

L'énergie nucléaire et ses applications

Autor(en): **Cramer, Marc**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **La Croix-Rouge suisse**

Band (Jahr): **64 (1955)**

Heft 7

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-683311>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

L'énergie nucléaire et ses applications

par MARC CRAMER

Il y a quelques semaines, se sont tenues à Genève une Conférence internationale (encore une!) et une exposition sous le titre de « *L'atome pour la paix* ». Conférence toute politique, du reste, et non pas scientifique où ne fut révélé aucun secret qui de fût de polichinelle; exposition toute publicitaire, d'ailleurs, en dépit des commentaires de la presse quotidienne tout illuminés d'enthousiasme candide et de sereine incompétence.

A cette exposition, on a pu voir le public défilant admiratif, incompréhensif; personne ne comprend rien, mais, pensez donc, c'est « pour la paix! »

Tentons donc d'éclairer un peu notre lanterne et de comprendre comment on peut envisager de se servir de l'énergie nucléaire en temps de paix, bien que ce ne soit guère, encore, que musique d'avenir.

Mais avant d'envisager quels pourraient être ces emplois, il faut, pour mieux comprendre, remonter un peu dans le temps et retracer les étapes de la découverte de la radioactivité et des isotopes; ces isotopes dont tout le monde parle et dont bien peu, en dehors des techniciens savent exactement ce qu'ils sont. Nous nous excusons d'avance auprès de nos lecteurs si nous leur répétons ce qu'ils savent déjà, mais on pense que, pour exposer un sujet, il n'est pas de méthode qui vaille la méthode historique.

LA RADIOACTIVITE NATURELLE

C'est à la fin du siècle passé qu'Henri Becquerel découvrit, un jour, presque par hasard, qu'un morceau de minerai d'uranium, oublié dans un tiroir, avait été capable d'impressionner



Fig. 1. — Les trois éléments constitutifs de l'atome tels qu'on les a représentés, symboliquement, dans les dessins illustrant cet article: I. Protons; II. Neutrons; III. Electrons. — Les protons, chargés d'électricité positive, et les neutrons, dépourvus de charge électrique, constituent le noyau de l'atome. Les électrons, chargés d'électricité négative, évoluent autour du noyau de l'atome. On peut comparer, si l'on veut, les atomes à de minuscules systèmes solaires (Cf. fig. 2).

Chaque corps simple que nous connaissons comprend un nombre déterminé, et différent, de protons. C'est ce nombre que l'on appelle le « numéro atomique des corps » (1 pour l'hydrogène, 2 pour l'hélium, 6 pour le carbone, etc.). L'atome le plus lourd des éléments naturels, l'uranium, est constitué par 92 protons et 146 neutrons qu'accompagnent 92 électrons.

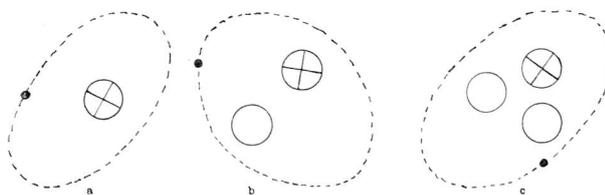


Fig. 2. — L'atome le plus simple est celui de l'hydrogène, représenté en a. Il est constitué par 1 proton autour duquel évolue 1 électron. — Le nombre des protons contenus dans le noyau d'un atome est toujours égal à celui des électrons qui circulent autour de ce noyau. On a découvert par contre que le nombre des neutrons peut varier. Cette variation engendre deux ou plusieurs corps rigoureusement identiques du point de vue chimique, mais différant, souvent très peu, par leurs propriétés physiques. C'est ainsi qu'à côté de l'hydrogène normal (a) existent deux corps chimiquement identiques, mais dont le noyau comprend respectivement, chez l'un, 1 neutron, l'hydrogène lourd ou deutérium (b) et, chez l'autre, 2 neutrons, le tritium (c). C'est ce qu'on appelle les isotopes.

Le deutérium et le tritium sont fort rares à l'état naturel: l'eau ordinaire contient 1 g de tritium pour 1 million de million de tonnes d'eau. On peut les « fabriquer » en soumettant de l'hydrogène à un bombardement de neutrons. Combinés avec de l'oxygène, le deutérium et le tritium donnent de l'eau lourde.

des plaques photographiques, même au travers d'une enveloppe de papier ou de carton. La découverte avait été faite par hasard, mais pour les hommes de talent, le hasard est fécond et c'est de ce hasard qu'est sortie toute l'étude de la radioactivité et notre jeune science nucléaire. Becquerel et, avec et après lui, son élève Pierre Curie étudièrent cet étrange rayonnement qui rappelait d'assez près les Rayons X, découverts peu auparavant, par Röntgen.

Passons (à regret, mais nous n'avons pas la place d'écrire ici un traité de physico-chimie) sur les travaux de l'école anglaise, de Rutherford, de Ramsay, d'autres, et exposons la première théorie de la radioactivité qui fut édiflée alors, et, d'ailleurs, reste encore parfaitement valable.

Les faits d'abord: Sur le radium, que Curie découvrit et montra être beaucoup plus fortement radioactif que l'uranium, on constate, qu'il y a émission de trois sortes de rayons (Rappelons, pour éviter tout malentendu que ces rayons n'ont été ainsi nommés que par analogie avec la lumière, mais qu'ils sont tout à fait invisibles à l'œil): *Rayons α chargés d'électricité positive; rayons β chargés d'électricité négative et rayons γ électriquement neutres.*

Le schéma (cf. fig. 5) montre ces rayonnements déviés par un champ électrique ou magnétique: *les rayons α sont fortement déviés dans un sens, les rayons β sont déviés dans l'autre*

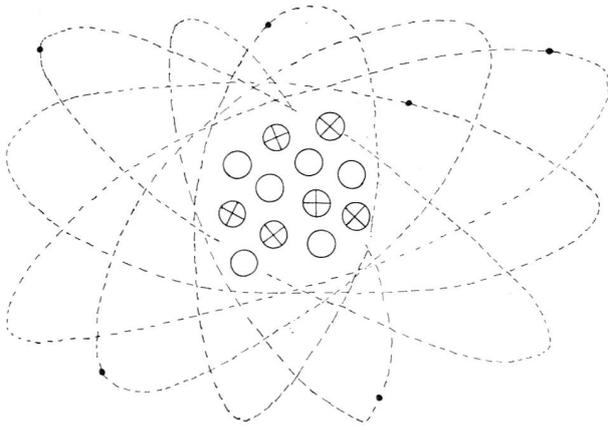


Fig. 3. — Un atome plus complexe, celui du carbone, contient dans son noyau 6 protons et 6 neutrons. Autour du noyau évoluent 6 électrons. On peut se le représenter schématiquement comme nous l'avons montré ici. Toutefois tous les détails — l'arrangement des protons et des neutrons, les ellipses des électrons — sont dessinés uniquement pour fixer les idées, mais nous n'avons aucune certitude à ce propos. Il s'agit donc d'une représentation qui n'est peut-être, sans doute, pas conforme à la réalité.

sens mais beaucoup moins fortement (nous en donnerons la raison un peu plus loin) tandis que les rayons γ ne sont pas déviés du tout, étant électriquement neutres. En outre, si l'on enfermait une parcelle d'un sel de radium dans un tube on constatait, au bout d'un certain temps la présence d'hélium, l'un des gaz rares de l'atmosphère et d'un nouveau gaz qui lui ressemblait, mais était beaucoup plus lourd et que l'on appela « Emanation » ou « Radon », qui, à son tour était radioactif, c'est-à-dire émettait, lui aussi, des rayonnements.

Que se produit-il?

La théorie explicative, ensuite: Le radium, l'uranium, le radon sont parmi les éléments dont les atomes sont les plus lourds. On peut admettre que l'édifice atomique est, chez eux, si lourd, si compliqué qu'il en arrive à manquer de stabilité. Tout se passe comme si, continuellement, un certain nombre d'atomes faisaient explo-

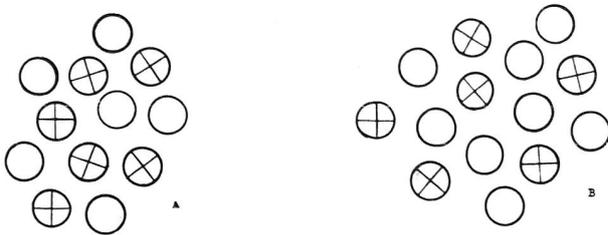


Fig. 4. — Exemple d'isotope: A gauche (A), noyau de carbone naturel composé de 6 protons et de 6 neutrons. En le bombardant avec des neutrons, on crée un isotope du carbone, qui a le même nombre de protons et les mêmes caractéristiques chimiques, mais qui possède 2 neutrons supplémentaires. C'est le carbone 14 dont le noyau est figuré à droite (B). Le chiffre suivant l'indication du corps donne le nombre des éléments contenus dans le noyau (ici 14, soit 6 protons, plus 8 neutrons), soit son poids atomique. Il existe des isotopes de la plupart des corps simples; certains d'entre eux sont radioactifs et sont employés pour cela à des usages nombreux.

sion, projetant au loin à de très grandes vitesses leurs matériaux de démolition: Les rayons α sont des atomes d'hélium chargés d'électricité positive; les rayons β sont des « électrons », corpuscules extrêmement petits — environ 2000 fois plus petits que les atomes les plus légers connus, les atomes d'hydrogène — véritables grains d'électricité négative. Ces corpuscules sont projetés à des vitesses dont nous ne pouvons nous faire aucune idée nette, plusieurs dizaines de milliers de kilomètres à la seconde, d'où la facilité qu'ils ont de traverser bien des corps solides, en particulier les tissus de l'organisme. On remarquera en passant que les électrons, plus légers, ont des vitesses beaucoup plus grandes que les corpuscules des rayons α d'où vient qu'ils sont moins déviés par les champs électriques comme nous venons de la voir. Les rayons γ enfin, ne sont pas matériels comme les autres; il ne s'agit là que d'énergie émise au cours de l'explosion, sous une forme très analogue aux rayons X, tout comme une explosion de poudre produit de l'énergie émise sous forme de lumière visible.

La transformation spontanée du radium

Enfin, il reste le radon, qui représente le reste de l'atome de radium après qu'il s'est dépouillé d'un électron et d'un atome d'hélium; ce radon est, à son tour radioactif, nous l'avons dit, il se désintègre comme le radium lui-même, donnant des radiations et toute une série de métaux: Radium A, Radium B, etc. et, enfin, un élément bien connu, le plomb. Plus exactement, c'est un élément qui est, en tout, du point de vue chimique, semblable, au plomb, mais qui est radioactif. Nous disons que c'est un isotope du plomb, nous verrons un peu plus loin ce que cela veut dire. Enfin, ces transformations sont accompagnées d'un fort dégagement de chaleur; par exemple un gramme de radium produit 170 calories (c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température de 170 g d'eau) par heure. Cette quantité de chaleur peut paraître n'être pas énorme, mais cela provient de ce que la transformation spontanée du radium est relativement lente. Tous les éléments radioactifs ne se désintègrent, en effet, pas avec la même vitesse; on a calculé pour chacun d'eux le temps nécessaire à la disparition (ou, plutôt à la transformation) de la moitié de la quantité présente, c'est ce que l'on a appelé la $\frac{1}{2}$ période de vie de l'élément. Si, par exemple, nous avons 1 g de radium, il nous faudra attendre environ 1600 ans pour obtenir, par radioactivité spontanée, un mélange de $\frac{1}{2}$ g de radium et $\frac{1}{2}$ g de radon, plomb, etc. 1600 ans (exactement 1590 ans) est la demi période de vie du radium, tandis que la $\frac{1}{2}$ période du radon est seulement de $3\frac{3}{4}$ jours, pour d'autres éléments, enfin, elle n'est que de quelques minutes ou quelques secondes.

LES ISOTOPES

Peu à peu, pour expliquer ces faits si imprévus, s'est développée une théorie plus complète sur l'atome et sa constitution, mais il faut se rendre compte de la révolution que tout cela impliquait pour la chimie.

La chimie classique était fondée sur l'immuabilité des éléments, sur l'impossibilité du vieux rêve des alchimistes qui voulaient faire de l'or à partir d'un autre métal et, brusquement, on s'aperçoit que certains éléments se transforment spontanément en d'autres éléments, sans, d'ailleurs, que nous y puissions rien, sans que nous puissions hâter ou ralentir la réaction. En fait, la chimie classique reste entièrement debout en tant qu'elle ne s'occupe pas des corps radioactifs mais il a fallu se rendre compte que l'atome représente un édifice beaucoup plus complexe qu'on ne l'imaginait.

Ceci dit, passons sur les développements successifs de la théorie et expliquons la manière dont nous nous représentons l'intérieur de l'atome. Remarquons d'abord — et la remarque est importante — que nous n'avons jamais vu d'atome et que, du reste, il est douteux que nous puissions jamais en voir un; il ne faut donc comprendre ce qui suit que comme une théorie, une représentation, qui n'est peut-être pas forcément conforme à la réalité dans tous ses détails, mais qui explique suffisamment tous les faits connus. Tant que les faits nouveaux constatés viendront corroborer la représentation actuelle, nous la maintiendrons, mais s'il venait des faits nouveaux en contradiction avec elle, nous en serions quitte pour imaginer une autre représentation.

L'atome

Ceci dit, nous nous représentons l'atome comme une sorte de *système solaire minuscule*, d'une petitesse qu'il nous est bien difficile ou impossible de concevoir, puisque le diamètre des plus gros atomes atteint quelques centièmes de micron (diamètre déterminé, bien sûr, uniquement par le calcul) c'est-à-dire qu'il faudrait en aligner 10 000 pour atteindre une longueur de quelques millièmes de millimètre; ces chiffres n'étant indiqués que pour montrer à quel point il nous est difficile de visualiser à notre échelle, ce qui se passe dans un atome. Si, donc, nous maintenons notre comparaison avec le système solaire, nous trouverons au centre le *noyau* qui occupe la place du soleil et, tout autour, un certain nombre d'*électrons* circulant autour du noyau comme les planètes autour du soleil.

Quant au *noyau*, nous nous le représentons, non pas comme massif, mais comme formé d'un certain nombre de corpuscules: protons chargés d'électricité positive et neutrons électriquement neutres; la charge positive des protons est neu-

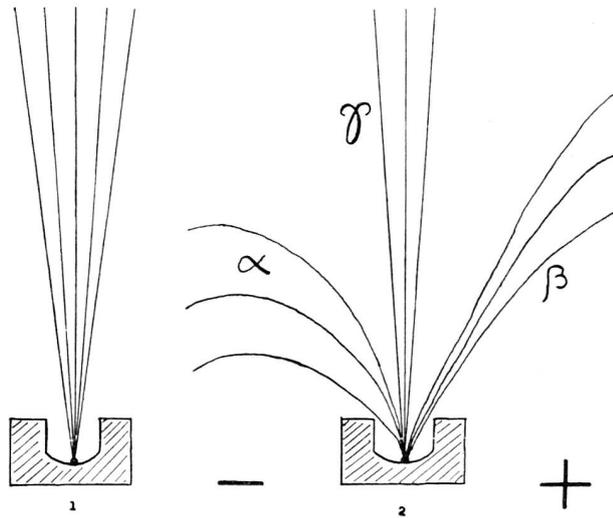


Fig. 5. — Un sel de radium (placé ici dans une coupelle de plomb) émet des rayonnements continus qui impressionneront une plaque photographique dans leur champ (1). L'influence d'un champ électrique ou magnétique (électro-aimant par exemple) permet de montrer la présence de trois radiations distinctes (2): les rayons gamma (γ), dépourvus de charge électrique, continuent à se propager selon une trajectoire rectiligne; les rayons alpha (α), chargés d'électricité positive, sont attirés vers la gauche les rayons bêta (β) chargés d'électricité négative, mais beaucoup plus rapides, sont déviés, mais dans une moindre proportion, vers la droite.

tralisée par la charge négative des électrons planétaires; c'est dire qu'il y a dans le noyau exactement autant de protons qu'il y a, autour, d'électrons; quant aux neutrons, il peut y en avoir un peu plus ou un peu moins.

Plomb normal et radio-plomb

Or, les propriétés chimiques d'un élément dépendent uniquement du nombre et de la disposition des électrons planétaires. C'est dire qu'il peut exister deux éléments qui contiendraient le même nombre de protons dans le noyau et d'électrons tout autour et qui auraient exactement les mêmes propriétés chimiques, mais l'un dont le noyau pourrait contenir un ou plusieurs neutrons de plus que l'autre serait un peu plus lourd et, dans certains cas, serait radioactif; nous aurions là une paire d'isotopes. C'est ainsi que la désintégration du radium aboutit au plomb, mais à un plomb légèrement plus lourd que le plomb ordinaire et radioactif (d'où son nom de radio-plomb), c'est-à-dire à un isotope du plomb. Remarquons en passant, que le mot isotope (soit, en grec, qui occupe la même place) signifie simplement que ces corps entrent dans une seule case du système de classification des éléments puisqu'ils ont mêmes propriétés chimiques. Indiquons encore que l'on a coutume de désigner les isotopes par leur poids atomique; par exemple, Uranium 235 signifie qu'il s'agit d'un isotope de l'uranium ayant pour poids atomique 235 tandis que le poids atomique de l'uranium est 238.

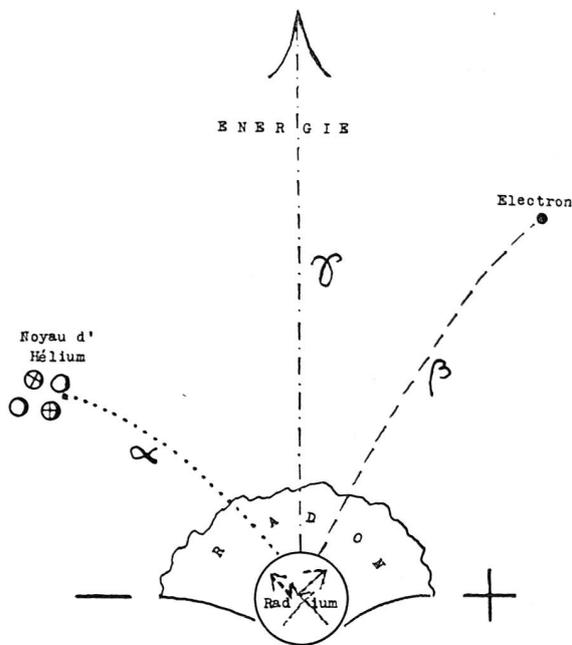


Fig. 6. — La dissociation d'un atome de radium représentée, il va de soi, schématiquement ici, permet de se rendre compte de la nature des différents rayons émis. L'on constate la formation et la projection d'un noyau d'hélium (composé de 2 protons et de 2 neutrons) constituant le rayonnement alpha, et la projection d'électrons formant les rayons bêta. Les rayons gamma constituent une émission électromagnétique comparable aux rayons X, c'est l'énergie dégagée par la dissociation. Il reste à la place de l'atome de radium, un atome d'un nouveau corps, très instable, le radon, qui se désintègre à son tour en différents éléments radioactifs (radium A, radium B, etc.) pour aboutir au radioplomb (isotope de plomb).

RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE ET REACTION EN CHAÎNE

Curie avait déjà remarqué qu'un corps soumis aux radiations du radium, devient, lui-même, radioactif plus ou moins fortement. Cela peut provenir de ce que les produits de désintégration, eux-mêmes radioactifs, se fixent à la surface des corps, mais cela peut provenir aussi de ce qu'un corpuscule contenu dans une radiation, neutron ou proton, a pénétré dans le noyau d'un autre corps; deux cas peuvent alors se présenter:

A) Un corpuscule ayant pénétré dans le noyau d'un autre corps, l'édifice obtenu n'est pas stable; le noyau obtenu se fragmente alors instantanément en deux ou plusieurs morceaux et l'on obtient d'autres éléments, radioactifs ou non, cependant qu'une énorme quantité d'énergie est développée sous forme de chaleur, le plus souvent. C'est ce qui se passe dans la bombe atomique et dans les réacteurs à usage industriel; la seule différence est que dans la bombe, l'énergie est développée tout d'un coup tandis que dans le réacteur elle est développée progressivement.

B) L'édifice obtenu est plus ou moins stable et l'on obtient simplement un isotope, parfois radioactif, de tel ou tel élément.

Pour mieux comprendre la différence entre la bombe et un réacteur industriel, une pile atomique comme on a dit parfois, il faut expliquer ce que l'on entend par une réaction en chaîne.

Des réactions en chaîne, nous en voyons tous les jours: il suffit d'allumer une allumette pour en voir une. En frottant l'allumette, nous mettons le feu à une petite parcelle seulement, mais la chaleur dégagée suffit pour enflammer les particules voisines et ainsi de suite jusqu'à ce que toute l'allumette flambe, c'est une réaction en chaîne.

Imaginons, pour fixer les idées, que l'on bombarde un corps avec des neutrons et que la démolition de l'atome bombardé fournisse trois nouveaux neutrons. Ces 3 neutrons pourront bouleverser 3 autres noyaux qui fourniront, de la même manière, chacun 3 nouveaux neutrons, soit, en tout, 9 neutrons. La désintégration de ces 9 noyaux fournira 27 neutrons, et ainsi de suite. A la trentième génération, on aura 205 891 132 094 649 neutrons! Comme ces réactions se succèdent à une très grande vitesse — il y en a des centaines au millième de seconde — elles nous paraissent être instantanées et explosives. Tel est le principe de la *bombe atomique*, identique, d'ailleurs, au principe du *réacteur à but industriel*.

Le principe du réacteur industriel

Comment alors, peut-on envisager d'employer ces derniers et éviter l'explosion? Expliquons-le rapidement et sommairement. La pièce principale d'un *réacteur* est un empilement de barres d'*uranium* qui fournissent continuellement des radiations et amorcent, entre elles, une réaction en chaîne. Pour éviter précisément que cette dernière devienne explosive, on intercale des lames d'un élément capable d'absorber les corpuscules en surnombre, le plus souvent de *cadmium*. Ces lames peuvent s'intercaler plus ou moins profondément dans l'empilement d'*uranium* et supprimer, ainsi, une plus ou moins grande fraction des neutrons en surnombre. On

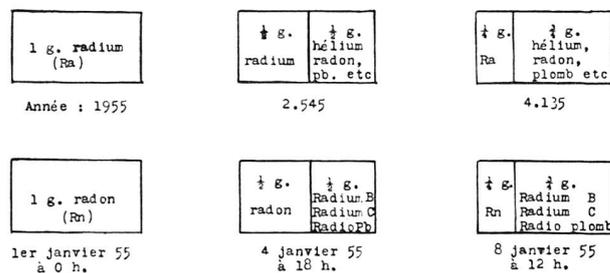


Fig. 7. — Représentation schématique de la durée de dissociation par radioactivité spontanée du radium (en haut) et du radon (en bas). La demi-période de vie du radium étant de 1590 ans environ, sur 1 g de radium pesé en 1955, il ne restera qu'un demi-gramme en 2545 et un quart de gramme en 4135, le reste de la substance ayant donné naissance à différents nouveaux corps, hélium, radon, plomb, etc. La demi-période de vie du radon n'étant, par contre, que de 3,82 jours, d'un gramme de radon pesé le 1^{er} janvier à 0 h., la moitié se sera transformée en d'autres éléments le 4 janvier vers 18 h., et les trois-quarts le 8 janvier à 12 h. approximativement.

dispose ainsi d'une sorte de *régulateur*: que la réaction ait tendance à s'emballer, les lames de cadmium sont enfoncées plus profondément; qu'au contraire, elle paraisse en train de s'éteindre, les lames sont retirées, absorbant moins de corpuscules et permettant à la réaction de reprendre une vigueur nouvelle.

DANGER DES EXPERIENCES ATOMIQUES

On a longuement parlé dans la presse quotidienne des dangers que les expériences atomiques faisaient courir à la planète tout entière et bien des journalistes, sans grande compétence, ne se sont fait aucun scrupule de risquer de semer, bien gratuitement, la panique dans le public. Ils ont dit, par exemple: les produits radioactifs formeront des nuages qui intercepteront la lumière et la chaleur du soleil et les poussières en retombant empoisonneront la terre; c'est grâce aux expériences atomiques que le temps a été si mauvais en été, etc.

Evidemment, tout cela pouvait paraître possible, mais la question n'est pas de savoir si c'est possible, mais bien si cela est réellement. Or, nous disposons de mesures précises faites depuis fort longtemps par des hommes dont nul ne contestera la compétence: Sir John Cockroft, le grand maître de la science atomique en Angleterre et M. Lugeon le directeur de notre Office météorologique fédéral en Suisse. Ils ont fait des mesures de radioactivité à toutes altitudes jusque dans la haute atmosphère et ont constaté que ni en Angleterre, ni en Suisse, l'atmosphère ne possède de radioactivité au-dessus de la normale. Ils en tirent la conclusion ferme que l'effet des expériences atomiques, si effet il y a, ne se propage pas dans nos pays; il en est de même en Amérique. Remarquons d'ailleurs, que nous ignorons ce qui se passe au voisinage du point d'explosion et que notre raisonnement ne s'ap-

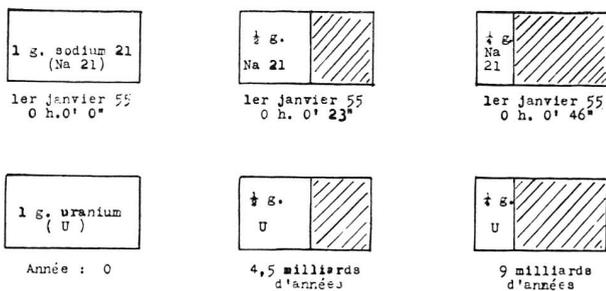


Fig. 8. — Demi-période de vie de deux autres corps radio-actifs choisis parmi ceux dont la vie est la plus longue (uranium, demi-période de 4,5 fois 10^9 années) et la plus brève (isotope de sodium, sodium 21, demi-période de 23 minutes environ). Tous les corps radio-actifs sont des corps instables, qui se désintègrent naturellement dans un temps donné pour donner naissance à d'autres éléments. Ce temps varie considérablement, selon les corps, de quelques secondes à des centaines de millions d'années.

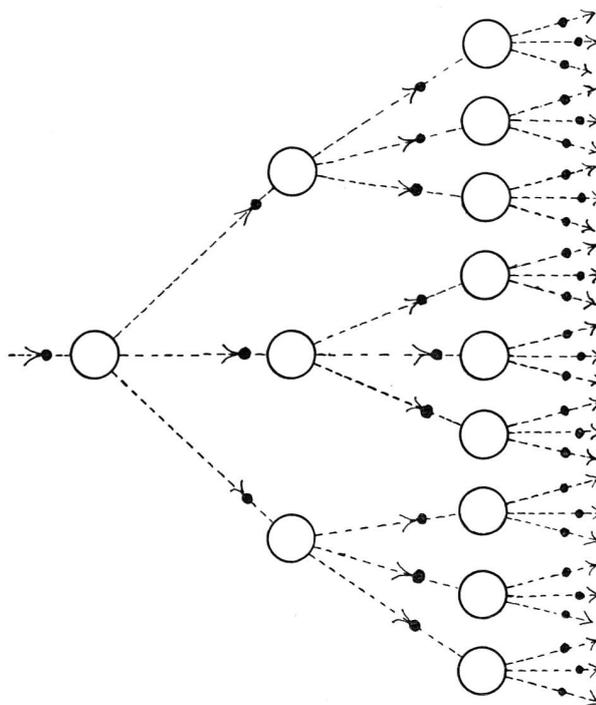


Fig. 9. — On peut imaginer schématiquement une réaction en chaîne de cette façon. Un neutron pénètre dans un atome; la démolition de celui-ci libère 3 nouveaux neutrons qui vont, à leur tour, bouleverser 3 nouveaux noyaux, et ainsi de suite. A la trentième génération, on aura libéré 205 891 132 094 649 neutrons. Cette succession de réactions n'aura pas duré un millième de seconde.

plique qu'au risque planétaire dont certains journalistes ont prétendu que nous étions menacés.

UTILISATION DE L'ENERGIE ATOMIQUE

Cette longue, trop longue peut-être, introduction une fois terminée, nous en arrivons aux diverses utilisations que l'on peut prévoir de l'énergie atomique.

Nous n'apprendrons rien à personne en disant qu'en première ligne vient l'utilisation dans la bombe atomique et dans le réacteur à but industriel. Sur le cas de la bombe, nous n'insisterons pas; d'une part, parce que nous savons trop quels effets destructeurs ont été obtenus, d'autre part, parce que tout ce qu'il y aurait peut-être d'intéressant à dire est couvert par le secret militaire et que, n'ayant pas le don de double vue, nous préférons dire tout uniment que nous l'ignorons.

Sur l'énergie à but industriel, il peut paraître plus intéressant d'insister ne fût-ce que pour remettre au point bien des commentaires de la presse quotidienne.

Comment envisage-t-on, aujourd'hui, l'utilisation industrielle de l'énergie nucléaire? Le schéma généralement adopté est le suivant:

La chaleur de la réaction nucléaire est employée à échauffer un gaz ou un liquide; le gaz ou la vapeur

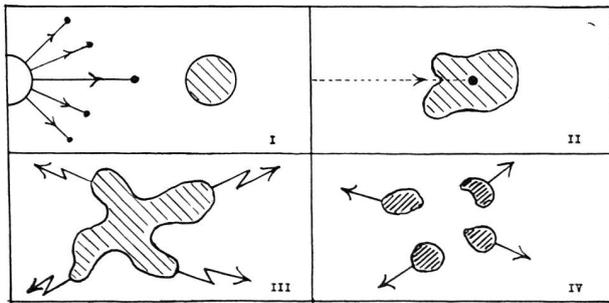


Fig. 10. — Représentation schématique de la désagrégation d'un atome d'uranium: I. Un corpuscule atomique arrive dans un atome d'uranium; II. Il pénètre dans le noyau et provoque une forte instabilité; III. Le noyau se scinde en plusieurs fragments; IV. Ceux-ci sont projetés, nous ne nous trouvons plus en présence d'uranium, mais de nouveaux éléments, différents.

est utilisé pour faire tourner une turbine; la turbine actionne une génératrice d'électricité et le courant peut être utilisé à toutes fins industrielles. Il s'agit donc des transformations suivantes:

Energie nucléaire - chaleur - énergie mécanique - électricité.

A première vue, tout cela semble fort intéressant puisque, une fois la pile chargée d'uranium, il semble qu'elle doive continuer à marcher longtemps sans être rechargée, sans rien dépenser.

Un avenir encore assez lointain

Il faut pourtant se garder d'appréciations trop optimistes: la double transformation de la chaleur en énergie mécanique puis en électricité se fait, il est vrai, en bons rendements, mais tant que les lois de la physique seront ce qu'elles sont (et nous n'y pouvons rien changer) il faut dépenser beaucoup de chaleur pour produire peu d'énergie mécanique, de sorte que l'on a pu calculer que le kilowatt d'une usine nucléaire est plusieurs fois plus cher que le kilowatt de l'une de nos usines thermiques et, à plus forte raison, des usines hydro-électriques. D'autre part, il faut prévoir des blindages protecteurs autour du réacteur afin que les radiations ne soient pas dangereuses pour les voisins et ces blindages sont extrêmement importants, encombrants, lourds et onéreux. Nous sommes convaincus, du reste, que ces inconvénients seront surmontés, que l'on arrivera à transformer directement l'énergie nucléaire en électricité sans passer par l'intermédiaire de la chaleur, que l'on trouvera des blindages moins lourds et moins chers que le béton ou le plomb aujourd'hui en usage, mais tout cela n'est pas pour demain. Il n'est du reste que de voir la lutte âpre qui se livre autour des sources de pétrole pour se rendre compte que cette source d'énergie n'est pas encore près d'être détrônée.

Mais, dira-t-on, les U.S.A. ont lancé un *sous-marin atomique*; c'est vrai, mais on nous a dit aussi que ce sous-marin coûtait beaucoup plus

cher que les autres; on ne nous a en revanche, pas dit ce qui se passera lorsque ce navire tombera en avarie, mais, là, de nouveau, c'est le secret militaire et nous ne saurions insister.

Le problème des déchets radioactifs

Un autre inconvénient qu'il faudra à toute force écarter, car il est grave, est le suivant: toute usine atomique comme toute usine quelconque produit des *déchets*, mais *ceux-ci sont radioactifs et, par conséquent, dangereux*. Comment s'en débarrassera-t-on? Nous n'en savons rien: on eût pu espérer que la question serait sérieusement agitée à la fameuse conférence du mois passé, mais, las, on s'est borné à nous dire que ces déchets étaient bien ennuyeux et qu'il faudrait absolument s'en débarrasser, mais on n'a même pas esquissé un début de réponse à la question. Comme les autres, l'inconvénient en question sera, nous en sommes convaincu, écarté, mais, encore une fois, il n'est pas probable que ce soit pour demain.

UTILISATION DES ISOTOPES

L'intérêt des isotopes, de ceux d'entre eux, surtout, qui sont radioactifs, provient de ce que l'on dispose, alors, de corps exactement semblables, du point de vue chimique, aux éléments qui se trouvent dans la nature, qui peuvent par conséquent, remplir exactement le même rôle qu'eux, mais qui sont facilement discernable par des méthodes physiques.

On parle volontiers, à propos des isotopes, d'éléments « étiquetés » ou d'éléments « traceurs »: en effet, si, par exemple, on introduit l'un d'eux dans un organisme, il sera facile, grâce à la radioactivité ou à d'autres propriétés physiques, de le distinguer d'avec la quantité du même élément qui était déjà présenté dans l'organisme.

Nous donnerons quelques exemples de cette technique:

Chronologie et archéologie

L'archéologie et l'histoire représentent bien un des domaines où l'on serait le moins attendu à voir pénétrer la radioactivité, il n'en est pas moins vrai que cette étude a déjà permis d'obtenir quelques résultats, expliquons rapidement de quelle manière: L'atmosphère contient on le sait du gaz carbonique, mais ce que l'on sait moins c'est qu'une petite partie de ce gaz carbonique contient, non pas du carbone ordinaire ^{12}C , mais un isotope ^{15}C radioactif.

Tous les organismes vivants absorbent ce gaz carbonique et, par conséquent, possèdent pendant leur vie une certaine radioactivité, à la vérité très faible, mais mesurable. Après la mort, l'organisme n'absorbe plus de carbone radioactif, mais sa radioactivité propre dure pendant un certain temps, tout en s'affaiblissant, puisque le

carbone radioactif se détruit, nous l'avons expliqué à propos du radium.

En mesurant cette radioactivité résiduelle, il est donc possible de déterminer plus ou moins approximativement le temps écoulé depuis la mort de l'organisme.

En fait, la méthode appliquée dans des cas de date connue par l'histoire a donné de bons résultats, une approximation suffisante. On a cherché ensuite à extrapoler et à appliquer la méthode à des cas inconnus ou peu connus de l'histoire; c'est ainsi qu'il a été possible, en mesurant la radioactivité résiduelle de fragments de cercueils en Egypte, de choisir entre les

moins vrai que l'on peut attendre des résultats extrêmement intéressants de cette méthode lorsqu'elle aura été davantage étudiée et perfectionnée. En attendant, pour des faits plus récents, en matière de *police scientifique*, par exemple, lorsqu'il s'agit de déterminer l'époque d'une mort suspecte, l'examen de la radioactivité a déjà fourni de précieux et incontestables résultats.

Les isotopes « étiquetés » et la biologie

Lorsque nous buvons un verre d'eau que devient cette eau, est-elle stockée dans un endroit quelconque du corps ou est-elle utilisée

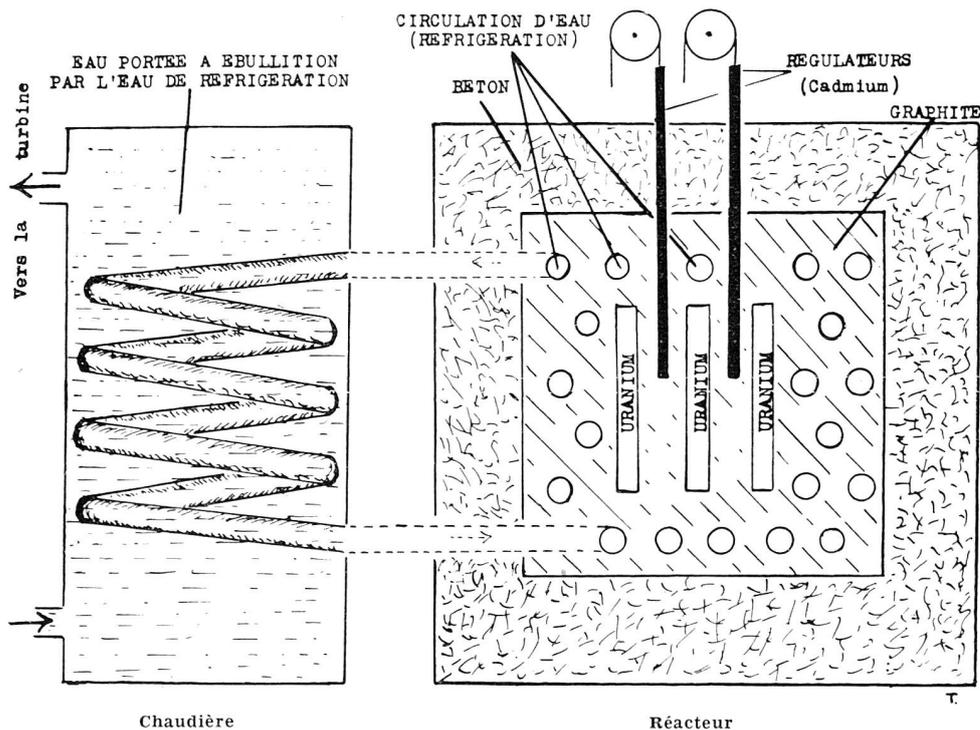


Fig. 11. — Un exemple, très schématique, d'un réacteur à but industriel. Des écrans de cadmium peuvent être intercalés entre les barres d'uranium pour éviter l'« emballement » de la réaction nucléaire. L'eau de réfrigération circule dans des tuyaux noyés dans du graphite; cette eau, conduite dans un serpentin, peut porter à ébullition l'eau d'une chaudière qui, à son tour, servira à actionner une turbine. On ne peut pas utiliser directement l'eau de réfrigération, qui est radioactive. Tout le réacteur est entouré d'une épaisse protection de béton.

deux grands systèmes de chronologie des archéologues.

On a été plus loin et l'on a cherché à déterminer l'âge des époques géologiques; ainsi la grotte de Lascaux en Dordogne où ont été trouvés des restes des hommes préhistoriques donnerait pour l'époque où vécurent ces hommes la date de 12 000 ou 13 000 avant l'ère chrétienne.

On a été plus loin encore et l'on a cherché à déterminer l'âge des roches d'après leur teneur en différents produits radioactifs, on trouve ainsi que les terrains carbonifères remonteraient à 2 millions de siècles. Il est bien sûr que, jusqu'à nouvel avis, ces résultats ne doivent être accueillis qu'avec quelque réserve; il n'en est pas

immédiatement? Lorsque, ayant des insomnies, nous absorbons un barbiturique, à quel niveau agit le médicament: sur le cerveau, sur la moëlle, ailleurs? Comment se fabriquent, dans le corps certains produits utiles ou nocifs, l'acide urique, par exemple?

Autant de questions que l'on a tâché de résoudre par différentes méthodes, sans résultats absolument valables. On avait, il est vrai, par exemple, cherché à fabriquer des barbituriques colorés que l'on a administrés à un animal qui fut, après, sacrifié, et l'on a trouvé effectivement le cerveau partiellement coloré par le médicament, mais ces résultats n'étaient pas tout à fait convaincants en raison de la toxicité de ces produits.

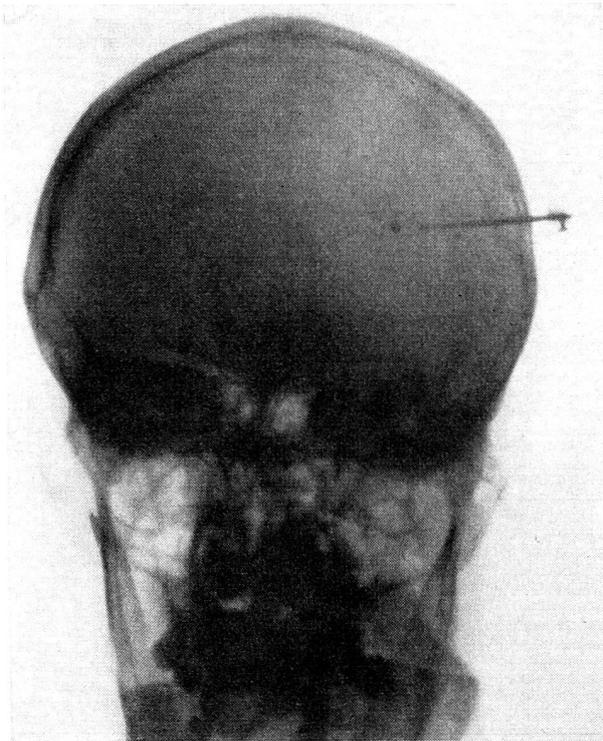


Photo aux rayons X montrant l'emploi d'une sonde au cobalt 60 de Jentzer et Wenger pour le traitement d'une tumeur cérébrale (à droite en haut). (Photo Institut du Radium, Genève)

Les isotopes « étiquetés » ont permis de commencer à résoudre un certain nombre de ces questions et voici comment :

On a, par exemple, administré à des oiseaux (qui fabriquent de fortes quantités d'acide urique) des produits que l'on soupçonnait pouvoir entrer dans la synthèse urique; si l'acide urique excrété était radioactif, l'hypothèse était exacte, s'il ne l'était pas, elle était erronée. Par ce moyen, on a pu se rendre compte de la manière dont l'animal effectue cette synthèse: dans la formule de l'acide urique, tel atome de carbone provient des carbonates, tel autre des acétates et ainsi de suite. Il est superflu d'insister; on voit immédiatement combien la connaissance de la synthèse des divers produits par l'organisme animal pourra rendre de services dans l'étude du métabolisme normal ou pathologique.

Dans le cas de l'eau, on a employé l'eau lourde, qui contient un isotope de l'hydrogène, l'hydrogène lourd ou deuterium. Cet hydrogène n'est pas radioactif, mais l'eau lourde peut être suivie, dans une certaine mesure, dans l'organisme par le fait qu'elle a une densité un peu supérieure à celle de l'eau ordinaire.

Utilisations médicales

Voici, enfin, les utilisations peut-être les plus spectaculaires, les plus anciennement connues puisque elles remontent aux premiers travaux

de Curie et, même, de Röntgen. Avant d'exposer ce qui a pu être atteint dans ce domaine, il faut un peu insister sur le danger des radiations, danger grave, mais dont on a parlé un peu à tort et à travers. Dès les premiers travaux de Röntgen, on s'est aperçu des dangers des rayons X pour l'organisme et des radiodermites qu'ils provoquent; or, les rayons γ des corps radioactifs ne sont pas autre chose que des sortes de rayons X extrêmement pénétrants.

Le danger s'est encore accru avec les divers rayonnements pénétrants du radium, puisque des rayons α et β représentent de petites gerbes de mitrailleuses qui projettent des quantités de corpuscules radioactifs doués d'une grande force de pénétration grâce à leur vitesse prodigieuse. En fait, les radiations peuvent provoquer des sortes de cancer. On connaît, par exemple, le cas de tel physicien qui, au début de l'étude du radium, au moment où l'on n'avait aucune idée d'un danger quelconque, a gardé dans son gousset, quelques jours, un morceau de minerai radifère. Il s'est produit au niveau de la poche, une curieuse ulcération et le malheureux est mort quelques semaines plus tard. A l'époque, les médecins n'ont pas compris ce qui avait pu se passer; aujourd'hui il ne peut y avoir de doute qu'il s'agissait d'une lésion provoquée par la radioactivité.

Si, donc, les radiations sont si dangereuses, comment a-t-on pu les employer en thérapeutique; c'est que, semblables aux langues d'Esope, elles sont capables du meilleur et du pire. Divisons cet exposé en deux paragraphes: radiodiagnostic et radiothérapie.

RADIODIAGNOSTIC ET RADIOTHERAPIE

I. — Radiodiagnostic

La presse, il y a peu d'années, a rapporté tout au long et durant des mois, un cas de radiodiagnostic intéressant par lui-même, intéressant aussi par la personnalité du patient qui était le feu Roi d'Angleterre. George VI souffrait de l'oblitération d'une artère de la jambe; il fallait opérer, mais où? à quel endroit l'artère était-elle bouchée? Il lui fut injecté du sérum physiologique, mais du sérum préparé non pas avec du sel ordinaire, mais bien avec du sel contenant un isotope radioactif du sodium. Ensuite, il a suffi de suivre avec un compteur de radiations, le trajet de la solution radioactive le long de l'artère: là où la radioactivité ne se montrait plus, là était l'oblitération de l'artère. Le chirurgien a, alors, pu intervenir en toute sécurité à l'endroit précis qui lui était indiqué.

On pourrait objecter ceci à cette méthode: Vous nous avez dit que les radiations étaient terriblement dangereuses et vous nous dites à présent que l'on injecte ces mêmes radiations à l'intérieur du corps; comment cela est-il possible sans danger mortel?

Bien sûr, mais les éléments sont plus ou moins radioactifs et la radioactivité du sodium est suffisamment faible pour n'offrir aucun inconvénient pour l'organisme tout en étant suffisante pour être décelée par des appareils très sensibles.

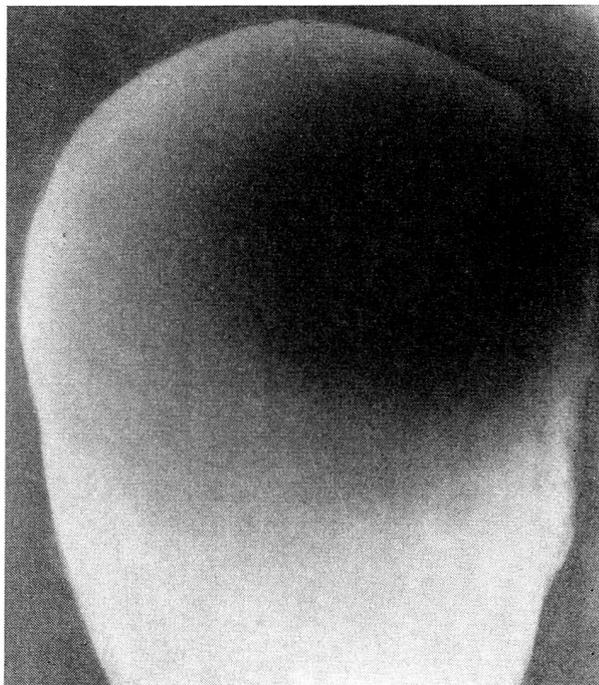
Autre exemple de radiodiagnostic: le fonctionnement exagéré de la thyroïde, ou maladie de Basedow (amaigrissement, nervosité, pouls rapide). L'iode introduit dans l'organisme est assimilé par la glande thyroïde et, plus particulièrement, par les parties exagérément actives de cette glande, ce qu'il a été possible de mettre en évidence grâce au *radio-iode*, l'isotope radioactif de l'iode.

Voici donc une femme portant un goître de Basedow. Il y a encore quelques années, le chirurgien intervenait et, par précaution, pour ne rien laisser subsister de dangereux, enlevait la glande thyroïde entière. On a fabriqué ainsi des myxoedémateux (insuffisants thyroïdiens) en quantité. Mieux eût valu n'enlever que la partie hyperactive, mais on ne pouvait pas savoir. Aujourd'hui, grâce au radio-iode, il est facile de voir, soit grâce au compteur de radiations, soit par photographie directe (la plaque photographique est, rappelons-le, impressionnée dans l'obscurité par les rayonnements du radium) quelle partie de la glande est responsable de la maladie; c'est celle-là seulement dont on fera l'ablation.

II. — Radiothérapie

Ici, peut-être mieux vaudrait-il parler de radiochirurgie que de radiothérapie. Les rayonnements radioactifs détruisent, nous l'avons dit, la substance vivante; il s'agit donc, surtout, d'une sorte de bistouri perfectionné qui ira chercher le tissu malade, sans toucher au tissu sain, c'est une question de dosage. L'intérêt consiste, surtout, dans le fait que l'application n'est pas restreinte à la surface extérieure du corps, mais qu'il est possible d'envoyer dans telle ou telle partie, dans tel ou tel organe malade, une substance radioactive qui ira détruire sur place le tissu à supprimer.

Les isotopes sont, là aussi, est-il besoin d'y insister, d'un grand secours. Au début, on ne connaissait que le radium; aujourd'hui, nous avons, par exemple, préparé le radiocobalt dont les radiations sont beaucoup plus pénétrantes que celles du radium; on peut ainsi, grâce au pouvoir de pénétration des rayons matériels envoyer à l'intérieur du corps des particules radioactives elles-mêmes qui agiront sur place. D'autre part, avec les isotopes, il est possible de préparer des substances semblables à celles qui se trouvent dans l'organisme, qui joueront, chimiquement, le même rôle, mais, agissant sur place, détruiront le tissu à supprimer.



Autographie du même cas montrant le rayonnement du cobalt 60 employé pour le traitement d'une tumeur cérébrale. Les radiations impressionnent la plaque photographique à travers la paroi crânienne. (Institut du Radium, Genève)

Bien entendu, si nous pouvons espérer de très grandes aides de ces techniques nouvelles, il convient de ne pas oublier que les radiations sont dangereuses, que, sur certains points, tant en physique qu'en biologie, il reste encore bien des obscurités; c'est dire que, lorsque les médecins recommandent et pratiquent la plus grande prudence, ils ont entièrement raison.

NOUS AVONS LU...

...*Revue internationale de la Croix-Rouge*, Genève, juin 1955: L'activité du service italien de l'Agence centrale des prisonniers de guerre; Hommage à la mémoire du sénateur Ciraiolo; le problème de l'assistance juridique.

...*Revue internationale de la Croix-Rouge*, Genève, juillet 1955: Quelques considérations sur une révision éventuelle des Conventions de La Haye relatives à la guerre, Max Huber; De la neutralité du personnel sanitaire, J. des Cilleuls.

Revue suisse des infirmières, Soleure, juillet 1955: Médaille Florence Nightingale et journée de la Source; IX^e congrès de la Fédération internationale des hôpitaux.

Feuilles contre la tuberculose, Berne, 30 juillet 1955: Résultats obtenus chez les malades sortis en 1953 des sanatoriums populaires suisses, Dr F. Kaufmann.

Pro Infirmis, Zurich, 2/XV, 1^{er} août 1955: Les problèmes essentiels du mariage entre sourds-muets, Mlle Marthe Muggli.

...*Chronique de l'OMS*, Genève, avril 1955, n^o 4/9: L'activité de l'OMS en 1954.

...*Nouvelles de l'OMS*, Genève, juin-juillet 1955, n^o 6-7/VIII: La lutte pour l'hygiène en Egypte, Irak et Syrie.