

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 88 (1962)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Les radiations dans l'univers  
**Autor:** Malamud  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-771845>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 26.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

devoir de sauveteur, pas plus qu'une entreprise de chemin de fer n'est libérée par le fait qu'un agent de police locale, négligeant son devoir, a omis d'enlever un obstacle sur la voie.

Du reste, la cause de dommage résidant dans l'attitude du tiers Wild était non seulement impropre à exclure la responsabilité de l'exploitant, elle était même insuffisante au point de vue quantitatif. Comme en matière de responsabilité civile des entreprises de chemin de fer, la faute d'un tiers ne peut exclure la responsabilité causale de l'entreprise que si elle constitue la seule cause ou du moins la cause prépondérante de l'accident, à tel point qu'à côté de cette cause celle du risque inhérent à l'exploitation ne peut entrer en ligne de compte (RO 33 II 499, 37 II 239, 38 II 426, 39 II 319) ; or il n'en est pas ainsi en l'espèce.

Au vu de ces considérations, la demande de dommages-intérêts paraît bien fondée en principe. Quant au montant de la réparation, il ne peut pas être fixé dans le présent jugement, car il existe à ce sujet différentes contestations sur lesquelles la Cour cantonale ne s'est pas prononcée. La cause doit donc lui être renvoyée pour fixer le montant de la somme due.<sup>1</sup>

A la suite de ce qui précède, la conclusion qui s'impose à tout ingénieur ou architecte, en face des risques de plus en plus grands que présente l'exercice des professions techniques, est de prendre l'engagement de respecter toujours plus fidèlement les règles professionnelles, malgré les tentations de la haute conjoncture, et aussi de conclure une assurance responsabilité civile. Au cours des dernières décennies, les risques techniques ont pris une extension tellement extraordinaire qu'il est nécessaire de prendre toutes les mesures adéquates pour parer aux dangers possibles. La technique moderne est entrée dans l'ère atomique, dont les risques sont si grands que les assurances privées n'ont pas la possibilité de les garantir sans le secours de l'Etat. La prudence doit donc être l'une des vertus premières de l'ingénieur et de l'architecte modernes, d'autant plus que le Droit s'adapte très lentement aux situations nouvelles.

## LES RADIATIONS DANS L'UNIVERS

par le Dr. MALAMUD, privat-docent à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne<sup>1</sup>

### Avant-propos

Dans l'échelle des connaissances humaines, le progrès de nos idées sur l'univers, sa structure et même son origine a été considérable durant ces quinze dernières années. Mais ce progrès est resté largement insoupposé en dehors du cercle étroit des spécialistes et des enthousiastes. C'est pourquoi ce cours a été organisé, qui servira d'introduction à différents problèmes de physique, sous le titre général « Les radiations dans l'Univers ».

Ce cours était conçu initialement comme un séminaire à l'intention des physiciens du laboratoire du professeur Haenny ; il exige la connaissance des bases de la physique, notamment de la thermodynamique et des réactions nucléaires, bien que très souvent, de par la nature du sujet et à cause du temps restreint à notre disposition, nous devions nous limiter à un traitement purement qualitatif des problèmes envisagés.

Je voudrais profiter de cette occasion pour remercier le Département de l'Instruction Publique, l'Université et l'Ecole polytechnique et tout spécialement M. le professeur Ch. Haenny, qui ont rendu possible et encouragé la réalisation de ce cours.

Dans cette leçon d'introduction, nous examinerons un exemple type de ce que les radiations peuvent nous apprendre sur l'univers : la nébuleuse du Crabe. Nous considérerons ensuite brièvement les dimensions des différents objets que nous aurons à étudier dans les semaines à venir.

### La nébuleuse du Crabe

En juillet 1054 un astronome chinois observa, dans la constellation du Taureau, l'apparition d'une nouvelle étoile. Celle-ci devint chaque nuit plus brillante, jusqu'à surpasser Vénus en éclat et finalement être visible en plein jour. Elle diminua ensuite progressivement d'éclat pendant 650 jours, jusqu'à n'être plus visible à l'œil nu, puis elle fut oubliée.

Neuf siècles plus tard un astronome américain, reconstruisant soigneusement la géométrie des événements astronomiques anciens, s'aperçut que la position dans le ciel où apparut la « nouvelle étoile » des Chinois était aujourd'hui occupée par un objet curieux connu sous le nom de nébuleuse du Crabe.

A la campagne, où les lumières des villes ne peuvent troubler l'observation, il est possible, à l'aide d'un petit télescope, d'observer ce faible objet. Une photographie en lumière monochromatique correspondant à une raie de l'hydrogène ionisé, suggère la ressemblance avec un crabe.

Que savons-nous de la nébuleuse du Crabe ? Des photographies prises à quelques années d'intervalle montrent qu'elle se dilate lentement. Cette expansion angulaire de 0,21° d'arc par an peut être extrapolée en arrière dans le temps, et l'on trouve ainsi qu'il y a 900 ans, toute la matière de la nébuleuse du Crabe était approximativement concentrée en un point. Si maintenant on enregistre le spectre de la lumière émise par l'enveloppe en expansion, on observe que chaque raie est dédoublée. Ceci est une conséquence de l'effet Doppler : une partie de l'enveloppe se rapproche de nous, et les raies de la lumière qu'elle émet nous apparaissent déplacées vers les fréquences élevées, c'est-à-dire vers le bleu ; une autre partie s'éloigne de nous et les raies apparaissent déplacées vers le rouge. L'écart en fréquence entre deux raies correspondantes, qui atteint 0,9 % de la fréquence moyenne, permet de déterminer la vitesse d'expansion selon la direction d'observation, soit environ 1300 km/sec. C'est là une vitesse respectable, quand on songe que les avions les plus rapides volent à 2 km/sec, et un satellite terrestre à environ 8 km/sec.

Des valeurs mesurées des vitesses radiales et angulaires, et moyennant l'hypothèse d'une expansion isotrope de l'enveloppe, nous pouvons déduire la distance à laquelle se trouve la nébuleuse du Crabe, c'est-à-dire  $4 \cdot 10^{16}$  km. Une unité de longueur mieux adaptée aux dimensions astronomiques est l'année-lumière (A.L.),

<sup>1</sup> Leçon inaugurale présentée à l'EPUL le 23.10.61.

distance parcourue par la lumière en une année, à raison de 300 000 km/sec. Eh bien, la distance entre la Terre et la nébuleuse du Crabe est de 4000 A.L.

Nous réalisons aujourd'hui que ce qu'ont observé les Chinois au XI<sup>e</sup> siècle était l'explosion d'une étoile, phénomène rarissime connu sous le nom de supernova, survenu en réalité 4000 ans auparavant. Depuis lors les gaz issus de l'explosion s'éloignent à vitesse constante du centre de la nébuleuse. Tel que nous l'observons aujourd'hui, c'est-à-dire tel qu'il était il y a 4000 ans, le volume occupé par ces gaz a un diamètre de  $3.10^{13}$  km.

Une supernova est le phénomène le plus gigantesque connu dans l'univers. Essayons d'évaluer l'énergie libérée dans une telle explosion. La masse de l'enveloppe en expansion est égale à 10 % de celle du Soleil, soit  $2.10^{32}$  grammes. La matière de l'enveloppe est complètement ionisée. Si nous calculons l'énergie cinétique et l'énergie d'ionisation, nous arrivons à un total de  $10^{48}$  à  $10^{49}$  ergs. C'est une quantité d'énergie difficile à imaginer, incomparablement supérieure à l'énergie mise en jeu par les phénomènes terrestres. Une bombe à hydrogène de 50 mégatonnes développe une énergie de  $10^{22}$  ergs, un ouragan 10 à 100 fois plus, un tremblement de terre important, peut-être 1000 fois plus. Mais il ne s'agit là que d'insignifiants pétards par rapport à la supernova. À son maximum, l'éclat de la supernova du Taureau dépassait celui de toutes les étoiles de la galaxie (Voie lactée) réunies, et leur nombre est de quelque 200 milliards.

Mais l'histoire n'est pas encore finie, et ces dernières années nous ont réservé d'autres surprises. Vers 1950, par la technique encore nouvelle de la radio-astronomie, on se mit à rechercher les sources discrètes d'ondes radio dans l'univers, les radio-étoiles. Une des sources les plus intenses connues coïncide en position avec la nébuleuse du Crabe (Taureau A). De plus, les ondes radio émises par le Crabe ne sont pas d'origine thermique, car leur spectre est différent de celui d'un corps chauffé à une température donnée. L'origine de ces ondes radio intenses du Crabe resta mystérieuse jusqu'à ce qu'un astronome russe avance l'hypothèse que ces ondes étaient engendrées par un mécanisme appelé radiation de synchrotron. Ce genre de radiation est émis lorsque des électrons de grande énergie ( $10^9$  ev) se déplacent dans un champ magnétique. Dans ces conditions ces électrons émettent également de la lumière visible, fortement polarisée ; cette polarisation est effectivement observée dans le rayonnement visible de la nébuleuse du Crabe.

Ces observations prouvent deux choses : la présence d'électrons de grande énergie, et celle d'un champ magnétique. Le champ est sans doute très faible ( $10^{-3}$  gauss) en comparaison des champs réalisés sur la Terre, mais étendu à un volume aussi vaste, il lui correspond une énergie magnétique énorme. D'ailleurs la découverte de l'existence de ce champ magnétique soulève de nouvelles questions, concernant son origine. S'agit-il d'un champ magnétique « historique », c'est-à-dire existant antérieurement à l'explosion et peut-être lié à la cause de celle-ci ? Ou le champ est-il engendré dans le gaz ionisé, par conversion d'énergie cinétique en énergie magnétique ? Ce problème n'est pas encore résolu. De même on peut se demander quel mécanisme

est susceptible d'accélérer des électrons jusqu'à des énergies suffisantes pour produire la radiation de synchrotron observée. Des suggestions ont été faites, mais là encore, la question reste posée.

Enfin, pour mentionner un dernier trait caractéristique de la supernova du Crabe, pourquoi son éclat diminua-t-il de façon exponentielle avec une période de 60 jours, qui est aussi celle des autres supernovae observées depuis, sur lesquelles nous avons des informations plus précises. Une coïncidence étrange, et qui n'est peut-être pas accidentelle : un isotope d'un élément chimique récemment découvert, le californium 254, a une période de décroissance radio-active, par fission spontanée, d'environ 60 jours. Cette coïncidence nous amène indirectement à un problème fondamental, celui de la formation des éléments chimiques, et en même temps nous suggère une solution possible : les supernovae pourraient être les marmites gigantesques où s'opère la synthèse des éléments lourds, comme l'uranium ou le thorium, et qui une fois par siècle, dans chaque galaxie, déversent dans l'espace, par une explosion spectaculaire, le produit de leur alchimie. Quel mécanisme peut amener une étoile à exploser ? D'après Chandrasekar, si sa masse dépasse une certaine valeur critique, une étoile doit finir par exploser après une période plus ou moins longue de contraction. Durant sa phase de contraction elle élabora des éléments de plus en plus lourds, jusqu'à contenir une proportion appréciable de californium, élément terminal d'une longue chaîne de transmutations nucléaires.

Mon but, en vous parlant, en guise d'introduction, de la nébuleuse du Crabe, était d'en arriver à vous poser cette question, dont la réponse est d'ailleurs évidente : comment connaissons-nous, avec un tel luxe de détails, un objet qui n'est même pas visible à l'œil nu ? C'est grâce aux différentes radiations que nous en recevons.

### Les dimensions des choses

Si nous examinons le tableau ci-dessous, il semble même évident que la majeure partie de l'univers ne nous sera jamais accessible autrement que par l'intermédiaire des radiations. En effet, si nous pouvons dès maintenant envisager une exploration de l'espace, celle-ci restera longtemps limitée au système solaire : il sera possible d'étudier directement les planètes, les nuages de gaz et de poussières, les champs électromagnétiques qui entourent le Soleil jusqu'à une distance de quelques milliards de kilomètres. Notre génération verra probablement la construction d'une station spatiale sur une orbite terrestre ou même sur la Lune, ou encore un sondage de l'atmosphère solaire par une fusée porteuse d'instruments divers. La science progresse si rapidement que tout cela ne nous étonne plus.

Longueur en mètres	Exemple typique
$10^{-15}$	Diamètre du proton.
$10^{-14}$	Diamètre du noyau atomique le plus gros.
$10^{-12}$	Distance moyenne entre les atomes du centre des étoiles les plus denses (comme, par exemple, le Crabe avant l'explosion).
$10^{-9}$	Grandeur d'une molécule d'huile.
$10^{-7}$	Epaisseur d'un film d'huile sur l'eau.
$10^{-6}$	Longueur d'onde de la lumière rouge.
$10^{-5}$	Diamètre d'un globule rouge.

$10^{-2}$	Diamètre d'un crayon.
$10^1$	Hauteur d'un arbre.
$10^3$	Hauteur du Mont-Blanc.
$10^5$	Longueur du lac Léman.
$10^7$	Rayon de la Terre.
$10^9$	Rayon du Soleil.
$10^{11}$	Distance de la Terre au Soleil.
$10^{13}$	Grandeur du système solaire.
$10^{17}$	Distance à l'étoile la plus proche.
$10^{19}$	Distance à la nébuleuse du Crabe.
$10^{20}$	Distance au centre de la galaxie.
$10^{22}$	Distance à la galaxie la plus proche (Andromède).
$10^{25}$	Distance à l'objet photographié le plus éloigné (une galaxie).

Mais parvenus à ce point, nous devons nous arrêter, car nous sommes devant une frontière. Seule l'imagination la plus fantaisiste peut représenter une expédition vers les étoiles ou les galaxies ; une visite à la nébuleuse du Crabe appartient pour longtemps au domaine de la science fiction. D'autre part, notre connaissance de cette partie de l'univers est purement passive, c'est-à-dire que toute expérimentation est impossible ; nous ne pouvons pas demander au Soleil de s'arrêter. Nous ne pouvons pas prendre une étoile d'un type donné, la jeter sur une autre étoile pour observer ce qui se passe. Nous ne pouvons que mesurer ce que la nature nous envoie, imaginer des théories qui expliquent ce que nous observons et nous guident pour nos futures observations.

De notre laboratoire, qu'il soit sur la Terre ou à bord d'une station spatiale, nous recevons une diversité incroyable de radiations, véritable message de l'univers, un message que nous apprenons progressivement à déchiffrer et qui nous révèle le drame gigantesque qui se déroule autour de nous. Les profondeurs de l'espace recèlent une variété infinie de phénomènes de toutes natures et de toutes dimensions. Les durées s'y mesurent en milliards d'années, des températures existent, supérieures à toutes celles que nous pouvons réaliser sur Terre. Les objets les plus petits, les atomes d'hydrogène individuels, y jouent leur rôle important, dans un vide si parfait que chacun d'eux dispose d'un vaste espace pour lui seul. Quelques-unes de ces particules sont animées d'une vitesse voisine de celle de la lumière, et comme elles ne peuvent pas dépasser cette vitesse, elles gagnent de l'énergie par un accroissement de leur masse, selon un processus que nous ne comprenons encore qu'imparfaitement.

A l'autre extrémité de l'échelle, les galaxies peuplent l'univers au-delà de toute limite observable. Chacune est constituée de centaines de milliards d'étoiles dont nous pouvons, grâce à leurs radiations, reconstituer la structure et imaginer l'évolution. Nous savons que les réactions nucléaires qui se produisent au sein des étoiles entretiennent leur rayonnement et synthétisent les éléments chimiques. Dans les galaxies, nous trouvons également de nombreuses sources d'ondes radio, et probablement aussi celles du rayonnement cosmique.

Parmi les galaxies elles-mêmes, nous pouvons distinguer des différences de types qui suggèrent une évolution. A mesure que nous repoussons les bornes de l'univers observable, des questions de plus en plus fondamentales se posent à nous : celle de la nature de l'espace, en relation avec la distribution de la matière dans l'univers ; celle de l'âge de l'univers lui-même, que l'on cherche à déterminer par l'étude des amas globulaires d'étoiles. Peut-être d'ailleurs l'univers est-il sans âge, et n'a-t-il ni commencement ni fin. Nous sentons que

nous nous aventurons dans un domaine naguère réservé exclusivement aux théologiens.

### Nos liaisons avec l'univers

Elles sont essentiellement de quatre types :

1. Rayonnements électromagnétiques de toutes fréquences.
2. Rayons cosmiques (protons et noyaux d'autres éléments, accélérés à de très grandes vitesses).
3. Neutrinos.
4. Ondes de gravitation.

A ces quatre types de rayonnement correspondent les quatre types de forces connus en physique. On pourrait penser à d'autres liaisons avec l'univers, par exemple les météores, mais il semble que ceux-ci ont leur origine dans le système solaire, et que par conséquent l'information qu'ils peuvent nous fournir est limitée à cette région de l'espace.

Sur Terre, la réception des ondes électromagnétiques en provenance de l'espace est fortement perturbée par l'existence de l'atmosphère terrestre. En effet, celle-ci joue le rôle d'un filtre qui ne laisse passer les radiations que dans deux étroites bandes de fréquences, correspondant à la lumière visible et aux ondes radio. Télescopes optiques et radiotélescopes sont les instruments qui scrutent l'univers par ces deux « fenêtres » de l'écran atmosphérique. Nous pourrons sans doute dans un proche avenir nous libérer de cet écran et observer le spectre des ondes électromagnétiques dans sa totalité, ce qui nous réservera certainement quelques surprises.

Par contraste, l'étude du rayonnement cosmique est plutôt favorisée par la présence de l'atmosphère. Les particules primaires de grande énergie déclenchent une cascade de réactions nucléaires et produisent un grand nombre de particules secondaires dont la détection permet de déterminer l'énergie et la direction du primaire.

A l'heure actuelle, la détection des neutrinos et celle des ondes de gravitation sont encore au niveau des essais préliminaires.

### Conclusion

Nous vivons dans un univers ; il est là, comme une énigme à résoudre, comme un défi à notre imagination, et parce qu'il est là, nous sommes appelés à l'explorer. Bien entendu, cette exploration est purement passive, mais n'en est pas moins fascinante. Nous pressentons que dans les profondeurs de l'espace, parmi les astres embrasés qui luisent de toutes les couleurs du spectre, se trouve, d'une manière ou d'une autre, la réponse aux problèmes les plus fondamentaux, celui de la création, celui des particules élémentaires, celui de la vie.

Peut-être sur quelque planète lointaine, la vie existe-t-elle, peut-être des êtres intelligents essaient-ils de communiquer avec nous, à des distances de milliers ou de millions d'années-lumière ? Comment le savoir, sinon par l'intermédiaire des radiations ? En ce moment, des hommes essaient déjà de détecter un message intelligible superposé au « bruit de fond » de l'espace.

Par le moyen des radiations, les questions que tout être intelligent se pose sont soumises aujourd'hui à une investigation expérimentale systématique. Nous suivons son progrès avec intérêt, et nous en attendons avec curiosité et impatience les futurs développements.