

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 76 (1950)
Heft: 5

Sonstiges

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: 23.01.2026

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

à la parfaite adhérence du béton aux armatures en acier Caron qui empêche tout glissement local de celles-ci ; au grand soin apporté à la fabrication et à la mise en place du béton, ainsi qu'à la pose très exacte des barres d'acier Caron dont la manutention s'est montrée très facile.

L'ancrage continu des barres d'acier Caron, dont l'efficacité est supérieure à celle de tous les systèmes concurrents, a permis la suppression de tous les crochets terminaux des barres, ce qui a facilité la mise en place correcte du béton en diminuant l'encombrement du ferrailage.

La résistance à la compression du béton a été en général supérieure à 400 kg/cm² à 28 jours. Ce béton a un module d'élasticité élevé de l'ordre de 400 t/cm².

Les déformations du béton ont été du même ordre de grandeur : au milieu de l'arc, au-dessus du tablier (zone comprimée) ; au milieu de l'arc, au-dessus du tablier (zone tendue) ; au droit de la palée, au-dessus du tablier (zone tendue) ; au droit de la palée, au-dessous du tablier (zone comprimée).

Ceci aussi bien lors de la baisse de température que lors des essais de charges 1 et 2.

Ces constatations très importantes indiquent que le tablier travaille comme une masse homogène et que le béton tendu n'est pas fissuré.

Les taux de travail dus aux charges mobiles sont très modérés et n'atteignent qu'une fraction de ceux dus au poids mort (mesurés lors du décintrement) ou aux variations de température.

Les tensions dans le béton ont été presque les mêmes du côté aval et du côté amont du tablier du pont lors de l'essai n° 2 (charge excentrée d'un convoi circulant sur le côté amont du pont).

Il en a été de même pour les flèches mesurées au milieu de chaque travée du côté amont et aval du tablier. Les barres de répartition ont donc parfaitement rempli leur rôle et le tablier travaille comme un monolithe. La réalisation de ces qualités a été facilitée par l'emploi de l'acier Caron, qui empêche tout glissement local des armatures.

En résumé, le pont d'Aproz fait grand honneur à tous ceux qui ont contribué à sa construction.

La constatation que le tablier travaille comme une masse homogène et que le béton tendu n'est pas fissuré est d'une importance capitale, car, dans un tel ouvrage, même si l'on ne voit pas de fissures à l'œil nu, il se forme généralement dans le béton des fissures microscopiques, qu'on ne peut déceler qu'en comparant les allongements de la zone tendue avec ceux de la zone comprimée. Dès que les allongements de la zone tendue deviennent notablement plus grands que les raccourcissements de la zone comprimée — ou s'ils cessent d'être proportionnels à la charge — c'est qu'une fissure microscopique du béton s'est produite. Le résultat exceptionnel de nos essais mérite donc d'être relevé.

(A suivre).

DIVERS

Progrès récents en physique nucléaire ¹

Au cours des années qui ont suivi la fin de la guerre 1940-1945, de multiples exposés sous forme de conférences ou de publications ont permis d'entrevoir la possibilité de la production de l'énergie atomique en vue d'applications pacifiques, industrielles.

Dans ces exposés, on faisait apparaître comment cette libération d'énergie était la conséquence de réactions de désintégration par application du principe d'Einstein d'équivalence de la masse et de l'énergie.

Sans doute, la découverte des phénomènes de radioactivité en 1896 avait fourni la première mise en évidence de l'émission d'énergie atomique. Mais cette émission échappait à notre contrôle. Il fallut attendre 1919 pour obtenir les premiers résultats de désintégrations artificielles réalisées par

¹ Communication faite par M. GEORGES GUÉBEN, professeur de physique et de physique nucléaire à l'Université de Liège, à la tribune de l'Institut électrotechnique Montefiore, à Liège, le 23 octobre 1949. Nos lecteurs trouveront le texte complet, illustré de figures, au n° de février 1950 du *Bulletin scientifique de l'Association des ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore*.

Rutherford. Il fallut surtout l'année 1932 pour voir, avec Cockcroft et Walton, la première réalisation d'un accélérateur d'ions susceptible de produire des désintégrations. Dès lors, des progrès rapides furent obtenus à partir de voies diverses : générateurs de haute tension par multiplicateur de tension et redressement, générateurs électrostatiques, accélérateurs de résonance (cyclotrons). Il en résulta un développement rapide dans le domaine de la désintégration artificielle de la matière.

Ces résultats amenèrent des conclusions multiples. En particulier, nous nous bornerons à rappeler ici deux résultats fondamentaux.

D'une part, ces recherches conduisirent à la découverte des neutrons et à la démonstration de l'efficacité de ces particules comme agents de désintégration.

D'autre part, elles montrèrent, dans de nombreux cas, la libération d'une énergie très grande, supérieure à l'énergie mise en jeu : chaque fois, ce supplément d'énergie est acquis au détriment de la masse des atomes en présence, suivant la relation d'équivalence d'Einstein.

Cependant, dans toutes ces expériences, si l'on décèle la production d'énergies élevées, toujours, par suite du rendement dérisoire des réactions de désintégration, cette énergie est libérée trop parcimonieusement pour qu'une utilisation éventuelle puisse être envisagée.

La découverte, en 1939, de la réaction de fission et surtout la mise en évidence, peu après, indépendamment par Joliot et par Frisch, de la production de neutrons secondaires dans certaines réactions de fission, et notamment dans l'action des neutrons sur l'uranium, permirent d'envisager la production de réactions en chaîne susceptibles d'un accroissement considérable du rendement des réactions. Il devait en résulter un accroissement correspondant du rendement énergétique. Qu'il suffise de rappeler l'emploi des bombes atomiques à Hiroshima, Nagasaki, Bikini... Les piles à uranium-graphite ou à uranium-eau lourde-graphite sont une autre illustration du résultat acquis. Rappelons que, dans le cas de l'uranium, deux processus entrent en jeu : la réaction de fission avec neutrons secondaires est due à l'action des neutrons très lents sur l'isotope 235 de l'uranium, d'abondance 0,7 %. L'isotope abondant 238 donne lieu dans les piles à la formation successive de neptunium et de plutonium. L'intérêt de ce dernier est qu'il est susceptible, comme U 235, de subir sous l'action des neutrons la fission avec neutrons secondaires.

Dans les piles du type des piles à uranium-graphite, il y a donc deux processus qui se superposent : d'une part, production de ce plutonium à partir de U 238, d'autre part, entretien de la réaction par action des neutrons sur U 235. C'est afin que ce dernier processus ait lieu avec le rendement maximum qu'on doit interposer le milieu ralentisseur que constitue le graphite de manière à amener les neutrons à l'énergie optimum pour la réaction. Chaque réaction de fission s'accompagne de la libération d'une énergie de 150 à 200 Mev. Il y a donc, dans la réaction entretenue, libération d'une énergie considérable qui déterminerait rapidement une élévation de température du milieu : la réaction serait arrêtée si on ne prévoyait un refroidissement intense de la pile. Pendant la guerre, l'énergie calorifique ainsi enlevée au milieu était simplement rejetée. Actuellement, elle constitue un des points sur lesquels l'attention est portée. Ne pourrait-on utiliser cette énergie à des fins industrielles ?

La question posée depuis plusieurs années n'a pas encore reçu une solution satisfaisante.

Plusieurs raisons peuvent permettre de comprendre ce retard. On peut, par exemple, signaler que, si l'on dispose

d'une énergie considérable, cette énergie est cependant à un potentiel assez faible : la température de la pile (d'après les indications à notre connaissance) doit être inférieure à 200°. Des problèmes techniques sont posés par l'utilisation de l'énergie dans ces conditions, problèmes auxquels on espère voir apporter une solution pratique satisfaisante.

Quoi qu'il en soit, les espoirs restent entiers et on envisage dans un délai probablement inférieur à vingt ans, la possibilité de centrales électriques alimentées à l'énergie nucléaire. Certains vont même jusqu'à entrevoir la possibilité d'alimentation de gros paquebots.

Un autre problème, important au point de vue industriel, est la question du prix de revient de l'énergie ainsi obtenue. Les prévisions permettent de penser que, dans nos régions, ce prix de revient pourrait avantageusement entrer en compétition avec l'énergie produite par le charbon.

Il est cependant une raison qui retarde les réalisations pratiques. Il s'agit du problème international de la sécurité : toute solution permettant une application industrielle entraîne la possibilité de diversions vers la production d'armes atomiques, production qu'il importe d'éviter au maximum. Les difficultés que pose ce problème entraînent celui des matières premières.

Du point de vue belge, le problème présente un intérêt réel et un Institut interuniversitaire de physique nucléaire a mission d'en pousser l'étude.

Signalons en passant que l'énergie produite dans un réacteur tel qu'une pile uranium-graphite n'est pas le seul intérêt de tels dispositifs. Les produits secondaires de la réaction, parmi lesquels les rayonnements et les radioéléments artificiels de fission, présentent aussi une importance primordiale pour de nombreuses applications.

A côté des travaux et des recherches visant à la réalisation de cette utilisation industrielle, on voit apparaître une nouvelle tendance.

Toutes les réalisations obtenues jusqu'à présent dans le domaine de la désintégration artificielle de la matière l'ont été avec des énergies d'au maximum une dizaine de millions d'électronvolts. Avec ces énergies, on est dans le domaine des énergies de liaison des constituants nucléaires. On sait que l'énergie de liaison d'un neutron ou d'un proton est de 7 à 8 Mev. Ainsi le résultat des réactions obtenues ne peut être que l'addition ou la soustraction d'un ou deux des constituants nucléaires et la variation correspondante de quelques unités du nombre atomique et du nombre de masse de l'élément bombardé.

Si l'on pouvait atteindre des énergies plus grandes, de l'ordre de 150 à 200 Mev, on verrait apparaître des variations plus importantes. Déjà les réactions de fission nous ont laissé entrevoir ces possibilités. D'autre part, l'étude du rayonnement cosmique a mis en évidence l'existence de rayonnements d'énergie au moins de cet ordre.

Il en est résulté un nouvel effort pour la réalisation de machines basées sur de nouveaux principes et permettant d'accélérer des électrons ou des ions légers de manière à atteindre ces grandes énergies. Le succès éventuellement obtenu devait permettre d'augurer des réarrangements nucléaires amenant une meilleure connaissance des interactions entre les constituants, des transformations internes de ces constituants et peut-être (pourquoi pas ?) de conduire à de nouveaux moyens de libération massive de l'énergie atomique.

On est donc entré dans ce qu'on pourrait appeler un nouveau domaine d'énergie de l'ordre de centaines de millions d'électronvolts, par l'effort nouveau de la technique afin de

dépasser un certain seuil et par l'espoir d'atteindre de nouveaux phénomènes nucléaires.

Nouveaux générateurs

Il ne peut être question, dans un exposé sommaire, de les considérer tous, ni d'entrer dans beaucoup de détails. Nous en signalerons brièvement quatre types.

Synchro-cyclotron. — Dans le cyclotron, les particules (^1_1H , ^2_1H , ^4_2He) sont amenées par un fort champ magnétique sur une orbite circulaire en expansion ; elles sont, de plus, accélérées par un faible champ électrique. La durée de parcours d'une demi-orbite, entre deux accélérations consécutives, est donnée par :

$$t = \frac{\pi m}{\mathcal{H}e}$$

e et m étant respectivement la charge et la masse de la particule accélérée, \mathcal{H} , le champ magnétique.

Cette durée n'est constante que si m est constant. Or, pour des énergies supérieures à quelques Mev pour les particules lourdes, supérieures à 10 000 eV pour les électrons, la variation einsteinienne de la masse avec la vitesse n'est plus négligeable. Il en résulte qu'à partir d'une certaine énergie, la masse n'étant plus constante, la particule n'est plus en phase avec la tension appliquée, puisque le temps de révolution va croissant. Il faut donc allonger les intervalles de temps qui séparent l'application du voltage accélérateur à mesure que le rayon et que l'énergie augmentent.

Plusieurs solutions sont possibles.

On peut songer à réarranger le champ magnétique de manière qu'il croisse de façon appropriée à distance convenable du centre.

On peut aussi utiliser une tension oscillante accélératrice plus élevée entre les *dees* de manière que chaque impulsion amène un plus grand accroissement d'énergie : l'énergie finale serait acquise en moins de cycles, ce qui entraîne une influence moindre des facteurs perturbants.

Une autre solution consiste à faire varier la fréquence accélératrice de manière appropriée, en synchronisme. On a alors le *synchro-cyclotron*.

Un appareil de ce type a été réalisé à Berkeley (Californie) avec un électroaimant de 1500 tonnes muni de pôles de 4,60 m de diamètre.

Un seul *dee* fournit l'accélération.

Bétatron. — C'est un appareil d'accélération d'électrons dont l'idée est due à Kerst (Illinois). Le principe en est très simple.

On sait que, dans un transformateur, il y a production dans le secondaire d'une force électromotrice d'induction lorsqu'il y a variation de courant dans le primaire.

Utilisons comme secondaire une seule spire court-circuitée. Dès que le courant croît dans le primaire, il y a accélération des électrons libres de la spire, mais les électrons sont freinés dans le métal, d'où perte d'énergie par effet Joule et refroidissement ultérieur.

Substituons à la spire secondaire un tube de verre où règne le vide. Si on y injecte des électrons au moment où le courant varie dans le primaire, les électrons sont mis en mouvement sans freinage.

On a donc, en principe, un champ magnétique variable avec le temps qui produit une fem induite ; celle-ci accélère les électrons qui se meuvent suivant une trajectoire circulaire. Certaines conditions doivent être imposées à la distribution du flux magnétique le long de l'orbite pour que celle-ci reste stable.

Il faut donc disposer d'un champ magnétique à entrefer taillé de manière appropriée et d'un canon à électrons qui injecte ceux-ci au moment où \mathcal{H} commence à croître.

Supposons que le flux varie de Φ_1 à Φ_2 pendant le temps t .

La fem moyenne est $E = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t}$. Si la trajectoire a le rayon r , le champ électrique tangent $\mathcal{E} = \frac{E}{2\pi r}$ crée une force $F = e\mathcal{E}$ qui détermine une accélération $a = \frac{F}{m} = \frac{e}{m} \cdot \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{2\pi r t}$.

Par exemple, si $\Phi_2 - \Phi_1 = 1\,000\,000$ maxwells en $\frac{1}{1000}$ sec et si $r = 10$ cm, on trouve $E = 10$ volts et $a = 2,8 \cdot 10^{14}$ cm/sec².

Si on pouvait supposer m constant, la vitesse de la lumière serait atteinte en $\frac{1}{1000}$ sec.

L'électron ferait, pendant ce temps, 448 000 tours et le gain d'énergie serait de 4 480 000 ev.

En pratique, m varie avec la vitesse; ce qui amène des corrections. Les électrons accélérés sont reçus sur une cible et y déterminent des rayons X de très grande énergie susceptibles de produire des réactions assez différentes de celles des ions accélérés.

La General Electric Cy a réalisé un bêtatron permettant d'atteindre 100 Mev. Kerst a entrepris une réalisation qui lui fournira 300 Mev.

Synchrotron. — En principe, une particule est accélérée sur une orbite fixe circulaire par action répétée d'un voltage accélérateur; elle est maintenue sur l'orbite par une disposition convenable du champ magnétique. La tension accélératrice est fournie par un générateur du genre de ceux utilisés pour le radar. Ainsi Mac Millan (Californie) détermine l'accélération en faisant passer le faisceau de particules dans une cavité de résonance (oscillateur klystron).

L'appareil est beaucoup plus petit que le bêtatron et le cyclotron. En particulier, l'absence d'un champ magnétique puissant permet la réduction notable de l'aimant.

Accélérateur linéaire. — Dans ce générateur, il n'y a pas de champ magnétique. Les particules déjà accélérées dans un générateur d'un des types moins puissants sont envoyées dans un long tube rectiligne où elles sont soumises à des champs accélérateurs à haute fréquence.

Sloan et Lawrence utilisent un tube à plusieurs sections formées d'électrodes cylindriques de longueurs croissantes.

Alvarez (Californie) utilise des protons accélérés d'abord dans un générateur électrostatique Van de Graaf, puis accélérés dans l'accélérateur linéaire avec une tension de $\lambda = 1,50$ m.

Résultats. — Déjà de brillants résultats ont été obtenus. Nous avons vu que la G. E. C. a atteint 100 Mev avec le bêtatron.

Le synchro-cyclotron de 184 pouces de Berkeley a fourni des deutons accélérés à 400 Mev.

Avec le synchrotron de Berkeley, on a atteint 300 Mev.

Nouveaux résultats de transmutations

L'utilisation de ces très hautes énergies a déjà conduit à des résultats en accord avec les prévisions. Nous nous bornons ici à quelques exemples typiques.

Hopkins et Cunningham bombardant l'arsenic ($^{75}_{33}\text{As}$) avec des hélions à 400 Mev ont produit un radiochlore ($^{35}_{17}\text{Cl}$) de période 37 minutes. Il y a bien variation du nombre atomique Z de 16 unités et du nombre de masse A de 37 unités.

Miller et Thompson ont bombardé le cuivre ($^{63}_{29}\text{Cu}$) avec des deutons de 200 Mev et des hélions de 400 Mev. Ils ont

observé notamment la production de plusieurs radiomanganèses ($^{55}_{25}\text{Mn}$) de nombres de masses A compris entre 51 et 56.

Lindner et Perlman, par l'action des deutons de 200 Mev sur l'antimoine ($^{121}_{51}\text{Sb}$), ont mis en évidence la production de plusieurs radioéléments compris entre ($^{42}_{42}\text{Mo}$) et ($^{32}_{52}\text{Te}$).

Baldwin et Klaiber ont observé des réactions au cours desquelles plusieurs neutrons ou protons ou des combinaisons de protons et de neutrons sont émis. En particulier, l'irradiation du silicium ($^{28}_{14}\text{Si}$) conduit à un radiosodium ($^{24}_{11}\text{Na}$) par émission de 3 protons et 1 neutron. Afin de distinguer ces nouvelles réactions de désintégration au cours desquelles il y a production d'un grand nombre de petits fragments et variation notable du nombre atomique, Sullivan a proposé de les appeler *réactions de spallation*.

Ainsi le résultat attendu est nettement obtenu: dès qu'on atteint la région des très grandes énergies, il se produit de nouveaux réarrangements nucléaires puisqu'on dépasse nettement le niveau de l'énergie de liaison d'un seul constituant nucléaire. L'ensemble des nouvelles recherches conduira certainement à une compréhension plus large de la structure nucléaire et à la découverte de nouvelles possibilités.

Qu'en est-il, en particulier, de l'action des projectiles à très grande énergie sur les éléments lourds?

Sous l'action de deutons de 50 Mev sur l'uranium, O'Connor a observé la production de produits de désintégration allant jusqu'à l'élément du nombre atomique 85, l'astatine ($^{211}_{85}\text{At}$): il y a donc réduction du nombre de masse presque de 30 unités.

Avec des hélions de 400 Mev, il a observé sur l'uranium la production d'un nombre fantastique de radioéléments paraissant couvrir toute la région des nombres atomiques depuis l'uranium ($Z = 92$) jusqu'à la région normale des produits de fission (Z entre 34 et 62). Leur très grand nombre n'a pas encore permis l'étude détaillée complète: il semble bien qu'entre l'uranium et les terres rares, ils soient dus à des réactions de spallation; en dessous des terres rares, à des réactions de fission.

Alors que les réactions de fission n'étaient obtenues qu'avec les éléments très lourds: U, Pa, Th, le nouveau domaine d'énergie permet de provoquer la fission d'éléments de nombres atomiques moindres:

avec des deutons de 200 Mev, on produit des neutrons de 100 Mev qui amènent la fission du bismuth et du plomb;

avec des deutons de 200 Mev, on provoque directement la fission du bismuth, du plomb et du thallium;

avec des hélions de 400 Mev, on atteint, en outre, le platine et le tantale.

Toutefois, dans toutes les nouvelles réactions de fission, on n'a pas observé la production de neutrons secondaires. Il semble bien, jusqu'à présent, que les nouveaux résultats ne montrent pas la présence ou la possibilité de nouvelles réactions en chaîne. Toutefois, la possibilité n'est pas exclue à priori et l'avenir fournira certainement de nouvelles surprises.

Signalons aussi que les nouveaux générateurs ont permis la production expérimentale de *mésons*, ce nouveau type de particules qu'on appelle aussi électrons lourds et qui n'avaient été observées jusqu'à présent que dans les constituants du rayonnement cosmique.

Nous nous trouvons donc au début d'une période nouvelle qui nous apportera dans les années qui viennent une ample moisson de résultats intéressants.

Notre connaissance de la structure du noyau atomique et des constituants nucléaires en sera précisée. D'autre part, la production intensive de nombreux radioéléments artificiels permettra d'étendre encore le champ déjà si vaste et si fécond de l'application de la méthode des indicateurs radioactifs.