, France

*A paraître dans: La Recherche.

Résumé

Certains paléontologistes ont cru reconnaître l'existence d'une périodicité d'environ 30 millions d'années (m.a.) dans les extinctions biologiques qui ont affecté la biosphère au cours des derniers 250 m.a. Dans cet article, on discute la validité de cette hypothèse et des mécanismes astronomiques récemment proposés pour en rendre compte.

Mot-clés: Extinctions biologiques; Comètes; Impacts; Biosphère; Évolution.

On sait depuis longtemps que le développement de la biosphère a été affecté à de nombreuses reprises par des "extinctions massives", au cours desquelles disparaissait brutalement une fraction plus ou moins importante des espèces animales et végétales. Il y a quelques années, Alfred Fisher et Michael Arthur⁽¹⁾, de l'Université de Princeton, suggérèrent que depuis 220 millions d'années (M.a.), les extinctions biologiques se seraient produites tous les 32 M.a., chiffre basé sur les espèces pélagiques (espèces marines vivant à grande profondeur). A l'époque, leur article n'avait semble-t-il pas été très remarqué, beaucoup moins en tout cas que celui publié en 1980 par Alvarez *et al.* de l'Université de Berkeley qui, à partir de la découverte d'un excès d'iridium dans des sédiments océaniques à la limite Crétacé-Tertiaire (65 M.a.), proposaient que l'impact d'un gros objet (comète ou fragment d'astéroïde) sur Terre ait été à l'origine de l'une des extinctions les plus connues: celle qui entraîna entre autres la "fin" des dinosaures (*La Recherche* n° 118, p. 78, janvier 1981).

Deux paléontologistes américains, David Raup et John Sepkoski de l'Université de Chicago⁽³⁾, viennent de conforter de façon appréciable l'hypothèse de Fisher-Arthur par une analyse statistique fine d'un corpus de données plus important. Leur étude porte sur 567 familles d'organismes marins qui se sont éteintes au cours des 250 derniers millions d'années. Ils observent ainsi que, tous les 26 M.a. environ, au moins 2% des familles (taux qu'ils définissent comme significatif d'une extinction) disparaîtraient (fig.1). Michael Rampino et Richard Stothers⁽⁴⁾ (NASA Goddard Institute for Space Studies), en définissant une extinction massive par la disparition d'au moins 10% des familles, identifient dans les mêmes

conditions un cycle de 30 ± 1 M.a. (tableau 1).

Raup et Sepkoski font remarquer qu'une période de l'ordre de 30 M.a. ne semble pouvoir correspondre à aucun déterminisme purement terrestre et invoquent, pour rendre compte de ces extinctions périodiques, l'intervention de processus externes qui pourraient être liés au système solaire lui même ou à des interactions avec son environnement galactique. Une série d'articles publiés en 1984 dans les revues *Nature* et *Science* devait apporter quelques réponses à leur interrogation.

Une horloge galactique ou solaire?

Dans sa rotation autour du centre de la galaxie (qu'il effectue en ≈ 250 M.a.), notre système solaire est animé d'un mouvement quasi-périodique d'oscillations de part et d'autre du plan galactique, avec une périodicité d'environ 67 M.a. (c'est à dire qu'il franchit ce plan tous les 33 ± 3 M.a.). Le calcul montre qu'au cours des 250 dernier millions d'années, la traversée du plan galactique aurait pu coïncider avec les grandes extinctions (voir tableau). Deux groupes d'auteurs, supposant que ces deux phénomènes sont effectivement synchrones, suggèrent que les conditions particulières régnant au niveau du plan galactique soient à l'origine des disparitions massives. Ainsi, Richard Schwarz et Philip James⁽⁵⁾ de l'Université de Saint-Louis estiment que l'augmentation des flux de rayonnement X ou celle du rayonnement cosmique particulière que l'on peut s'attendre à trouver dans le plan galactique pourraient troubler l'équilibre de la biosphère. Mais, ils ne proposent aucun mécanisme explicatif. De leur côté M. Rampino et R. Stothers, u-

utilisant une compilation récente de Richard Grieve⁽⁶⁾, mettent en lumière un troisième cycle: celui des grands impacts météoritiques sur Terre, marqués par des cratères aisément reconnaissables. Ces deux chercheurs ont calculé que des chutes de bolides importants auraient lieu sur Terre tous les 31 ± 1 M.a. (ce chiffre est très proche de celui de 28.4 M.a. déduit par Walter Alvarez et Richard Muller⁽⁷⁾ de la liste de cratères bien datés de R. Grieve). Ainsi, selon eux, la coïncidence est trop remarquable pour être le fait du hasard: les époques d'extinction seraient aussi celles de la traversée du plan galactique par le système solaire et celles de l'apparition des structures d'impacts majeurs (cratères...) sur Terre. La raison ultime de ce synchronisme, écrivent-ils, serait à rechercher dans des interactions de type gravitationnel.

Qu'est-ce qui fait tomber les comètes?

La densité de matière au voisinage du plan galactique est en effet relativement forte. C'est en particulier là que sont rassemblés les nuages interstellaires les plus importants. La masse de matière qui s'y trouve concentrée est énorme. Les nuages interstellaires de dimensions moyennes étant distribués de façon homogène dans le disque galactique, M. Rampino et R. Stothers imaginent que le passage périodique du système solaire à proximité-ou à travers - de l'un de ces nuages provoquerait la déstabilisation gravitationnelle d'une partie des comètes qui orbitent aux confins de notre système planétaire. Ces dernières - qui seraient réparties en un "nuage de Oort", le plus externe, et surtout un nuage interne très massif, pourraient acquérir une orbite très ellipti

leur permettant de pénétrer à l'intérieur du système solaire jusqu'au niveau de la Terre. Cet afflux de comètes se dissiperait en moins de 10 M.a. Pendant cette période, un certain nombre d'entre elles auraient pu entrer en collision avec la Terre et y déclencher éventuellement une catastrophe biologique. En effet, la quantité importante de poussières et de débris résultant de leur explosion aurait pu entraîner, en obscurcissant l'atmosphère de notre planète, de graves perturbations climatiques à l'origine des disparitions massives.

Pour expliquer la chute périodique des comètes, deux autres groupes de chercheurs (Daniel Whitmire (Univ. of SW Louisiana) et Albert Jackson (Computer Sc. Corporation, Huston) d'une part⁽⁸⁾, Marc Davis *et al.*⁽⁹⁾ (Berkeley et Princeton) d'autre part) ont proposé une solution différente qui consiste à admettre que notre système solaire serait en réalité un système double dans lequel le soleil aurait un compagnon, non encore découvert. Ce compagnon pourrait être soit une naine noire de masse $< 0,1 M_{\odot}$ (M_{\odot} : masse solaire) et de luminosité trop faible pour avoir été détectée, soit une naine brune, c'est à dire de masse trop faible ($< 0,07 M_{\odot}$) pour avoir pu déclencher l'ignition de son hydrogène, soit enfin, éventuellement, un trou noir de faible masse. Ce compagnon aurait soit une orbite très excentrique avec un aphélie situé au voisinage des nuages de Oort⁽⁸⁾, soit au contraire une orbite modérément excentrique dont le passage au périhélie entraînerait la traversée de ce nuage⁽⁹⁾. Quoi qu'il en soit, la rencontre du compagnon solaire avec les nuages cométaires entraînerait des perturbations importantes, qui périodiquement enverraient vers le système solaire interne des pluies de comètes, dont certaines pour

raient atteindre la Terre. On se trouve ainsi ramené à la dynamique des impacts cométaires discontinus sur Terre, comme dans le déterminisme de type galactique. Reste à se demander dans quelle mesure l'un au moins de ces modèles fournit une description adéquate de la réalité.

Les à-coups des chronomètres cosmiques

Pour séduisante qu'elle soit, l'idée d'un développement biologique scandé par un déterminisme externe doit cependant être, pour le moment, considérée avec prudence. Tout d'abord, les périodicités calculées par divers auteurs (1,3,4) ne semblent exister que pour les 250 derniers millions d'années. Quel que soit le traitement statistique appliqué aux données paléontologiques, aucune rythmicité ne se révèle véritablement pour le Paléozoïque, c'est à dire entre 570 et 250 M.a. environ. Par ailleurs, on n'a pas une périodicité au sens strict mais plutôt une pseudo-périodicité car la longueur des cycles oscille autour d'une valeur moyenne de 31 M.a. La toute récente analyse de Jennifer Kitchell et Daniel Pena⁽¹⁰⁾ suggère que cette pseudo-périodicité des extinctions biologiques, depuis 250 M.a., pourrait aussi bien avoir pour origine des causes endogènes, que des facteurs externes.

Cependant, l'existence d'une pseudo-périodicité n'est pas en soi gênante dans un modèle de contrôle externe. Elle peut résulter de plusieurs facteurs tels que la dynamique même des impacts cométaires: le retard entre la perturbation initiale des comètes et leur impact sur Terre est variable. Ensuite, les nuages in-

terstellaires perturbateurs ne sont pas uniformément répartis dans la région proche du plan galactique. En outre, la régularité des oscillations du système solaire par rapport au plan galactique peut être modulée par le champ galactique lui-même. Enfin, si l'on opte pour l'hypothèse du compagnon, ce dernier, en passant à proximité de nuages interstellaires ou d'étoiles, pourrait voir son orbite affectée d'irrégularités de l'ordre de 10% voire plus⁽¹¹⁾. Les à-coups de ces chronomètres cosmiques sont donc loin de les disqualifier. Ce qui rend fragile pour le moment l'hypothèse (ad hoc) du compagnon solaire est le problème de la stabilité de son orbite pour la période envisagée. Piet Hut (Princeton), qui est pourtant l'un des promoteurs de ce modèle, de même que Michael Torbett (Dpt. of Terrestrial Magnetism, Washington) et Roman Smoluchovski (Université d'Austin)⁽¹²⁾ viennent de montrer qu'une orbite d'environ 30 m.a. de période ne saurait être stable pendant 250 M.a. que dans des conditions très restrictives d'orientation par rapport au plan galactique, entre autres. Des spécialistes tels que Eugène Shoemaker du Jet Propulsion Laboratory à Pasadena⁽¹³⁾ ont par ailleurs exprimé des réserves sur l'existence même de ce compagnon.

Un argument possible: les excès d'iridium

Que peut-on dès lors penser de la connexion impact-extinction? Celle-ci paraît s'être considérablement renforcée en ce qui concerne l'évènement situé à la limite Crétacé-Tertiaire (environ 65 m.a.). Depuis le premier article⁽²⁾ d'Alvarez *et al.* (1980), le nombre des sites où ont été mesurés des excès d'iridium, notamment en France, n'a cessé de croître. Les mêmes auteurs en dénombreaient

déjà 36 en 1982 ⁽¹⁴⁾. Aujourd'hui la quarantaine est atteinte. La rapidité de cette extinction de la fin du Secondaire - et donc sa liaison avec un impact- avait été contestée par plusieurs paléontologistes qui lui opposaient, en particulier, la disparition progressive, à la même époque, des faunes de vertébrés continentaux dans les séries sédimentaires de l'Ouest américain. Toutefois, une nouvelle analyse de ces derniers gisements, effectuée par Smit et Van der Kaars ⁽¹⁵⁾, semble arguer à présent pour une disparition subite des espèces continentales, synchrone de celle des espèces marines. Qu'en est-il des autres époques-clés?

Si la connexion impact-extinction est réellement systématique, comme le soutiennent Raup et Sepkoski ou Rampino et Stothers, on devrait trouver dans tous les niveaux sédimentaires correspondant aux époques-clés des excès d'iridium ou d'autres indices d'impacts majeurs. Ce pourrait être le cas de l'extinction du Miocène moyen, datée stratigraphiquement entre 34 et 39 M.a. (tableau 1): on connaît en effet à la fois des excès d'iridium dans les sédiments marins des Caraïbes déposés dans cette gamme d'âge, et les auteurs qui ont effectué ces mesures ^(17,18) ont observé, dans des couches sédimentaires voisines, des microtectites (matériaux d'impact) qu'ils assimilent à celles du champ d'Amérique du Nord bien datées à 34 M.a. Sans aucun doute, les géochimistes vont largement utiliser les données du tableau 1 pour rechercher d'autres "simultanités" entre excès d'iridium et extinctions. Dans ce contexte, il n'est pas indifférent de relever que, l'année dernière, un excès d'iridium a été identifié dans des sédiments marins paléozoïques correspondant à la limite d'étage Frasnien-Famennien (environ 353 M.a.) ⁽¹⁹⁾.

Les impacts cométaires seuls n'expliquent pas tout

Il n'en reste pas moins vrai que certaines extinctions ne seraient pas aussi rapides que le supposent les modèles proposés ci-dessus. Ainsi, les modifications de la biosphère au passage Eocène-Oligocène (=37 M.a.) présenteraient une certaine progressivité⁽²⁰⁾. Cette dernière serait à corrélérer avec des changements d'ordre géologique, dont il n'est pas exclu d'ailleurs que leurs effets aient pu se cumuler avec ceux d'une causalité externe. La dernière étude statistique de Rampino et Stothers met d'ailleurs en évidence des pics de périodicité (répartis entre 18 et 36 M.a.) pour plusieurs phénomènes géologiques tels que: épisodes tectoniques, niveaux marins minima et discontinuités dans l'expansion des fonds océaniques. En outre, dans le modèle de l'horloge galactique, les "impacts cométaires" ne sont peut être qu'un épiphénomène dont les effets s'ajoutent à ceux produits par la traversée même du nuage interstellaire. Cette traversée, qui peut durer cent mille ans, est susceptible d'induire des changements suffisants dans l'atmosphère terrestre pour bouleverser temporairement la biosphère (La Recherche n° 153, p.393, mars 1984).

Que conclure? J. Kitchell et D. Pena⁽¹⁰⁾ nous recommandent la prudence: il est bon, disent-ils, de s'intéresser à d'éventuelles causes exogènes des extinctions, à condition de ne pas négliger les causes endogènes. Il ne faut pas oublier non plus que la "périodicité" des extinctions dépend de la définition opérationnelle que nous donnons de ces dernières⁽²¹⁾. D'une part, le choix d'un pourcentage-seuil pour définir l'extinction varie selon les auteurs, ce qui introduit l'incertitude sur le cycle. D'au

tre part, certains préfèrent à un pourcentage, où n'interviennent que le nombre des familles disparues au cours de l'étage et le nombre total des familles existant au début de cet étage, les probabilités d'extinction. La différence réside dans la correction effectuée sur le nombre total des familles; elle prend en compte les apparitions et les disparitions observées sur l'intervalle de temps choisi ainsi que la longueur de cet intervalle. En considérant ces probabilités, il n'apparaîtrait plus aucune périodicité d'extinction, selon Van Valen⁽²¹⁾. Alors: extinctions "catastrophiques" ou changements progressifs? Périodiques ou aléatoires? Le débat, relancé en 1980 par Louis Alvarez, demeure toujours ouvert. Ceci dit, si nous dépendons en quelque sorte d'une horloge cosmique, nous pouvons nous rassurer: les modèles actuels ne prédisent la prochaine extinction massive (naturelle) que d'ici une dizaine de millions d'années!

Légende des figures

Fig. 1: Ages, en millions d'années et intensités des extinctions biologiques depuis 250 M.a. selon Raup et Sepkoski (1984). Les verticales en pointillé correspondent aux cycle de 26 M.a. de ces auteurs. Leur mode de calcul exagère artificiellement l'intensité des pics les plus récents.

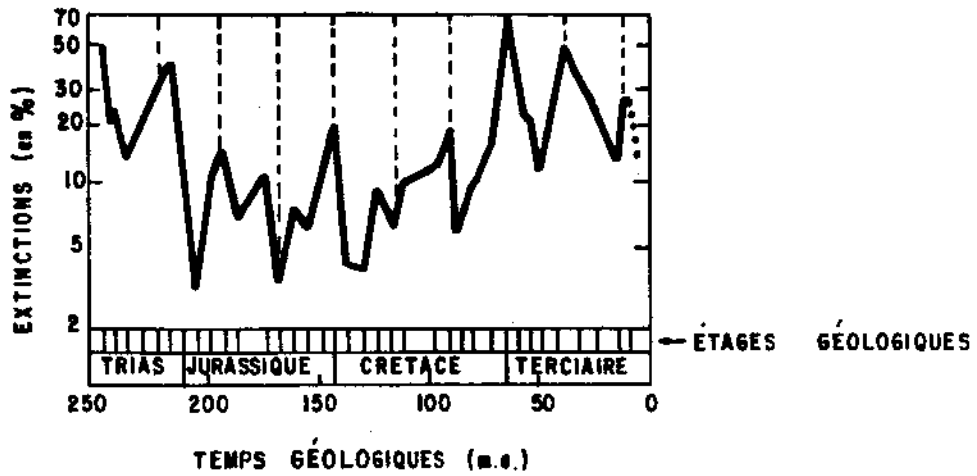


FIG.1

Tableau 1 - Comparaison entre les âges des extinctions biologiques au cours des derniers 250 millions d'années selon Raup-Sepkoski et Rampino-Stothers, et ceux de la traversée du plan galactique.

Etages Géologiques	Echelle de Harland*		Echelle de Odin*		Extinctions	Traversée du plan galactique	Différence		
	observées	prédites	observées	prédites				différence	
Miocène moyen	11.3	13	+1.7	11	9.4	+1.6	11	~0	+11
Eocène tardif	38	39	-1	34	35.4	-1.4	37	31	+6
Maestrichtien	65	65	0	65	61.4	+3.6	66	64	+2
Cenomanien	91	91	0	91	87.4	+3.6	91	100	-9
Hauterivien	125	117	+8	114	113.4	+0.6			
Tithonien	144	143	+1	130	139.4	-9.4	144	135	+9
Callovien	163	169	-6	150	139.4	+10.6			
Bajocien	175	169	+6	170	165.4	+4.6	176	166	+10
Pliensbachien	194	195	-1	189	191.4	-2.4	193	197	-4
Norien	219	221	-2	209	217.4	-8.4	217	227	-10
Olenekien	243	247	-4	239	243.4	-4.4			
Dzulfien	248	247	+1	245	243.4	+1.6	245	259	-14
				MODELE RAUP-SEPKOSKI			MODELE RAMPINO-STOTHERS		

* L'âge géologique attribué à une extinction biologique dépend évidemment de l'âge "absolu", c'est à dire exprimé en millions d'années, de l'étage géologique au cours duquel elle s'est produite. Différentes calibrations de ces âges absolus existent, et Raup et Sepkoski ont utilisé deux d'entre elles pour évaluer leurs données, celles de Harland et al. (1982) et de Odin (1982).

References

- (1) FISHER A.G. et ARTHUR M.A. (1977)
Soc. Econ. Paleont. Mineral., Tulsa, Oklahoma, Spec. Publ. 25, 19-50.
- (2) ALVAREZ L.W., ALVAREZ W., ASARO F. et MICHEL H.V. (1980)
Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction
Science, 208, 1095-1108.
- (3) RAUP D.A. et SEPKOSKY J.J., Jr. (1984)
Periodicity of extinctions in the geologic past
Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 81, 801-805.
- (4) RAMPINO M.R. et STOTHERS R.B. (1984)
Terrestrial mass extinction, cometary impacts and the sun's motion perpendicular to the galactic plane
Nature, 308, 709-712.
- (5) SCHWARZ R.D. et JAMES Ph. B. (1984)
Periodic mass extinctions and the sun's oscillations about the galactic plane
Nature, 308, 712-713.
- (6) GRIEVE R.A.F. (1982)
The record of impacts on earth: implications for the proposed Cretaceous-Tertiary impact event
Geol. Soc. Amer. Spec. Paper 190, 25-37.
- (7) ALVAREZ W. et MULLER R.A. (1984)
Evidence from crater ages for periodic impacts on earth
Nature, 308, 718-720.
- (8) WHITMIRE D.P. et JACKSON IV A.A. (1984)
Are periodic mass extinctions driven by a solar companion?
Nature, 308, 713-715.
- (9) DAVIS M., HUT P. et MULLER R.A. (1984)
Extinction of species by periodic comet showers
Nature, 308, 715-717.
- (10) KITCHELL J.A. et PENA D. (1984)
Periodicity of extinctions in the geologic past: determinism versus stochastic explanations
Science, 226, 689-692.
- (11) HUT P. (1984)
How stable is an astronomical clock that can trigger mass extinctions on earth?
Nature, 311, 638-641.

- (12) TORBETT M.V. et SMOLUCHOVSKY R. (1984)
Orbital stability of the unseen solar companion linked to periodic extinction events
Nature, 311, 641-642.
- (13) SHOEMAKER E. (1984)
Présentation orale, Annual Meeting of the Meteoritical Society, Albuquerque.
- (14) ALVAREZ W., ALVAREZ L.W., ASARO F. et MICHEL H.V. (1982)
Current status of the impact theory for the terminal cretaceous extinction
dans: Geological implications of impacts of large asteroids and comets on earth
Geol. Soc. Amer. Special Paper 190, pp. 527.
- ALVAREZ L.W. (1983)
Experimental evidence that an asteroid impact led to the extinction of many species 65 million years ago
Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 80, 627.
- (15) BONTE Ph., DELACOTTE D., RENARD M., LAJ C., BOCLET D., JEHANNO C. et ROCCHIA R. (1984)
An irridium-rich layer at the Cretaceous-Tertiary boundary in the Bidor. section
Geophys. Res. Letters, 11, 473-476.
- (16) SMIT J. et van der KAARS S. (1984)
Terminal cretaceous extinctions in the Hell Creek area Montana: compatible with catastrophic extinction
Science, 223, 1177-1179.
- (17) GANAPATHY R. (1982)
Evidence for a major meteorite impact on the earth 34 million years ago: implication for cocene extinctions
Science, 216, 885-886.
- (18) ALVAREZ, W., ASARO F., MICHEL H.V. et ALVAREZ L.W. (1982)
Irridium anomaly approximately synchronous with terminal eocene extinctions
Science, 216, 886-888.
- (19) PLAYFORD Ph. E., McLAREN D.J., ORTH Ch. J., GILMORE J.S. et GOODFELLOW W.D. (1984)
Irridium anomaly in the Upper Devonian of the Canning Basin, Western Australia
Science, 226, 437-439.
- (20) CORLISS B.H., AUBRY M.P., BERGGREN W.A., FENNER J.M., KEIGWIN L.D.. Jr. et KELLER G. (1984)
The Eocene-Oligocene event in the deep-sea
Science, 226, 806-810.
- (21) Van VALEN L.M. (1984)
A resetting of Phanerozoic community evolutive
Nature, 307, 50-52.