Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 71 (1945)
Heft: 26

Artikel: L'énergie atomique
Autor: Haenny, Ch.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-54112

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: 17.07.2025

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

71e année — 22 décembre 1945 — N° 26

BULLETIN TECHNIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :
Suisse : 1 an, 17 francs
Etranger : 20 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 14 francs
Etranger : 17 francs

Prix du numéro :
75 centimes

Pour les abonnements s'adresser à la librairie F. Rouge & Cie, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. Neeser, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. Epitaux, architecte, à Lausanne ; secrétaire : J. Calame, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg :* MM. L. Hertling, architecte ; P. Joye, professeur ; *Vaud :* MM. F. Chenaux, ingénieur ; E. Elskes, ingénieur ; E. Jost, architecte ; A. Paris, ingénieur ; Ch. Thévenaz, architecte ; *Genève :* MM. L. Archinard, ingénieur ; E. Martin, architecte ; E. Odier, architecte ; *Neuchâtel :* MM. J. Béguin, architecte ; R. Guye, ingénieur ; A. Méan, ingénieur ; *Valais :* M. J. Dubuis, ingénieur ; A. de Kalbermatten, architecte.

Rédaction : D. Bonnard, ingénieur, Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Publicité :
TARIF DES ANNONCES
Le millimètre
(larg. 47 mm.) 20 cts.
Tarif spécial pour fractions de pages.
En plus 20 % de majoration de guerre
Rabais pour annonces répétées.

ANNONCES-SUISSES S.A.
5, rue Centrale
LAUSANNE
& Succursales.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE
A. Stucky, ingénieur, président ; M. Bridel ; G. Epitaux, architecte ; R. Neeser, ingénieur.

SOMMAIRE : *L'énergie atomique*, par Ch. Hænny, professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne. — *Société suisse des ingénieurs et des architectes : Procès-verbal de l'assemblée des délégués du 22 septembre 1945* (suite et fin). — Carnet des concours. — Service de placement.

L'énergie atomique

par Ch. Hænny, professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne.[1]

Depuis la découverte de la radioactivité, il y a cinquante ans, chacun sait que le radium contient des réserves immenses d'énergie atomique qu'il ne peut libérer que très lentement, suivant un rythme imposé par sa nature.

L'utilisation de l'énergie atomique est restée théoriquement irréalisable jusqu'à 1939. Un résultat scientifique très nouveau et de la plus grande importance a été acquis à cette époque, à la suite de travaux poursuivis par des physicochimistes en France et en Allemagne.

L'énergie que l'on dit « atomique » a, en réalité, son origine dans une toute petite partie de l'atome, qui est aussi la plus essentielle et que l'on appelle le noyau.

Le noyau atomique.

Le noyau, quelque 100 000 fois plus petit que l'atome, constitue néanmoins presque toute la masse de l'atome. Il est chargé d'électricité positive et se trouve entouré d'une atmosphère légère et volumineuse, faite d'électrons négatifs dont les charges électriques neutralisent la charge positive du noyau ce qui fait de l'atome un ensemble électriquement neutre. Il est difficile d'imaginer vraiment la petitesse du noyau. La comparaison suivante peut aider à y parvenir. Si tous les atomes de notre corps pouvaient être dépouillés de leur atmosphère électronique, chacun de nous se réduirait à l'état d'une poussière microscopique d'un centième de millimètre, qui conserverait cependant tout le poids de notre corps, à un millième près.

Cette atmosphère électronique tient au noyau par la puissante attraction qui existe entre les charges d'électricité de signes contraires.

Les phénomènes chimiques les plus violents laissent indifférent le noyau de l'atome. La réaction chimique n'intéresse que les parties les plus extérieures de l'atmosphère électronique. C'est la raison pour laquelle le noyau de l'atome est si longtemps demeuré hors d'atteinte de nos moyens d'action et c'est sans doute un des plus grands succès de la science expérimentale de ce siècle que d'avoir pu porter l'expérience jusqu'au cœur de l'atome. A l'aide des radiations émises par les corps radioactifs, le noyau a pu être disloqué et du même coup l'atome a perdu son caractère séculaire d'inséccabilité. La voie des transmutations était ouverte.

La décomposition des noyaux atomiques a conduit à un résultat particulièrement simple et séduisant. Les noyaux des centaines d'espèces d'atomes connus ne sont constitués que de deux types de particules : les *protons* et les *neutrons*.

Ce sont là les deux seuls éléments du noyau, ou éléments nucléaires, susceptibles de se combiner en nombre variable pour former tous les noyaux, un peu de la

[1] Conférence donnée le 30 octobre 1945 à l'aula de l'Université de Lausanne, sous les auspices de l'Association amicale des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne, de la Société suisse des ingénieurs et des architectes et de la Société vaudoise des sciences naturelles.

même manière que les atomes de carbone et d'hydrogène sont susceptibles de former un nombre plus grand encore d'hydrocarbures.

Les noyaux stables contiennent en général à peu près le même nombre de chacune des particules, neutrons et protons. Toutefois, le nombre des neutrons d'un noyau dépasse d'autant plus celui des protons que le poids de l'atome est plus élevé.

Ces particules nucléaires sont animées dans le noyau de mouvements incessants un peu de la même manière que les molécules dans une goutte de liquide.

Le *proton* est lui-même un noyau, donc chargé d'électricité positive, le plus simple de tous les noyaux de l'atome, le plus léger, soit le noyau de l'atome d'hydrogène.

Le proton n'existe pas normalement à l'état libre dans la nature, il se trouve généralement entouré d'un électron qui constitue à lui seul son atmosphère électronique.

L'atome d'hydrogène animé d'une vitesse considérable, de l'ordre de grandeur de celle de la lumière, peut subsister à l'état de proton dépourvu d'électron périphérique. Seul son ralentissement lui permet de retrouver un électron parmi ceux toujours présents dans le milieu ambiant.

Le *neutron* a une dimension et une masse très voisines de celles du proton, par contre il n'a pas de charge électrique. Il ne peut donc retenir aucun électron périphérique et ne pourra en aucun cas devenir à lui seul le noyau d'un atome. Le neutron peut ainsi rester le même quelle que soit sa vitesse.

L'absence de charge électrique confère au neutron les propriétés les plus extraordinaires, c'est ainsi qu'il pourra sans difficultés, passer à travers des parois réputées les plus étanches, qu'elles soient faites de plomb, de fer ou de pierre. On ne connaît pas de substance qui puisse le contenir. Les neutrons se répandent comme un gaz qui s'échappe dans toutes les directions.

Un neutron ne poursuit pourtant pas indéfiniment une route sans obstacle. Tôt ou tard, parmi les noyaux d'atomes qu'il rencontre, il s'en trouve un qui l'absorbe pour devenir le plus souvent un atome radioactif, en même temps qu'il y a libération d'énergie.

Il existe des neutrons libres dans l'atmosphère et dans tout ce qui nous entoure. Leur nombre est infime par rapport à celui des molécules de la matière ambiante. Ces neutrons nous arrivent sans cesse avec le rayonnement cosmique. Ils disparaissent aussi sans cesse dans certains des noyaux des atomes qu'ils rencontrent.

On peut produire des neutrons en les expulsant des noyaux des atomes par l'action de rayonnements de grandes énergies tels que ceux émis par les corps radioactifs.

L'opération est simple, il suffit de réaliser le mélange intime d'un métal, le glucinium ou béryllium, par exemple, avec du radium ou tout autre corps radioactif émetteur de particules alpha ou de radiations gamma d'assez grande énergie.

Les neutrons ne pouvant être enfermés, ne peuvent être accumulés. Le mélange constitué par du radium et du glucinium émet sans cesse, au rythme de la désintégration radioactive du radium, des neutrons qui coulent rapides et disparaissent. C'est la raison pour laquelle on parle de source de neutrons. Moins d'un milligramme d'un gaz radioactif, le radon, mêlé à du glucinium en quantité suffisante, 1 gramme par exemple, émet quelque 25 000 neutrons par seconde.

Dans la figure suivante, les noyaux atomiques sont décrits par une représentation plane. Le noyau du glucinium est constitué de 4 protons et de 5 neutrons, tandis que le noyau d'hélium, ou hélion, ou particule alpha, est formé de 2 protons et de 2 neutrons. La particule alpha rapide pénètre dans le noyau de glucinium pour former un noyau composé qui ne dure qu'un temps infime et se décompose presque tout de suite en un noyau atomique de carbone et un neutron rapide (fig. 1). Ce neutron achèvera sa course dans le noyau de quelque atome où il se fixe en libérant de l'énergie et en rendant le plus souvent cet atome radioactif.

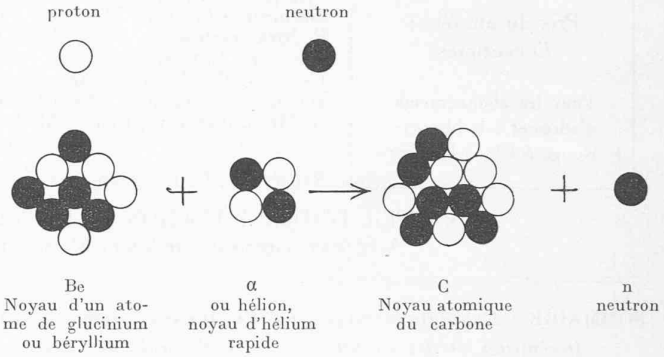

Fig. 1. — Schéma d'une réaction nucléaire servant à la préparation de neutrons.

La rupture des noyaux lourds.

Mais la capture d'un neutron par un noyau peut également donner lieu à d'autres transformations, en particulier s'il s'agit de noyaux d'atomes lourds, appartenant à des éléments chimiques de poids atomique élevé, tels que le thorium et plus spécialement l'uranium, dont les atomes sont les plus lourds que l'on connaisse dans la nature. Tandis que les noyaux légers et de poids atomique moyen sont sphériques et relativement rigides, les noyaux lourds sont facilement déformables. Ces derniers peuvent par suite, dans certaines conditions, se scinder en deux parties à peu près d'égale importance.

L'énergie libérée par la fixation du neutron dans un noyau d'uranium provoque à l'intérieur du noyau *composé*, formé par la réunion du noyau lourd et du neutron, une agitation si vive des particules nucléaires que le noyau peut se rompre en deux morceaux (fig. 2). Ces fragments constituent eux-mêmes deux nouveaux noyaux chargés de beaucoup d'électricité positive. Une répulsion violente, due aux forces de Coulomb, leur commu-

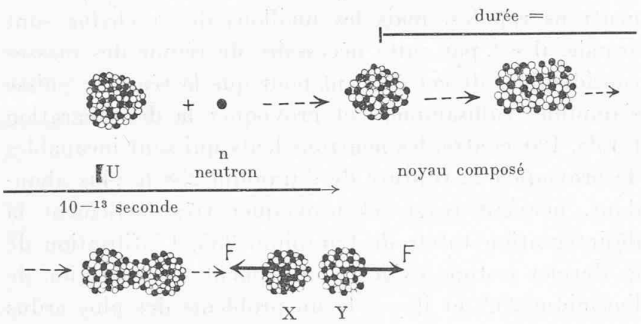

Fig. 2. — Schéma de la rupture d'un noyau lourd.

nique une vitesse voisine de celle de la lumière, vitesse freinée par la matière environnante tout au long d'un parcours qui est approximativement de 2 cm dans l'air aux conditions normales (0^oC, 1 atmosphère de pression).

Les fragments résultant de la rupture constituent des projectiles, qui sont les premiers que l'on connaisse à la fois si lourds et si rapides. Leur trajectoire, rendue visible par la condensation du brouillard sur la trace de leur passage, a été photographiée et étudiée.

Comme nous l'avons vu pour le proton, ou noyau d'hydrogène, ces noyaux prennent, tout au long de ces trajectoires, des électrons toujours présents dans le milieu ambiant, pour former leur atmosphère électronique et devenir ainsi, une fois ralentis, des atomes appartenant à divers éléments chimiques de poids moyen. En effet, ces morceaux ne sont pas égaux et la rupture ne s'opère pas toujours de la même manière, si l'on veut pas toujours au même endroit dans le noyau, il en résulte non pas deux éléments chimiques seulement mais plus de vingt échelonnés du brome de poids atomique 85 au cérium de poids atomique 140.

Les fragments rapides ont une énergie cinétique considérable en rapport avec la grandeur de leur charge d'électricité positive. Elle est 40 millions de fois supérieure à l'énergie dégagée par la combustion d'un seul atome de carbone. En effet :

$C + O^2 \longrightarrow CO^2 + 4$ électronvolts (ev)

$U +$ neutron $\longrightarrow X + Y + 160$ millions d'électronvolts (Mev)

Les énergies libérées sont exprimées ici en une unité que l'on appelle l'*électronvolt* et qui équivaut à l'énergie d'un électron lancé dans le vide par une différence de potentiel d'un volt.

L'énergie libérée par la rupture d'un seul noyau d'uranium équivaut à la combustion de 40 millions d'atomes de carbone, quantité infime de charbon, soit un millionnième de milliardième de gramme de charbon. Cette énergie serait encore inutilisable même si l'on mettait en œuvre les sources de neutrons les plus puissantes, telles que celles que l'on peut former à l'aide de 10 grammes de radium, dont la valeur est considérable, ou par l'usage de cyclotrons. En effet, l'énergie formée par la rupture de l'uranium, provoquée à l'aide de 10 grammes de radium, n'équivaut encore qu'à la combustion de $^1/_{100}$ de milligramme de charbon par minute.

Réaction par chaînes.

Pour que l'énergie atomique soit utilisable, il faut que la rupture des noyaux lourds, une fois amorcée, puisse se communiquer à l'ensemble de la masse de l'élément lourd, de la même manière que le feu gagne la masse du combustible allumé. On dit alors que la réaction se fait par *chaînes*. Cette propagation a été possible grâce au fait que les fragments du noyau d'uranium sont profondément instables, d'une instabilité qui communique la rupture à d'autres noyaux d'uranium. En effet, chaque fragment, au moment de la rupture, émet lui-même un ou plusieurs neutrons. Cette émission de neutrons lors de la rupture s'explique de la manière suivante : Le noyau d'uranium en se coupant en deux, donne des noyaux plus légers où le rapport du nombre des neutrons aux protons est resté celui de l'U. Or, nous avons vu que le nombre des neutrons des noyaux stables dépasse d'autant plus celui des protons que le noyau est plus lourd. Le nombre des neutrons doit donc diminuer pour que les noyaux formés par rupture puissent être stables. D'où l'émission d'un ou plusieurs neutrons par rupture.

Ces neutrons de rupture réagiront à leur tour avec d'autres noyaux d'uranium, si au moins ils en rencontrent sur leur chemin. D'où la possibilité de propagation de la réaction et même d'amplification de celle-ci si chaque rupture engendre plus d'un neutron (fig. 3). La présence d'uranium autour du noyau qui se rompt n'est pas une condition suffisante pour l'établissement de la réaction par chaînes. Il est nécessaire que les chances de rencontre entre le neutron et l'uranium soient assez grandes, sinon le neutron pourra parcourir des distances relativement grandes, un mètre par exemple, au travers de la masse d'uranium avant d'être absorbé par un noyau de cet élément et sortir de la masse d'uranium sans réagir. L'amplification de la réaction en est diminuée. La propagation de la réaction sera ainsi lente ou nulle

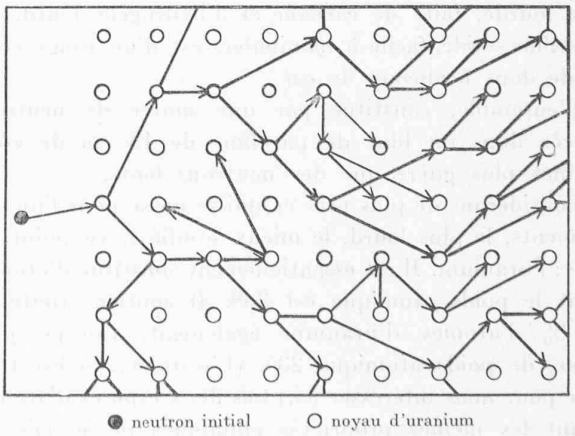

Fig. 3. — Schéma d'une réaction en chaîne.
Chaque noyau qui réagit en fait réagir deux autres.

suivant les dimensions de la masse d'uranium accumulée autour des premiers noyaux rompus. La désintégration totale est liée à la facilité de capture du neutron par le noyau lourd. La propagation et l'amplification de la réaction seront d'autant plus rapides que les maillons de la chaîne seront plus courts.

Les neutrons rapides, c'est-à-dire d'une vitesse voisine de celle de la lumière, sont de mauvais agents de propagation de la réaction par chaînes, étant difficilement absorbés par les noyaux. Il faudrait par suite accumuler de très grandes masses d'élément lourd pour réaliser une désintégration totale. Mais il n'en va plus de même des neutrons lents qui peuvent être facilement capturés par les noyaux. Les neutrons peuvent être ralentis en utilisant des corps contenant des noyaux légers incapables de les absorber. L'élément qui réalise le mieux cette condition est l'hydrogène lourd ou deutérium, qui est contenu dans l'hydrogène ordinaire à raison de un 5 millième et qui possède les mêmes propriétés chimiques que l'hydrogène ordinaire, dont il est un *isotope*. C'est-à-dire que les deux espèces d'atomes ne diffèrent que par leur masse. L'hydrogène ordinaire a un poids atomique de 1 et l'hydrogène lourd ou deutérium, un poids atomique de 2. Les deux n'ont qu'un seul électron périphérique. Le noyau d'hydrogène ordinaire est fait d'un seul proton. Celui de deutérium d'un proton et d'un neutron. Depuis quelque dix ans, cet hydrogène lourd est préparé industriellement. Il est donc facile de s'en procurer. D'autres éléments tels que le carbone, l'oxygène le glucinium, l'hélium, peuvent également servir de ralentisseur des neutrons rapides.

Le neutron perd une partie importante de sa vitesse à chacun des chocs avec un noyau d'hydrogène lourd. Le ralentissement des neutrons se fait facilement. Par cette opération leur vitesse devient quelque 100 000 fois plus petite jusqu'à devenir voisine de celle des molécules de gaz aux conditions ordinaires. Il suffit d'entourer la source de neutrons rapides d'un corps contenant de l'hydrogène lourd, en prenant soin que tous les noyaux des atomes étrangers à l'hydrogène lourd ne puissent absorber les neutrons. C'est le cas de la paraffine lourde, faite de carbone et d'hydrogène lourd. La paraffine solide, facile à manipuler, est d'un usage commode dans beaucoup de cas.

L'ensemble, constitué par une source de neutrons placée dans un bloc de paraffine de 15 cm de côté, n'émet plus guère que des neutrons lents.

Considérons de plus près ce qui se passe pour l'un des éléments, le plus lourd, le mieux étudié à ce point de vue : l'uranium. Il est essentiellement constitué d'atomes dont le poids atomique est 238. Il contient toutefois 0,7 % d'atomes d'uranium également, isotope plus léger, de poids atomique 235. (L'isotope 234 est trop rare pour nous intéresser ici.) Ces deux espèces d'atomes ayant les mêmes propriétés chimiques ne se laissent séparer que difficilement. La réaction en chaînes peut se développer dans l'uranium 238 et 235 à l'aide de neutrons rapides, mais les maillons de la chaîne sont grands, il est par suite nécessaire de réunir des masses considérables de cet élément pour que la réaction puisse s'amplifier suffisamment et provoquer la désintégration totale. Par contre, les neutrons lents qui sont incapables de provoquer la rupture de l'uranium 238 le plus abondant, peuvent réagir et provoquer très facilement la désintégration totale de l'uranium 235. L'utilisation de ce dernier isotope exige naturellement sa séparation de l'uranium 238, et il y a là un problème des plus ardus qui a dû être résolu industriellement.

Le plutonium.

Mais l'uranium 238 possède une propriété remarquable, qui est celle de capter très facilement des neutrons demi lents pour donner de l'uranium 239, atomes radioactifs dont la moitié se désintègre en 23 minutes, temps de demi-désintégration que l'on appelle *période*, pour donner un élément de poids atomique 239 également. Celui-ci, encore radioactif, se transforme à moitié en 2,3 jours pour fournir un élément de numéro 94. Ces deux éléments, baptisés neptunium et *plutonium*, sont susceptibles de donner à leur tour des réactions en chaînes de propagation rapide.

$$U^{238}_{92} + \text{neutron} \rightarrow U^{*239}_{92} \text{ radioactif}$$

$$U^{*239}_{92} \xrightarrow[\text{23 minutes}]{\beta-\,(1)} 93^{*} \text{ neptunium}$$

$$93^{*} \text{ neptunium} \xrightarrow[\text{2,3 jours}]{\beta-} 94 \text{ plutonium}$$

Les constituants d'un générateur d'énergie ou d'une bombe atomique.

Ce sont là les phénomènes sur lesquels est basée la construction de la bombe et qui servent à préparer des générateurs d'énergie atomique — qu'il vaudrait mieux appeler des générateurs d'énergie nucléaire, puisqu'il s'agit d'une énergie qui provient du noyau de l'atome.

Que ce soit une bombe ou un générateur d'énergie atomique, dans les deux cas, la libération d'énergie aura lieu par la réunion de trois constituants essentiels.

Le premier, qui fournit l'énergie, est l'élément de poids atomique élevé ; l'uranium, le thorium, le protoactinium, le plutonium ont été plus particulièrement étudiés à ce point de vue. Un grand nombre d'éléments peuvent théoriquement libérer de l'énergie atomique par rupture nucléaire, en quantité d'ailleurs d'autant plus faible, grosso modo, que le poids atomique est moins élevé. Il n'est pas nécessaire que cet élément lourd soit utilisé à l'état élémentaire. Il peut être combiné. Les composés d'élément lourd présenteront des avantages différents suivant la nature des atomes liés à l'élément lourd dans la combinaison. Ceux-ci peuvent agir de trois manières :

Comme simples diluants si ces atomes étrangers à l'uranium ne sont pas capables de consommer des neu-

(1) Rayonnement β— constitué d'électrons négatifs.

trons. Leur présence ne fera que ralentir le cours de la réaction par chaînes.

Comme absorbeurs de neutrons. Ce seront des noyaux neutrophages qui pourront retenir des neutrons et par là diminuer la vitesse de propagation de la réaction.

Enfin, les noyaux d'atomes étrangers à l'élément lourd peuvent dégager des neutrons par l'action des neutrons rapides de rupture. Dans ce cas, la propagation de la chaîne sera accélérée.

Le deuxième constituant est le ralentisseur, par exemple, l'hydrogène lourd ou le carbone dont nous avons parlé. Il suffit de le mélanger sous la forme de paraffine lourde, par exemple, à l'élément lourd, selon des proportions que l'on peut calculer ou qu'il faut de préférence déterminer par l'expérience.

Le troisième constituant joue le rôle d'allumette ou d'amorce. Il s'agit de la source de neutrons, source qui peut être réalisée, ainsi que nous l'avons vu, à l'aide de béryllium, de lithium ou d'autres éléments soumis à l'action directe de rayonnements de grande énergie. On peut signaler à ce sujet que l'hydrogène lourd mêlé à l'uranium peut fournir lui-même des neutrons sous l'action d'un rayonnement gamma. Dans ce cas, le ralentisseur intervient directement dans le déclenchement de la réaction.

L'allumage de la bombe ou d'un générateur d'énergie atomique peut être imaginé de très nombreuses manières en considérant qu'il suffit d'assembler les trois constituants. Les conditions géométriques de l'allumage dépendent des concentrations du mélange explosif et de ses dimensions, la réaction par chaînes pouvant s'établir d'autant plus facilement que la masse d'éléments lourds est plus grande. Il peut être dangereux de préparer certains mélanges d'uranium et de ralentisseur dans des proportions telles qu'il suffise de quelques neutrons pour amorcer la réaction. Dans ce cas, le déclenchement peut être produit par la seule présence du rayonnement cosmique ou par les quelques neutrons qui résultent d'une rupture spontanée de quelques atomes d'uranium, rupture rare mais dont la fréquence a pu être mesurée.

Des écrans peuvent être placés de manière à éviter le déclenchement de la bombe. Ces écrans peuvent arrêter les neutrons ralentis, s'ils sont constitués de tôles de cadmium, d'alliages de bore, ou de composés des terres rares. Mais l'écran le plus efficace et le plus simple est celui qui peut être interposé entre la substance radioactive émettrice de particules alpha et le béryllium par exemple. Une simple feuille de papier ou de tôle mince suffit à arrêter les hélions rapides, et l'escamotage facile de cet écran par un dispositif mécanique quelconque pourra provoquer le déclenchement de la désintégration totale.

Un kilo d'uranium fournit, par sa désintégration totale, la chaleur équivalente à la combustion de 2000 tonnes de charbon, et 500 kilos d'uranium suffiraient ainsi à développer une énergie équivalente à la production annuelle d'énergie électrique en Suisse. L'énergie fournie par cette désintégration apparaît nécessairement sous la forme de chaleur. Elle ne peut être obtenue directement sous aucune autre forme. L'uranium doit donc être considéré comme une source de chaleur particulièrement riche. Le dégagement de cette énergie peut être instantané, puisque la propagation de la chaîne peut l'être elle-même, c'est-à-dire que l'uranium est alors un explosif. Mais l'évolution de la réaction peut être freinée à l'aide d'éléments absorbeurs de neutrons ou à l'aide de diluants appropriés, ou encore par divers dispositifs. La désintégration par chaînes devient alors la source d'une énergie utilisable, dont on peut régler le débit comme on règle la combustion du charbon dans un foyer.

Toute énergie dégagée correspond inévitablement à des pertes de masse et réciproquement. C'est-à-dire que la somme des masses des atomes après la désintégration totale est plus petite que la masse totale initiale. L'énergie atomique libérée dans ces réactions nucléaires est assez grande pour que la perte de masse soit relativement élevée. Elle atteint environ 400 gr lors de la désintégration totale de 500 kg d'uranium. La même perte de masse correspond d'ailleurs à toutes réactions nucléaires ou moléculaires dégageant la même énergie et, par exemple, à la combustion de 2 millions de tonnes de charbon. La dématérialisation ou transformation totale de la masse en énergie a bien été réalisée mais elle reste une opération exceptionnelle, qui ne peut se produire en dehors de conditions particulières.

La désintégration explosive des atomes lourds peut être considérée comme la décomposition d'une combinaison nucléaire comme les explosifs ordinaires sont basés sur la décomposition de molécules. Autrement dit, c'est la seule rupture de noyaux qui fournit l'énergie utilisable. Le neutron ne sert qu'à déclencher, à propager et à amplifier cette décomposition, qui peut d'ailleurs être amorcée d'autres manières.

La masse de l'uranium et les conditions de développement de la réaction détermineront la température atteinte lors de la désintégration totale. Mais l'éclatement d'une bombe atomique produit, au point où elle éclate, une température qui ne peut être comparée qu'à celle du soleil, d'où l'effet de calcination qui accompagne l'action mécanique provoquée par la volatilisation et la dilatation brutales des gaz formés.

Nature des « cendres ».

Que reste-t-il de l'uranium après l'explosion, quelle cendre la désintégration maîtrisée laisse-t-elle dans le foyer d'un générateur atomique ? Tous les noyaux d'uranium s'étant rompus, il ne subsiste plus que des éléments formés à partir des fragments nucléaires de l'élément lourd, c'est-à-dire des éléments chimiques de poids atomiques moyens.

Ces atomes, suivant leur nature chimique, se combineront ou non à l'oxygène de l'air ou à d'autres éléments du milieu ambiant. Ces atomes toutefois ne sont pas exac-

tement pareils à ceux que l'on connaît habituellement. Malgré l'émission de neutrons au moment de la rupture et peu après, ils ont encore un excès de neutrons qui leur confère une forte instabilité et les rend radioactifs. La plupart de ces éléments qui ont pris naissance aussitôt après la rupture du noyau d'uranium sont des têtes de courtes séries radioactives, c'est-à-dire qu'ils devront se transformer plusieurs fois par transmutation radioactive avant de devenir des atomes stables.

Séries radioactives.

$$35\,Br\,87 \xrightarrow[3\ min]{\beta-} 36\,Kr \xrightarrow[4\ h]{\beta-} 37\,Rb \xrightarrow[6{,}3 \times 10^{10}\,a]{\beta-} \underset{stable}{Sr}$$

$$46\,Pd\,112 \xrightarrow[17\ h]{\beta-} 47\,Ag \xrightarrow[3{,}4\ h]{\beta-} \underset{stable}{48\,Cd}$$

$$53\,I\,135 \xrightarrow[6{,}6\ h]{\beta-} 54\,Xe \xrightarrow[9{,}4\ h\ \ 10\ min]{\beta-} 55\,Cs \xrightarrow[10a]{} \underset{stable}{56\,Ba}$$

Cette radioactivité est particulièrement intense aussitôt après l'explosion. Elle s'atténue rapidement avec le temps, tout en persistant de plus en plus faiblement, pendant un très grand nombre d'années.

Mais la bombe engendre de plus une radioactivité plus forte par suite de l'émission des neutrons qui accompagnent l'explosion. En effet, chaque noyau d'uranium libérant en moyenne deux neutrons par rupture, il se dégage en définitive par l'explosion deux fois plus de neutrons que d'atomes d'uranium, c'est-à-dire un nombre considérable, et ils vont disparaître en créant à peu près le même nombre d'atomes radioactifs. Un calcul qui ne peut être que très grossier conduit à penser que l'explosion d'un seul kilo d'uranium laisse une radioactivité équivalente à 3000 curies, soit la radioactivité de 3 kg de Ra et l'on connaît l'effet physiologique que peut produire un seul gramme de Ra. Cet effet, multiplié par 3000, est terrifiant, et peut encore être dangereux même si les corps radioactifs sont répartis sur quelques kilomètres carrés.

Si la désintégration provoquée de l'uranium peut fournir des sources de neutrons particulièrement intenses, il sera facile de les absorber lors de la désintégration contrôlée de l'uranium dans un générateur d'énergie.

Si les atomes lourds peuvent servir à préparer le plus terrible des explosifs imaginables, la désintégration explosive cesse avec la présence d'éléments lourds. A cet égard, la bombe atomique se comporte comme les engins préparés à l'aide d'explosifs ordinaires. La désintégration explosive ne peut en aucun cas gagner tout ce qui nous entoure et nous n'avons pas à craindre de contagion.

Il n'y a pas de doute que cette énergie atomique énorme qui se trouve maintenant à notre portée ne nous apporte de très grands bouleversements. Cette découverte ne peut être comparée qu'à celle du feu. Les hommes qui, les premiers, ont su créer le feu dans des forêts habitées par d'autres hommes incapables de se défendre contre l'incendie ont dû semer autant de panique que d'espoir. Il est naturel qu'à la fin d'une guerre aussi cruelle que la dernière, le danger de la bombe atomique nous apparaisse bien avant les bienfaits que cette nouvelle source d'énergie peut dispenser.

Les générateurs d'énergie atomique.

Le premier générateur d'énergie atomique utilisant le mélange naturel des isotopes de l'uranium fonctionne aux Etats-Unis, à Chicago, depuis le 2 décembre 1942 déjà.

Un certain nombre d'autres générateurs ont été mis en service depuis lors dans ce pays, chacun d'eux ayant des puissances variables de 1000 à 600 000 kW. Ces générateurs ont été réalisés en utilisant du graphite soigneusement purifié comme élément ralentisseur. Ce graphite a été choisi de préférence à tout autre élément susceptible de fonctionner comme ralentisseur, grâce à ses propriétés réfractaires, car, en effet, ces générateurs fournissent de la chaleur et leur température s'élève jusqu'à 1000°. A cette température, le rendement des machines thermiques est, ainsi que l'on sait, plus élevé qu'avec les sources thermiques plus froides.

Les machines atomiques utilisant l'uranium sont constituées d'un grand nombre de blocs d'uranium métallique répartis dans le graphite pur à des distances calculées de manière que les neutrons rapides résultant de la rupture de l'uranium 235 contenu dans l'uranium naturel puissent être ralentis suffisamment dans le graphite avant d'atteindre le bloc d'uranium le plus proche. Ces neutrons lents ne sont que très peu absorbés par l'uranium 238 mais provoquent par contre de nouvelles ruptures de l'uranium 235. Si quelques neutrons à demi ralentis pénètrent dans un bloc d'uranium, il est alors capturé par l'isotope 238 pour donner lieu à la formation du plutonium suivant les réactions nucléaires indiquées ci-dessus. C'est ce qui se passe pour une petite fraction des neutrons de rupture. Les noyaux de plutonium peuvent être également rompus par l'action des neutrons. Mais avant qu'ils ne disparaissent de cette manière, on peut retirer de temps en temps les blocs d'uranium du générateur pour en extraire le plutonium formé. Ce nouvel élément chimique se laisse séparer facilement de l'uranium par des traitements chimiques habituels. Le plutonium se présente ainsi comme un sous-produit résultant du fonctionnement du générateur atomique, c'est la matière première qui a servi à la construction de bombes atomiques.

Les éléments uranium et carbone réunis en masses suffisantes et suivant une géométrie (répartition) appropriée donnent lieu à la réaction par chaînes sans qu'il soit nécessaire de faire usage d'une source de neutrons, les seuls neutrons du rayonnement cosmique suffisent à déclencher la réaction.

Le contrôle de la réaction s'effectue en plongeant plus ou moins dans le graphite des alliages de bore tels que des aciers à teneur élevée de cet élément. Si la température du générateur s'élève trop, un dispositif régu-

lateur, commandé par des compteurs à neutrons et utilisant un servo-moteur, fait pénétrer les alliages au bore plus profondément dans le graphite. Le bore absorbe davantage de neutrons lents et demi-lents en donnant du lithium ou de l'hélium. Ces neutrons absorbés par le bore sont perdus pour la réaction de rupture et la vitesse de la réaction étant diminuée, la température s'abaissera. Si celle-ci tombe trop bas, le régulateur agissant en sens inverse, retire partiellement les aciers au bore des logements aménagés dans la masse de graphite. Le contrôle aussi simple du fonctionnement du générateur a été rendu possible par le fait que les neutrons de rupture ne se dégagent pas tous au moment même de la rupture, mais quelques-uns sont libérés par suite d'une émission différée n'intervenant que quelques secondes après la scission du noyau.

En l'absence de tout système régulateur, la température du générateur s'élèverait naturellement jusqu'à la fusion de l'uranium (environ 1200° C), ce qui produirait une modification profonde des conditions géométriques, et par suite l'arrêt du générateur.

Un générateur d'énergie atomique de ce genre n'utilise pas tous les neutrons, une partie d'entre eux s'échappent avant de réagir. Il est nécessaire de se protéger de leur action en entourant le générateur de parois comportant de fortes épaisseurs (0,50 à 1,00 m) d'eau.

L'uranium métallique est actuellement préparé à une échelle industrielle inconnue jusqu'alors. Son prix de revient s'est de ce fait considérablement abaissé. Il reste toutefois assez élevé pour que l'énergie atomique soit encore plus chère que l'énergie électrique produite en Suisse par nos installations hydro-électriques. Mais l'utilisation de l'énergie atomique n'en est qu'à ses débuts et l'étude des réactions nucléaires peut donner dans un proche avenir d'autres résultats susceptibles d'intéresser également notre industrie.

* * *

Il est regrettable que le fonctionnement de générateurs d'énergie à l'uranium permette de préparer un puissant explosif atomique. Il est certain que la libération de l'énergie atomique menace l'humanité de périls sans précédents, sans toutefois que notre planète puisse, semble-t-il, être elle-même sérieusement atteinte. L'événement est si important, si gros, qu'il faut faire effort pour en comprendre la réalité et le mesurer. Il est facile d'exagérer ; il faut craindre trop d'indifférence. Cet événement doit s'incorporer à notre existence actuelle. Nous devons chercher tout de suite à en tirer les conséquences précises pour pouvoir créer un mouvement d'opinion basé sur une connaissance exacte de la portée de cette découverte qui est devenue un facteur essentiel de la vie des nations. L'évolution politique doit suivre le rythme accéléré de l'évolution technique qui ne peut être ralenti.

L'usage de la bombe atomique devrait être mis hors la loi et pour qu'il en soit réellement ainsi, un organisme international fort devrait être créé d'urgence. C'est peut-être la dernière chance qui nous reste.

SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

Procès-verbal

de l'assemblée des délégués, du samedi 22 septembre 1945, à 10 h. 30 du matin, au « Zunfthaus zur Schmiden », Marktgasse 20, Zurich.

(Suite et fin [1]).

3. Rapport du secrétaire central sur l'activité de la Société depuis la dernière assemblée des délégués.

(Suite).

d. *Commissions.*

La commission pour la maison bourgeoise, sous la présidence de M. M. Schucan, architecte, prépare une prochaine édition du volume « Schaffhouse ».

Le conseil suisse d'honneur a étudié la revision du code d'honneur actuellement en vigueur ; le secrétariat a fait appel au nouveau président du conseil, M. F. Reverdin, architecte, pour avoir son avis dans différents cas particuliers.

Les conseils d'honneur des sections ont eu relativement très peu de cas à traiter depuis la dernière assemblée des délégués. Aucune affaire n'a donné lieu à un recours au conseil suisse, ce qui constitue un bon témoignage pour la morale professionnelle de nos milieux.

La commission des normes a continué l'étude de la fusion des conditions générales pour les travaux du bâtiment et du génie civil. Son président, M. A. Pestalozzi, architecte, a été sollicité maintes fois par le secrétariat pour des renseignements et pour la rédaction d'expertises. Son travail désintéressé mérite les plus vifs remerciements de la S. I. A.

La commission des normes pour les canalisations, présidée par M. H. Steiner, ingénieur, a établi des normes pour les canalisations urbaines. La commission a soumis ses propositions aux autorités compétentes de divers cantons et communes, et a reçu en retour quelques suggestions. Il s'agit d'un secteur spécial, où, en l'absence de toute normalisation, on a adopté des règles très différentes d'une région à l'autre ; il sera difficile de les ramener à une base uniforme.

La commission pour les concours d'architecture a tenu une séance plénière le 21 septembre 1945 pour traiter les affaires courantes. Le président de la commission, M. R. Christ, architecte, a poursuivi l'examen de tous les programmes de concours qui lui ont été soumis, pour les conformer aux principes régissant les concours ; dans certains cas, il a donné aux autorités intéressées des conseils appropriés. Ce contrôle a une grande valeur pour l'organisation des concours, et c'est grâce à ce travail qu'il n'y a pas eu de difficultés notables dans leur organisation. M. Christ a aussi droit à la vive reconnaissance de la S. I. A. pour son labeur considérable.

La commission administrative du service de placement a également siégé plusieurs fois pour discuter spécialement l'importante action que projette l'Office fédéral de l'industrie, des métiers et du travail pour le placement à l'étranger, pour la période d'après-guerre, des membres des professions techniques. Sur le désir de l'Office, le Service technique suisse se chargera de tout le secteur du placement du personnel technique, tandis que les autres secteurs incomberaient aux organisations correspondantes du pays. Les autorités fédérales souhaitent que le service de placement à l'étranger soit concentré sur quelques bureaux compétents seulement, pour pouvoir assumer une surveillence plus efficace. Ces efforts ne peuvent qu'être appuyés par la S. I. A.

[1] Voir *Bulletin technique*, du 8 décembre 1945, p. 347.