

MANUEL PRATIQUE

DU

RADIUM

à l'usage des

Agriculteurs, Chimistes, Ingénieurs

Médecins, Prospecteurs

PAR

Félix COLOMER

Ingénieur civil des Mines

Prix :

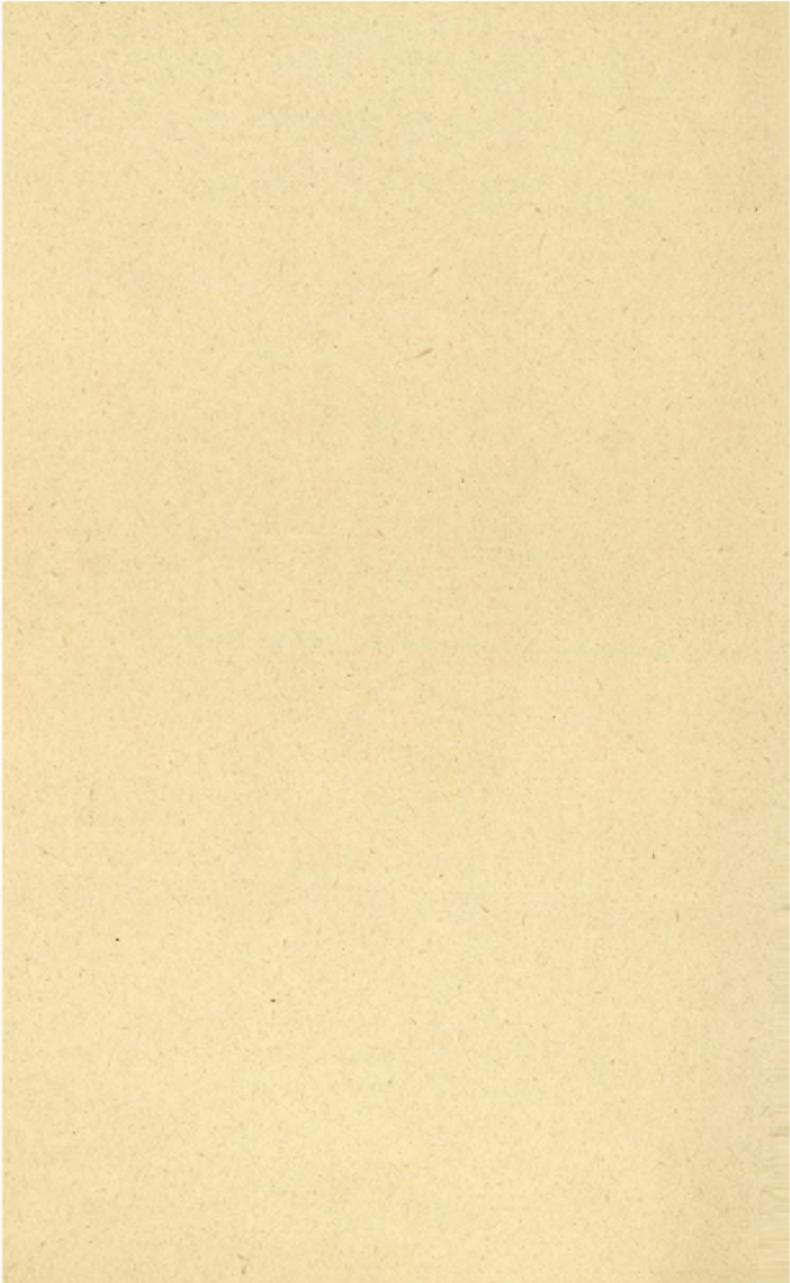
25 francs

ÉDITIONS D'ACTUALITÉS

39, Avenue de Saint-Mandé

PARIS

1926





MANUEL PRATIQUE

DU

RADIUM

à l'usage des

Agriculteurs, Chimistes, Ingénieurs

Médecins, Prospecteurs

BMIC 96



N^o B10 388087 / - 103863

MANUEL PRATIQUE

DU

RADIUM

à l'usage des

Agriculteurs, Chimistes, Ingénieurs

Médecins, Prospecteurs

PAR

Félix COLOMER

Ingénieur civil des Mines

Prix :

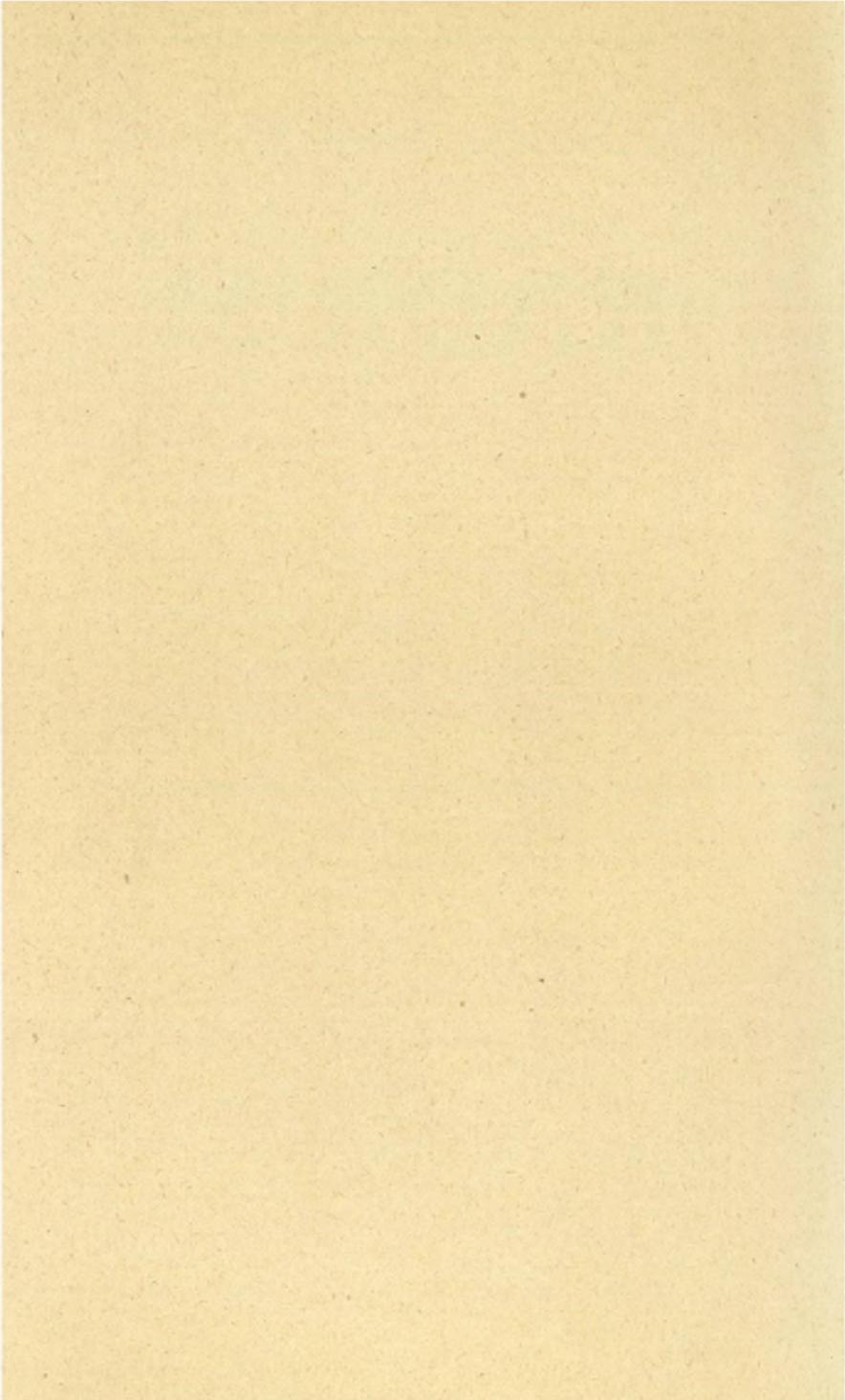
25 francs

ÉDITIONS D'ACTUALITÉS

39, Avenue de Saint-Mandé

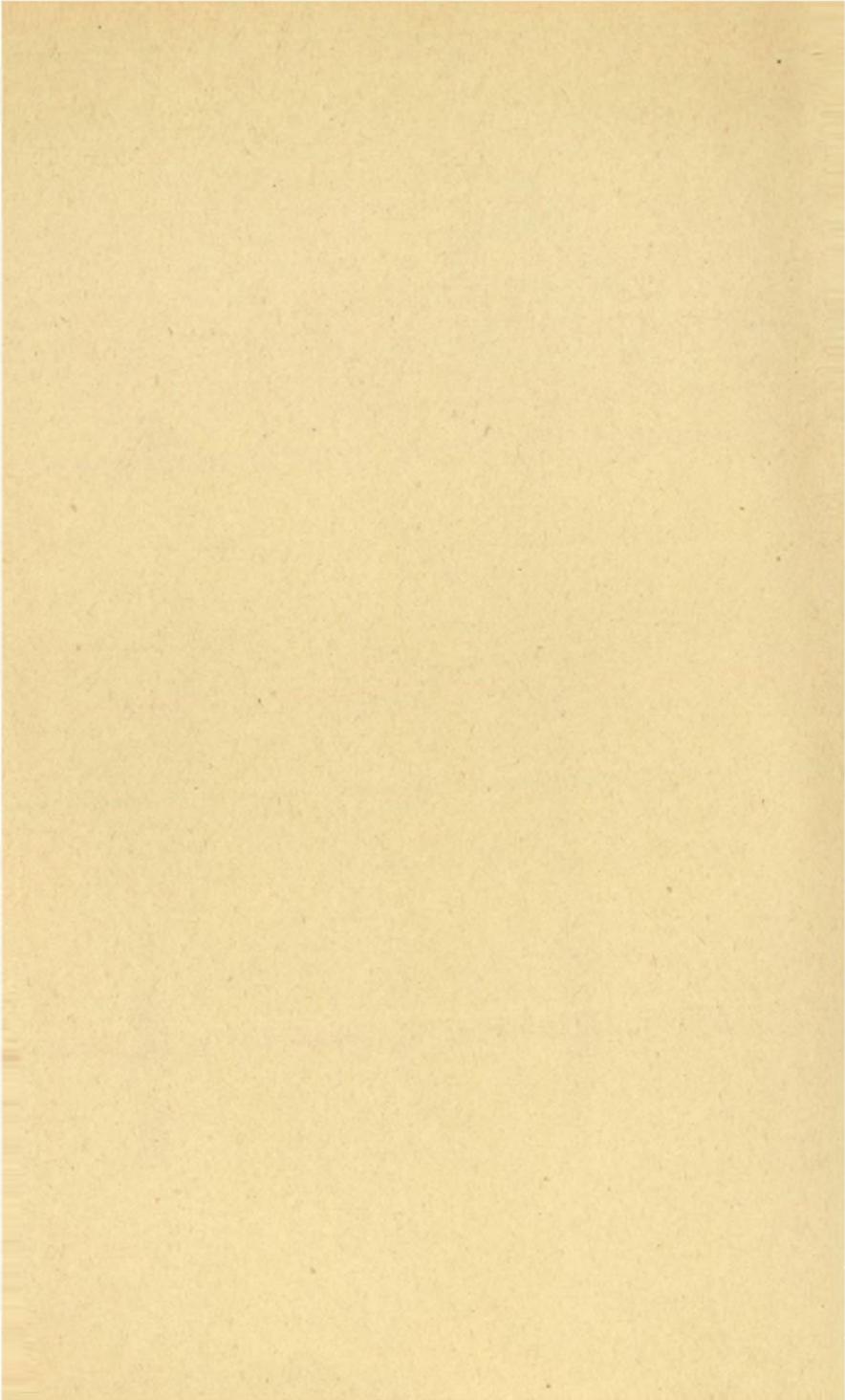
PARIS

1926





INFLUENCE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LA CULTURE DU CHOU.



NOTE DE L'AUTEUR

Depuis l'époque de sa découverte, en l'an 1898, le radium n'a pas pris un essor comparable à celui que l'on avait escompté de prime abord. Non pas qu'on eût mal placé en lui toute confiance, mais on lui avait demandé de réaliser des prodiges, des choses considérables, et ces prodiges, ces choses, il ne pourra pas les accomplir avant le jour où il sera mieux connu au point de vue de ses applications générales.

Les applications du radium en sont actuellement au point où étaient celles de l'électricité en 1875. Qui ne se souvient du petit tramway à trolley qui transportait de la place de la Concorde à l'ancien Palais de l'Industrie les visiteurs de l'Exposition d'électricité, la première en date, si je ne m'abuse ? Le plus souvent, faute de courant ou à cause d'une avarie du moteur, le tramway devait s'arrêter. Les pannes étaient nombreuses et pourtant combien était réduit le trajet à parcourir !

Nous sommes loin aujourd'hui, à tout point de vue, de ce premier essai de traction électrique. Dans l'espace de quarante ans, les progrès réalisés en électricité ont été considérables. La traction électrique se fait sur de grands parcours, non seulement pour des tramways dans toutes les villes du monde, mais encore pour des trains où un moteur électrique puissant remplace la locomotive à vapeur. La force électrique, produite en grande partie par la houille blanche, est transportée à grande distance pour être utilisée dans l'industrie et dans les campagnes.

Les machines électriques d'extraction dans les mines et

les moteurs électriques des laminoirs dans les usines métallurgiques ont des puissances de 800 et de 1.200 CV, souvent plus.

Le fluide qui passe dans les fils et qu'on a comparé à l'eau circulant dans des tuyaux en fer, en fonte ou en grès, est aujourd'hui bien capté et normalement conduit à son lieu d'emploi.

Ne pourrait-il pas en être de même du fluide émis par le radium ?

Celui-ci est de nature gazeuse. Le problème serait de pouvoir et de savoir capter les émanations radioactives pour les domestiquer sans perdre aucune de leurs propriétés. Cela n'est sans doute pas impossible.

C'est dans ce but que j'ai écrit ce petit livre, voulant indiquer brièvement à tous les chercheurs, à tous les inventeurs, ce qu'est le radium et ce qu'on peut attendre de ses applications pour l'avenir.

J'ai tenu également, en résumant ce qui a déjà été obtenu avec le radium, à confondre les attaques de certains détracteurs qui ne craignent pas de conclure à la *faillite du radium* dans un temps assez prochain.

Je m'inscris en faux contre ces idées et je pense que tous ceux qui auront lu cet ouvrage, seront unanimes pour proclamer avec moi l'avenir de la belle découverte d'un de nos plus grands savants français enlevé si prématurément à ses travaux par un accident banal. J'ai nommé Pierre Curie, et je nomme après lui M^{me} Curie qui a si admirablement parachevé l'œuvre magistrale de son mari.

CHAPITRE PREMIER

LA DÉCOUVERTE DU RADIUM

Premières recherches. — Expériences d'Henri BECQUEREL. — Radioactivité des corps. — Travaux de M. et M^{me} CURIE. — Origine présumée du radium.

La découverte du radium est intimement liée à la découverte de la radioactivité des corps et en découle directement. Voici comment Henri BECQUEREL a été amené à trouver cette radioactivité des corps.

Premières recherches. — Le 30 janvier 1896 paraissait dans la *Revue Générale des Sciences* un article de Henri POINCARÉ, où on lit ce qui suit :

« Ainsi, c'est le verre qui émet des rayons Röntgen, et
« il les émet en devenant fluorescent. Ne peut-on alors
« se demander si tous les corps dont la fluorescence est
« suffisamment intense, n'émettent pas, outre des rayons
« lumineux, des rayons X de Röntgen, quelle que soit
« la cause de leur fluorescence. Les phénomènes ne
« seraient plus alors liés à une cause électrique. Cela
« n'est pas très probable, mais cela est possible et sans
« doute assez facile à vérifier ».

Ces lignes ouvraient tout un champ d'expériences aux recherches des physiciens. Il y eut un certain nombre d'essais.

M. HENRY obtint des impressions photographiques au

travers du papier noir à l'aide du sulfure de zinc phosphorescent. M. NIEWENGLOWSKI réalisa le même phénomène avec du sulfure de calcium exposé à la lumière. Enfin M. TROOST obtint de fortes impressions photographiques avec de la blende hexagonale artificielle phosphorescente agissant au travers du papier noir et d'un gros carton. Expériences intéressantes, mais isolées et pas toujours faciles à reproduire.

Le seul essai qui ait vraiment réussi est celui de Henri BECQUEREL.

Expériences d'Henri Becquerel. — Les sels d'uranium étant des corps très fluorescents, BECQUEREL, guidé par les travaux de son père sur la phosphorescence, eut l'idée de chercher si ces sels, excités par la lumière, n'émettraient pas des radiations analogues aux rayons Röntgen et si le problème posé par Henri POINCARÉ ne serait pas ainsi résolu.

Il déposa sur une plaque photographique, enveloppée d'une double feuille de papier noir, deux lamelles de sulfate double d'uranium et de potassium. Il avait choisi à bon escient l'un des plus lumineux des sels d'uranium. Entre l'une des lamelles et la plaque photographique il interposa une pièce d'argent. Puis il exposa au soleil. Au bout de quelques heures le développement de la plaque fit apparaître les silhouettes des lamelles et l'impression de la pièce d'argent.

L'expérience fut répétée en interposant entre la plaque et la lamelle de sel d'uranium une lame mince de verre de 0 mm. 10 d'épaisseur ou bien une lame de mica, afin d'arrêter au besoin toute radiation. Les résultats furent identiques et furent communiqués à l'Académie des sciences le 24 février 1896.

Une nouvelle expérience fut faite en plaçant les sels d'uranium sur une plaque d'aluminium, et en interposant entre ces sels et la plaque photographique une croix en cuivre de 0 mm. 10 d'épaisseur, le tout étant disposé de manière que la plaque fût impressionnée uniquement par les rayons traversant le couvercle en aluminium. Après développement, la silhouette de la croix se détachait en clair.

Dans la communication faite à l'Académie des sciences, à la suite de cette expérience, Henri BECQUEREL disait :

« J'insisterai particulièrement sur le fait suivant qui me paraît tout à fait important et en dehors des phénomènes que l'on pouvait s'attendre à observer : les mêmes lamelles cristallines, placées en regard de plaques photographiques, dans les mêmes conditions et au travers des mêmes écrans, mais à l'abri de l'excitation des radiations incidentes et maintenues à l'obscurité, produisent encore les mêmes impressions photographiques. Voici comment j'ai été conduit à faire cette observation parmi les expériences qui précèdent. Quelques-unes avaient été préparées le mercredi 26 et le jeudi 27 février, et, comme ces jours-là le soleil ne s'est montré que d'une manière intermittente, j'avais conservé les expériences toutes préparées et rentré les châssis à l'obscurité dans le tiroir d'un meuble, en laissant en place les lamelles du sel d'uranium.

« Le soleil ne s'étant pas montré les jours suivants, j'ai développé les plaques photographiques le 1^{er} mars, en m'attendant à trouver des images très faibles. Les silhouettes apparurent, au contraire, avec une grande intensité. Je pensai aussitôt que l'action avait dû continuer à l'obscurité ».

BECQUEREL fit alors de nouvelles expériences identiques aux précédentes, mais à l'abri de toute lumière. Il trouva les mêmes résultats et en conclut que les mêmes phénomènes ne devaient pas être attribués à des relations lumineuses émises par phosphorescence.

Le 3 mars 1896, à quatre heures du soir, BECQUEREL plaça dans l'obscurité sur une plaque photographique entourée de papier noir des sels d'uranium séparés du papier noir par des lames de verre très mince. Quarante-huit heures après, le 5 mars, à quatre heures trente, la plaque photographique après développement montra une impression des sels d'uranium. Les sels furent placés toujours dans l'obscurité sur une seconde plaque photographique où, au bout du même temps, on observa des images aussi intenses que la première fois. L'expérience fut recommencée une troisième, puis une quatrième fois, toujours avec le même résultat.

BECQUEREL refit ensuite les expériences à des époques plus espacées. La dernière remonte au 30 mars 1903. Il constata que pendant sept fois les impressions ont été les mêmes sur la plaque photographique, sans que les matières actives aient été retirées et sans que, pendant tout cet intervalle de temps, celles-ci soient sorties du local obscur où elles étaient enfermées. Ceci prouvait bien la permanence du phénomène.

D'autres expériences furent faites par BECQUEREL.

Une pose de quatre jours permit d'obtenir l'impression bien nette d'une médaille en aluminium.

Un fait est à noter : En écartant les lamelles de la plaque photographique l'action radioactive s'affaiblit ; ceci prouve qu'il y a absorption par l'air et diffusion dans l'atmosphère. On comprendra pourquoi, en lisant plus loin les propriétés du rayonnement émis par le radium.

Radioactivité des corps. — De ces recherches, BECQUEREL tira les conclusions suivantes :

« L'uranium et tous les sels de ce métal émettent un rayonnement invisible et pénétrant qui produit des actions chimiques photographiques et décharge à distance les corps électrisés. Ce rayonnement paraît avoir une intensité constante, indépendante du temps, et n'être influencé par aucune cause excitatrice extérieure connue. Il paraît donc spontané. Il traverse les métaux, le papier noir, et les corps opaques pour la lumière.

« La plaque photographique et l'électroscope forment les bases des deux méthodes d'investigation pour étudier le nouveau rayonnement. La propriété radiante est liée à la présence de l'élément uranium : c'est une propriété atomique, indépendante de l'état moléculaire des composés.

« Les corps frappés par le rayonnement nouveau émettent eux-mêmes un rayonnement secondaire qui impressionne une plaque photographique ».

BECQUEREL fut ainsi conduit à admettre l'existence de rayons particuliers autres que les rayons ROENTGEN, rayons qu'il nomma *uraniques* et dont l'existence avait été soupçonnée par Henri POINCARÉ.

Les principales propriétés de ces rayons sont de traverser des corps opaques quelconques, pourvu qu'ils soient en couche suffisamment mince, d'impressionner à la longue des plaques photographiques, même au travers des écrans et de décharger faiblement les corps électrisés. En traversant une atmosphère gazeuse, les rayons rendent les gaz de cette atmosphère conducteurs de l'électricité.

La spontanéité et la constance du rayonnement uranique se présentaient comme un phénomène physique

tout à fait extraordinaire. Ce phénomène devait prendre le nom de *radioactivité* à la suite des travaux et des découvertes de M. et Mme CURIE. (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 18 juillet 1898).

Les effets photographiques et électriques des rayons uraniques sont très analogues à ceux produits par les rayons ROENTGEN, mais la plupart des rayons émis par l'uranium ne peuvent pas traverser des lames métalliques très épaisses ni se propager à plus de quelques centimètres dans l'air.

On a assimilé les rayons uraniques aux rayons secondaires produits par les rayons de ROENTGEN. Ceux-ci sont moins pénétrants que les rayons primaires. Ils prennent naissance, quand les rayons primaires rencontrent un corps. Ils présentent l'analogie avec les rayons uraniques de pouvoir transporter des charges négatives, pendant que les corps qui les émettent se chargent positivement. Le phénomène sera d'autant plus marqué que le métal frappé par les rayons est à fort poids atomique.

Travaux de M. et Mme Curie. — BECQUEREL ayant émis l'idée que les propriétés de l'uranium ne devaient pas être l'apanage exclusif de ce métal et qu'elles devaient se manifester à des degrés différents dans d'autres corps de la nature, des recherches furent faites par divers savants dans cet ordre d'idées.

En 1898, M. SCHMIDT trouva que le thorium et ses composés présentaient avec une même intensité les mêmes phénomènes que l'uranium et ses composés. Mme CURIE, la même année, reconnaissait ces mêmes propriétés du thorium. C'est alors qu'elle proposa d'appeler *radioactives* les substances telles que le thorium et l'uranium, émettant des rayons uraniques, rayons

qu'on nomme aussi rayons BECQUEREL du nom du grand physicien qui les a découverts.

Les corps radioactifs sont très nombreux dans la nature ; leur radioactivité est plus ou moins intense.

Cette radioactivité ayant été caractérisée de propriété atomique par BECQUEREL, Mme CURIE a étudié par la méthode électrique un grand nombre de substances (métaux, métalloïdes, corps rares, minéraux divers) et elle est arrivée à cette conclusion qu'il n'y avait pas de corps simple, autre que l'uranium ou le thorium, qui soit doué de radioactivité atomique.

Mme CURIE fut donc amenée à examiner au point de vue radioactivité les minerais d'uranium (1) ou de thorium, c'est-à-dire la pechblende, la chalcopite, l'autunite, la monazite, la thorite, l'orangite, la fergusonite, la clévéite. Parmi ces minerais quelques-uns sont plus actifs que l'uranium. Certaines pechblendes sont quatre fois plus actives que l'uranium métallique. Quelques chalcopites sont deux fois plus actives.

En préparant une chalcopite artificielle, M. et Mme CURIE trouvèrent que la radioactivité était beaucoup moindre que dans le minerai naturel.

« Il devenait dès lors très probable, dit Mme CURIE
« dans sa thèse, que si la pechblende, la chalcopite,
« l'autunite ont une activité si forte, c'est que ces subs-
« tances renferment en petite quantité une matière for-
« tement radioactive, différente de l'uranium, du tho-
« rium et des corps simples actuellement connus. J'ai
« pensé que, s'il en était effectivement ainsi, je pou-
« vais espérer extraire cette substance du minerai par
« les procédés ordinaires de l'analyse chimique.

(1) Voir chapitre III, page 54 la définition de ces divers minerais.

« Notre méthode de recherches ne pouvait être basée
« que sur la radioactivité, puisque nous ne connaissons
« aucun autre caractère de la substance hypothétique.
« Voici comment on peut se servir de la radioactivité
« pour une recherche de ce genre. On mesure la radio-
« activité d'un produit ; on effectue sur ce produit une
« séparation chimique ; on mesure la radioactivité de
« tous les produits obtenus et l'on se rend compte si la
« substance radioactive est restée intégralement avec
« l'un d'eux, ou bien si elle s'est partagée entre eux, et
« dans quelle proportion. On a ainsi une indication qui
« peut être comparée, en une certaine mesure, à celle
« que pourrait fournir l'analyse spectrale. Pour avoir
« des nombres comparables, il faut mesurer l'activité
« des substances à l'état solide et bien desséchées. »

C'est à la suite de ces recherches que le 18 juillet 1898, M. et Mme CURIE annonçaient à l'Académie des sciences la préparation d'un produit très voisin du bismuth et 400 fois plus actif que l'uranium, qu'ils appelaient *polonium* en l'honneur du pays d'origine de Mme CURIE. Mais l'activité de ce polonium diminue rapidement. Il ne semble pas qu'il soit radioactif par lui-même ; il doit tenir d'un autre corps plus actif une radioactivité induite (voir page 37) ; on peut lire aussi page 241 que le polonium dérive d'un autre corps.

Cet autre corps, M. et Mme CURIE le définissaient le 26 décembre 1898. Ils l'appelaient *radium*. Ils l'avaient extrait de la pechblende en collaboration avec M. BÉMONT. Le nouveau produit, trouvé dans le baryum séparé de la pechblende, et non plus dans le bismuth comme le polonium, est 900 fois plus actif que l'uranium. Il fut isolé sous forme de sel de baryum. C'est ainsi que depuis lors on l'a toujours préparé.

Cette grande et belle découverte fut faite à la suite de recherches minutieuses au moyen de précipitations fractionnées (voir page 85 chapitre iv) dont la radioactivité était contrôlée soit avec l'électromètre (voir page 88 chapitre iv), soit par analyse spectrale.

Le radium ayant été trouvé, on étudia ses propriétés physiques et chimiques qui furent assez rapidement déterminées ; on s'occupa de ses applications qui ne sont pas encore aussi étendues qu'on aurait pu l'espérer primitivement.

Restait une question à définir. Elle est encore restée dans le domaine de l'hypothèse.

D'où vient le radium ?

Origine présumée du radium. — Le fait que le soleil est le siège d'une émission spontanée et continue de radiations de toute nature a de tout temps vivement préoccupé le monde savant et bon nombre d'explications ont été proposées dans le but d'élucider un point aussi troublant.

La découverte des substances radioactives et l'étude de leurs curieuses propriétés ont été le point de départ de nouvelles et nombreuses théories.

L'explication de la chaleur solaire ne présente pas, en effet, de difficultés fondamentales, si l'on admet que le soleil renferme des substances telles que le radium et qu'il est le siège d'une désagrégation d'éléments, comme cela semble se passer dans les corps radioactifs.

M. W.-E. WILSON a calculé que la présence de 3 gr. 6 de bromure de radium par mètre cube dans la masse solaire était suffisante pour justifier la totalité de l'énergie émise par le soleil. Le calcul de M. WILSON est basé sur les expériences de MM. CURIE et LABORDE qui ont trouvé qu'un gramme de bromure de radium émet

environ 100 petites calories par heure, et sur les observations de LANGLEY qui a été conduit à admettre que chaque centimètre carré de la surface solaire émet $8,28 \times 10^6$ petites calories par heure.

L'examen du spectre solaire n'a pas révélé la présence des raies du radium. Toutefois, il est absolument certain aujourd'hui que l'hélium, gaz provenant de la décomposition de radium (voir page 196 chapitre VIII), s'y trouve en quantité notable et ceci fait supposer indirectement que des substances radioactives peuvent parfaitement exister dans l'atmosphère du soleil.

Le fait que l'on n'observe pas à la surface de la terre de rayons très pénétrants n'annule pas l'hypothèse précédente; car, quand bien même le soleil serait constitué par du radium pur, il est à peu près certain que les rayons les plus pénétrants du radium auraient de la peine à arriver en quantité appréciable à la surface de la terre, vu la distance et que les autres rayons seraient complètement absorbés par leur passage dans l'atmosphère terrestre.

Les idées de M. WILSON peuvent être complétées.

M. P.-H. DARWINS a calculé pendant combien de temps le soleil pouvait émettre de l'énergie. Lord KELVIN avait estimé autrefois par une méthode dynamique que, en admettant une dispersion infinie de chaleur, le soleil pouvait nous envoyer encore ses rayons pendant 500.000.000 d'années environ. Ce calcul ne supposait aucun apport nouveau de chaleur au soleil.

Mais, si l'on suppose avec M. DARWINS que le soleil contient des substances telles que le radium, le calcul doit être modifié, car, ainsi qu'on le verra plus loin, le radium est une source spontanée et constante d'énergie (chapitre X).

M. P.-H. DARWINS admet que l'énergie perdue par le

soleil, supposé être une sphère homogène de masse M et de rayon a , est de $\frac{3}{5} \mu \frac{M^2}{a}$, μ étant la constante de gravitation. Ce qui donne, après substitution des valeurs numériques, une énergie perdue correspondant à $2,7 \times 10^7 M$ calories, M étant exprimée en grammes. En adoptant le nombre précédent de LANGLEY, cette chaleur suffit pour entretenir la chaleur pendant 12.000.000 d'années, nombre légèrement différent de celui trouvé par Lord KELVIN. M. RUTHERFORD a calculé d'autre part que l'énergie totale que pouvait libérer un gramme de radium en se détruisant était comprise entre 2×10^9 et 5×10^{10} petites calories.

Si d'autre part on admet, avec quelques raisons, que des quantités analogues d'énergie se trouvent dans les atomes chimiques des éléments inactifs et qu'à la température élevée du soleil cette désagrégation puisse se produire, on est conduit à supposer que la désagrégation complète de la masse solaire pourrait fournir de l'énergie, dans les conditions actuelles, pendant un temps 50 à 500 fois plus long que ne l'avait trouvé Lord KELVIN par des considérations purement dynamiques.

Et cette énergie pourrait fort bien être dûe pour sa plus grande partie à l'existence du radium.

Le radium existant dans le soleil doit se retrouver dans les satellites du soleil, dans les planètes du monde solaire.

Emmagasiné depuis des siècles dans le centre de la terre, le radium dégage de la chaleur (voir chapitre II, page 24) d'une manière constante ou produit les phénomènes radioactifs qui seront décrits plus loin. Et ce qui confirme cette hypothèse, c'est que le radium a toujours été signalé jusqu'ici dans les minerais d'un âge géologique fort ancien.

CHAPITRE II

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Poids atomique. — Spectre du radium. — Propriétés chimiques générales. — Dégagement de chaleur. — Rayonnement. — Rayons α . — Rayons β . — Rayons γ . — Passage des rayons à travers les corps opaques. — Activité. — Radioactivité induite. — Emanation. — Action ionisante. — Coloration des corps. — Luminescence. — Effets chimiques. — Désactivation et vie moyenne.

Le nouveau corps découvert par M. et Mme CURIE se révéla, dès les premiers jours où il fut étudié, comme possédant des propriétés physiques et chimiques d'un caractère tout à fait spécial. Deux de ces propriétés sont surtout intéressantes : la radioactivité et la luminescence transmises aux corps. Ces propriétés sont à la base des applications du radium.

Elles dérivent plus ou moins directement des divers caractères physiques et chimiques du radium que voici.

Poids atomique. — C'est à la suite d'essais très longs et très minutieux que Mme CURIE est arrivée à déterminer le poids atomique du radium. Elle a employé la méthode qui consiste à doser à l'état de chlorure d'argent le chlore contenu dans un poids connu de chlorure de radium anhydre. Il fallait pour cela obtenir du chlorure de radium pur et exempt du baryum qui accompagne toujours le radium. Mme CURIE est parvenue à ce résultat

après un très grand nombre de fractionnements de la liqueur qui contenait le radium.

Au début le poids de chlorure de radium et de baryum déjà concentré était de 500 grammes. La concentration fut poussée de manière à réduire le poids à 100 grammes.

Mme CURIE commença par déterminer le poids atomique du baryum qu'elle trouva égal à 137,5, les opérations de pesée étant faites avec une balance apériodique Curie sensible à $\frac{1}{20}$ de milligramme. Cette balance à lecture directe et très rapide permet de négliger l'absorption lente et progressive d'eau par le chlorure anhydre.

Puis Mme CURIE opéra sur des chlorures radioactifs, c'est-à-dire contenant du radium. A mesure qu'elle faisait ses premiers essais de poids, elle ne trouva pas tout d'abord une différence bien appréciable. Puis, au fur et à mesure que l'activité augmentait et alors que, dans l'analyse spectrale, le spectre du radium se manifestait d'une façon plus nette, le poids atomique se mit à croître proportionnellement à l'activité.

Le poids atomique du radium trouvé par Mme CURIE est égal à 225 et est exact à une unité près.

Le calcul a été fait en considérant le radium comme bivalent dans la formule du chlorure de radium qui est $Ra Cl_2$.

Le radium constitue un élément nouveau du groupe des métaux alcalino-terreux. Il vient se placer dans le tableau de MANDELEEF à la suite du baryum et sur le rang de l'uranium et du thorium.

Spectre du radium. — C'est la nature du spectre du radium qui a servi à Mme CURIE pour mener à bien ses

calculs de poids atomique. Ce spectre a été étudié spécialement par DEMARÇAY.

En examinant des échantillons de chlorure de baryum faiblement radifères, DEMARÇAY trouva, en même temps que les raies du baryum, une raie nouvelle d'intensité noble dans le spectre ultra violet. Avec un produit plus concentré, les raies du baryum étaient à peine visibles, alors qu'apparaissaient douze raies caractéristiques, dont trois particulièrement intenses, l'une d'elles étant la raie spéciale du radium.

La disposition de ces raies est la suivante. La première $\lambda = 468,30$ se trouve dans le bleu. La seconde $\lambda = 434,06$ est dans le violet et la troisième $\lambda = 381,47$, dans l'ultra violet. C'est cette dernière qu'on aperçoit la première avec des substances peu radioactives et qu'on appelle la raie caractéristique du radium.

Ces raies sont aussi fortes que les plus intenses de celles des corps connus. La présence des deux bandes nébuleuses, l'une dans le bleu et l'autre allant du bleu indigo à l'ultra violet, classe le radium parmi les métaux alcalino-terreux, conformément aux résultats déjà acquis par la détermination de son poids atomique.

Pour obtenir la visibilité nette dans le spectre de la raie principale et caractéristique du radium, il faut soumettre à l'analyse spectrale un sel dont l'activité soit 50 fois plus grande que celle de l'uranium métal.

Propriétés chimiques générales. — Le radium a été obtenu à l'état métallique par Mme CURIE et par M. DEBIERNE au moyen de l'électrolyse d'une solution de chlorure avec électrode négative de mercure. Le radium fixé sur cette électrode forme un amalgame qui, distillé

dans le vide, permet d'obtenir un métal brillant très altérable à l'air et fondant vers 700 degrés.

Le radium n'est jamais préparé à l'état métallique et toujours employé ou vendu sous forme de sels. L'obtention du métal exposerait à des pertes considérables qu'on peut éviter en concentrant la matière à l'état de bromure, de chlorure ou de sulfate.

Les sels de radium ont des propriétés voisines des sels correspondants de baryum. Toutefois le chlorure et le bromure de radium sont moins solubles que le chlorure et le bromure de baryum. C'est sur cette propriété qu'est basée la préparation industrielle des substances radifères. Les sels de radium cristallisent avec deux molécules d'eau dans les sels de baryum de même nature.

Le chlorure de radium à l'état solide ou de solution produit d'une façon continue de l'hydrogène. Quand il a été enfermé pendant un certain temps dans une ampoule, il dégage, lors du bris de l'ampoule, une forte odeur de chlore. Il peut y avoir une petite explosion due au gaz occlus dans l'ampoule.

Le bromure de radium dégage aussi du brome.

Tous les sels de radium (bromure, chlorure, nitrate, carbonate, sulfate) sont blancs comme les sels correspondants de baryum, quand ils viennent d'être préparés à l'état soluble. Avec le temps ils se colorent progressivement en jaune, puis en violet.

Les sels de radium décomposent l'eau.

Le chlorure et le bromure sont insolubles dans les acides concentrés et dans l'alcool absolu.

Le nitrate est soluble dans l'eau. Le mélange de nitrate de radium et de nitrate de baryum ne se sépare pas comme le mélange de bromure ou de chlorure.

Le sulfate de radium est insoluble dans l'eau et dans les acides concentrés ou étendus.

Le carbonate de radium est insoluble dans l'eau.

Le radium n'est pas précipité par l'acide sulfhydrique en solution acide, ni par le sulfure d'ammonium en solution alcaline étendue.

La coloration de la flamme d'un bec Bunsen est de l'ordre de celle qui est connue pour les métaux alcalins ou alcalino-terreux. Le bromure de radium donne une coloration de carmin intense.

Dégagement de chaleur. — MM. CURIE et LABORDE ont montré que les sels de radium sont le siège d'un dégage-

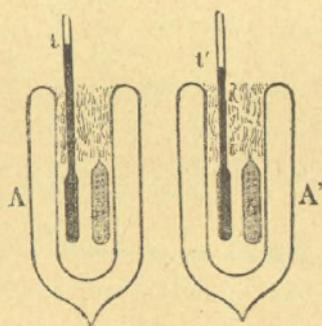


Fig. 1. — Appareil employé pour mesurer le dégagement de chaleur du radium.

ment continu de chaleur. Ces sels sont à une température supérieure de 1 degré 5 à la température ambiante.

La quantité de chaleur dégagée est assez grande pour pouvoir être mise en évidence par une expérience grossière, à l'aide de thermomètres à mercure ; la température d'un sel de radium, isolé calorifiquement, augmente.

On place dans un vase A (fig. 1) à isolement calori-

fique (vase de DEWAR, à double paroi, le vide ayant été fait dans l'intervalle compris entre les deux parois, vase employé pour conserver l'air liquide) une petite ampoule contenant 700 grammes de sel de radium et à côté d'elle un thermomètre à mercure. On ferme avec du coton l'ouverture du vase. Dans un autre vase analogue, on place une petite ampoule, contenant un sel inactif, un sel de baryum par exemple, et, à côté, un second thermomètre à mercure t' . Le thermomètre indique un excès de température à l'intérieur du premier vase, par rapport au second. L'ampoule contenant 7 décigrammes de radium, la différence de température accusée par le premier thermomètre sur le second est constamment de 3 degrés.

MM. CURIE et LABORDE ont mesuré la chaleur dégagée par les sels de radium en employant un calorimètre à glace Bunsen. La quantité de chaleur est d'environ 100 petites calories par gramme de bromure de radium et par heure.

Le poids atomique du radium étant de 225, l'atome gramme de radium ou 225 kilogrammes dégagerait en une heure 22.500 kilogrammes, soit une quantité de chaleur comparable à celle qui est donnée par un atome gramme ou 1 kilogramme d'hydrogène.

Une autre expérience de la détermination du dégagement de chaleur des sels de radium a été réalisée par CURIE et le professeur DEWAR. On utilise la chaleur dégagée par le radium pour faire bouillir un gaz liquéfié et l'on mesure le volume de gaz dégagé. On opère soit avec l'air liquide, soit avec l'hydrogène liquide. Avec celui-ci l'expérience est particulièrement intéressante en raison du grand volume de gaz dégagé.

L'appareil employé est le suivant (fig. 2) :

Le gaz liquéfié est placé dans un tube A, entouré d'un isolateur calorifique à vide de DEWAR, qui est plongé lui-même dans un bain de gaz liquéfié entouré d'un isolateur calorifique.

Le tube A est fermé par un bouchon, d'où part une tubulure à dégagement *t*, amenant le gaz sous une éprouvette graduée dans la cuve à eau.

Avec cet isolement presque parfait, une perte insi-

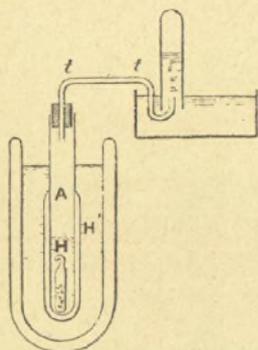


Fig. 2. — Calorimètre à hydrogène liquide.

gnifiante se produit dans le tube A. En plaçant dans le tube une ampoule contenant 7 décigrammes de bromure de radium, préparé depuis 10 jours, on obtient un dégagement de gaz régulier, qui est de 73 centimètres cubes par minute pour l'hydrogène.

La quantité de chaleur fournie par le radium est variable.

Un sel de radium qui vient d'être préparé dégage une quantité de chaleur relativement faible. La chaleur dégagée dans un temps donné augmente ensuite conti-

nuellement et tend vers une valeur déterminée qui n'est pas encore tout à fait atteinte au bout d'un mois.

De même, quand on dissout dans l'eau un sel de radium et que l'on enferme la solution dans un tube scellé, la quantité de chaleur dégagée par la solution est d'abord faible ; elle augmente ensuite et tend à devenir constante au bout d'un mois. Quand l'état limite est atteint, le sel de radium, enfermé dans un tube scellé, dégage la même quantité de chaleur, qu'il soit à l'état solide ou à l'état de dissolution.

Rayonnement. — Les rayons émis par le radium forment un mélange complexe qui peut être séparé en trois groupes bien distincts, si l'on fait agir un champ magnétique puissant sur le rayonnement du radium. Il en est de même, si l'on fait traverser aux rayons des substances de diverse nature.

RUTHERFORD a donné à ces rayons divers le nom de rayons α , rayons β et rayons γ .

Si l'on place dans une cavité creusée dans un bloc de plomb une certaine quantité de sel de radium, le rayonnement s'échappe sous forme d'un fuseau rectiligne.

Si au contraire on place la cuve de plomb entre les deux pôles d'un électro-aimant, de manière à disposer le plan AC (fig. 3) de la cuve perpendiculairement au champ magnétique, les trois groupes de rayons α , β et γ se séparent.

Les rayons α chargés d'électricité positive forment un faisceau très intense représentant la plus grande partie du rayonnement. Ils sont très légèrement déviés vers la gauche. Ils sont assez rapidement absorbés par l'air et leur trajectoire ne dépasse pas 8 à 10 centimètres de longueur.

Les rayons β chargés d'électricité négative sont déviés par le champ magnétique en sens inverse et dans le même sens que les rayons cathodiques. Ils décrivent des trajectoires circulaires dont les rayons varient à l'infini comme le montre la figure. Ils sont moins absorbables que les rayons α .

Les rayons γ forment un faisceau peu intense, presque

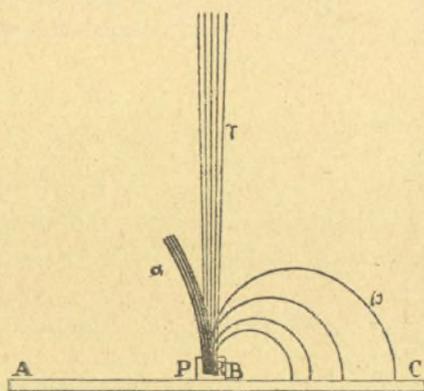


Fig. 3. — Schéma montrant la trajectoire des rayons émis par le radium.

rectiligne et insensible au champ magnétique. Ces rayons sont très pénétrants. Ils se dégagent avec une vitesse telle qu'ils sont capables de traverser des épaisseurs très fortes de substances et qu'ils peuvent se propager à plusieurs mètres de la source d'émission.

La séparation des rayons qui composent le rayonnement du radium, peut être obtenue autrement que par l'action du champ magnétique. On interpose des écrans de diverse nature sur la trajectoire du rayonnement. La puissance de pénétration des écrans est en raison inverse

de la densité des corps constituant ces écrans. Les rayons α sont arrêtés par les écrans et il y a formation de rayons secondaires β et γ . Ceci se produit avec une traversée d'écrans successifs à l'encontre de ce qui a lieu avec les rayons ROENTGEN.

D'une manière générale on retrouve dans les rayons émis par le radium tous les caractères des rayons de l'ampoule de CROOKES. Les rayons α , chargés positivement, correspondent aux rayons canaux de GOLDSTEIN, les rayons β aux rayons cathodiques et les rayons γ aux rayons ROENTGEN.

Quant à l'ordre de grandeur des corpuscules émis par le rayonnement du radium, il est le suivant. Un gramme de radium élément donne par seconde 136 milliards de corpuscules α . Certains auteurs estiment même un dégagement de plus de 150 millions de particules α pendant chaque seconde pour un milligramme de radium.

Les rayons α sont de beaucoup les plus nombreux, puisqu'ils comprennent les neuf dixièmes du rayonnement total. Les rayons β et γ sont en plus petit nombre, 9 p. 100 pour les rayons β et 1 p. 100 pour les rayons γ .

Rayons α . — Les rayons α sont les moins pénétrants. Ils sont arrêtés par une lame d'aluminium de quelques centièmes de millimètre d'épaisseur ou par une feuille de caoutchouc. Quand un sel de radium est enfermé dans une ampoule de verre scellée à la lampe, les rayons α ne sortent pas et leur rayonnement n'a pas lieu à l'intérieur de l'ampoule.

Ils sont très homogènes, si le radium est de fabrication récente; ils le sont moins, quand le radium est vieux.

On les a assimilés à des projectiles animés d'une grande vitesse et chargés d'électricité positive. Leur

vitesse est égale au vingtième de la vitesse de la lumière, soit 15.000 kilomètres environ par seconde. Ce sont en somme des atomes, c'est-à-dire des particules d'ordre de grandeur chimique, mais extrêmement ténues.

Les rayons α sont, ainsi qu'il vient d'être dit, assez analogues aux *canalstrahlen*, ou rayons canaux de GOLDSTEIN émis dans l'ampoule de Crookes. Ils parcourent une plus grande distance dans l'air que ceux-ci dans le vide.

D'après RUTHERFORD chaque rayon α serait constitué par un atome d'hélium chargé d'électricité positive à raison du double de la charge élémentaire ou d'un demi-atome portant une charge.

La majorité des rayons émis par le radium semble être les rayons α , ces rayons étant produits par la couche superficielle de sel de radium. Si l'épaisseur est plus grande, on a davantage de rayons β .

Les rayons α sont les plus importants au point de vue des transformations radioactives. Ce sont eux qui donnent naissance à l'émanation (voir page 39).

Rayons β . — Les rayons β sont analogues aux rayons cathodiques, mais plus pénétrants que ceux-ci qui sont arrêtés par une feuille d'aluminium de 4 millièmes de millimètre. Ils sont plus pénétrants que les rayons α .

L'expérience peut en être faite ainsi qu'il suit.

Une ampoule de verre contenant un sel de radium est placée à l'extrémité d'un tube en plomb à parois très épaisses, puis le tube est introduit entre les branches d'un électro-aimant. A une certaine distance se trouve un électroscope (voir chapitre III, page 76). On^e fait passer le courant. Les rayons β sont rejetés sur les parois du tube de plomb et n'arrivent pas à l'électroscope. Les rayons γ agissent seuls, les rayons α étant

absorbés rapidement par l'air. La décharge de l'électroscope se fait très lentement. Si au contraire on cesse de faire passer le courant dans l'électro-aimant, la décharge est beaucoup plus rapide. Ce sont les rayons β qui agissent.

Alors que les rayons α se dégagent en un groupe très homogène, comme il a été dit, les rayons β forment un mélange hétérogène. Certains d'entre eux sont absorbés par une lame d'aluminium de quelques centièmes de millimètre d'épaisseur comme les rayons α , tandis que d'autres traversent, en se diffusant, plusieurs millimètres de plomb. HENRI BECQUEREL a démontré que les rayons les plus pénétrants sont ceux qui sont le moins déviés par l'électro-aimant. Si l'on reçoit les rayons sur une plaque photographique, l'impression obtenue forme un spectre, ce qui prouve que le faisceau des rayons impressionnants est formé par une infinité de radiations déviées inégalement.

Etant donné que les rayons β ne sont pas homogènes comme les rayons α , on peut caractériser diverses sortes de rayons β , les β mous, les β durs et les β moyens. Ceux des rayons qui sont les moins rapides et les moins pénétrants comme les rayons α , sont les rayons β mous. Les rayons β durs sont composés de particules dont la ténuité est extrême, 2.000 fois moindre que celle des atomes d'hydrogène et qui sont animées de la vitesse voisine de celle de la lumière : 200.000 kilomètres à la seconde.

Les β mous sont vite absorbés. Les β durs traversent plusieurs mètres d'air.

Enfin, en plus des rayons β primaires, il faut compter avec des rayons β secondaires. Ceux-ci se forment souvent en quantité appréciable sur le trajet des rayons γ à travers un corps opaque.

De là dérivent des principes de traitement qui sont d'application courante en thérapeutique humaine (voir page 109).

On admet que diverses radiations proviennent d'une série de très petits projectiles (*électrons*) projectiles 2.000 fois plus petits que les rayons α . La vitesse de ces projectiles est comprise entre $2,36 \times 10^{10}$ centimètres par seconde et $2,83 \times 10^{10}$ centimètres par seconde, vitesse qui se rapproche quelque peu de celle de la lumière (40 à 30 p. 100 comme coefficient, suivant qu'il s'agit de β durs ou de β mous).

On admet que la masse de chacun de ces projectiles est 2.000 fois plus petite que celle d'un atome d'hydrogène. Ces petits projectiles d'une masse très faible mais d'une vitesse très grande ont un pouvoir d'autant plus pénétrant à travers la matière.

La particule β ou *électron* est considérée comme l'atome primordial d'électricité. Elle est de nature électromagnétique, elle est matérielle d'une façon incomplète et tient le milieu entre la matière et l'éther. C'est sur l'électron que s'appuient actuellement toutes les théories de la physique moderne.

Les rayons β , à l'instar des rayons cathodiques, transportent des charges d'électricité négative. Le dégagement est faible, plus faible qu'avec les rayons cathodiques et par suite moins facile à mettre en évidence.

On le fait avec l'appareil suivant (fig. 4).

L'appareil se compose d'un disque conducteur M, relié par une tige métallique *t*, à un électromètre. Le disque et la tige sont entourés d'un isolant et le tout est recouvert d'une enveloppe métallique E en communication avec la terre. Si l'on place l'appareil dans le champ du rayonnement d'un sel de radium, les rayons traversent la boîte

métallique, la matière isolante et sont absorbés par le disque conducteur M. On constate à l'électromètre un dégagement d'électricité négative.

Avec un chlorure de baryum radifère très actif couvrant une surface de 2 centimètres carrés 5 sur 2 millimètres d'épaisseur, les rayons qui ont traversé une épaisseur d'aluminium de 0 millimètre 01 et une épaisseur d'ébo-

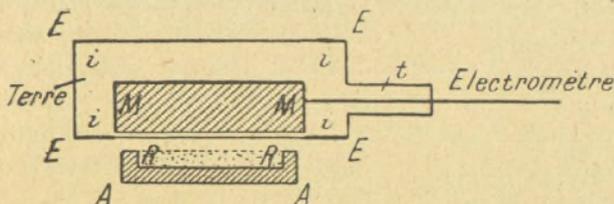


Fig. 4. — Mesure de l'électricité négative dégagée par les rayons β .

nite de 0 millimètre 3, donnent un courant de 10^{11} coulombs par seconde.

Si l'on met la cuvette contenant le sel de radium en relation directe avec l'électromètre, on constate qu'il y a une charge d'électricité positive égale à la quantité précédente d'électricité négative. Il résulte d'ailleurs d'expériences que, lorsqu'un sel de radium est enfermé dans une ampoule de verre scellée à la lampe, ce sel se charge d'électricité positive. Quand au bout d'un certain temps on fait un trait de lime pour ouvrir le tube, il y a production d'une petite étincelle, en même temps que l'opérateur ressent une petite secousse.

Le radium est le seul corps connu jusqu'ici qui se charge ainsi spontanément d'électricité.

Rayons γ . — Les rayons γ sont très pénétrants, d'autant plus qu'ils ne subissent aucune déviation à l'instar

des rayons β . Ils ne possèdent aucune charge électrique. Ils sont de tout point analogues aux rayons ROENTGEN.

Les rayons γ peuvent traverser une lame de plomb de plusieurs centimètres, jusqu'à 30 centimètres. Ils ionisent l'air.

En arrêtant les rayons α par un écran d'aluminium et en déviant les rayons β par un champ magnétique on peut, avec les rayons γ du radium, obtenir des radiographies comme avec les rayons X, mais l'impression sur la plaque photographique est peu nette en raison de l'absorption des rayons γ par le gélatino-bromure. Alors que les rayons α sont arrêtés par 6 ou 7 dixièmes de millimètres de plomb, les rayons γ passent à travers cette épaisseur de métal.

Les rayons γ ne semblent pas devoir être de nature corpusculaire ; ils seraient dûs à la pulsation de l'éther sous l'influence des chocs violents produits par les rayons β . Toutefois on les a considérés comme formés par des particules composées de deux corpuscules chargés, l'un positivement, l'autre négativement et se neutralisant.

Les rayons γ agissent à une grande distance de leur source productive, à l'inverse des rayons α . A 65 millimètres de distance il n'y a plus que des rayons γ . Ils peuvent être produits à l'état secondaire après traversée d'un écran par le rayonnement du radium, les rayons α étant les rayons primordiaux.

Passage des rayons à travers les corps opaques. — On vient de voir que les rayons émis par le radium se différencient par la manière dont ils passent à travers les corps opaques.

Pratiquement on vérifie le fait du passage des rayons

du radium à travers les corps en plaçant un écran à une certaine distance. Si l'écran s'éclaire, c'est que les rayons peuvent traverser une certaine épaisseur de couche d'air, et si l'écran continue à s'éclairer avec interposition de corps solides, c'est que ces corps ont été traversés par les rayons du radium.

Le passage est d'autant plus difficile que le corps est plus opaque, par exemple avec le plomb et avec le platine. Au contraire des corps comme l'aluminium, le mica, certains vernis se laissent très aisément traverser.

Le passage n'est pas le même pour les rayons α , β et γ .

Les particules α et β étant plus petites que les atomes des corps qu'elles frappent, se glissent probablement dans les espaces interatomiques. Il y a frottement et par suite perte d'énergie. Cette perte a été constatée.

Les ondulations γ se répandent dans l'éther et baignent comme celui-ci tous les corps. Elles se propagent à travers les corps sans perdre de leur énergie et ne sont définitivement arrêtées que par une plaque de plomb d'au moins 30 centimètres d'épaisseur.

Ces propriétés sont appliquées avec avantage dans la thérapeutique humaine, ainsi qu'on le verra plus loin (page 111), les tissus malades recevant suivant leur épaisseur une plus grande quantité et une nature différente de rayons de radium.

Les traces laissées dans l'air par les divers rayons du radium ne sont pas les mêmes. Celles des particules α sont presque toutes rectilignes, d'autant plus qu'elles se produisent sur de faibles espaces. Toutefois on observe quelquefois des brisures et même un renversement du mouvement. Les rayons β donnent des lignes en zig-zag avec de très nombreuses brisures. Les rayons sont diffusés et réfléchis aisément, quand ils rencontrent un

corps quelconque. Quant aux rayons γ , ils contraignent les molécules qu'ils frappent à émettre de la radiation du système β , et c'est ainsi que se formerait l'ionisation (voir page 41).

Activité. — Activité est synonyme de radioactivité. C'est la propriété qu'ont les corps d'émettre des rayons BECQUEREL, propriété qui a amené insensiblement à la découverte du radium (voir page 15 chapitre 1^{er}).

L'unité d'activité est l'uranium métal. On prépare dans le commerce des sels de radium à activité croissante sur ces bases. Un sel de 300.000 d'activité sera un chlorure de baryum renfermant 1/6 de son poids de chlorure de radium pur.

L'activité du bromure de radium pur semble voisine du chiffre de 1.800.000. Je dis voisine, car la mesure des hautes activités est assez difficile avec les appareils de mesure *ad hoc* qui seront décrits au chapitre iv.

Il y aura des différences assez grandes dans l'activité d'un sel de radium, soit pendant sa fabrication, soit même après sa fabrication.

Quand on vient de préparer un sel de radium à l'état solide, son activité est inférieure à celle qu'il aura au bout d'un mois. A ce moment on obtient une activité limite qui est 4 à 5 fois plus grande que l'activité initiale. Inversement une solution de radium laissée à l'air libre perd peu à peu de son activité. C'est ainsi qu'une solution de chlorure de baryum radifère, laissée à l'air libre pendant deux jours, a donné au bout de ce temps une activité de 300 fois moins forte qu'au début. En revanche la même solution enfermée en vase clos a repris peu à peu son activité, retrouvant sa valeur initiale au bout de huit jours. D'autre part, il ne faut pas laisser un sel trop

longtemps en dissolution avant de le ramener à l'état solide, car une partie de l'activité est absorbée par le dissolvant. Le liquide emporte une certaine partie de la radioactivité. Ce sont surtout les rayons pénétrants, rayons γ qui semblent affectés.

Quand on chauffe un sel de radium, il y a dégagement d'émanation, d'où perte d'activité. A 130 degrés il y a perte de 10 p. 100. Après un chauffage au rouge pendant quelques heures, il y a disparition de 77 p. 100 de l'activité, les rayons pénétrants étant les plus atteints.

Par refroidissement le sel reprend son activité, et l'activité limite nouvelle est plus considérable que l'activité initiale.

Par la chauffe au rouge, la presque totalité de l'émanation disparaît. On restitue au sel son activité en le dissolvant dans l'eau et en le desséchant à 120 degrés.

Ceci s'explique, aussi bien pour les sels de fabrication récente, que pour les produits soumis à la chaleur, par ce fait qu'il y a épuisement et par suite peu d'émanation. Peu à peu cette émanation s'accumule et l'activité renaît.

Radioactivité induite. — Tout corps placé dans le voisinage d'une source de radium devient radioactif pendant un certain temps, émettant des rayons BECQUEREL susceptibles d'ioniser les gaz, d'impressionner la plaque photographique ou même de provoquer des phénomènes de luminescence.

C'est ce qu'on appelle la *radioactivité induite*.

Cette radioactivité ne prend pas naissance en présence d'un sel de radium placé dans un tube fermé. La radioactivité induite se produit, quand on place du radium dans un tube ouvert à l'intérieur d'une enceinte close.

Elle se diffuse de proche en proche dans les gaz. On croit à juste titre que c'est la désagrégation du radium transformé en hélium (voir chapitre VIII) qui produit le phénomène.

Si l'on traite dans un laboratoire des substances très radioactives, les poussières, l'air de la pièce, tous les appareils, les vêtements du chimiste sont rendus radioactifs. Il n'est plus possible d'avoir des appareils électriques bien isolés. Si l'on enlève du laboratoire la source du radium, les gaz conservent pendant un certain temps encore la propriété d'émettre des rayons BECQUEREL.

Si le laboratoire communique avec une autre enceinte par un tuyau de très faible dimension, les corps solides contenus dans cette enceinte s'activent au bout d'un certain temps.

Enfin, si on transporte dans une enceinte ne contenant pas de radium un gaz préalablement radioactivé, ce gaz conserve pendant quelque temps la propriété de rendre radioactifs les corps solides.

La radioactivité induite croît avec le temps d'exposition jusqu'à une certaine limite. C'est la période d'activation. Puis vient la période de désactivation où la décroissance est très rapide pendant les premières minutes et devient plus faible suivant une loi asymptotique tendant à être nulle avec le temps. Un gaz radioactivé perdra la moitié de sa propriété activante tous les quatre jours. Il pourra encore au bout d'un mois contenir une certaine quantité de rayons BECQUEREL.

Les corps métalliques s'activent tous de la même façon, que ce soit du zinc, du laiton, du bismuth, de l'aluminium ou du plomb. Des expériences faites sur du verre et du papier ont donné les mêmes résultats. Certains

corps comme le celluloid, la paraffine, le caoutchouc, quand ils ont été activés assez longtemps, se désactivent plus lentement que les précédents. Alors que pour les premiers l'activité diminue de moitié en 28 minutes et qu'au bout de deux heures elle n'est plus que le huitième de l'activité initiale, pour ceux-ci l'activité peut mettre de 15 à 20 jours pour disparaître.

L'activation se fait d'autant mieux que les corps soumis à l'activation ne sont pas trop rapprochés les uns des autres. Il faut un certain espace pour permettre aux gaz radioactifs de pouvoir circuler.

Avec les liquides tels que l'eau, les solutions salines, l'essence de pétrole, la radioactivité induite est faible. Il semble qu'il y ait disparition par dissolution du gaz producteur de l'activité.

On a cherché à expliquer ce phénomène de radioactivité induite par le fait que l'énergie potentielle de l'atome de radium se perd de deux manières au fur et à mesure qu'elle se renouvelle.

1° Par rayonnement (rayons α , β , γ).

2° Par émanation produisant la radioactivité induite, de la même manière que, lorsque l'on chauffe un corps, sa température augmente jusqu'à un moment d'équilibre où se produisent les pertes par conduction et par rayonnement.

L'atome du radium est une source constante et continue d'émanation, ainsi qu'on le verra plus loin (page 240). La rencontre de cette émanation par une paroi ou par un corps solide produit le rayonnement de BECQUEREL.

Émanation. — Ceci amène à parler de l'émanation. Le radium dégage d'une manière continue et spon-

tanée un gaz radioactif qu'on appelle *émanation*, ga dont l'activité disparaît au bout de peu de temps, mais qui est capable de se condenser sur les corps avec lesquels il est en contact pour donner la radioactivité induite dont il vient d'être question.

Cette émanation se comporte comme un gaz parfaitement inerte. On l'a fait passer dans un tube chauffé au rouge contenant ou non de la mousse de platine. On l'a mélangée à l'hydrogène sur de la poudre de magnésium portée au rouge. On l'a fait barboter dans diverses solutions acides ou alcalines. On l'a soumise à l'étincelle électrique en présence d'oxygène. L'émanation n'a subi aucune transformation.

Le gaz *émanation* appartient sans doute à la famille de l'argon. Le spectre de l'émanation est formé de lignes brillantes dont l'aspect général rappelle celui des gaz de la famille de l'argon. L'atome de l'émanation est très lourd, car le gaz est très dense, plus dense que la vapeur de mercure. Sir William RAMSAY et M. WHYTLAW-GRAY ont déterminé le poids atomique de l'émanation et trouvé le chiffre de 222, très voisin du poids atomique du radium.

L'émanation est soluble dans l'eau et dans divers liquides. Elle se liquéfie à 62 degrés au-dessous de zéro et se solidifie à 71 degrés au-dessous de zéro à la pression barométrique de 760 millimètres.

Un sel de radium sera le siège d'un débit constant d'émanation. Si l'on vient à accumuler l'émanation, sa quantité ne croît pas indéfiniment. L'émanation se détruit partiellement pendant que le radium en produit une nouvelle quantité.

Si l'on enferme dans un tube scellé une solution de sel de radium, on peut constater qu'il y a à la partie

supérieure du tube un gaz chargé d'émanation qui rayonne beaucoup plus fortement que la solution. L'activité de ce gaz va sans cesse en croissant et n'atteint un régime d'équilibre qu'un mois après la fermeture du tube (voir page 102). Cet équilibre s'établit quand la perte spontanée d'activité devient égale à la production d'émanation.

Si l'on chauffe un sel de radium, on active le dégagement d'émanation. Le sel, ramené à sa première température, émet beaucoup moins d'activité. Il y a toujours condensation de l'émanation par l'abaissement de température, ainsi que l'ont démontré RUTHERFORD et SODDY. Puis le sel reprend peu à peu son activité, grâce au débit continu de l'émanation qui s'accumule dans le sel sous forme de radioactivité induite.

Si l'on dissout un sel de radium, l'effet est analogue à celui de la chaleur. La dissolution met la matière dans un état de division tel que l'émanation peut s'échapper plus facilement. Si l'on évapore ensuite la solution, le sel n'est presque plus actif, puis il le devient peu à peu par accumulation d'émanation.

L'émanation produite par le radium ne se conserve pas indéfiniment. Au bout de 4 jours ou plus exactement 3 jours 85, elle arrive à n'être plus que la moitié de la quantité initiale.

Action ionisante. — Le rayonnement du radium rend l'air qu'il traverse conducteur de l'électricité.

Si l'on place un sel de radium à côté d'un électroscope chargé, celui-ci se décharge immédiatement. La décharge est plus lente, si l'on interpose entre l'électroscope et le sel de radium une plaque métallique. Le plomb et le platine absorbent certains rayons, tandis que l'aluminium laisse passer la plus grande partie de ces rayons.

Les substances organiques sont également transparentes à la plupart des rayons BECQUEREL.

Du fait de la décharge de l'électroscope, il y a production d'électricité ou plutôt d'ionisation. Sous l'influence du rayonnement, l'air est ionisé, c'est-à-dire que ses molécules sont dissociées et qu'il se forme dans l'air des centres chargés d'électricité appelés *ions*. L'air ionisé se comporte comme un gaz conducteur. Plus le sel est actif, plus le nombre des ions est grand et plus élevé est la conductibilité.

Une application de cette ionisation de l'air par le radium sera l'étude de l'électricité atmosphérique.

On enferme un sel de radium dans une petite boîte métallique qu'on suspend à l'extrémité d'une tige métallique. L'air est rendu conducteur aux environs de la tige et, suivant que cet air contenait au préalable de l'électricité ou n'en contenait pas, il y a décharge ou non, ce qu'on mesure à l'électromètre.

Les rayons du radium peuvent aussi donner une certaine conductibilité à quelques liquides dits *diélectriques*. Avec des isolants presque parfaits tels que l'air liquide, l'éther de pétrole, l'huile de vaseline, la benzine, l'amyène, des expériences ont été faites et ont montré qu'on pouvait communiquer à ces substances une conductibilité électrique variable avec le rayonnement du radium. Sous l'action des rayons l'huile de vaseline est rendue moins conductrice que l'éther de pétrole très volatil. La température joue un certain rôle et influe sur la conductibilité.

Coloration des corps. — Certains corps changent rapidement de couleur sous l'action du rayonnement d'un sel de radium.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Les sels alcalins sont colorés en bleu, vert, jaune ou brun. Le sulfate de potassium devient vert bleu.

Le platinocyanure de baryum brunit pour reprendre partiellement sa couleur primitive quand on l'expose à la lumière. Le sulfate d'uranyle et de potassium jaunît.

Les sels de radium eux-mêmes se transforment avec le temps sous l'action de leur propre rayonnement. Ils deviennent jaunes, roses, gris et enfin bruns. Ces colorations disparaissent par la dissolution et par la recristallisation.

Le quartz transparent est transformé en quartz enfumé, ce qui peut être une indication pour le prospecteur. La topaze incolore devient jaune orangé.

Le verre est coloré en violet, en brun ou en noir. Sous l'action de la chaleur, vers 500 degrés, cette coloration disparaît. Il y a en même temps émission de lumière. Le phénomène désigné sous le nom de thermoluminescence est bien connu pour la fluorine. Celle-ci devient lumineuse, quand on la chauffe. La luminosité s'épuise peu à peu. Toutefois on peut redonner à la fluorine ses propriétés primitives de luminosité en la soumettant au rayonnement d'un sel de radium.

Pour le verre le phénomène est le même. La composition du verre doit changer sous l'action des sels de radium. Quand on chauffe, une transformation inverse se manifeste et le verre, en même temps qu'il revient à son état primitif, donne une certaine émission de lumière. Il peut être ensuite coloré à nouveau par les rayons du radium. Il y a là une réaction chimique qui doit être intimement liée avec une production de lumière. Peut-être les sels de radium se transforment-ils chimiquement, en même temps qu'ils émettent de la lumière.

Luminosité. — Ceci amène à parler de la luminosité du radium.

Il résulte d'expériences faites par M. et Mme CURIE qu'un écran au platinocyanure de baryum peut être rendu phosphorescent sous l'action des rayons produits par le radium. Cette phosphorescence est obtenue même après interposition d'un écran en aluminium très mince. Elle peut être réalisée à plus de deux mètres de distance, avec des sels suffisamment riches, et cela bien que son effet soit dû en grande partie aux rayons α .

Henri BECQUEREL de son côté a fait une étude complète de ces phénomènes de fluorescence avec les sels d'uranium, avec le diamant, avec la blende, avec les sulfures de calcium et de strontium, avec le rubis; et M. BARY a démontré que les sels spécialement fluorescents étaient ceux des métaux alcalino-terreux, c'est-à-dire ceux du lithium, du sodium, du potassium, du rubidium, du césium, du magnésium, du calcium, du strontium et du baryum.

Le radium peut rendre lumineux le papier, le coton, le verre. Il augmente la luminosité du diamant. Au contraire, le rubis est insensible au rayonnement.

Les corps qui donnent la plus belle luminescence sont le platinocyanure de baryum, le sulfate d'uranyle et le sulfure de zinc après préparation spéciale. En mélangeant ces corps avec un sel de radium, on obtient une grande intensité de lumière. Cette lumière rappelle la teinte du verre luisant (*lampyre*). Si elle est assez forte, elle peut être vue en plein jour. Pendant la nuit, elle permet de distinguer des caractères d'imprimerie.

La luminosité des substances fluorescentes baisse avec le temps et l'on constate une transformation des substances. Le platinocyanure de baryum se colore en

brun au lieu de vert primitivement et devient moins lumineux. Sa composition est modifiée. La luminosité est aussi moins forte à basse température.

Cette luminosité est produite par les sels de baryum radifères qui sont le premier exemple de sels chimiques spontanément lumineux. D'après M. BARY elle est engendrée par l'action des rayons BECQUEREL sur les sels de baryum, action qui rend ces sels constamment phosphorescents. Le bromure de radium pur n'est pas lumineux. Il s'agit donc bien d'un phénomène chimico-physique, comme je le disais plus haut à propos de la coloration du verre (page 43).

Pour que la lumière soit intense, il faut que le sel de baryum radifère soit très sec. On le place dans un tube de verre scellé, de manière qu'il conserve bien l'éclat qu'il a acquis après chauffage,

Toutefois, au bout d'un certain temps, soit que le sel qui est de nature très hygrométrique, reprenne de l'humidité, soit pour toute autre cause, la luminosité se modifie. Elle prend une teinte violacée et s'affaiblit, en même temps que le sel, blanc à l'origine, devient jaune, puis bleu. Il suffit de dissoudre à nouveau, puis de sécher pour obtenir la luminosité primitive.

Il est à noter que la luminosité des sels de baryum radifères émane de toute la masse. Une solution très active sera partout lumineuse, les cristaux le seront comme l'eau mère, les cristaux un peu plus. Pour les corps simplement phosphorescents, la luminosité est au contraire uniquement superficielle.

Effets chimiques. — Le rayonnement du radium produit diverses actions chimiques.

Dans le voisinage des sels de radium, l'air est toujours

ozonisé. L'existence de l'ozone est bien marquée par l'odeur que l'on perçoit en ouvrant une ampoule ayant renfermé du radium. Elle peut être contrôlée à l'aide du papier à l'iode du potassium amidonné.

J'ai dit précédemment (page 45) que le platinocyanure de baryum changeait de couleur, et par suite de composition sans doute, quand il devenait luminescent sous l'action des rayons du radium. Il en est de même avec le sulfure de zinc.

J'ai dit aussi (page 43) que la porcelaine et le verre se coloraient en violet ou en brun. La coloration violette est due à l'oxydation du manganèse. Ce n'est pas une transformation superficielle, mais bien un phénomène chimique qui intéresse toute la masse. La coloration brune est due à une action sur les sels de plomb ou de potassium et de sodium contenus dans le verre.

Le papier jaunit, quand on le soumet au rayonnement du radium. Peu à peu il devient fragile et s'effrite pour être enfin réduit complètement. Il s'agit d'une action sur la cellulose et c'est cette action qui a donné l'idée des applications thérapeutiques du radium (voir page 112).

Si l'on fait agir les rayons du radium sur une solution d'acide oxalique et de chlorure mercurique, il se forme un précipité de calomel; le chlorure mercurique est réduit à l'état de chlorure mercurieux. Il y a un phénomène de réduction.

Le phosphore blanc est transformé en phosphore rouge. L'effet est le même qu'avec la lumière.

BERTHELOT a fait l'expérience suivante. Dans un tube il a placé un sel de radium très actif, puis il a renfermé ce tube dans un second tube de verre, les deux tubes étant parfaitement en contact. Il a constaté qu'en immergeant pendant neuf jours les deux tubes dans une éprouvette

contenant de l'acide iodhydrique, l'iode était mis en liberté. Il a constaté également que l'acide azotique était fortement jauni et coloré par le rayonnement. En même temps le tube qui entourait le tube renfermant la matière radioactive était coloré partiellement en brun par réduction du plomb contenu dans le verre, partiellement en violet par oxydation du manganèse au contact de l'air. C'est un autre phénomène de réduction.

Les sels de radium eux-mêmes semblent éprouver une altération sous l'action du rayonnement qu'ils émettent. Au bout d'un certain temps ils deviennent jaunes ou violacés, parfois roses. Cette coloration peut être produite par l'action du radium sur des traces impondérables de sodium dont il est impossible de le débarrasser.

Le chlorure de radium dégage une odeur d'eau de Javel par production d'un composé oxygéné du chlore.

Le bromure de radium dégage du brome comme déjà dit (page 23). M. GIESEL a montré qu'une solution d'un sel de radium dégage de l'hydrogène.

Le rayonnement du radium agit de la même façon que la lumière sur les substances employées en photographie. Toutefois, si l'intensité de l'image développée augmente rapidement jusqu'à un maximum avec l'augmentation de la durée d'exposition, elle ne tarde pas à diminuer jusqu'à un moment où il ne se forme plus aucune image par développement. Les images d'étincelles électriques peuvent être annulées par l'action prolongée des rayons du radium.

Il n'y a donc aucune application pratique à envisager pour le radium en photographie, non plus qu'en radiographie d'ailleurs. Toutefois on a imaginé un appareil pour la radiographie.

J'ai dit précédemment (page 34) que les rayons γ produisaient les mêmes effets que les rayons ROENTGEN. L'appareil de radiographie peut être plus simple qu'avec le tube de CROOKES et éviter ses nombreux accessoires.

Il faut avoir soin de supprimer les rayons β . On emploie le dispositif suivant (fig. 5). L'objet à radiographier O est placé sur une plaque photographique entourée

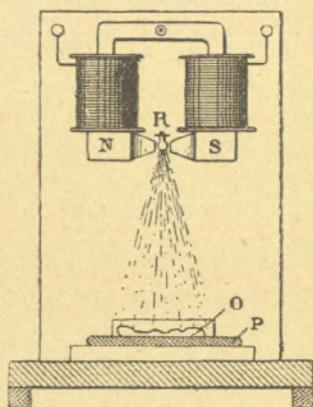


Fig. 5. — Dispositif pour obtenir des radiographies avec les sels de radium.

de papier noir. L'ampoule R de sel de radium est interposée entre les pôles d'un électro-aimant N S. Une pose de plusieurs jours est nécessaire pour avoir une épreuve à peu près nette. Ce n'est certainement pas pratique.

Désactivation et vie moyenne. — Le rayonnement du radium est dû à une fragmentation de l'atome qui libère une certaine quantité d'énergie et qui la livre sous forme de rayons d'émanation, ainsi que je l'expliquerai au chapitre x. Ce rayonnement correspondant à une projection

de particules d'atomes, il y a perte de poids de la substance et peu à peu destruction de cette substance. Le radium aura donc une vie de durée limitée.

L'évolution de cette vie se fait suivant une loi exponentielle d'après laquelle la moitié d'une quantité de radium se transforme dans un temps constant, quelle que soit cette quantité. Ce temps constant est appelé période de désactivation.

Cette période de désactivation, c'est-à-dire de perte de

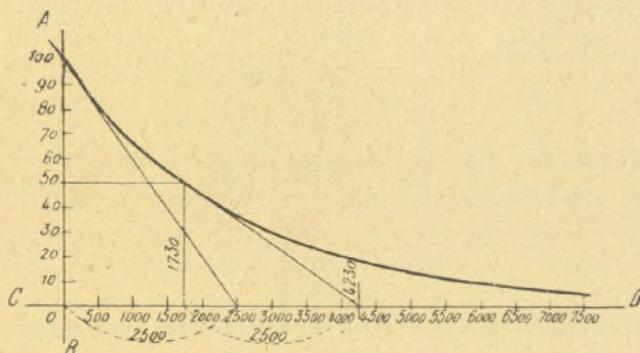


Fig. 6. — Courbe montrant la désactivation du radium.

la moitié de l'activité, est à peu près de l'ordre de grandeur de 1700 à 1800 ans d'après des calculs qui sont forcément très approximatifs.

Quant à la vie moyenne, c'est le temps qui est nécessaire pour la destruction complète du radium. Si l'on admet que cette destruction se fait suivant une vitesse uniforme, elle pourra être représentée par une ligne droite tangente à la courbe de déperdition du radium. Si l'on mène une tangente à cette courbe au point 100 (fig. 6), cette tangente coupe la ligne des temps à 2.500 ans. Il en

est de même si l'on mène une tangente au point 50. Il y a toujours un espace de 2.500 ans entre les points de rencontre de la tangente et de la perpendiculaire au point 50 avec la ligne des temps.

La vie moyenne du radium a ainsi été établie entre 2.500 et 3.000 ans. Mais, d'après les expériences de GEIGER et de RUTHERFORD, cette vie doit être réduite de 1760 à 1699 ans. Mlle GLEDITSCH de son côté a trouvé dans quatre expériences que la désintégration du radium avait lieu après 1836 ans, 1780 ans, 1640 ans ou 1670 ans.

CHAPITRE III

SOURCES NATURELLES DU RADIUM

L'uranium, véhicule du radium. — Répartition géologique des minerais d'uranium. — Pechblende, — Uranite. — Chalcocite. — Carnotite. — Minerais complexes. — Substances radioactives. — Eaux radioactives. — Recherche des minerais et des substances radioactives. — Méthode radiographique. — Electroscopie.

Le radium n'a pas de minéral propre. Il se trouve dans les compositions minéralogiques d'un autre métal auxquels il transmet la radioactivité permettant de les reconnaître. Cet autre métal, c'est l'uranium.

Toutefois il existe un phosphate de plomb, la *pyromorphite* qui, sans renfermer de l'uranium, contient du radium. C'est le seul minéral de radium exempt d'uranium.

Le radium se trouve en quantité infinitésimale un peu partout dans la nature. Dans les roches d'origine ignée, M. STRUTT a trouvé 5 à 10 millièmes de milligrammes de radium par tonne de roche. Dans les roches sédimentaires la proportion est de 2 à 50 millièmes de milligrammes. Le radium existe dans des corps radioactifs et dans des eaux radioactives. On l'y situe par des méthodes de mesure basées sur l'examen photographique ou sur la reconnaissance avec l'électromètre et avec l'électroscope. Ces indications ainsi que la description des minerais radifères feront l'objet du présent chapitre.

L'uranium, véhicule du radium. — La vie moyenne de l'uranium est beaucoup plus longue que celle du radium. L'uranium peut donc concentrer l'activité du radium, un équilibre s'établissant rapidement et ayant une loi définie.

Dans les minerais d'uranium desquels jusqu'ici a été retiré le radium, on a cherché à déterminer quelle est la proportion relative du radium et de l'uranium.

MM. RUTHERFORD et BOLTWOOD ont indiqué $3,4 \times 10^{-7}$ de radium pour 1 d'uranium. D'autres travaux ont été faits sur le même sujet par MM. STRUTT, EVE et par Mlle GLEDITSCH. Cette dernière a établi le tableau suivant donnant le rapport du radium à l'uranium, ainsi que le rapport de la teneur en uranium avec l'activité pour certains minerais.

MINERAIS	PROVENANCE	RAPPORT $\frac{\text{Ra}}{\text{U}}$	RAPPORT $\frac{\text{U}^3 \text{O}_8 \text{ o/o}}{\text{activité}}$
Pechblende	Saint-Joachimsthal	$3 \ 21 \times 10^{-7}$	28 8
—	Norvège	3 48	22 2
—	Cornouailles	3 74	24 1
Broggerite	Norvège	3 29	19 3
Glévéite	—	3 32	21 9
Fergusovite	—	3 55	24 7
Samarskite	Inde	3 35	24 4
Autunite	Autun	2 56	36 5
—	Tonkin	2 59	37 0
Gummite	Allemagne	3 34	16 5
Chalcolite	—	3 14	28 2
—	Portugal	3 33	27 1
—	—	3 30	21 3
—	Cornouailles	3 49	28 7
Carnotite	Colorado	2 34	24 0

Le rapport $\frac{\text{U}^3 \text{O}_8 \text{ p. } 100}{\text{activité}}$ est des plus variable, et cela dans un même gisement. Pour de l'uranite au Portugal on a trouvé 35 à 31, puis 24 à 20.

Le rapport $\frac{\text{Ra}}{\text{U}}$ est plus constant et voisin comme chiffre de celui qui a été indiqué par MM. RUTHERFORD et BOLTWOOD, sauf peut-être pour la chalcolite et pour l'autunite où les proportions sont variables. Dans la pratique, on admet qu'un minerai contenant 2 p. 100 d'oxyde d'uranium ($\text{U}^3 \text{O}^8$) doit fournir 6 milligrammes de bromure de radium. S'il contient moins de radium, il ne sera pas intéressant à soumettre au traitement chimique.

Répartition géologique des minerais d'uranium. — Les minerais d'uranium se trouvent dans les terrains anciens, soit à l'état d'imprégnation dans les roches primitives, soit à l'état de filons. Certains filons ont été érodés par l'action des temps, donnant des alluvions ou des dépôts dans des sables sous forme de poches.

Dans les roches éruptives anciennes on trouve la fergusonite, la samarskite, la bétafite, les titanoniobo-tantalates. Ces substances se rencontrent dans les granites, les syénites, les pegmatites, les basaltes en Norvège, dans l'Oural, dans le Dakota du Nord, au Texas, à Madagascar, dans l'Inde. Elles ne forment pas des filons dans ces terrains. Elles y sont à l'état d'imprégnation souvent très diluée.

On attribue leur formation à l'action de la vapeur d'eau chargée de substances radifères sur la roche non encore solidifiée. Leur dépôt est contemporain de la formation de la roche.

Sous forme de filons on trouve dans la nature la pechblende, l'uranite, la chalcolite. Ce sont des filons de quartz où le minerai est disséminé à l'état de mouches, surtout pour l'uranite et la chalcolite à Madagascar. En

Bohème et dans le Cornouailles la pechblende offre une minéralisation plus riche.

Les filons se sont formés aux dépens de la roche encaissante par l'action de venues d'eaux hydrothermales dans cette roche. Il y a eu réaction chimique sur l'apatite. Au Portugal, ces filons se trouvent dans le granite, dans le gneiss, dans le schiste cambrien et montrent sur leurs épontes une forte proportion de mica arraché au terrain primitif. En Bohème et en Saxe c'est le granite qui enserme la venue métallifère. En Norvège les filons sont au milieu de la pegmatite. En France, dans la région d'Autun, il y a des quartz avec des mouches d'autunite au milieu des terrains primitifs comme au Portugal.

A Madagascar on constate une décomposition sur place des roches anciennes et formation d'*éluvions*. C'est dans ces éluvions qu'on retire les bétafites et les minerais complexes d'uranium qui sont décrits plus loin. Parfois aussi il y a eu transport à une certaine distance et l'on trouve les mêmes minerais dans des dépôts argileux, toujours à Madagascar. Dans ces argiles, il semble qu'il y ait une formation récente par circulation d'eaux radioactives.

Enfin dans certaines régions, notamment au Colorado ou dans l'Utah en Amérique du Nord, on trouve du minerai en poche dans des sables plus ou moins argileux. Tel est le cas de la carnotite.

Pechblende. — C'est le premier minerai d'où l'on ait extrait le radium. M. et Mme CURIE, quand ils ont trouvé le radium, avaient traité des résidus de pechblende de Bohème.

La pechblende (*Pierre de poix*) s'appelle aussi pechu-

rane. C'est une substance très complexe. Outre l'oxyde d'uranium elle contient des oxydes d'autres métaux (argent, plomb, cuivre, bismuth, nickel, cobalt, molybdène, tungstène, vanadium, terres rares). Comme gangue, il y aura du soufre, de l'arsenic, de la silice, de l'aluminium, du magnésium et du calcium. Minerai de profondeur, minerai originaire, elle s'est transformée donnant les phosphates et vanadates d'uranium (uranite, chalcocite, carnotite) qui sont plutôt des dépôts de surface.

La pechblende contient parfois une proportion de 50 à 80 p. 100 d'uranium. Le rapport $\frac{\text{Ra}}{\text{U}}$ est égal à $3,50 \times 10^{-7}$ soit 2 gr. 90 de radium élément pour 1 p. 100 d'oxyde d'uranium ($\text{U}^3 \text{O}^8$).

La pechblende est noire, opaque, d'un éclat gras faiblement métallique. On la trouve en masses compactes de structure lamelleuse. Elle cristallise dans la forme cubique, mais il est rare qu'elle se présente en cristaux. Sa cassure est conchoïdale. Sa densité varie de 6, 4 à 8. Sa dureté de 5,5 est à peu près celle de l'acier. Elle raie le verre.

Infusible au chalumeau, elle est attaquée facilement par l'acide nitrique.

La pechblende se trouve dans les granites, dans les pegmatites, dans les syénites, en général dans les grands massifs éruptifs. On la rencontre principalement à Saint-Joachimsthal (là les filons sont au milieu de schistes anciens) et à Przibram en Bohême, à Rezbanya en Hongrie, à Schneeberg en Saxe, à Andrinople dans la Turquie d'Europe, en Suède, à Vale en Norvège, au Canada et au Colorado (comté de Gilpin) dans l'Amérique du Nord. Elle est mélangée avec des minerais de plomb et

d'argent. Dans le pays de Cornouailles elle est associée à la venue de l'étain. Tout comme pour l'étain et pour le tungstène, il y a eu un départ à l'état d'oxyde et non point combinaison avec la silice.

Voici la composition moyenne d'une pechblende riche.

Oxyde d'uranium.....	75.23
Sulfure de plomb.....	4.82
Silice.....	3.30
Chaux.....	5.24
Magnésie.....	2.07
Soude.....	0.25
Protoxyde de fer.....	3.10
Protoxyde de magnésie.....	0.82
Acide carbonique.....	3.32
Eau.....	1.85
	<hr/>
	100. »

La pechblende présente des variétés telles que la clévéite, où l'on a trouvé de l'hélium et la broggerite qui est connue en Norvège. La gummite, l'éliosite et la pilinite sont des oxydes d'uranium hydratés impurs.

Uranite. — L'uranite s'appelle aussi autunite, parce qu'elle a été trouvée en 1800 par M. de CHAMPEAUX à Saint-Symphorien-de-Marmagne, dans le pays d'Autun.

C'est un phosphate double hydraté d'uranium et de calcium. Sa formule répond à $2\text{PO}_4 + 2\text{UO}_2\text{Ca} + 8\text{H}_2\text{O}$.

L'uranite se présente dans des filons de quartz blanc sous forme de cristaux orthorhombiques d'un beau jaune brillant. Ces cristaux, étant lamellaires, sont plus ou moins friables et risqueraient fort d'être entraînés à la surface des eaux, si l'on voulait concentrer le minerai par lavage.

La dureté oscille entre 2 et 2,5.

La densité est de 3,05 à 3,9.

L'uranite est exploitée au Portugal, où elle se trouve en filons dans des granites de la région de Guarda et de Sabugal. Près de la surface la teneur en oxyde d'uranium est de 0,3 à 0,5 p. 100. En profondeur cette teneur augmente et atteint 2 p. 100. Le minerai extrait à cette teneur est dit *minerai noir*. C'est peut-être déjà une sorte de pechblende. Il est assez probable qu'à grande profondeur on trouvera de la pechblende. Les gîtes d'uranium présentent en effet des manifestations hydrothermales d'origine profonde avec des indices de remise en mouvement et d'altération plus récente.

En France, en dehors de la région d'Autun, où elle a été découverte, l'uranite se rencontre dans le Rhône près de Chessy, dans la Loire près de Saint-Bonnet-le-Château, dans la Haute-Loire, dans le Puy-de-Dôme près de Bourglastic et d'Ambert, dans la Corrèze, dans la Haute-Vienne près de Limoges et de Saint-Yrieix, dans le Tarn près de Castelnau-de-Brassac, enfin en Bretagne. A côté de l'uranite se trouve souvent le wolfram comme au Portugal.

Seul, le gisement de Saint-Symphorien-de-Marmagne a fait l'objet d'un essai d'exploitation.

Un autre gisement plombifère radioactif (pyromorphite) a été exploité dans la même région, à Grury.

On trouve l'uranite à Madagascar dans des dépôts d'argile plus ou moins tourbeuse à 10 kilomètres au sud d'Antsirabé, au Tonkin à Cao-Bang dans des granulites à étain, en Australie près d'Olary.

On signale aussi l'uranite dans nombre d'endroits, en Bohême, Saxe, Norvège, Grande-Bretagne, Oural, Amérique du Nord, Pérou.

L'activité de l'uranite du Portugal oscille entre 0,04 et 1,50. Le rapport $\frac{\text{Ra}}{\text{U}}$ est de $2,57 \times 10^{-7}$, c'est-à-dire que le minerai renferme 2 mgr. 18 de radium élément par tonne pour une teneur de 1 p. 100 d'oxyde d'uranium ($\text{U}^3 \text{O}^8$).

Chalcolite. — La chalcolite est appelée aussi torbernite. C'est un phosphate double hydraté d'uranium et de cuivre répondant à la formule $2\text{PO}^4 + 2\text{UO}^2 \text{Cu} + 8\text{H}^2\text{O}$ et se présentant sous forme de cristaux du système quadratique d'un très beau vert émeraude.

La dureté est, comme celle de l'uranite, de 2 à 2,5.

La densité est également voisine : 3,4 à 3,6.

L'activité est de 1,70 et le rapport $\frac{\text{Ra}}{\text{U}}$ est de $3,33 \times 10^{-7}$ correspondant à 2 milligrammes de radium élément par tonne pour une teneur de 1 p. 100 d'oxyde d'uranium ($\text{U}^3 \text{O}^8$).

La chalcolite se rencontre au Portugal dans les mêmes gisements que l'uranite. Elle se trouve aussi en Bohême à côté de la pechblende. En France on a signalé de la chalcolite sur plusieurs points autour de Montluçon. On en retrouve à Chanteloube. Enfin la chalcolite existe à Douriaux au nord de Charbonnières-les-Varennes (Puy-de-Dôme) et à Argentelle près de Roure.

Plus difficile à traiter chimiquement que l'uranite, la chalcolite est souvent délaissée et peu recherchée par les fabricants de radium.

Carnotite. — La carnotite est un vanadate d'uranium, contenant parfois un peu de cuivre.

On trouve la carnotite dans des poches au Colorado au milieu d'un pays absolument désertique, rarement à

l'état de filons dans le granite. Sa formation s'explique du fait de l'attaque des minerais primaires, probablement de la pechblende, par les eaux hydrothermales. Il y a eu formation d'un vanadate insoluble qui a été transporté et s'est déposé dans les sables de la région désertique.

Le minerai a été découvert d'abord dans l'Amérique du Sud, puis en 1888 par Charles POULOT dans la partie occidentale du comté de Montrose (Colorado). Ses principaux gisements sont ceux de la région de Green River dans l'Utah et ceux de la Paradox Valley dans le Colorado. Il se trouve par poches isolées, fournissant au maximum 500 tonnes de minerai marchand. En 1913 on a extrait de ces gisements 2.156 tonnes de minerai.

La teneur commerciale du minerai est celle des uranites. Elle est en moyenne de 1,5 p. 100 en oxyde d'uranium ($U^2 O^3$). On obtient souvent 2 p. 100.

Le rapport $\frac{Ra}{U}$ est de $2,34 \times 10^{-7}$ correspondant à 2 milligrammes de radium élément par tonne pour 1 p. 100 d'oxyde d'uranium ($U^2 O^3$).

Les minerais se vendent non seulement à l'unité d'uranium comme pour l'uranite mais aussi à l'unité de vanadium, ce qui semble assez bizarre, puisque les acheteurs visent en général uniquement la fabrication du radium.

On paie suivant les teneurs en uranium les prix suivants :

	9 francs	pour une teneur de 0,3	
11	—	—	de 0,4
13	—	—	de 0,5
15	—	—	de 0,6
17	—	—	de 0,9

20 francs	pour une teneur	de 1,00 à 1,24
22 —	—	de 1,25 à 1,49
25 —	—	de 1,50 à 1,74
30 —	—	de 1,75 à 1,79
30,50	—	de 2,00 à 2,24
30 —	—	de 2,25 à 2,49
35 —	—	de 2,50 à 3,00

Dans la carnotite on paie le vanadium à raison de 2 francs par kilo d'acide vanadique, au-dessous de 1,75 p. 100 et 3 francs par kilo d'acide vanadique, au-dessus de 1,75 p. 100.

Le radium dont la teneur sera de 5 à 6 milligrammes à la tonne, n'est pas payé.

Minerais complexes. — Les minerais complexes sont des niobotantalates, des titano-niobates, tels que l'*euxé-nite*, titano-niobate d'uranium et de terres rares, contenant 5 à 15 p. 100 d'uranium et trouvé en Suède, en Norvège, en Irlande et dans la Caroline du Nord, la *fergusonite*, niobo-tantalate d'uranium et de terres rares renfermant 2 à 8 p. 100 d'uranium et signalé en Suède, en Norvège, en Russie, dans la province de Fergana (Turkestan), dans le Massachusset et en Caroline du Nord, la *samarските*, niobo-tantalate d'yttrium, de calcium, d'erbium, d'uranium, de thorium et de fer ayant 3 à 14 p. 100 d'uranium et connu en Suède, en Norvège, dans la Caroline du Nord, au Colorado et au Canada.

D'autres minerais complexes ont été étudiés à Madagascar par M. LACROIX. Ce sont des minerais de la série des niobates. Ils se trouvent dans les pegmatites de la région d'Antsirabé.

Ils sont cristallisés en octaèdre. Leur couleur originelle est le brun foncé, mais, par altération sous l'influence

des eaux, elle devient de plus en plus claire et finit par atteindre le jaune vif. Ces minerais sont assez fragiles. En lames minces ils sont transparents, jaunes et monoréfringents. Leur réfringence est très élevée. Aussi possèdent-ils un éclat gras et assez vif qui apparaît sur leur cassure conchoïdale. Ils n'ont pas de clivage.

Ces minerais sont très riches en uranium, mais ils contiennent en plus grande quantité encore du niobium. Ce sont des niobates.

M. LACROIX a défini trois types bien distincts parmi ces niobates : l'un qui est comparable à la blomstrandite de Suède (tantalo-titano-niobate d'uranium), les deux autres auxquels il a donné les noms de *bétafite* et de *samirésite*.

La blomstrandite se trouve dans les carrières de Tongafino au sud de Betafo et à Antanamalaza au sud-est d'Antsirabé, au milieu d'une terre rouge résultant de la décomposition superficielle de la pegmatite. Elle se présente sous forme de cristaux épars de trois ou quatre centimètres maximum, ayant une couleur jaune extérieurement et brun vert foncé intérieurement. La densité varie entre 4,17 et 4,74.

L'analyse est la suivante :

	1 ^{er} échantillon	2 ^e échantillon
Oxyde de niobium	23,30	} 49,76
— de tantale	28,50	
— de titane	10,80	10,71
— d'étain	0,30	—
— de bismuth	0,40	0,12
Oxydes de cérium, de lantane et de didyme	2,50	—
Oxydes d'erbium et d'yttrium . .	0,30	»
<i>A reporter</i>	<u>86,10</u>	<u>60,59</u>

	1 ^{er} échantillon	2 ^e échantillon
<i>Report</i>	66,10	60,59
Magnésie	0,20	0,16
Chaux	4	3,45
Oxyde de fer.....	1,35	3,33
Oxyde de manganèse.....	0,50	0,04
Oxyde d'uranium.....	18,10	23,68 (UO)
Alumine	»	0,11
Perte au feu.....	9,60	7,96
	<u>99,85</u>	<u>99,32</u>

La bétafite est beaucoup plus riche en acide titanique et contient moins de terres rares. Le tantale est presque absent. La densité est moindre : 4,17 seulement. Le minerai est de forme cubique. Il est d'un brun verdâtre, n'est pas translucide mais opaque en lame mince. Son éclat gras est moins vif.

Voici l'analyse d'un échantillon pris à Ambolotara :

Oxyde de niobium.....	34,60
Oxyde de titane.....	18,30
Oxyde d'étain.....	0,30
Oxyde de thorium.....	1,30
Oxyde d'uranium.....	36,60
Alumine	2,10
Peroxyde de fer.....	2,87
Oxydes de cérium, de lantane et de didyme..	0,60
Oxydes d'yttrium et d'erbium.....	0,90
Magnésie	0,40
Chaux	3,45
Eau	7,60
	<u>99,22</u>

La samirésite se présente en octaèdres d'un centimètre au maximum. Sa couleur est jaune d'or rappelant celle de la gomme gutte. Son éclat est très vif, sa fragilité très grande.

On rencontre ce minéral à l'ouest d'Antsirabé, dans la colline de Samirésy, au-dessus du village d'Amparaforatany, à deux heures de marche du lac Tritriva dans la direction de Tongaféno. Là se trouvent des roches pyroxéniques résultant du métamorphisme du calcaire par le granite voisin.

La densité est de 5,24.

L'analyse chimique a donné :

Oxyde de niobium.....	45,80
Oxyde de tantale.....	3,70
Oxyde de titane.....	6,70
Oxyde d'étain.....	0,10
Oxydes de cérium, de lantane et de didyme..	0,20
Alumine	0,74
Oxyde d'uranium.....	21,20
Oxyde de plomb.....	7,35
Oxyde de fer.....	1,06
Potasse.....	0,30
Perte au feu.....	12,45
	<hr/>
	99,60

Ce qui est assez spécifique, c'est la présence du plomb, plomb qui sera des plus gênant d'ailleurs pour l'extraction du radium par traitement chimique. La teneur en plomb se justifie par l'existence dans les mêmes terrains de la pyromorphite qui est un chlorophosphate de plomb contenant du radium.

En dehors de ces trois minerais et à côté de ces trois minerais, surtout de la samirésite, on trouve à Madagascar l'euxénite comme dans l'Inde. A Samirésy existent des cristaux de 3 centimètres et plus. Leur cassure est noire conchoïdale, très éclatante, rappelant celle de l'euxénite de Suède. A l'extérieur des cristaux il y a une matière jaune terreuse, ayant parfois un éclat gras

comme pour la blomstrandite. Les cristaux sont aplatis. Ils sont de forme clinorhombique.

La densité varie entre 4,79 et 4,895.

Malgré leur teneur élevée en radium, ces minerais complexes ont une activité relativement peu grande, ainsi que le montre le tableau suivant :

	Activité	U ³ O ⁸ 0/0	U ³ O ⁸ 0/0 activité
Bétafite (Ambohotara)	{ 0,63 0,87 0,85 }	26,00	29,9
Blomstrandite Tongaféno).	0,56	17,85	31,9
Euxénite (Samirésy).	0,49	»	»
Blomstrandite.	{ 0,33 0,30 }	7,25 7,00	21,9 23,3
Euxénite (Ankaratra)	{ 0,33 0,33 0,34 }	6,11 7,19 7,31	18,5 21,7 21,4

Cet abaissement d'activité est peut-être dû à un phénomène d'hydratation. L'hydratation supprimée, l'activité peut remonter, ainsi qu'il a été dit au chapitre II.

Substances radioactives. — Outre les minerais complexes qui viennent d'être énumérés et qui, s'ils sont trouvés un jour en très grandes quantités, joueront un rôle important dans l'industrie du radium en raison de leur haute teneur en uranium, il existe dans la nature quelques autres substances radioactives, dont voici la liste :

Fritschéite, phosphate d'uranium, de vanadium et de manganèse qui se trouve en Bohême et en Saxe.

Johannite, sulfate d'uranium et de cuivre se rencontrant en Bohême et en Saxe.

Liebigite, carbonate hydraté d'uranium et de calcium, signalé en Autriche et en Saxe.

Mackintosnité, silicate d'uranium, de thorium, de

cérium et de terres rares découvert dans le comté de Llano au Texas.

Medjidite, sulfate d'uranium et de calcium existant près d'Andrinople en Turquie.

Microlite, pyro-tantalate de calcium, tungstène, étain, manganèse, yttrium, cérium avec terres rares contenant 1,5 p. 100 d'uranium, dont des échantillons ont été trouvés à l'île d'Elbe, en Suède, en Virginie, au Connecticut, au Massachusset, au Groenland.

Phosphuranylite, phosphate d'uranium, existant au comté Mitchell.

Pilbarite, silicate hydraté de plomb, d'uranium et de thorium signalé à Pilbara et à Golfield en Australie.

Pyromorphite, chlorophosphate de plomb ayant été plus ou moins exploité à Issy-d'Evêque et à Grury (Saône-et-Loire).

Rutherfordin, urano-carbonate de plomb trouvé dans l'ancienne Afrique allemande.

Schræckinergite, carbonate d'uranium et sulfate de calcium existant à Saint-Joachimsthal en Bohême.

Trøegerite, arséniate hydraté d'uranium signalé en Saxe.

Tynyamunite, urovanadate de calcium hydraté dont on a trouvé des échantillons au Colorado, dans l'Utah et à Fergana dans le Turkestan russe.

Uranocircite, phosphate hydraté d'uranium et de baryum trouvé en Allemagne.

Uranophane, silicate hydraté d'uranium, de calcium, de plomb, de baryum qu'on rencontre en Silésie, en Bavière, en Espagne, dans la Caroline du Nord.

Uranopillite, sulfate uranocalcique provenant de la Saxe.

Uranosphérite, uranate de bismuth hydraté provenant aussi de la Saxe.

Uranospinite, arséniate hydraté d'uranium et de calcium connu en Saxe et dans l'Utah.

Uranothalite, carbonate hydraté d'uranium et de calcium existant en Autriche.

Walpurgite, arséniate hydraté d'uranium et de bismuth défini en Saxe.

Xénotime, phosphate d'yttrium, de calcium, de fer, de manganèse et de calcium contenant 2,9 p. 100 d'uranium et existant en Norvège.

Zeunérite, arséniate hydraté d'uranium et de cuivre se trouvant en Saxe, en Autriche et dans le pays de Cornouailles.

Tous ces corps radioactifs sont des produits de décomposition et ont été formés par des eaux radioactives ou par des concentrations au contact d'un sel chimique, du sulfate de baryum par exemple. On trouvera une proportion de radium analogue à celle des minerais, c'est-à-dire 1 milligramme de radium pour 3 kilogrammes d'uranium.

Il arrive souvent que par suite de phénomènes d'ionisation il y a des concentrations locales assez importantes, mais ces concentrations ne donneront pas lieu à des exploitations d'uranium et de radium. Les substances radioactives ne sont pas vraiment des minerais de radium.

Eaux radioactives. — La plupart des eaux minérales naturelles sont radioactives.

Tous ceux qui ont écrit sur les eaux minérales se sont demandé pourquoi certaines eaux, ayant les mêmes principes chimiques constituants que d'autres eaux, donnaient des cures plus merveilleuses que ces eaux.

« Combien de fois, dit LOBSTERN, en voyant des guérissons inattendus s'opérer sous mes yeux, ne me suis-je

« pas demandé si quelque principe impondérable ana-
« logue à celui dont je crois les nerfs pénétrés ne résidait
« pas dans les eaux minérales et ne leur prêtait pas des
« propriétés en quelque sorte vitales ? »

« Ce n'est point, dit BOIRD, à une petite quantité de
« sel marin ou de sel de Glauber que l'on doit attribuer
« les effets des eaux minérales. On prend plus de sel
« marin dans un seul repas que n'en peut fournir la
« quantité d'eau que l'on boit en quatre jours. Ces eaux
« contiennent une espèce d'esprit ou de gaz qui excite et
« met en jeu tous les organes.

« Remarquons encore que les décompositions sponta-
« nées de l'eau prouve qu'elle est dans un état *constant*
« *d'activité*, tendant à former des nouveaux produits ; et
« dès lors, les principes que l'on absorbe en buvant cette
« eau seraient saisis à *l'état naissant*, c'est-à-dire au
« moment réputé le plus favorable pour qu'ils entrent
« dans de nouvelles combinaisons et au point de leur
« plus grande énergie fonctionnelle. »

DURAND FARDEL, dans son *Traité des eaux minérales*,
dit encore :

« Les eaux minérales au sortir du sol possèdent des
« qualités intrinsèques insaisissables par l'analyse, qui
« en font des compositions inimitables et leur commu-
« nique des activités physiologiques et pathologiques
« très complexes et qui n'appartiennent qu'à elles.

« Il s'agit là de qualités que nous ne savons pas en-
« core définir et qui ne sont sans doute autre chose que
« des états particuliers de la matière, soit chimique, soit
« dynamique.

« Les eaux minérales exercent sur l'organisme des
« actions physiologiques et thérapeuthiques dont le
« caractère et les particularités sont tout autres que ceux

« des agents de la matière médicale. Elles paraissent
« avoir une action cicatrisante prononcée sur les ulcères
« spécifiques. »

Enfin le Dr BORDES PAGES inscrit sur une brochure relative aux eaux d'Aulus les lignes suivantes :

« 1° Quand le bassin est demeuré longtemps fermé,
« on respire en ouvrant une odeur particulière plus mar-
« quée par un temps humide et à l'approche des orages ;
« 2° Il arrive souvent qu'après ingestion on ressent un
« peu de trouble à la tête et une sorte d'enivrement pas-
« sager ;

« 3° Après un bain la peau devient souple et onctueuse ;
« quelquefois, il survient des taches rouges ou bien une
« quantité prodigieuse de petits boutons, souvent des
« démangeaisons sans éruption apparente d'anciens et
« vastes chancres rebelles cicatrisés ;

« 4° Peut-être y découvrira-t-on plus tard quelque
« autre principe actif qu'on n'y soupçonne pas aujour-
« d'hui. »

Ce principe actif, cet élément impondérable, cet esprit ou ce gaz évoqué par ces divers auteurs, c'est le radium avec son activité. C'est cette activité qui agit surtout dans les cures de stations thermales, aussi bien dans les eaux que dans l'air ambiant où elle se transmet et se propage. Pourquoi une eau de Vichy ou de Vittel prise loin de la source n'a-t-elle pas les mêmes effets thérapeutiques ? C'est que les bouteilles, quoique hermétiquement fermées, perdent, au bout de trente jours, l'émanation. On boit une eau saline et non plus une eau radioactive.

Comment expliquer la présence de cette émanation dans les eaux minérales ?

Les sources thermales viennent de la profondeur. Leur chaleur intrinsèque le confirme. Elles sont voisines de

massifs granitoïdes. Les eaux les plus actives sont celles qui proviennent de terrains éruptifs. Dans l'un comme dans l'autre cas elles peuvent dissoudre du radium.

Mais la réaction n'est pas uniquement chimique. Elle est plutôt physico-chimique.

D'après SZILARD le phénomène s'accomplit lentement dans une liqueur diluée et se réalise d'autant mieux que la liqueur est plus diluée et que le temps de formation est plus long.

Des atomes fins, suspendus dans le liquide comme des grains de colloïde, se chargent d'électricité au contact du liquide. Ce sont des ions solides animés d'un mouvement propre irrégulier, tout différents des ions électriques ordinaires et susceptibles d'amener une précipitation sans que la solution se sature, simplement parce qu'ils tendent à compenser leur charge aux dépens des ions électriques chargés en sens inverse, parmi lesquels se trouvent les ions des éléments radioactifs.

C'est ainsi que les eaux souterraines, en circulant très lentement et d'une manière très prolongée sur des roches contenant du radium, acquièrent une certaine radioactivité. C'est un phénomène analogue à celui qui produit les substances radioactives de désagrégation des filons dont j'ai parlé antérieurement.

Les principales eaux minérales radioactives sont celles de Karlsbad en Bohême, de Bath en Angleterre, de Bourbon-Lancy près Issy-l'Evêque, de la Bourboule, de Bussang, de Plombières, de Luchon, d'Aulus, de Nérès, toutes en France.

L'examen de la radioactivité des eaux se fait en évaluant en millimicrocuries (voir la définition de cette mesure à la fin du volume) ou en milligrammes-minutes :

1° La quantité d'émanation contenue dans un litre

d'eau et mesurée de suite après extraction de la source, pour qu'il n'y ait pas de perte ;

2° La quantité d'émanation contenue dans un litre de gaz s'échappant à la source.

On a ainsi obtenu pour diverses sources thermales les résultats consignés dans le tableau de la page 71.

Recherche des minerais et des substances radioactives.

— Il y a trois méthodes de reconnaissance de la radioactivité pour les minerais et pour les substances radioactives qui viennent d'être énumérées, méthodes qui, en dehors des caractères minéralogiques, permettent au prospecteur de pouvoir s'orienter dans ses recherches.

On étudie la radioactivité :

1° Par l'action sur la plaque photographique en répétant l'expérience d'Henri BECQUEREL.

2° Par une charge électrique en se basant sur la propriété qu'ont les corps radioactifs de rendre les gaz, en particulier l'air, conducteurs de l'électricité, le courant électrique ainsi produit pouvant être non seulement constaté, mais encore mesuré.

3° Par la fluorescence obtenue sur un écran avec des matières fortement radioactives.

Ces trois méthodes ont été appelées par Mme CURIE : méthode électrique, méthode radiographique et méthode fluoroscopique. La première seule de ces méthodes donne des indications rapides et des mesures précises. Les deux autres fournissent seulement des résultats qualitatifs.

Les mesures dans la méthode électrique se font soit directement au moyen d'un électromètre, soit par compensation avec le quartz piézo-électrique, soit enfin par la décharge d'un électroscope. Je décrirai au chapitre suivant les deux premiers de ces appareils dont la sensi-

LOCALITÉ	SOURCE	ACTIVITÉ	TEMPÉRA- TURE	ÉMANATIONS en millimicrocuries par litre		AUTEUR
				Eau	Gaz	
Aix-les-Bains	Alun	»	47°	4,04	22,60	Curie et Laborde
Bagnères-de-Luchon	Bordeu	»	63°	16,45	135,00	Moureu
Bussang	Grande Salmadre	»	13°	9,55	—	Laborde
Bourbon-Lancy	Le Lyambe	»	58°	1,25	13,1	Curie et Laborde
La Bourboule	Choussy	»	60°	22,45	141,8	Laborde
Plombières	Capucins	21	46°	5,94	20,8	Curie et Laborde
	Vauquelin	47	69°	2,79	73,5	»
Vichy	Célestins	»	—	0,528	1,58	Laborde et Lepape
	Grande Grille	»	41°, 7	0,066	0,31	»
	Hôpital	»	33°, 8	0,022	1,140	»
Marienbad	Chomel	4,6	»	»	»	Mache et S. Meyer
Bad-Gastein (Autriche)	Graben-Bücker	360	»	»	»	»
Eins-les-Bains (Vosges)	»	16	»	»	»	»
Luxeuil (Haute-Saône)	Bains des Dames	5,7	»	»	»	»
	Grand Bain	2,3	»	»	»	»
	»	4,2	»	»	»	»
Néris (Allier)	»	3,3	»	»	»	»
Bagnoles de l'Orne	»	3	»	»	»	»
Salins-Moutiers	»	0,6 à 3	»	»	»	»
Cauterets	»	0,6 à 3	»	»	»	»
Eaux-Bonnes	»	0,6 à 3	»	»	»	»
Lamalou	»	0,6 à 3	»	»	»	»
Mont-Dore	»	0,6 à 3	»	»	»	»

bilité exige un emploi exclusif au laboratoire. Je ne parlerai ici que de l'électroscope portatif pour prospection.

La méthode fluoroscopique ne peut pas non plus être appliquée par le prospecteur sur le terrain. Elle s'applique à des sels chimiques de radium déjà fortement lumineux.

Quant à la méthode radiographique elle est à la portée de tout le monde, l'impression étant beaucoup plus nette et plus rapide que dans les premières expériences de BECQUEREL. Le matériel nécessaire est des plus rudimentaire ; c'est celui de tout amateur photographe : du papier noir, des plaques sensibles, les produits nécessaires au développement et au fixage, des cuvettes, une lanterne rouge, du papier actinivore et du papier à l'anactinochrine.

Méthode radiographique. — Pour faire des essais, on peut employer les minerais à l'état brut, à l'état pulvérent ou enfin après polissage.

Avec les *minerais bruts* la reconnaissance est plus expéditive. On place sur la plaque photographique le minerai à essayer. On utilise à cet effet le dispositif suivant.

Une boîte parfaitement close pour éviter toute infiltration de lumière contient une plaque photographique disposée horizontalement au fond de cette boîte, La plaque sensible est recouverte d'une feuille de papier noir mince, sur laquelle on vient placer le minerai à essayer. Cette feuille de papier noir est nécessaire, afin qu'il ne puisse se produire aucune réaction chimique entre la substance sensible de la plaque et le corps à essayer. On place ensuite un couvercle sur la boîte et on abandonne le tout dans l'obscurité. Il va sans dire que toutes les manipu-

lations qui viennent d'être indiquées, ont été faites à la lumière rouge, comme si l'on chargeait un châssis photographique ordinaire. Si la substance essayée est radioactive, les rayons émis par celle-ci traversent le papier noir et impressionnent la plaque sensible. Après développement on peut constater que, partout où il y a eu substance radioactive, la plaque porte une tache d'autant plus noire que le corps est plus actif et que la pose a été plus longue.

Le temps d'exposition de la plaque aux corps radioactifs dépend de l'activité de ces corps et de la sensibilité de la plaque employée. Avec des plaques extra-rapides, il faut une pose d'environ 5 à 6 heures pour déceler la présence de la radioactivité dans des minerais que l'on peut espérer traiter avec profit pour en extraire les sels de radium. Avec des plaques moins sensibles la pose doit être prolongée et peut atteindre 10 à 12 heures.

Pour des minerais très peu actifs la pose peut durer plusieurs jours.

En moyenne il faut s'en tenir à des temps de pose oscillant entre 5 et 8 heures avec des plaques sensibles ordinaires. De plus, il faut opérer avec une durée d'exposition toujours la même, afin que les résultats obtenus soient comparables entre eux. On constituera ainsi une série d'impressions photographiques par substances radioactives qui formeront une échelle à laquelle on pourra se référer pour comparer les nouveaux résultats obtenus.

A ce propos il est bon d'indiquer qu'il est très commode de placer sur la plaque, en même temps que le minéral à essayer, un sel d'uranium, tel que le sulfate double d'uranium et de potassium. Ce sel peut servir d'étalon.

Le développement de la plaque se fait comme d'ordi-

naire en photographie. Toutefois il est bon d'employer comme bain de développement un mélange des trois solutions suivantes :

1° solution.	{	Eau	500 grammes.	
		Sulfite de sodium	50	—
		Pyrocatéchine	10	—
2° solution.	{	Eau	100	—
		Phosphate tribasique de sodium	100	—
3° solution.	{	Eau	100	—
		Bromure de potassium	10	—

A des parties à peu près égales des deux solutions on ajoute quelques gouttes de la troisième.

Le développement du cliché est assez long et dure 10 à 30 minutes.

La netteté de l'image n'est pas toujours parfaite, parce qu'il n'y a pas eu un contact suffisant avec la plaque photographique. Ce contact est mieux réalisé dans l'essai avec *minerais pulvérulents*.

La substance à essayer est concassée, puis finement pulvérisée dans un mortier ; on mélange bien toutes les parties pour obtenir une poudre homogène. Il est bon de prélever des échantillons aux différentes parties de minerai qui présentent un aspect particulier ; on réunit ces différentes prises d'essai de manière à former un échantillon moyen.

On dispose dans une boîte une plaque photographique recouverte d'une feuille de papier noir mince. La matière à essayer est placée sur le papier noir et est maintenue par une rondelle de plomb. Le temps de pose sera le même que précédemment et le développement se fera de la même manière.

On peut avec une même plaque sensible faire un grand nombre d'essais. A cet effet une feuille de plomb de quelques millimètres d'épaisseur et de la grandeur de la plaque photographique est perforée de trous de 1 à 2 centimètres de diamètre. On place dans chacun des trous les minerais à essayer, puis le tout dans la boîte sur la plaque photographique.

On obtient des impressions qui ont l'aspect de petites taches de teintes uniformes et qui se prêtent admirablement à la composition d'une échelle d'activité.

Il sera bon, comme dans le cas précédent, de placer sur la plaque une petite quantité d'un sel d'uranium pulvérisé, que l'on adoptera comme type de comparaison.

Si l'on opère avec des *minerais polis*, on réalise la meilleure méthode d'essai photographique des substances radioactives. La méthode a en effet l'avantage de permettre de distinguer dans un minerai les parties actives des parties inactives.

La méthode a été imaginée par Sir William CROOKES.

On use le minerai au tour d'optique de manière à déterminer sur la matière une surface plane. Dans ces conditions, si le minerai n'est pas homogène, un très grand nombre de ses parties viendront affleurer la surface plane, elles pourront ainsi impressionner la plaque photographique et inscrire leur activité. Il sera alors facile de comparer entre elles, au point de vue de leur activité, les diverses zones d'un même minerai.

Pour polir la substance radioactive, si l'on ne possède pas un tour d'optique qui est un appareil d'un certain prix, on peut y arriver par un moyen peu coûteux.

On se procure une plaque de tôle bien plane de 30 sur 60 centimètres, deux plaques de cuivre de 25 sur 30 centimètres, une glace et de la poudre d'émeri. On

frotte le minerai sur la plaque de tôle où a été versée de la poudre d'émeri n° 1 mouillée, en ayant soin de ne pas toujours faire passer les mêmes parties de la surface à user sur les mêmes parties de tôle. Puis on doucit la surface de la même manière avec la plaque de cuivre recouverte de poudre d'émeri n° 3 et 5. Sur la seconde plaque de cuivre on répète la même opération avec de la poudre d'émeri n° 10, 20 et 30 et sur la glace on termine le polissage avec de l'émeri n° 60.

Ces méthodes d'essai photographique sont très simples et faciles à appliquer. Avec une surface de matière d'un centimètre carré on peut aisément constater s'il s'est produit une impression.

En comparant la radiographie obtenue et le minerai qui l'a produite on peut isoler les parties actives des parties inactives et avoir immédiatement une valeur approchée sur la valeur du minerai essayé. Il est évident que le minerai acquiert une valeur d'autant plus élevée que la quantité de matière active qui y est contenue, est plus grande. Les deux dernières méthodes constituent les meilleurs procédés d'essai des minerais. L'essai du minerai pulvérisé permet de rechercher s'il est actif et d'essayer toutes les matières. L'emploi du polissage indiquera quelles sont les parties actives.

Toutefois l'essai photographique n'est pas toujours concluant. Certaines substances peuvent impressionner très faiblement la plaque, alors qu'elles ne sont pas radioactives, surtout en présence de l'humidité. Il est bon de toujours contrôler un essai radiographique par une mesure à l'électroscope.

Électroscope. — Le principe de la mesure par l'électroscope est basé sur la propriété que possèdent les

substances radioactives de donner à l'air une certaine conductibilité électrique. Dans les conditions ordinaires, l'air étant un isolant, un électroscope chargé d'électricité ne se déchargera pas ou se déchargera très lentement. Il n'en est pas de même si l'air est activé.

Un électroscope comporte une ou deux feuilles d'or. Ces feuilles sont aimantées et sont soulevées du fait de l'aimantation dans un milieu non conducteur. Si au contraire l'atmosphère est conductrice, les feuilles d'or de l'électroscope, électrisées au préalable, tomberont rapidement, et, en mesurant la vitesse avec laquelle a lieu le déchargement, on pourra déterminer la grandeur de la radioactivité d'un minéral ou d'une substance quelconque.

L'électroscope se compose d'une boîte cylindrique en cuivre portant à sa partie supérieure un long bouchon d'ambroïde auquel se trouvera fixée une tige de quelques centimètres de longueur. Cette tige porte deux feuilles minces d'or.

Sur le côté de l'appareil et dans un bouchon en ébonite se trouve une tige qui communique à l'intérieur de l'appareil avec une autre tige et avec une pièce fixée à angle droit sur cette tige. A l'état normal cette pièce est fixée par un ressort le long de la boîte cylindrique. Mais, en agissant sur une manette, on peut faire tourner la tige intérieure et la mettre en contact avec la tige qui porte les feuilles d'or.

L'appareil est ainsi prêt à être chargé électriquement.

Sur le fond de la boîte cylindrique on fixe à l'aide d'une monture à baïonnette une boîte cylindrique formant réservoir et devant recevoir la matière radioactive à examiner. Au-dessus de cette boîte on peut glisser un

écran dont le but est d'éviter les courants d'air dans l'appareil, quand on enlève la boîte inférieure et d'intercepter le rayonnement, avant qu'on soit prêt à faire la mesure.

A l'appareil est joint un bâton d'ambroïde qu'on frotte sur un morceau de drap pour opérer la charge électrique des feuilles d'or.

Pour mesurer l'activité d'un minéral ou d'une substance radioactive on glisse un écran dans une fente latérale ménagée à cet effet sur le cylindre de l'électroscope, on sort la boîte inférieure en la tournant horizontalement et en la tirant verticalement comme on enlève une lampe électrique de sa douille, on met dans la boîte la substance à examiner, on replace la boîte comme on visse une lampe électrique sur sa douille, on tourne la manette pour mettre en contact les deux tiges intérieures, on approche lentement et progressivement du bouchon en ambroïde la tige d'ambroïde préalablement électrisée par frottement sur un morceau de drap. Les feuilles d'or se soulèvent et s'écartent d'autant que la tige d'ambroïde est en contact plus intime avec le bouchon. Quand on juge que la déviation est suffisante, quand les feuilles d'or font un angle de 60 degrés avec leur tige de support, on supprime tout contact de la baguette d'ambroïde. On retire l'écran et l'on regarde par la fenêtre ménagée dans le cylindre de l'électroscope. Si le minéral n'est pas radioactif, les feuilles d'or restent immobiles. Elles tombent dans le cas contraire et elles tombent d'autant plus rapidement que la substance soumise à l'essai est plus active. On mesure le temps nécessaire pour que les feuilles d'or tombent d'une quantité connue le long d'une échelle divisée.

Pour obtenir une mesure plus exacte on répète la

même opération avec une substance étalon. Le rapport de la vitesse de chute dans les deux cas donne la radio-activité du minéral.

M. SOWTER a imaginé un petit électroscope remarquable par sa simplicité et plus ou moins portatif.

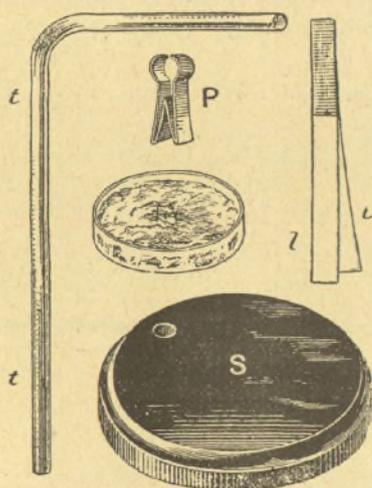


Fig. 7. — Electroscopie Sowter démonté.

Les feuilles d'or sont scellées par pression sur deux languettes de gutta-percha très minces, ce qui leur donne un meilleur isolement et plus de stabilité. Les deux languettes de gutta-percha viennent s'engager dans une pièce P (fig. 7) supportée par une tige en verre recourbée. Cette tige est fixée sur un disque en bois S où l'on

placera la coupelle contenant les substances radioactives.

L'appareil est démontable comme l'indique la figure.

On charge les feuilles d'or par contact de la tige de verre avec un morceau d'ambre frotté. La vitesse de chute des feuilles d'or donne une idée de la valeur de l'activité du produit essayé. Alors que dans l'air ordinaire la décharge dure une ou deux heures, dans un air radioactivé cette décharge peut avoir lieu en 5 ou 10 secondes.

L'électroscope Sowter est surtout un appareil qualitatif.

CHAPITRE IV

PRÉPARATION CHIMIQUE DU RADIUM

Préparation mécanique. — Départ du radium de l'uranium. — Fractionnement. — Appareils de mesure. — Electromètre. — Quartz piézo-électrique. — Electroscope de laboratoire. — Mesure avec l'électroscope. — Matières radioactives solides. — Substances liquides et gazeuses. — Mesure du radium par les rayons γ . — Marché et vente du radium.

Le traitement chimique des minerais qui ont été cités dans le précédent chapitre peut varier quelque peu avec chacun de ces minerais, mais dans leurs grandes lignes les opérations effectuées dérivent toujours des mêmes principes : concentrations successives du radium sous forme de sulfate insoluble et de carbonate au moment de ce qu'on appelle le *gros traitement*, enrichissement par cristallisation sous forme de chlorure ou de bromure pendant le *fractionnement*, les cristaux d'une solution étant toujours plus riches en radium que l'eau mère.

Toutes ces opérations chimiques doivent être suivies par des mesures de l'activité des produits obtenus, de manière à bien s'assurer qu'on ne perd pas une parcelle de radium pendant la concentration. La chose est d'autant plus importante que par exemple après le gros traitement on obtient une activité de 60 pour des résidus de pechblende ayant seulement 4 ou 5 et que le fraction-

tionnement au laboratoire peut arriver à 50 000 et plus d'activité, alors que le gros fractionnement n'en donnait que 1 000.

Un laboratoire de physique, renfermant électromètre, électroscope, quartz piézo-électrique, est toujours adjoint à une usine chimique de traitement pour radium.

Ce laboratoire doit être à une assez grande distance de l'usine pour éviter que les mesures ne soient faussées par une émanation de radioactivité provenant de l'usine. Le chef du laboratoire, quand il revient de l'usine, doit changer de blouse pour que ses vêtements ne soient pas imprégnés d'émanation.

Préparation mécanique. — Avant tout traitement chimique, il faut avec certains minerais réaliser une préparation mécanique, soit que ces minerais ne soient pas suffisamment concentrés, soit qu'ils aient été broyés à un grain trop gros.

On opérera successivement le concassage, la pulvérisation et l'enrichissement mécanique du minerai.

Le concassage se fait avec un concasseur à mâchoires système Blake qui broie le minerai à la grosseur d'une noix.

La pulvérisation est réalisée dans un broyeur à marteaux, dans un broyeur à boulets ou dans un tube mill.

L'enrichissement mécanique s'opère par séparation de densité au moyen de l'eau dans des cribles à secousse ou mieux sur des tables de lavage, genre Wilfley, Ferrari ou Dallemagne. Dans le cas de l'uranite il faut sur ces tables prendre toutes précautions pour que des paillettes de minerai ne soient pas emportées par les eaux de lavage.

Départ du radium de l'uranium. — Les résidus de pechblende de Saint-Joachimsthal qui ont été traités en premier lieu pour en extraire le radium, étaient des sulfates complexes. Dans ces produits le radium se trouvait à l'état de sulfate avec le baryum, mais, malgré son insolubilité, il était des plus difficile à séparer. On ne put y arriver qu'à la suite d'une série de lavages progressifs tantôt avec des sels alcalins, tantôt avec l'eau.

Pour obtenir ces sulfates avec la pechblende on grille avec du carbonate de sodium le minerai concassé et broyé. La matière résultant du traitement est lessivée à l'eau chaude pour enlever les sels de sodium solubles, puis elle est attaquée à l'acide sulfurique étendu. La solution contient l'uranium. Le résidu insoluble renferme les substances radioactives; c'est lui qui a déjà une activité de 4 à 5. C'est un mélange de sulfates de plomb, de chaux, de cuivre, de bismuth, de zinc, etc... et de baryum contenant le radium.

Pour les métaux autres que la pechblende, l'attaque primordiale se fera soit à l'acide chlorhydrique dilué, soit à l'acide azotique très étendu. L'attaque a lieu à froid dans de grandes cuves en bois avec agitation au moyen de palettes en bois. Elle dure souvent plusieurs jours.

La solution filtrée et débarrassée de ses premières impuretés, surtout siliceuses, est portée à l'ébullition, puis on y précipite le fer et l'alumine par une certaine quantité de carbonate de sodium.

Après filtration on reprend la solution par de la soude caustique; et l'on forme un précipité rougeâtre qui contient l'uranium. Le liquide sortant des filtres presses est attaqué par l'acide sulfurique et donne des sulfates avec le radium.

Ainsi s'effectue d'une autre manière le départ du radium d'avec l'uranium ; c'est la méthode généralement adoptée. D'autres modes de traitement peuvent être employés.

Maintenant va commencer la succession de transformations des liqueurs pour en extraire lentement et péniblement le radium, par lavage à l'eau, par traitement au carbonate de sodium et aux acides sulfurique ou chlorhydrique.

On traite les résidus par de l'acide chlorhydrique concentré. La plus grande partie des sulfates se trouve dissoute. Il reste un dépôt solide qui contient le radium. On le lave à l'eau. Le lavage doit être fait à fond de manière à éliminer toute trace de sulfate alcalin. Si l'opération est mal conduite, le radium se transforme de nouveau en sulfate à la faveur des traces de sulfate de sodium retenues par le précipité mal lavé, et il demeure insoluble lors de l'attaque des carbonates par l'acide chlorhydrique dont je vais parler.

Tout est à recommencer.

Le précipité bien lavé est mélangé à une solution concentrée et bouillante de carbonate de sodium. Cette opération a pour but d'éliminer les derniers sulfates qui n'ont pas été dissous, en les transformant en carbonates. On tourne le mélange dans une cuve en fonte avec une palette en bois. Ensuite on décante et on lave à l'eau le dépôt dans une série de cuves.

Le dépôt de ces cuves est attaqué par de l'acide chlorhydrique étendu, exempt d'acide sulfurique. La dissolution contient le radium. On la filtre et on la précipite par l'acide sulfurique. On obtient ainsi des sulfates bruts de baryum radifère contenant un peu de chaux, du plomb et du fer. La quantité de plomb est surtout

importante et spécifique avec les minerais de Madagascar.

Il faut purifier ces sulfates. Pour cela on les fait bouillir avec une solution concentrée de carbonate de sodium. Les carbonates obtenus sont eux-mêmes transformés en chlorures.

La dissolution filtrée de ces chlorures est précipitée par le carbonate de sodium. On obtient des carbonates alcalino-terreux qu'on transforme à nouveau en chlorures. Les chlorures sont évaporés à sec et lavés avec de l'acide chlorhydrique concentré et pur. Le chlorure de calcium se dissout presque complètement, alors que le chlorure de baryum radifère reste insoluble. Comme la solution peut entraîner un peu de radium avec la chaux, on la précipite par l'acide sulfurique, de manière à obtenir un sulfate actif qu'on soumettra à nouveau aux traitements précédents. Le chlorure de baryum radifère est lavé à l'eau, puis de nouveau précipité par le carbonate de sodium. Le carbonate alcalino-terreux est traité alors par l'acide bromhydrique, de manière à obtenir un bromure dont le fractionnement est plus facile que celui du chlorure, ainsi que l'a démontré M. GIESEL.

Fractionnement. — Le fractionnement est commencé dans l'usine même ; il est terminé au laboratoire.

Son principe est d'utiliser la différence de solubilité des bromures de radium et de baryum, le bromure de radium étant moins soluble que celui de baryum. On soumet les bromures à une série de cristallisations dans l'eau pure d'abord, puis dans l'eau additionnée d'acide bromhydrique. On obtient ainsi des bromures de baryum radifères de plus en plus riches en radium. On pourrait aller jusqu'au bromure de radium. On ne le fait pas. Le

plus qu'on pousse la concentration, c'est à un degré de 90 p. 100. En général on vend les sels de radium à 40 ou 50 p. 100 de concentration. C'est suffisant.

Le mode d'opération est le suivant.

Les bromures de baryum radifères sont dissous dans l'eau distillée à chaud. La dissolution est amenée à saturation à la température de l'ébullition. Puis on la laisse cristalliser dans un récipient ouvert. On obtient ainsi au fond du récipient des cristaux que l'on sépare par décantation de l'eau mère, c'est-à-dire de la liqueur surnageante. Ces cristaux sont environ cinq fois plus actifs que le bromure en solution.

On répète sur la liqueur et sur les cristaux des opérations semblables. La liqueur est évaporée et amenée à nouveau à saturation à la température de l'ébullition. Les cristaux sont dissous à nouveau dans l'eau distillée et la solution obtenue est remise à cristalliser.

On se trouve ainsi en présence de quatre produits.

- | | | |
|------------------|---|-------------------------------------|
| 1° Une liqueur. |) | Provenant de la première liqueur de |
| 2° Des cristaux. |) | cristallation. |
| 3° Une liqueur. |) | Provenant des cristaux de la pre- |
| 4° Des cristaux. |) | mière cristallation. |

Ces derniers cristaux sont les plus actifs. Quant aux produits 2 et 3, ils ont une activité comparable. On les mélange pour les faire cristalliser à nouveau.

On se trouve ainsi avoir trois portions qui sont soumises de nouveau au même traitement. Après chaque opération la solution saturée provenant d'une portion est versée sur les cristaux provenant de la cristallisation de la portion suivante. Il s'ensuit qu'on a d'un côté des cristaux de plus en plus actifs et de l'autre des eaux

mères de moins en moins actives, formant les deux extrémités des récipients de fractionnement.

On ne pousse pas à l'infini le nombre des cristallisations.

Quand les produits appauvris (queue du fractionnement) n'ont plus que peu d'activité, on les élimine. De même pour les cristaux enrichis (tête du fractionnement) on les retire du circuit.

Dans l'opération du fractionnement telle qu'elle vient d'être décrite, on comprend que le volume de la matière traitée diminue rapidement. L'opération, commencée à l'usine dans des bassins en fonte que remplissaient complètement les eaux mères, se termine au laboratoire dans des capsules en porcelaine puis dans de petites fioles coniques où les projections de sels riches en activité sont moins à craindre au moment du chauffage au gaz pour la saturation. Le gros fractionnement à l'usine réduit la matière de 25 kilogrammes à 4 ou 5 kilogrammes, par exemple. Lors du petit fractionnement au laboratoire il n'y a plus à peine que quelques centigrammes de sels chimiques à l'état presque pur. On arrive à 400 ou 500 grammes de matière.

Les derniers fractionnements au laboratoire exigent une attention et un soin tout particuliers. La moindre négligence peut faire perdre en une seconde une matière ayant comme valeur des milliers de francs. Cette négligence en fin d'opération serait des plus terrible, si l'on songe à tout ce qu'elle ferait perdre comme travail. Pour obtenir un gramme de bromure de radium, il faut 800 tonnes d'eau, 400 tonnes de minerai, 100 tonnes de produits chimiques liquides, 90 tonnes de produits chimiques solides. Il n'est donc pas étonnant que le prix du radium soit si élevé. Il ne pourra baisser que si l'on

trouve des procédés de traitement plus rapides avec des minerais riches.

Attendons à ce point de vue ce que donneront les nouveaux gisements qui ont été découverts au Congo belge.

Appareils de mesure. — Après chaque traitement à l'usine et surtout après chaque fractionnement l'activité des produits obtenus doit être méticuleusement et rigoureusement mesurée. Les chimistes de l'usine règlent leur travail sur les documents qui leur sont remis par le laboratoire de physique.

Les appareils de mesure employés à ce laboratoire sont l'électromètre, l'électroscope, le quartz piézo-électrique, imaginés tous trois par Pierre CURIE. On arrive avec ces appareils à reconnaître un cinquante millionième de milligramme de radium. C'est l'extrême limite de mesure qu'on puisse atteindre.

Au delà on fait usage des mesures spectrales, mais il ne faut pas exagérer le nombre de ces mesures, car chacune d'elles provoque une perte de radium dans la flamme.

Electromètre. — L'appareil (fig. 8) fonctionne comme certains électroscopes à plateau et est basé sur les mêmes principes, à savoir de rendre l'air conducteur entre deux plateaux à l'aide d'une substance radioactive.

La substance à l'état pulvérulent est placée sur un premier plateau B, au-dessous d'un autre plateau A, le système des deux plateaux formant un condensateur d'activité.

Ce condensateur (fig. 9) qui a été imaginé par MM. J. et P. CURIE, se compose de deux plateaux en glace de

Saint-Gobain, séparés par trois cales de quartz. Dans le plateau supérieur on a tracé au centre un anneau de

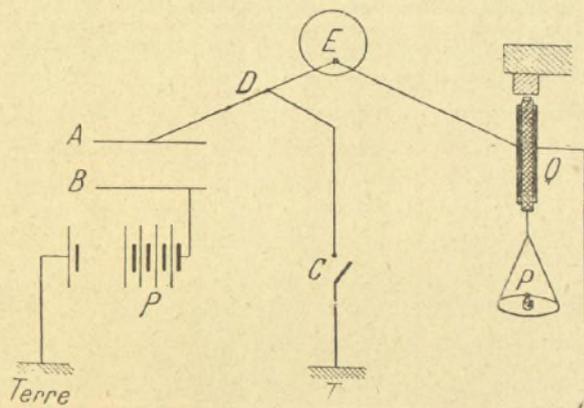


Fig. 8. — Schéma d'une mesure de radioactivité par électromètre.

garde d'où part, par un trou très fin la communication électrique avec la portion centrale de l'argenture.

Pour mesurer l'activité, on opère comme il suit.

On porte le plateau inférieur B à un potentiel élevé en le

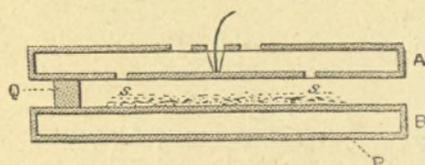


Fig. 9. — Condensateur d'activité système Curie.

reliant à un pôle d'une batterie d'accumulateurs P à un très grand nombre d'éléments dont l'autre pôle est à la terre. Le plateau supérieur A étant maintenu au potentiel de la terre par un fil spécial CD, un courant électrique

s'établit entre les deux plateaux sous l'influence de la conductibilité de l'air réalisée par la substance radioactive placée dans le plateau inférieur B.

Un électromètre E permet de mesurer le potentiel du plateau supérieur.

Si l'on coupe en C la communication à la terre, le plateau supérieur A se charge et l'électromètre dévie. Cette déviation est proportionnelle à l'intensité du courant et permet de mesurer cette intensité qui est due à la radioactivité.

Quartz plézo-électrique. — Le principe de l'appareil (fig. 10) est le suivant.

Si l'on exerce sur un cristal de quartz une traction normale à l'axe optique et en même temps à l'axe binaire, le cristal se polarise électriquement dans le sens de l'axe binaire et les deux faces qui sont normales à cet axe sont chargées de deux courants d'électricité de sens contraire. En recouvrant ces deux faces de feuilles d'étain, on forme un condensateur qui se charge d'électricité au moment où l'on exerce la traction. Si ensuite on cesse toute traction, il y a de nouveau condensation d'électricité, mais alors les charges sur chaque face sont égales et de signe contraire à ce qu'elles étaient dans la première expérience.

L'appareil est constitué par une lame *abcd* de quartz longue, mince et convenablement taillée qui est montée à ses extrémités dans deux garnitures métalliques H et B. Suspendue à sa partie supérieure en H elle soutient à la partie inférieure en B un plateau avec des poids par l'intermédiaire d'une tige munie de crochets.

L'axe optique du quartz est dirigé horizontalement suivant la longueur de la lame. Les faces sont normales à

un des axes binaires ou électriques de cristal. Ces faces sont recouvertes de papier d'étain. On a tracé dans le

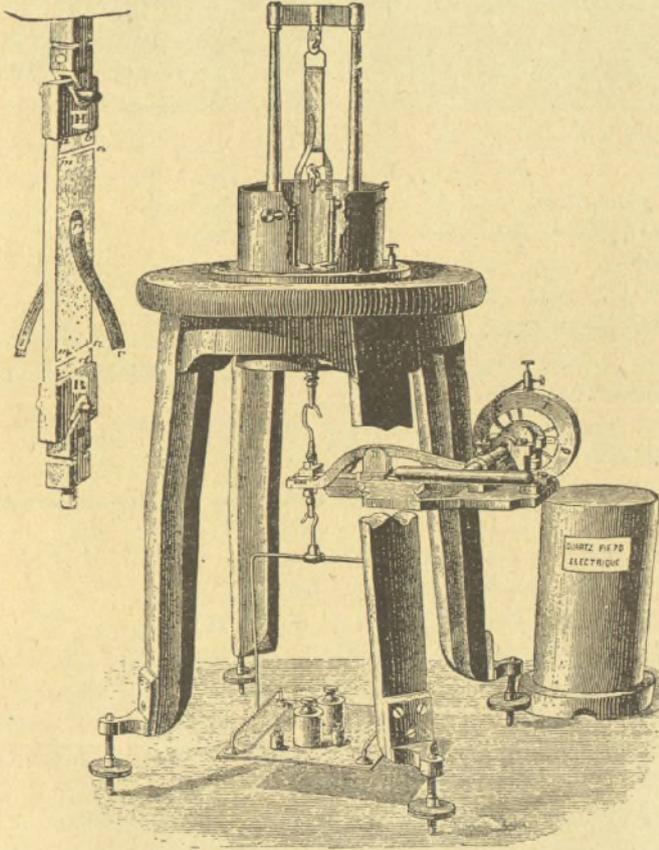


Fig. 10. — Quartz piézo-électrique de MM. J. et P. Curie.

papier de chaque face deux traits fins mn et $m'n'$ qui isolent des montures la plus grande partie de la surface,

On recueille l'électricité sur ces portions isolées à l'aide de deux lames de cuivre *r*, faisant ressort qui viennent s'appuyer sur les deux faces et qui communiquent avec les bornes de l'appareil.

On a intérêt à employer une lame de quartz longue et mince. La lame est placée dans une enceinte métallique desséchée par l'acide sulfurique monohydraté. Cette enceinte, toutes les pièces métalliques, ainsi que les montures de la lame sont en communication permanente avec la terre. Par l'intermédiaire des ressorts une des faces de la lame est en relation avec la terre, l'autre est reliée à l'électromètre.

L'électromètre est un électromètre apériodique Curie à amortisseurs magnétiques, modification des électromètres THOMSON OU D'ARSONVAL.

Avec un peu d'habitude on arrive aisément à poser un poids sur le plateau de la lame de quartz en le soutenant avec la main et le laissant peser progressivement tout en examinant l'image de l'électromètre qui ne doit pas s'éloigner de zéro, afin de compenser le courant électrique du condensateur où se trouve la substance radioactive.

Le quartz piézo-électrique s'emploie en effet avec le condensateur absolu à anneau de garde en glace argentée dont il a été parlé précédemment de manière à mesurer des charges très faibles.

L'une des lames du quartz piézo-électrique est reliée par son ressort au plateau supérieur de l'appareil décrit page 88, tandis que le ressort de la seconde lame communique avec la terre. On soumet la lame de quartz à une tension déterminée en plaçant des poids dans le plateau P de l'appareil. On règle la quantité de ces poids de façon qu'il y ait à chaque instant compensation entre la quantité d'électricité qui traverse le condensateur et

celle de signe contraire que fournit le quartz. On peut ainsi mesurer en valeur absolue la quantité d'électricité qui traverse le condensateur pendant un temps donné, c'est-à-dire l'intensité du courant.

L'activité que l'on peut mesurer par cette méthode est limitée. Le quartz ne peut pas fournir, soit à l'origine, soit au bout d'un certain temps, une quantité d'électricité suffisante pour établir la compensation. Aussi emploie-t-on de préférence dans les laboratoires d'usine l'électroscope de laboratoire que je vais décrire. D'autre part on forme plus aisément des opérateurs pour les mesures à l'électroscope que pour celles qui sont faites à l'électromètre avec le quartz piézo-électrique. L'électromètre et le quartz piézo-électrique ont servi à Mme CURIE pour la mesure de la radioactivité au moment de la découverte du radium.

Ce sont des appareils de savant et non point d'industriel.

Electroscope de laboratoire. — L'appareil est basé sur les mêmes principes que l'électroscope dont il a été parlé au chapitre III et qui est surtout un appareil de prospection ou de recherche rapide. Il se différencie par quelques détails de construction et, étant plus complet, permet d'obtenir des mesures plus exactes.

L'appareil inventé par Pierre CURIE, comme je l'ai dit, a été modifié heureusement par MM. CHENEVEAU et LABORDE de manière à permettre de mesurer l'activité des minerais les plus pauvres et celles des sels de radium les plus riches. C'est ce qui est nécessaire dans une usine pour suivre les phases diverses de la fabrication.

L'électroscope est composé d'un cylindre métallique A horizontal pouvant s'adapter à une chambre rectangulaire

d'ionisation B dont on modifiera la disposition et les dimensions suivant les mesures des corps radioactifs qu'il y aura lieu d'effectuer. Ce sera une chambre à plateau, si les corps à examiner sont solides. Ce sera un cylindre pour mesurer la radioactivité des gaz ou la déperdition. Ce sera enfin un appareil à disque ou à sphère en plomb pour permettre la mesure des rayons γ .

L'ensemble de l'appareil est en communication directe avec la terre.

Dans le cylindre métallique A se trouve l'électroscope

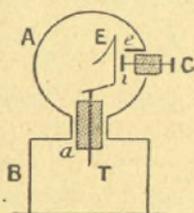


Fig. 11. — Schéma d'un électroscope à feuilles d'or.

avec la feuille d'or E. L'électroscope est fixé à la partie inférieure de ce cylindre dans un bloc d'ambroïde *a* qui forme isolant au-dessus de la chambre rectangulaire. Dans ce bloc passe la tige T qui soutient la feuille d'or.

Sur une autre face du cylindre A se trouve l'appareil chargeur C de l'électroscope, appareil se composant d'une tige traversant elle aussi un manchon d'ambroïde. Cette tige est mobile horizontalement de manière que le chargeur puisse être déplacé.

Pour charger l'électroscope on met en contact un bout d'ambre électrisé par frottement avec le bouton se trouvant à l'extrémité de la tige du chargeur C. Puis on

ramène en arrière le chargeur, en mettant en contact un excentrique i avec un ergot e placé sur la paroi du cylindre A, de manière à décharger complètement le chargeur.

On introduit alors une substance radioactive dans la chambre rectangulaire d'ionisation B. L'air de cette chambre étant rendu conducteur, l'électroscope sera déchargé. La feuille d'or tombera.

La chute de la feuille d'or est proportionnelle comme vitesse à la radioactivité de la substance examinée. On mesure cette vitesse sur un micromètre convenablement disposé, en même temps que l'on détermine le temps à l'aide d'un compte-secondes.

Les deux faces planes du cylindre composant la chambre A supérieure de l'électroscope sont constituées par des parois de verre garnies intérieurement d'une toile métallique. Sur la face avant on place un micromètre. En éclairant convenablement la face arrière, l'ombre de la feuille d'or vient se projeter sur le micromètre. La lecture de ce micromètre se fait à l'aide d'une lunette.

Avant d'effectuer aucune mesure avec l'électroscope, il faut étalonner l'appareil. Le laboratoire Curie à la Faculté des Sciences de Paris se charge de l'opération. On peut aussi étalonner soi-même son électroscope.

On part d'un minerai connu et dont le rapport $\frac{\text{Ra}}{\text{U}}$ dont il a été parlé précédemment, est bien constant. On choisit par exemple une pechblende dont on a dosé l'uranium, et où le rapport $\frac{\text{Ra}}{\text{U}}$ est égal à $3,4 \times 10^{-7}$, ainsi que l'ont démontré MM. RUTHERFORD et BOLTWOOD.

Mesures avec Pélectroscope. — Ces mesures visent les substances solides, les matières liquides ou gazeuses, les rayons γ d'un sel de radium fabriqué.

Matières radioactives solides. — La mesure d'une matière radioactive solide se fait comparativement à l'oxyde noir d'uranium pris comme étalon et comme unité. Il faut employer un produit broyé finement qu'on étale en couche mince et régulière dans le plateau de la chambre d'ionisation de l'électroscope.

Il faut tout d'abord mesurer la fuite spontanée de l'appareil. Cette fuite spontanée est la vitesse de chute de la feuille d'or due à l'électricité de l'air. On l'établit autant que possible avant chaque expérience, surtout si les expériences se font à plusieurs jours de distance. Après avoir chargé l'électroscope, on amène l'ombre de la feuille d'or sur l'échelle du micromètre et après avoir remis le chargeur à la terre, on mesure la vitesse de chute pour un temps déterminé.

Si l'on obtient deux divisions du micromètre pour 100 secondes, la fuite spontanée sera de 0,02 division par seconde. On déduit cette fuite spontanée, et de la vitesse de chute provoquée par l'oxyde d'uranium, et de la vitesse de chute trouvée pour la matière radioactive examinée. Les deux activités, corrigées et obtenues aussi bien pour l'oxyde d'uranium que pour la substance radioactive, peuvent alors être comparées. Si l'on a trouvé pour l'oxyde d'uranium le chiffre 6,23, correspondant à 1 d'activité et pour la matière le chiffre 8,33 on en conclut que cette matière a 1,33 d'activité.

Quand les sels de radium à examiner ont une activité très forte, on constitue des disques de ces sels avec un

diamètre très réduit. On fera des disques de 1 centimètre de diamètre.

Mais, avec la croissance d'activité des sels de radium, il pourra devenir impossible de diminuer le diamètre des disques. On place alors à la partie supérieure de la chambre d'ionisation une pièce cylindrique terminée par une toile métallique très fine ou même par une paroi mince munie d'un petit trou central. On diminue ainsi successivement le champ d'action du rayonnement et, pour des sels de radium purs, on ne recueille que la partie essentielle et suffisante pour effectuer une mesure.

S'il s'agit d'un très fort rayonnement, l'étalon d'uranium est trop faible comme activité comparativement aux activités émises. On constitue alors une échelle de petits étalons avec des substances radioactives qu'on substituera à l'oxyde noir d'uranium. On aura un disque de 1 centimètre dont l'activité aura été trouvée égale à 50 fois celle de l'uranium. Un autre disque aura une activité 50 fois plus grande que le premier. Un troisième disque sera 50 fois plus actif, la mesure ayant été faite comparativement avec le second disque. Ces disques pourront avoir un peu moins d'un centimètre de diamètre.

Pour confectionner les disques, au lieu de se servir de disques métalliques qui s'activeront avec le temps, ce qui faussera les mesures, on étale la substance sur un disque en papier que l'on pose sur le disque métallique. Ce disque en papier pourra être renouvelé de temps en temps, sinon pour chaque mesure.

L'humidité de l'atmosphère peut augmenter la valeur de la fuite spontanée. Il est bon de dessécher les chambres de l'électroscope au moyen du chlorure de calcium ou de l'anhydride sulfurique, qu'on place dans de petites capsules au milieu de ces chambres.

La fuite spontanée peut aussi être augmentée par le mauvais état des manchons en ambroïde. Des poussières, des dépôts actifs peuvent se déposer dans les joints. Il est utile de démonter assez souvent les ambroïdes, de les frotter avec un produit à polir, de les essuyer avec un linge très propre et même de les laver à l'eau distillée ou à l'alcool. Après séchage on les remet soigneusement en place. Un nettoyage complet de l'électroscope est en outre nécessaire de temps en temps.

Tout ne doit être que soin et grande attention pour l'opérateur. Faute de soin il peut s'exposer à des erreurs très graves de mesure, avec répercussion fâcheuse sur la fabrication à l'usine.

Substances liquides et gazeuses. — On introduit un liquide avec son émanation ou bien un gaz dans un cylindre de déperdition qui sera fixé sous l'électroscope. Dans ce cas la tige de l'électroscope devra être plus longue de manière à pouvoir plonger à peu près jusqu'au fond du cylindre de déperdition.

Avant de procéder à une mesure on fait le vide dans le cylindre au moyen de deux robinets adaptés sur ce cylindre, puis on y admet de l'air parfaitement sec, qu'on a fait passer sur les appareils chimiques bien connus de dessiccation.

Avec cet air, on mesure la fuite spontanée.

On opère de nouveau le vide dans le cylindre et on y introduit lentement le gaz ou l'émanation à mesurer après les avoir fait passer dans des tubes dessiccateurs. On achève de remplir avec de l'air sec. On attend quatre heures pour que l'équilibre se produise et l'on mesure la radioactivité.

Du chiffre trouvé pour cette radioactivité on déduit la fuite spontanée et l'on a l'activité du fluide examiné.

Les chiffres obtenus sont loin d'être de l'ordre de grandeur de ceux trouvés pour les matières solides. Ce sont des curies ou des millicuries (voir la définition de ces termes à la fin du volume).

L'étalon dans ce cas est le cylindre de déperdition. Ce cylindre a été étalonné en déterminant la quantité de curies correspondant à la chute d'une division en une seconde. Cette quantité de curies devra être déduite du chiffre précédemment trouvé et le résultat représentera l'activité de la matière examinée.

Par la méthode précédente on mesure très exactement la quantité d'émanation produite en vase clos par une solution radifère dans un temps donné. On opère pratiquement comme il suit :

On met dans un appareil barboteur la solution à examiner en ayant soin de prendre un appareil d'un volume quatre fois égal à celui de la solution. On fait passer un courant d'air pour chasser l'émanation contenue au moment du remplissage de l'appareil barboteur, puis on ferme à la lampe les extrémités de l'appareil. On note le jour et l'heure de la fermeture.

Après un temps variable suivant la richesse supposée de l'émanation, on réunit le barboteur à un cylindre d'électroscope en intercalant un appareil dessiccateur. On commence par faire le vide dans le cylindre, puis on aspire lentement l'émanation. Celle-ci est entraînée dans l'espace de 10 à 15 minutes. On achève de remplir le cylindre avec de l'air sec.

On attend quatre heures environ pour permettre à la radioactivité induite de se développer et pour avoir la valeur maximum du courant.

On mesure la vitesse de décharge de la feuille d'or de l'électroscope.

Mesure du radium par les rayons γ . — La méthode de mesure est basée sur la propriété qu'ont les rayons α et β émis par le radium d'être arrêtés par un écran en plomb, alors que les rayons γ traversent cet écran. Avec des lames de plomb d'une épaisseur variable, on a observé que l'absorption des rayons α et β est faible jusque vers 1 ou 2 millimètres et qu'elle devient très forte à partir de 4 à 5 millimètres. A partir de ce moment on peut considérer que le rayonnement n'est plus composé que de rayons γ .

La mesure des rayons γ permet de suivre l'évolution d'un tube de radium après sa fabrication jusqu'au moment où il a atteint sa période d'équilibre. Elle est surtout nécessaire pour déterminer le poids de radium contenu dans un tube fabriqué.

Le premier électroscope employé pour cette mesure était un appareil dit à plateau, dans lequel un disque en plomb était interposé entre la chambre d'ionisation et la chambre supérieure.

Aujourd'hui le modèle adopté est celui qui a été créé par MM. CHENEVEAU et LABORDE. La chambre d'ionisation de l'appareil est constituée par un support sphérique à l'intérieur duquel se trouve placée une sphère creuse en plomb de 10 millimètres d'épaisseur. Cette sphère est entourée par une sphère en laiton isolée à sa partie inférieure par un bloc d'ambroïde et reliée électriquement à sa partie supérieure aux parties métalliques de la chambre supérieure.

C'est à l'intérieur de la sphère en plomb que sera placée la substance à mesurer.

Pour effectuer une mesure on commence, comme dans les exemples précédents, par déterminer la fuite spontanée puis on place dans la chambre d'ionisation la substance à analyser qui se trouve en général contenue dans une ampoule de verre scellée. On ferme la chambre d'ionisation, on charge l'électroscope et l'on mesure le temps et la vitesse de la chute de la feuille d'or.

Le chiffre trouvé, déduction faite de la fuite spontanée, est rapproché de celui qui aura été déterminé pour un poids connu de radium, servant d'étalon, de manière à pouvoir calculer en poids la quantité de radium contenue dans le tube analysé.

Cette analyse est celle qui est faite couramment par le laboratoire Curie à la Faculté des Sciences dans le but de délivrer les certificats justificatifs de la vente des sels de radium.

Ici point d'étalon de faible activité comme l'oxyde noir d'uranium, non plus que des disques d'activité plus ou moins grande comme dans les usines. Il faut comme étalon du radium pur ou presque pur. Et, si l'on doit déterminer des poids assez variables de radium, il faut avoir des étalons de divers poids, de manière à faire des essais du même ordre de grandeur et à se mettre autant que possible dans des conditions d'expérience aisément comparables entre elles.

Si l'on ne possède pas d'ampoule étalon, on peut faire étalonner l'électroscope, c'est-à-dire faire déterminer une fois pour toutes à quel poids de radium correspond une vitesse de chute d'une division par seconde.

Les mesures ne seront pas aussi exactes.

On néglige dans ces mesures l'absorption des rayons par les parois du tube de verre. Comme ces parois sont très minces, cette absorption est très faible.

Avant de procéder à l'essai par les rayons γ d'un tube scellé contenant du radium, il est nécessaire de connaître l'âge du tube, c'est-à-dire la date exacte où le sel de radium a été inclus dans le tube et où le tube a été scellé. Le rayonnement dans les premiers jours où le sel a été inclus dans l'ampoule de verre est beaucoup moindre qu'après un certain temps. La période d'équilibre est atteinte généralement au bout d'un mois. Alors seulement l'émission des rayons est constante.

Je prends un exemple.

Un tube scellé est examiné au bout de dix-neuf heures. Il donne un rayonnement correspondant à 1,38 milligrammes de bromure de radium. Après deux jours et dix-neuf heures, le rayonnement correspond à 1,90 milligrammes de bromure de radium. Après cinq jours, on trouve 2,28 milligrammes de bromure de radium contre 2,70 milligrammes de bromure de radium au bout de dix jours, et au bout d'un mois il y a 3,05 milligrammes de bromure de radium. C'est le moment d'équilibre. La quantité n'augmente plus.

Marché et vente du radium. — Le radium qui a été trouvé par CURIE et qui est d'invention essentiellement française, les sels de radium qui ont été pendant longtemps fabriqués à l'état pur uniquement en France et qui doivent y être achetés encore, si l'on veut qu'ils soient exempts de thorium, n'ont pas actuellement leur marché de vente en France. C'est triste à dire.

L'Amérique du Nord autrefois, la Belgique aujourd'hui ont le monopole des prix.

Et pourtant, on achète une grande quantité d'uranite au Portugal et on y traite même sur place cette uranite à Barracao près Guarda.

L'Amérique du Nord a, depuis quelques années, créé de nombreux laboratoires de fabrication de radium. En dehors de la France où existent quatre usines de traitement aux environs de Paris (Nogent-sur-Marne, Saint-Denis, Courbevoie et Gif), en dehors de l'Angleterre, il y a aussi l'Allemagne où s'élaborent en grande quantité des sels de radium. Les produits concentrés avec lesquels sont fabriqués ces sels, ne viennent plus de Saint-Joachimsthal en Bohême et sont pour la plupart importés de l'étranger, de Belgique notamment.

Depuis la découverte de minerais radifères au Congo belge, la prépondérance de la vente des sels de radium appartient à une usine des environs d'Anvers.

Autrefois, on vendait les sels de radium à des prix variables suivant leur activité.

Voici un tarif datant de l'année 1904 qui était pratiqué par la Société Centrale de Produits chimiques :

Sel de baryum et de radium :

Activité (française) .	}	40 . . .	4 fr. le gramme.
		100 . . .	10 —
		240 . . .	24 —
		1 000 . . .	25 fr. les 2 décigr.
		3 000 . . .	40 fr. le décigr.
		7 000 . . .	100 —
		10 000 . . .	175 —
		20 000 . . .	400 —

En 1907, l'usine ARMET-DE-LISLE à Nogent-sur-Marne vendait ses produits de fabrication (bromure ou sulfate de radium) sur les bases suivantes.

ACTIVITÉS	TENEUR EN BROMURE de radium pur	POIDS	PRIX en francs
50	0,0025 %	un gramme	20
100	0,005	—	40
500	0,025	—	150
1 000	0,05	—	300
5 000	0,25	—	1 200
10 000	0,5	un centigramme	25
10 000	0,5	un gramme	2 500
20 000	1	un centigramme	50
20 000	1	un gramme	5 000
50 000	2,5	un centigramme	100
50 000	2,5	un gramme	10 000
100 000	5	un centigramme	200
100 000	5	un gramme	20 000
500 000	25	un centigramme	1 000
500 000	25	un gramme	100 000
1 000 000	50	un centigramme	2 000
1 000 000	50	un gramme	200 000

BROMURE DE RADIUM PUR

Le milligramme	400
Le centigramme	4 000
Le décigramme	40 000
Le gramme	400 000

(Les activités indiquées dans ce tableau sont prises par rapport à l'uranium métallique).

On a renoncé aujourd'hui à prendre comme base de prix de vente l'activité d'un sel de radium. Cela prêtait bien souvent à des confusions. Non seulement les bases du chiffre d'activité n'étaient pas les mêmes dans les différents pays, mais en France même où ce mode de vente

avait été instauré, il est arrivé qu'on a dû adopter des activités beaucoup plus grandes, ce qui a amené une certaine confusion. D'autre part, on réussit difficilement à fabriquer un sel à 100 p. 100 de radium. C'est d'ailleurs parfaitement inutile.

Actuellement on vend les sels de radium sur la base de la quantité de radium élément contenu dans ces sels, de même qu'on vendra un minerai suivant un prix unitaire de la quantité de métal contenu dans ce minerai.

Le prix de base fixé en 1914 en Amérique varie entre 110 et 120 dollars pour un milligramme de radium élément. Le prix des divers sels de radium se déduira de la lecture du tableau suivant qui donne pour les principaux sels de radium achetés par le commerce, la proportion de radium élément contenu dans chacun d'eux.

SEL	POIDS moléculaire	RADIUM élément contenu par gramme	QUANTITÉ de chaque sel donnée par la transformation de
Ra Br ² , 2H ² O	422,4	0,535	1 gr. Ra Br ² 2 Aq
Ra Cl ² , 2H ² O	333,4	0,680	0,789
Ra CO ³	286,4	0,790	0,676
Ra SO ⁴	322,4	0,700	0,760

Le dollar étant resté à peu près stable comme change pendant la guerre, il est arrivé que le radium a été un des seuls métaux, comme l'or, dont le prix de vente n'ait pas augmenté dans de très notables proportions. Le bromure de radium qui valait 400 francs le milligramme avant la guerre, s'est vendu pendant la guerre 500 francs et 600 francs maximum. Depuis lors il a repris comme l'or, sa revanche. Après l'armistice, le change sur New-

York ayant augmenté dans des conditions considérables, le marché des sels de radium a suivi les fluctuations du change. Au taux du dollar de 15 à 16 francs, correspond un prix de vente de 950 francs et plus pour le milligramme de bromure de radium, transformé en sulfate. A l'heure où paraissent ces lignes, le prix du milligramme de bromure de radium est stabilisé aux environs de 650 francs en raison de la concurrence belge.

CHAPITRE V

ACTION EN THÉRAPEUTIQUE HUMAINE

Généralités. — Action respective des rayons α , β , γ . — Action des rayons radifères sur la peau humaine. — Traitement des nævis et des angiomes. — Traitement du lupus. — Traitement du cancer. — Maladies de la femme. — Maladies nerveuses. — Action sur les yeux. — Action microbienne. — Emploi du radium à petites doses. — Traitement par l'émanation.

Généralités. — Les rayons émis par le radium ont une action sur l'épiderme humain. Loin d'être aussi dangereux que les rayons X, cause parfois d'accidents mortels pour les médecins qui les ont trop longtemps maniés, ils ne peuvent qu'occasionner des plaies locales.

Henri BECQUEREL ayant inconsciemment gardé sur lui pendant six heures dans le gousset d'une chemise de flanelle un tube renfermant 200 milligrammes d'un sel de radium assez actif, constata au bout de quinze jours un érythème qui s'ulcéra et qui ne se cicatrisa que très difficilement au bout d'un mois.

M^{me} CURIE fut victime d'une brûlure analogue au cours d'un voyage en Pologne.

Pierre CURIE s'amusa à placer sur son bras pendant dix heures, un petit sachet renfermant du radium à activité 5 000 ; un érythème se produisit qui pâlit, s'ulcéra au bout de vingt jours et ne fut entièrement guéri qu'après quatre mois de soins.

A l'Institut Pasteur, M. DANYSZ a fait de nombreuses expériences sur des cobayes soit avec des sels de radium, soit avec l'émanation de ces sels. Il y a eu tantôt destruction de l'épiderme, tantôt une action excitante. Il remarqua que le système nerveux central était beaucoup plus sensible que l'épiderme. Des résultats morbides furent obtenus par application des sels de radium sur de petits animaux tels que des souris.

Toutefois le radium n'est pas exclusivement un caustique, comme on l'a souvent prétendu. S'il est capable de tuer certaines cellules ou de paralyser jusqu'à la mort des êtres inférieurs, il peut aussi, en supprimant des tissus, en reconstituer d'autres. Alors qu'il détruit certaines cellules, il épargne d'autres éléments de la région irradiée. Il stimule et règle même leur évolution. C'est ainsi que les cellules du tissu conjonctif devenues cellules sarcomateuses, redeviennent des cellules conjonctives normales, capables d'élaborer à nouveau du tissu conjonctif. C'est ce qu'on a observé pour certaines maladies de peau ou pour le cancer, et à ce point de vue, dans le cas du cancer, notamment d'un cancer au sein, il préparera les tissus pour une opération chirurgicale, s'il ne guérit pas par lui-même.

Le radium est susceptible d'exercer une action efficace dans certains troubles nerveux. A petites doses il peut avoir des qualités curatives intéressantes.

A haute dose, le radium sera un auxiliaire pour le chirurgien. A faible dose, entre les mains du médecin, il viendra se placer dans le cortège des médicaments surtout de nature homœopathique.

C'est ce que j'examinerai dans ce chapitre en parlant de l'action du radium sur le lupus, sur les sarcomes, sur le cancer, de son intervention dans les maladies ner-

veuses, et dans celles de l'œil, de son influence sur l'organisme en général sous forme de médicament interne à petite dose.

Action respective des rayons α , β , γ . — J'ai défini précédemment les propriétés physiques des divers rayons émis par le radium :

1° Les rayons α et β , les uns chargés d'électricité positive, les autres d'électricité négative, pouvant les uns comme les autres être arrêtés par un écran ;

2° Les rayons γ , ultra pénétrants, comparables aux rayons X et dont la proportion dans le rayonnement est beaucoup moindre que celle des rayons α et β , surtout des rayons β .

Les rayons γ sont les plus usuels en radiumthérapie, étant donné qu'à l'heure actuelle la plupart des appareils radifères employés sont des tubes métalliques en platine ne laissant filtrer que les rayons γ . Toutefois tous les rayons peuvent agir et sont intéressants à faire agir, surtout les rayons α . Comme l'a écrit avec juste raison le Dr WICKHAM, il est bon de modifier à l'infini la combinaison en qualité et en quantité des rayons du radium.

Les rayons α agissent dans les applications courtes d'appareils à sels collés ou de toiles radifères (voir chapitre IX la description de ces appareils) de même que dans le cas des injections sous-cutanées intraveineuses et dans une cure par émanation. Dans l'émanation il n'y a presque exclusivement que des rayons α et c'est peut-être la raison pour laquelle l'émanation se détruit aussi facilement et aussi rapidement.

Les rayons α , dont l'absorption est très rapide par une substance quelconque, n'exercent leurs réactions que sur les couches superficielles des tissus. On peut avec eux

détruire des affections inflammatoires superficielles. Ces rayons sont mélangés d'une certaine quantité de rayons β dits β mous, alors que les rayons β durs et les rayons γ n'ont pas eu le temps d'agir, étant donné le temps relativement long qui est nécessaire pour leur pénétration dans les tissus. Une application pour rayons α devra donc être de courte durée. Toutefois il est assez difficile d'isoler les uns des autres les divers rayons et d'avoir une idée exacte sur la valeur respective de leur rayonnement individuel.

Les rayons β sont en nombre considérable soit comme rayons primaires, soit comme rayons secondaires. Dans un de ses appareils à sels collés, le Dr WICKHAM a trouvé que la proportion des divers rayons était la suivante :

Rayons α	10 p. 100
Rayons β	87 —
Rayons γ	3 —

Les rayons β sont hétérogènes et possèdent des qualités différentes de pénétration. Ils sont destructifs ou curatifs, suivant la manière dont on les fera inonder une certaine épaisseur de tissus. On aura avec les β mous, les β moyens et les β durs toute une gamme qui permet de déterminer une réaction dans les diverses profondeurs d'une lésion cutanée.

Dans les applications d'une longue durée d'appareils à sels collés, ce sont surtout les rayons β mous et β moyens qui agissent, les rayons β durs accompagnant plutôt les rayons γ et étant comme ceux-ci en faible proportion dans le rayonnement. Par interposition d'un écran de plomb épais, les rayons β sont supprimés comme les rayons α , mais les rayons β durs subsistent avec les rayons γ . Ils ont comme ceux-ci une action profonde.

Le rôle des rayons β est donc des plus complexe. Il est souvent efficace en radiumthérapie. Sous l'action des rayons β les globules du sang abandonnent peu à peu de l'hémoglobine, alors que certains eczéma chronique se modifient et guérissent sans révulsion.

Etant donnée leur force de pénétration, les rayons γ semblent devoir traverser tous les tissus sans les modifier. Mais j'ai dit que ces rayons étaient mélangés de rayons β durs. Il se peut aussi qu'ils donnent naissance en frappant la matière à des rayons β secondaires. C'est l'ensemble de ces rayons que le Dr WICKHAM appelle rayons surpénétrants.

Ces rayons sont obtenus par l'interposition d'écrans métalliques d'une épaisseur de 1/10 de millimètre jusqu'à 2 ou 3 millimètres.

Le maniement de ces rayons, qui sont en petit nombre, est moins délicat que celui des rayons peu pénétrants qui sont en grand nombre. Il a d'ailleurs le plus généralement pour but la destruction des tissus. Autrefois les applications étaient de longue durée avec appareils à faible dose. On augmente aujourd'hui les doses tout en diminuant peu le temps d'application. On applique surtout la méthode du feu croisé pour certaines plaies cancéreuses.

Actuellement la radiumthérapie emploie presque exclusivement des tubes de radium à rayonnements surpénétrants ou bien des tubes aiguilles. Les tubes contiennent 100 milligrammes de bromure de radium. Les tubes-aiguilles renferment 10 à 20 milligrammes de bromure de radium.

On ne se trouve plus guère qu'en présence de rayons γ ou de rayons β durs.

Actions des rayons radifères sur la peau humaine. —

On obtient sur une peau humaine parfaitement saine des brûlures dites *radiodermites*, soit par une seule application d'un sel de radium très actif pendant quelques heures ou d'un sel moins actif pendant de longues heures, soit avec des poses très courtes de quelques minutes, et répétées pendant plusieurs jours avec un sel de radium très actif, soit enfin avec exposition faible et longue à l'activité d'un sel de radium très peu concentré.

Dans le premier cas l'ulcère est grave. Dans le second cas le degré d'ulcération est moindre. Dans le dernier cas, il n'y a pour ainsi dire pas d'accident ulcéreux.

Les ulcères peuvent d'ailleurs se classer suivant leur importance en quatre catégories tout comme les brûlures qui sont du premier ou du second degré.

Première catégorie. — Elle est caractérisée par la non modification de la surface de la peau pendant une période d'incubation. Après quinze jours ou trois semaines commencent les premiers symptômes. Le système pileux devient fragile et tombe. La peau est lisse, parfois légèrement pigmentée pendant quelques temps. Au bout de deux mois les poils repoussent et la peau reprend son aspect primitif.

2^e Catégorie. — Si la brûlure est plus vive, on observe un érythème légèrement rosé au début, puis devenant plus foncé. Il peut ne pas y avoir lésion. Au bout d'un certain temps l'épiderme redevient intact, mais il est plus tendre, luisant, glabre, parfois de façon permanente.

3^e Catégorie. — L'érythème est intense, foncé et accompagné de démangeaisons assez vives. La peau se

boursoufle. Il se forme des bulles qui laissent suinter un liquide trouble et ensuite purulent. Il peut y avoir ulcère suintant. La démangeaison est de plus en plus vive. Au bout de deux à trois semaines, il y a cicatrisation localisée. La peau sera privée de poils et il reste des traces indélébiles de la brûlure.

4^e *Catégorie*. — Il y aura destruction totale de la peau. La surface est ulcérée avec taches jaunes ou grises qui s'étendent. Il se forme une escharre brune insensible laissant couler un liquide épais, séreux, puis purulent. L'ulcère qui est très profond se guérit avec une grande lenteur. La cicatrice a des bords irréguliers, boursoufflés. Elle ressemble à la cicatrice d'une brûlure grave.

A l'inverse des brûlures, tous ces ulcères ne se forment pas immédiatement, mais après une période d'incubation qui dure entre huit jours ou trois semaines, suivant qu'il s'agit des diverses catégories.

En se basant sur ces observations on peut faire varier le temps et le mode d'application des sels de radium et l'on peut éviter qu'il y ait jamais accident. On tiendra compte également de ce fait que la peau de la femme et des enfants est beaucoup plus sensible que celle de l'homme, que le visage et les membres supérieurs sont plus facilement atteints que les jambes et le dos, enfin que la peau malade réagit beaucoup plus.

C'est ainsi que des études ont été faites et que même des cures ont été obtenues pour des *nævi*, des *lupus*, des cancers.

Traitement des *nævi* et des angiomes. — Le *nævus* est la tache de vin. Il est plan, de niveau avec la peau, tandis que l'angiome proprement dit revêt la forme de tumeur. Le traitement au radium est souvent efficace. Il est plus

commode que les autres traitements, surtout chez les jeunes enfants, chez qui les angiomes sont fréquents et chez qui il est assez facile de les faire disparaître dès le début.

Le traitement du nævus est assez délicat. Après application du radium il peut se produire un angiome secondaire qu'on est forcé de traiter à nouveau. Suivant la finesse de la peau, suivant la coloration de cette peau, il faudra au médecin un doigté très spécial et approprié pour que le malade ne soit pas après le traitement dans un état pire qu'avant l'application. La cure réussit mieux au visage que sur le tronc et sur les membres, surtout si le sujet est jeune.

Il y a lieu d'employer surtout les rayons ultra-pénétrants γ , afin d'éviter toute lésion ou toute cicatrice. Mais bien souvent, les rayons γ ne donnant qu'un résultat négatif, on doit faire intervenir les rayons de moyenne pénétration en arrêtant par un écran les rayons α et β mous. On procède par applications courtes et répétées de manière à limiter l'inflammation.

Quelquefois aussi on emploie un rayonnement très fort déterminant une action ulcéreuse très nette. Le traitement ne réussit qu'avec une peau mince, fine et blanche.

Il existe d'autres angiomes qui, quoique plans, sont infiltrants. Ce sont des angiomes très colorés et disgracieux, qu'il est toujours bon de traiter, une légère cicatrice après traitement valant mieux qu'une infiltration vasculaire hideuse dans la peau.

Dans ce cas il faut recourir aux rayons ultra-pénétrants à forte dose, avec la méthode des feux croisés, c'est-à-dire avec des appareils dont l'action est convergente. Le but est avant tout de produire une irritation mais sans réaction cutanée comme avec le nævus.

Une troisième catégorie d'angiomes est celle des angiomes plus ou moins surélevés et à surface plane ou mamelonnée. On emploie des doses plus fortes que précédemment. Les rayons γ agissent en profondeur, tandis que les rayons α et β modifient les couches superficielles. On n'opère aucun filtrage. Après traitement la peau revient presque à son état normal, pourvu qu'on n'agisse pas avec trop de violence. Les formes dures très mamelonnées donnent une cicatrice un peu colorée : il y a amélioration considérable, sinon cure parfaite.

La quatrième catégorie d'angiomes correspond aux angiomes mous, en nappe fluctuante, formant des tumeurs. C'est dans ce cas que le radium produit les résultats curatifs les plus beaux. Les variétés de ces angiomes sont excessivement nombreuses, puisqu'elles vont depuis la nappe fluctuante jusqu'à la véritable tumeur. Elles comprennent souvent des tumeurs cutanées très profondes. Cette question de profondeur a son importance, car il faut savoir que quelquefois une tumeur, peu colorée parce que profonde, sera beaucoup plus difficile à guérir qu'une tumeur très colorée mais superficielle.

Les caractères communs à ces tumeurs sont leur coloration intense. Elles sont souvent rouge foncé, violacées, et ont tendance aux hémorragies. Cette tendance aux hémorragies joue un rôle considérable et oriente l'action thérapeutique. Il faut, avant tout, éviter l'ulcération trop marquée, qui amènerait une hémorragie secondaire, bien que le radium puisse agir dans une certaine mesure par son action hémostatique.

Contrairement aux cas des groupes précédents, il faut éviter l'action violente en surface, alors que l'action profonde doit être énergique : donc, peu d' α et de β , et forte

dose de γ . Il faudra le plus souvent se servir d'écrans ou bien, si on ne les emploie pas, faire des applications courtes et répétées. Enfin, pour les grosses tumeurs, les meilleurs résultats ont été donnés par la thérapeutique du feu croisé, qui permet d'agir dans tous les points de la tumeur.

Une dernière classe de nævus est celle des nævi pigmentaires. Avec ceux-ci le radium opérera d'une manière peu efficace, à moins qu'il ne s'agisse d'un nævus très coloré et pilaire. Dans le cas de nævi peu colorés et non pilaires, il pourrait y avoir formation d'une cicatrice moins présentable que la lésion elle-même. On agit aussi bien en surface qu'avec les rayons pénétrants, en prolongeant suffisamment le temps des séances.

Traitement du lupus. — L'action du radium ne semble pas aussi effective pour le traitement du lupus tuberculeux que pour celui d'autres lésions, et il a été reconnu qu'en opérant, non plus avec un appareil à sels de radium, mais avec des injections de solutions radifères, on pouvait obtenir de meilleurs résultats.

Les premières expériences ont été faites par le Dr DANLOS. Les voici brièvement résumées.

Le Dr DANLOS employait du chlorure de baryum radifère aux activités suivantes : 1000, 1800, 5 200, 19 000, 200 000 et 300 000. Il constata que les effets produits variaient en fonction

- 1° De l'activité du sel de radium ;
- 2° Du temps d'application ;
- 3° De l'état de la zone sur laquelle agissait l'appareil d'application.

Le Dr DANLOS, à la suite de ses études, s'est montré partisan d'applications pendant de longues heures de

sels radifères d'une faible activité, mais il y a la récurrence qu'on n'observe pas pour les activités très fortes. Avec des appareils d'activité 5.200 et 19.000 pour des applications de 24 à 36 heures, il y a eu des guérisons réelles et durables.

Après traitement la cicatrice est blanche, lisse, un peu plus grosse que la plaque d'application. Le poil ne semble pas devoir repousser. On ne trouve plus trace de lupus, pas d'érythème, pas de tubercules.

Mais le lupus étant une maladie sujette à récurrence, il est impossible de conclure, avant quelques années, à une guérison complète. Pour obtenir cette guérison complète, il faudrait pouvoir traiter toute la surface malade, et avec la méthode d'ulcérations successives, on ne peut agir que par places avec très grande précaution.

Les D^{rs} WICKHAM et DEGRAIS ont employé pour le traitement du lupus la même méthode que celle qu'ils ont adoptée pour la suppression du cancer. C'est la méthode destructive.

Les lupus ordinaires peuvent être traités de cette manière en appliquant les appareils de radium sur les lésions pendant trois ou quatre heures, les applications étant réparties en 3, 4, 5 ou 6 séances exécutées en l'espace d'une semaine. Puis on attendra six semaines ou deux mois avant de reprendre le traitement.

S'il existe des nodules lupiques de récurrence, ils seront dépistés par lavage à l'alcool; quand ils sont nettement isolés, on les détruit par le thermo-cautère.

Le lupus érythémateux, le lupus verruqueux, le scrofulodermie sont traités suivant la même technique. Quand il existe des croûtes ou des portions de tissu mortifié, il est nécessaire de dénuder et de mettre à vif la lésion tuberculeuse.

Il faut agir puissamment en profondeur et en largeur et surveiller longuement et avec grand soin les cicatrices produites, le traitement se faisant avec des doses fortes de radium. Mais la récurrence est toujours possible.

Aussi a-t-on songé à employer le radium sous forme d'injections de solutions radifères ou radioactives dans les tissus lupiques. L'activité n'est plus aussi grande, mais il y a un élément nouveau qui a des propriétés bactéricides. Cet élément, c'est l'émanation provenant de la solution radifère. Il y aura le plus souvent absorption trop rapide du liquide. En injectant au contraire des sels de radium non solubles (sulfate de baryum radifère, par exemple), on peut obtenir un contact plus prolongé du sel avec les tissus lupiques et une action plus énergique de l'émanation.

C'est évidemment dans ce sens que doit évoluer le traitement du lupus.

Traitement du cancer. — Les premiers essais relatifs au traitement des cancers de la peau peuvent se rapporter à deux méthodes, l'une qui est appelée destructive et qui est analogue à celle qui a été indiquée précédemment pour le traitement du lupus, l'autre qui est dite méthode régressive.

La méthode *destructive* s'applique aux cancers de la peau ordinaire. Dans cette méthode les temps de pose sont longs de manière à amener une destruction des tissus morbides, après quoi il y a exulcération et apparition de croûtes.

On guérit ainsi les épithéliomas ordinaires et les épithéliomas saillants, plans et peu infiltrés.

On emploie des appareils à sels collés (voir chapitre IX) qu'on entoure d'une gaine de caoutchouc ou de

baudruche de manière à les protéger contre le suintement des tissus malades.

L'application des appareils est avantageusement précédée d'une toilette de la région malade, consistant en un enlèvement soigné des croûtes.

Dans le cas où les dimensions de l'appareil l'emportent sur celles du cancer, on protège les portions de la peau saine avoisinant la tumeur au moyen d'une lame de plomb caoutchoutée découpée de façon à encadrer la tumeur. Entre la peau saine et la lame de plomb caoutchoutée, on place de la gaze et l'on recouvre le tout avec l'appareil radifère.

Le cancer sera soumis au rayonnement pendant quatre ou huit heures, en moyenne, les applications étant réparties entre 2 ou 4 séances, pratiquées tous les jours, ou avec un intervalle d'un jour. Il se produit une réaction intense suivie de la formation d'une escarre qui tombe au bout de six semaines environ.

La méthode dite *régressive* s'exécute surtout par le procédé du D^r DOMINICI, c'est-à-dire par la méthode du rayonnement ultra-pénétrant obtenu par filtrage à travers des lames de métaux épaisses de 4/10 à 5/10 de millimètre.

Cette méthode s'applique de préférence aux cancers qui se développent dans les angles des dépressions, des cavités naturelles, et aussi aux cancers très infiltrants, très étendus, très anfractueux, dont la régression doit être suivie dans tous ses détails, et reprise dès que se manifeste l'arrêt de la réduction du néoplasme.

Pour les cancers qui occupent la surface de la peau, et qui ne sont pas trop profondément infiltrés, on se servira d'appareils à sels collés (voir chapitre IX) recouverts d'écrans métalliques (nickel ou plomb) de 5/10 de milli-

mètre à 1 millimètre d'épaisseur. On applique les appareils, munis de leur écran métallique, de l'écran de papier et de l'enveloppe de caoutchouc, pendant douze heures ou vingt-quatre heures, sur le néoplasme ; on attend quinze jours ou trois semaines et on recommence le traitement. Si le cancer paraît réfractaire au rayonnement, on double l'intensité du rayonnement primitif, soit en employant un appareil de plus forte activité, soit en ajoutant au premier appareil un second appareil.

La méthode du rayonnement est surtout basée sur l'emploi des tubes Dominici.

Les cancers qui se développent dans les angles, tels que le sillon naso-génien, rétro-auriculaire, sous-mammaire, etc. ; ceux qui se développent dans les dépressions de l'oreille, ou encore dans les cavités naturelles telles que l'entrée des fosses nasales, seront soumis au rayonnement ultrapénétrant que fournissent des tubes de métal contenant les sels de radium. Le tube sera entouré de gaze sur une épaisseur de 3 à 4 millimètres et placé dans les dépressions de la tumeur pendant douze ou vingt-quatre heures. On reprendra l'application au bout de trois semaines.

Le cancer de la peau profondément infiltré, fortement saillant, sera traité par l'introduction des tubes radifères dans la tumeur. Et aujourd'hui cela se pratique à l'aide d'aiguilles très fines et convergentes contenant de faibles quantités de radium qu'on enfonce dans l'épiderme de la même manière que des aiguilles pour piquères.

On introduira un tube métallique dans la bouche, dans l'œsophage, dans l'intestin, dans le rectum. Le tube est attaché à un fil d'argent qui sert à le retenir et à l'enlever en fin d'application. Les tubes qui étaient

autrefois en or et en argent, sont aujourd'hui tous en platine (voir chapitre ix).

Actuellement le traitement du cancer se fait presque uniquement par la méthode du rayonnement ultra-pénétrant, par l'action des rayons γ provenant d'un tube de platine sans interposition d'écran. On ne craint pas d'employer de fortes doses de sels de radium, 100 milligrammes et plus de bromure de radium. On a pu faire avec succès des applications d'un gramme de bromure de radium. La surface des tissus mortifiés chéloïdiens reçoit ainsi des doses globales intenses, massives, tandis qu'en même temps il y a filtrage des rayons à travers ces tissus. Les couches profondes sont influencées par ces rayons pénétrants qui, ayant filtré en petit nombre, exercent une action plus douce mais en même temps très spécifique. Il y a ainsi destruction de la partie supérieure de la chéloïde et au contraire action curative de la région environnante.

Pour toutes les applications du radium au traitement du cancer, on détermine le plus souvent par empirisme l'activité à donner au sel de radium qui sera employé. Il vaut mieux ne pas opérer empiriquement, et plutôt expérimentalement. A cet effet, le D^r BÉCLÈRE a utilisé le chromoradiomètre d'HOLZKNECHT dans le but de mesurer la quantité de rayons pénétrants produits par une solution radifère. L'appareil se compose d'une série de réactifs isolés et d'une échelle graduée qui sert d'étalon. Les réactifs incorporés dans une substance transparente et contenue dans un petit godet sont colorés par l'ampoule renfermant le sel de radium. L'échelle graduée est formée de douze godets semblables entre eux et semblables au premier qui sont à l'abri de la lumière et qui présentent une coloration bleu vert, dont l'intensité va

en croissant d'un bout à l'autre de la série. A chaque degré de l'échelle se trouve un chiffre qui indique la quantité de rayons absorbés. Par une expérience préalable on déterminera le chiffre maximum de l'échelle, qu'il ne faut pas dépasser pour une application et l'on aura une base pour déterminer l'activité à employer dans le traitement du cancer.

Maladies de la femme. — C'est en gynécologie que le radium a donné jusqu'ici les meilleurs résultats thérapeutiques.

Les organes génitaux de la femme, par leur conformation anatomique, se prêtent parfaitement aux applications du rayonnement des sels de radium. Qu'il s'agisse de pansement de l'organe malade avec des solutions faibles de bromure, qu'il s'agisse d'introduction d'un appareil dans n'importe quelle région de cet organe, le radium est parfaitement approprié à l'un ou à l'autre de ces traitements en raison de l'activité thérapeutique qu'il possède sous un volume des plus restreint. D'autre part, par ses effets analgésiques, décongestifs et hémostatiques, il est tout à fait indiqué en gynécologie.

De l'étude faite par des applications en diverses circonstances, il ressort que le rayonnement du radium agit d'abord sur l'élément inflammatoire congestif. Des travaux du Dr DOMINICI, il appert que les tissus néoplastiques se guérissent par le processus d'évolution du tissu embryonnaire vers le tissu conjonctif et le tissu fibreux.

Plusieurs faits précis sont à signaler. Ce sont l'influence du rayonnement radioactif sur la résorption et la transformation que subissent les exsudats péri-utérins ou péri-annexiels ainsi que l'action excessivement

nette du rayonnement sur les inflammations surajoutées, sur la gangrène ou la suppuration des tissus.

Si l'on ne peut pas espérer complètement guérir les fibromes qui rentrent encore exclusivement dans le domaine de la chirurgie, on peut espérer obtenir la préparation d'un meilleur terrain pour l'intervention chirurgicale. Le radium a une action efficace sur le tissu fibreux du fibrome.

En ce qui concerne les salpingo-ovarites il semble ressortir très nettement l'espoir d'arriver à guérir certaines salpingo-ovarites chroniques et peut-être aiguës principalement gonococciques.

Cette action élective du radium sur les affections gonococciques est intéressante à noter et paraît être en accord avec les résultats obtenus dans les arthrites de même origine.

Quant aux métrites, l'utilité du radium est tout à fait indiquée, et les travaux des D^{rs} WICKHAM et DEGRAIS, OUDIN, LACAPÈRE, de M^{me} le D^r FABRE peuvent autoriser à espérer des résultats fort encourageants.

Enfin il y a lieu d'insister sur un point très intéressant, c'est l'action analgésiante du radium qui atténue rapidement les phénomènes douloureux et permet aux malades d'éviter un repos complet qu'elles ne veulent ou ne peuvent pas toujours prendre.

Si le radium ne guérit pas (et il ne peut pas toujours guérir), il agit comme médicament très efficace pour calmer les douleurs et pour préparer la malade à une opération chirurgicale. On cite des cas fort intéressants de guérison de cancers de l'utérus, à l'aide d'appareils à rayons ultrapénétrants. On peut laisser sans inconvénient les appareils très longtemps en place, jusqu'à quarante-huit heures sans douleur pour la malade.

Pour les divers appareils employés, je renvoie à la description qui en est faite au chapitre IX, notamment à celle de l'appareil radio-utérin du D^r WICKHAM.

Maladies nerveuses. — Le radium a une action anesthésique très puissante. Dans le traitement du cancer, dès le début, on a observé une atténuation des douleurs des néoplasmes traités. On a constaté la disparition de douleurs fulgurantes chez un ataxique. Le D^r WICKHAM a pu améliorer par le traitement au radium des cas de sciatique, de crise de gastrite suraiguë et un cas de zona. Le D^r DOMINICI a guéri des cystites tuberculeuses et des névralgies intercostales.

Avec le radium on arrive à dissiper d'une façon complète les douleurs provenant de fortes névralgies. Dans un cas de paralysie faciale aiguë et toute récente une guérison fut obtenue du jour au lendemain. Enfin, dans deux cas de névroses convulsives, les attaques qui se répétaient tous les jours pour l'un des cas et trois à quatre fois par semaine pour l'autre cas disparurent par l'application sur les tempes d'une ampoule contenant un sel de radium.

Toutefois, il y a lieu de noter que, s'il y a récurrence du mal, les applications ultérieures du radium ne donnent plus des résultats aussi concluants. On serait en présence d'un calmant et d'un médicament calmant momentané.

Dans le tissu nerveux il se développe parfois de véritables cancers, des tumeurs appelées gliomes. Il serait intéressant d'étudier l'action du radium sur ces tumeurs.

Ces études n'ont pas été faites, mais des expériences ont été tentées sur une lésion de la moelle appelée syringomyélie par le docteur TOUCHARD. Après quelques applications, les malades ont retrouvé la force et surtout

la souplesse des membres qui avaient été momentanément paralysés. Rien d'étonnant à cela, puisque les rayons Röntgen sont depuis longtemps appliqués au traitement de la syringomyélie. Les rayons γ du radium qui sont encore plus pénétrants que les rayons X doivent être efficaces dans la circonstance. Il y aurait lieu dans cette thérapeutique d'employer des appareils renfermant un poids important de sels de radium.

Dans les appareils, outre les rayons γ qui travaillent à l'instar des rayons X et qui traversent mieux qu'eux la masse osseuse vertébrale ou crânienne, les rayons β durs sont susceptibles d'avoir une action qu'il serait bon de bien déterminer. Des expériences intéressantes sont à faire dans cette voie.

Action sur les yeux. — Le radium semble avoir une action favorable sur la reconstitution de l'œil atrophié et privé de lumière. La rétine perçoit une lueur assez intense, quand on place sur la tempe ou sur la paupière fermée d'un sujet un tube de radium enfermé dans une enveloppe de plomb.

Les rayons émis par les sels de radium provoquent d'une façon très intense la phosphorescence des liquides contenus dans l'œil et c'est ainsi que les aveugles peuvent éprouver la sensation de lumière qu'ils n'avaient plus depuis longtemps déjà. Les yeux qui ont perdu la vue par des altérations cornéennes sans complications capables d'anéantir les fonctions rétinienne et qui par conséquent conservent une bonne projection lumineuse, pourraient être rééduqués par les rayons de BECQUEREL. Il faut que la rétine soit parfaitement intacte.

Voici comment l'on procède à l'expérience.

Devant un écran au platino-cyanure de baryum activé

par du radium on place des figures découpées qui projettent leurs silhouettes sur la rétine. Les patients, placés dans une chambre obscure, distinguent d'abord une surface lumineuse diffuse et informe, puis ils finissent par apercevoir un trait horizontal ou vertical, puis des combinaisons de traits, puis des courbes et enfin des lettres et des objets à contours tranchés, comme une clef, une fourchette, etc. ; et ces aveugles éprouvent une joie indicible à voir par leurs yeux des formes d'objets qui leur sont familiers par le toucher seulement.

C'est là, certes, une très grande satisfaction pour ces pauvres aveugles, et peut-être aussi un précieux moyen de rééducation ; mais cela n'apprendra pas encore aux aveugles à voir et à se conduire à la lumière du jour.

Toutefois l'expérience peut porter ses fruits dans le traitement thérapeutique de l'œil et l'on a songé à employer des solutions radioactives de très faible activité pour certains soins ophtalmologiques.

Action microbienne. — Des travaux ont été faits sur le *micrococcus prodigiosus* qui a une culture rouge, très odorante et très caractéristique. On a employé un gramme de bromure de baryum radifère dans une capsule de laiton ayant 3 centimètres de diamètre. Un écran en aluminium de 0 mm. 10 d'épaisseur était placé devant la capsule.

Le micrococcus futensemencé dans l'agar-agar versé dans une boîte de Pétri, fermée par une lame de verre. Cette lame fut recouverte d'une lame de plomb ayant 1 centimètre d'épaisseur et percée au centre d'une ouverture de 25 millimètres de diamètre. Puis on appliqua sur la lame de plomb la capsule contenant le radium après interposition de l'écran d'aluminium.

Le développement du micrococcus ne fut pas entravé et se fit avec la même rapidité que d'ordinaire. Comme les rayons α étaient complètement absorbés par l'écran d'aluminium de même que les rayons β en partie, il n'y avait que les rayons γ qui agissaient et cela négativement.

L'expérience fut refaite en supprimant l'écran d'aluminium. L'agar-agar futensemencé seulement dans la partie centrale et la boîte de Pétri fut renversée sur la capsule de radium. Au bout de 2 à 4 heures le développement de la culture était complètement arrêté, là où rayonnait le radium. Dans toutes les autres parties de la boîte il s'opéra comme d'ordinaire.

En éloignant la capsule de radium de 6 centimètres, la culture se propage régulièrement.

Ce sont donc les seuls rayons α qui agissent et qui empêchent le développement de la culture.

M. DANYSZ a arrêté et détruit une culture de microbe du charbon et a démontré que l'aimantation dans la radioactivité induite avait une action particulièrement intense,

MM. DORN et BAUMANN ont fait des observations sur les bacilles de la typhoïde, du choléra et de la diphtérie, et ont constaté qu'avec la radioactivité ces bacilles ne se développaient pas. MM. BOUCHARD et BALTHAZAR ont étudié les effets d'une petite quantité de radium sur la virulence de certains bacilles et démontré qu'avec un temps prolongé d'exposition cette virulence étant diminuée, les microbes finissent par perdre leur pouvoir de reproduction.

MM. WICKHAM et DEGRAIS ont observé des phénomènes contradictoires de l'action des appareils à sels collés sur les cultures microbiennes. Dans certains cas il y a eu arrêt des suppurations à staphylocoques et à gonocoques.

Il y a eu plutôt modification au terrain de culture et action surtout apparente. En revanche l'eau radifère d'une activité très faible semble agir sur les cultures, ce qui montre une fois de plus que ce sont les corpuscules α du radium qui doivent seuls agir.

Un fait paraît acquis. C'est que les rayons α et β du radium diminuent ou arrêtent le développement des cultures pour une dose suffisante; mais il est utile de connaître l'intensité du rayonnement par centimètre cube et le temps nécessaire pour obtenir l'effet bactéricide, sans nuire aux tissus sains. C'est à cette seule condition que l'on pourra se rendre compte si ces radiations peuvent être utilisées en clinique. Des recherches quantitatives ont été faites récemment. JANSEN, en 1910, étudiant le développement du bacillus prodigiosus sur culture d'agar-agar, trouva qu'avec 0,003 millicurie, une exposition de 48 heures amenait la stérilisation. CHAMBERS et RUSS, afin d'éviter les effets chimiques possibles des rayons sur les tissus, ont expérimenté sur des émulsions d'organismes dans l'eau distillée. Les diverses cultures furent exposées à une atmosphère d'émanation de concentration connue soit : 0,5 millicurie par centimètre carré. Le tableau ci-dessous montre les temps nécessaires pour obtenir la stérilisation avec une solution de 0,5 millicurie par centimètre cube.

ORGANISMES	TEMPS	
B. coli communis.	1 heure 5 minutes	Le nombre d'organismes en suspension était approximativement de 1 million par millimètre cube.
Staph. aureus.	2 — 0 —	
B. pyocyaneus	3 — 10 —	
B. anthracis	3 — 20 —	
B. tuberculosis	4 — 0 —	

D'autres auteurs GREEN, STRASMANN ont obtenu avec une rapidité moindre (48 heures environ) et pour des doses beaucoup plus faibles (0,003 millicurie par litre) un rapport de destruction analogue. Ces expérimentateurs ont constaté à côté de ces propriétés bactéricides un effet biologique tout différent. Ils ont observé que l'émulsion de bactéries exposée à l'action de l'émanation (α et β agissant) présentait le phénomène de l'agglutination, bien avant le temps nécessaire à la stérilisation du milieu. Si l'exposition était faite de telle sorte que les rayons α soient éliminés par un écran, le phénomène d'agglutination ne se produisait pas, bien qu'en définitive la culture fût stérilisée.

On voit que, s'il est nécessaire d'utiliser de fortes concentrations d'émanation pour obtenir des effets rapidement destructeurs, les mêmes effets ont été obtenus plus lentement avec des doses 100 fois plus faibles.

On voit également qu'avant la stérilisation de la culture, on observe une précipitation du milieu. Ceci amène à parler de l'emploi du radium à faible dose qui rendra des services en médecine, ainsi que je l'ai dit plus haut.

Emploi du radium à petites doses. — On a vu que la plupart des eaux thermales contenaient une certaine quantité de radium. En absorbant l'eau au griffon de la source, le malade ressent les bienfaits de la radioactivité. D'autre part l'air ambiant est ionisé, est radioactif et, de ce fait, la cure demandée à l'eau minérale est complétée avec grand avantage par la présence du radium en très faible quantité dans l'air de la station thermale.

Certaines cures d'air ne sont-elles ainsi vraiment

efficaces que parce que des traces de radium se trouvent précisément dans l'atmosphère ambiante ?

L'absorption du radium à faible dose par l'organisme a été reconnue comme étant des plus efficace. Peu à peu on arrive à trouver les doses maniables, les doses médicamenteuses du radium qui permettent de faire absorber sous forme de médicament interne des sels radioactifs ou de pratiquer des injections sous-cutanées de solutions radioactives.

Je me suis trouvé en rapport avec un docteur qui achetait un quart de milligramme de radium à la fois et qui soignait ses malades, surtout pour les affections de poitrine ou qui employait le radium comme médicament préventif, sinon curatif de la tuberculose.

Le professeur PETIT a fait, il y a longtemps déjà, des expériences intéressantes sur des injections intraveineuses de sels de radium.

Et voici ce qu'écrivit le docteur DARIER à propos d'applications de solutions radifères à faible dose qu'il a eu occasion de faire.

« 1° Le radium, en applications externes, est un analgésique des plus puissant, avec lequel nous avons calmé des névralgies, les douleurs violentes de l'iritis rhumatismale, des tridocyclites traumatiques, et les douleurs excruciantes des cancers inopérables.

« 2° Les mêmes applications peuvent amener un éclaircissement rapide des milieux oculaires (ancienne hémorragie du corps vitré résorbée en 10 jours).

« 3° En pommade, nous avons obtenu de très curieux résultats dans certaines blépharites. »

Le docteur DARIER espère qu'il est possible, par l'usage externe des sels de radium, de calmer les douleurs gastriques ou intestinales, soit d'origine nerveuse, soit

causées par l'ulcère simple, par le cancer de l'estomac et de l'intestin. Il augure bien des effets du radium sur les affections du larynx et des poumons.

Il est évident que le radium à très faible activité peut très bien être utilisé à l'extérieur, par application directe, mais, pour l'usage interne, il y aura lieu de se préoccuper de l'effet toxique des sels de baryum avec lesquels il est allié. A faible dose, on n'aura pas d'accident; toutefois il y aura toujours lieu d'opérer très prudemment.

Il y a de longues années déjà la pharmacie JABOIN a imaginé des produits pharmaceutiques à base de radium. Parmi ces produits il y a lieu de citer la quinine radifère (bromhydrate et chlorhydrate d'activité 1, 10 et 20) le mercure radifère (biiodure de mercure d'activité 20 et huile grise radifère d'activité 1) les pommades d'activité 10 et 20, la glycérine radifère aux activités 1/10, 1, 10 et 20.

On a même songé à faire des produits de beauté à base de radium, ayant, bien entendu, une activité très faible.

On livre au commerce, ainsi qu'on le verra au chapitre IX, des solutions contenant quelques microcuries de radium.

Traitement par l'émanation. — Pour le traitement interne par le radium, l'émanation de radium est avant tout un médicament à recommander.

Le malade peut l'absorber dans une chambre fermée. Dans 5 litres de sang, il se dissoudra 25 p. 100 d'émanation. Cette émanation dépose dans les tissus son activité induite; il se formera un dépôt radioactif qui ne sera pas comme l'émanation éliminé par les poumons. Une heure après que le malade a quitté la cabine, il ne reste plus à l'état de gaz radioactif dissous que 10 p. 100

de la quantité absorbée par ses poumons. La dose pratique d'émanation est de l'ordre de 0,1 microcurie par litre.

L'émanation sera absorbée par voie digestive sous forme de solution gazeuse, mais alors il faut réaliser de fréquentes ingestions, car l'élimination de l'émanation est très rapide, soit par les poumons, soit par les reins. Au bout de quatre heures l'élimination peut être complète, sans qu'il y ait pénétration dans la circulation. Ceci dépend de l'état de vacuité de l'estomac, et, s'il n'y a pas eu pénétration, le tube digestif souffrira fortement du rayonnement.

L'émanation sera enfin introduite dans l'organisme sous forme de solution par des injections sous-cutanées ou plutôt intra-veineuses. Mais, pour favoriser la diffusion, il faudrait multiplier les injections, et cela n'est guère possible.

L'émanation agit sur l'organisme uniquement par les rayons α qui y sont dans la proportion de 90 p. 100, et, alors que ces rayons doivent être maniés avec prudence en thérapeutique locale, leur diffusion dans le cas du traitement par l'émanation est telle dans les tissus qu'il y a parfaite inocuité. L'action sur le sang est des plus spécifique. Il y a augmentation passagère des globules blancs. En même temps la circulation du sang est favorisée du fait de l'activation des ferments coagulants. Enfin, il y a activation de transformation en acide urique.

Les applications thérapeutiques de l'émanation sont nombreuses.

On traitera avec succès la goutte et le rhumatisme. Dans le cas de la goutte il y a tout d'abord une amélioration assez rapide, puis, après le sixième ou le huitième jour de traitement, les douleurs éprouvent une vive

recrudescence. Puis elles s'atténuent, l'enflure s'efface et il y a une élimination considérable d'acide urique.

S'il y a des déformations musculaires importantes, on n'arrivera peut-être pas à une guérison complète. Il est déjà bien beau que le traitement par l'émanation puisse atténuer les douleurs et faire disparaître les poussées aiguës.

Pour le rhumatisme, des cures ont été obtenues avec le rhumatisme articulaire aigu, avec le rhumatisme blennorragique et avec certains rhumatismes chroniques. Le rhumatisme d'origine tuberculeuse a pu être traité, mais les doses à employer n'ont pas encore été bien définies.

Comme les sels de radium l'émanation a une action analgésiante et sédative pour les névralgies et notamment pour les névralgies sciatiques.

Dans le cas du diabète, il y a diminution de la glycosurie et chez les albuminuriques on peut obtenir un abaissement de la pression artérielle avec une augmentation du taux de l'urée. L'émanation agit toujours comme épuratrice du sang.

Si l'on applique l'émanation en thérapeutique locale, les rayons α agissent en amenant la coagulation des protoplasmes et la nécrose des cellules. Leur pénétration ne dépasse pas deux à trois centièmes de millimètres. On arrive ainsi, moins bien qu'avec les sels de radium, à supprimer des lésions externes.

Sous forme d'injection sous-cutanée l'émanation agit aussi dans les névralgies sciatiques. Son emploi est indiqué dans le traitement des affections de la plèvre. On injectera tous les quatre jours dans la plèvre une très petite quantité d'azote saturée d'émanation. La pleurésie tuberculeuse pourrait profiter de cette méthode. Si l'in-

jection se fait à l'état liquide et non plus gazeux, on peut l'opérer dans la vessie ou dans les articulations pour le traitement des arthrites. Au lieu d'incorporer l'émanation à l'eau physiologique, on peut choisir comme dissolvants l'huile, la graisse, la paraffine liquide. Sous cette forme l'émanation pourra non seulement être injectée avec avantage dans les articulations, mais encore être appliquée en pommade sur les surfaces cutanées, sur les plaies.

CHAPITRE VI

EMPLOI DES BOUES RADIOACTIVES DANS LA THÉRAPEUTIQUE HU- MAINE ET DANS LA THÉRAPEU- TIQUE VÉTÉRINAIRE.

Boues radioactives actinifères. — Traitement du rhumatisme. — Affections du système nerveux. — Ulcères variqueux. — Application en gynécologie. — Mode d'emploi des boues radioactives. — Le radium et les animaux. — Expériences de M. DANYSZ. — Action du radium sur la croissance des animaux. — Utilisation des boues en thérapeutique vétérinaire. — Eczéma du chien. — Traitement du cheval. — Cheval de course.

Je vais pour quelques instants abandonner le radium, car les boues radioactives contiennent comme activant non plus du radium, mais de l'actinium. Toutefois il sera question dans ce chapitre de l'action du radium sur l'organisme animal. Mais, au point de vue curatif pour les animaux, le radium n'a jamais été employé jusqu'ici. Ce sont les boues radioactives actinifères, qui ont donné des résultats. Etant amené à parler de ces boues, il était naturel que j'en profite pour dire quels sont les effets thérapeutiques sur l'organisme humain. Ce sera l'objet du présent chapitre.

Boues radioactives actinifères. — Les boues radioactives actinifères proviennent du précipité obtenu par la soude caustique avec les minerais d'uranium autres que la

pechblende et formé, comme il a été dit au chapitre iv, pour réaliser le départ du radium avec l'uranium. Elles ont une coloration brun rougeâtre, due aux sels de fer qu'elles contiennent. Elles renferment en effet du fer en grande proportion sous forme d'oxyde ou de combinaison avec l'acide phosphorique. Il y a de l'alumine sous diverses formes, de l'oxyde d'uranium, de l'oxyde de manganèse, un peu de carbonate et de sulfate de sodium, du carbonate de calcium, de l'argile. Comme substances radioactives, elles renferment des traces de radium et de polonium, celui-ci disparaissant assez vite. Elles ont surtout de l'actinium, environ 1/130 000 en poids d'actinium.

On a choisi pour leur activité le chiffre de 0,15, c'est-à-dire une valeur cinquante fois plus forte que celle des boues radioactives naturelles les plus connues.

L'actinium émet comme le radium des rayons α , β et γ , les deux premiers corpusculaires, les autres vibratoires. Les rayons α sont, comme pour le radium, en très grande majorité, mais là se borne la ressemblance avec les rayons de même nom du radium. Tandis que les rayons β du radium se subdivisent en β mous, β intermédiaires et β durs, les rayons β de l'actinium dans les boues sont éminemment homogènes.

Par suite de la présence de l'actinium, la boue constitue une sorte d'appareil radioactif à activité constante et pour un cas donné ressemble en cela aux appareils à sels de radium, mais elle en diffère par sa forme physique, sa douceur d'action locale, la variabilité extrême des doses de rayons utilisables, et par la nature de la substance radioactive employée. De plus, la boue, à l'encontre des appareils de radium, peut utiliser l'émanation. Dans tous les appareils à radium l'émanation est sup-

primée par l'enveloppe même de l'appareil, à plus forte raison par les écrans. La boue qu'on utilise sans écran, dégage de l'émanation qui entre en contact avec la région traitée.

On a rapproché l'effet thérapeutique obtenu avec les boues radioactives de celui qui est connu depuis longtemps déjà pour certaines boues thermales. Mais l'émanation de ces boues thermales se détruit suivant une courbe établie par les physiciens. Transportées au loin, elles ne sont plus radioactives. Il arrive même, cette destruction étant très rapide, qu'un bain ait perdu toute sa radioactivité avant que le malade en soit sorti.

Il n'en va pas de même avec les boues radioactives actinifères. Il y aura constance de l'activité, et formation d'émanation comme avec les sels de radium, émanation qui agit en donnant avant tout des rayons α , mais d'une nocivité très atténuée, ce qui permet des applications longues et prolongées sur de grandes surfaces.

Traitement du rhumatisme. — Il résulte de nombreuses expériences que le rhumatisme chronique déformant peut être traité par les boues radioactives. L'ensemble des résultats montre que les boues n'ont jamais été nuisibles, jamais inutiles. Guérissent-elles ? Jusqu'ici elles semblent plutôt soulager les malades et améliorer leur état.

Au point de vue général il y a diminution de la douleur, augmentation de la force et de la souplesse, ce qui est beaucoup.

Au point de vue local il y a dégonflement et modification des articulations. Ce qui est assez bizarre, c'est que certaines jointures de préférence à d'autres éprouvent des effets efficaces. Les articulations des mains sont celles

qui seront surtout améliorées. Et, si l'affection est très ancienne, la cure du rhumatisme déformant sera plus rapide que dans des cas récents et peu marqués.

Avec le rhumatisme gonococcique l'action des boues a été trouvée efficace, et certains cas qui avaient résisté aux moyens thérapeutiques usuels, ont pu être sinon guéris, du moins très fortement soulagés.

Il y a lieu de faire des applications quotidiennes de 3 à 8 heures ou de la durée d'une nuit et il faut prolonger le traitement pendant plusieurs jours de manière à être sûr d'avoir une amélioration sans rechute. Avec les formes suraiguës il y a décongestion et cessation de la douleur. Il semble que les bains, donnant une action enveloppante plus grande, soient plus efficaces.

Des expériences ont été faites pour le traitement du rhumatisme articulaire. On a choisi un cas où le salicylate ne donnait aucun résultat. Le succès obtenu n'a pas été très net.

Avec la goutte articulaire aiguë la douleur cède assez rapidement par l'application d'un emplâtre. Mais, comme la cure est locale, comme les articulations traitées éprouvent seules un soulagement, alors qu'il n'y a aucune amélioration dans les articulations voisines, il semble qu'il faudrait réaliser un plus grand développement au moyen de bains, à l'instar de ce qui est fait avec les boues thermales naturelles.

Jusqu'ici ce sont les cas de rhumatisme déformant et de rhumatisme gonococcique qui ont été l'objet des cures les plus heureuses.

Affections du système nerveux. — Tout comme le radium la boue radioactive actinifère a un pouvoir analgésique.

Dans plusieurs cas de névralgie sciatique on a observé, soit des améliorations, soit la guérison. On a reconnu qu'il fallait laisser la boue le plus longtemps possible à demeure en renouvelant son humidité. Le résultat est bon en général sauf dans des cas rebelles où l'on n'obtient aucun succès.

Dans les névrites, des applications heureuses ont été faites surtout sous forme de bains.

Un emplâtre de boues radioactives laissé à demeure pendant quatre jours a permis de faire disparaître une névralgie.

Enfin la boue exercera une action antispasmodique. Après quelques bains les malades manifestent toujours une souplesse générale assez grande. Il y a une action calmante, peut-être pas toujours guérison.

Non seulement on luttera contre la douleur, mais aussi contre le spasme et la contracture.

Ulcères variqueux. — Le rôle des boues sur l'épiderme est certain. La présence prédominante des rayons α justifie ce rôle. Après des applications prolongées de boues sur la peau, on note des érythèmes comme avec le radium, mais ces érythèmes sont sans durée ni intensité. Bien au contraire la boue a une action telle qu'elle tend à ramener vers leur état normal des éléments cellulaires à évolution déviée. C'est ainsi qu'un ancien eczéma a été guéri aux mains, l'épiderme s'assouplissant et redevenant normal. Au contact de la boue la peau prend en général un état souple et lisse très net.

En raison de ces faits il semblait tout indiqué d'essayer l'action des boues radioactives actinifères sur les ulcères variqueux rebelles.

Il y a lieu de noter qu'avant l'emploi, la boue doit être

stérilisée à l'autoclave à 120 degrés, car les boues radioactives ne sont pas antiseptiques. Avec des applications renouvelées tous les trois jours, il se forme peu à peu une petite couche de cicatrisation et d'épidermisation sur la plaie. Certains ulcères profonds ont été comblés. Le bourgeonnement a lieu dès le début du traitement aussi bien sur la périphérie de la plaie que vers le centre. Il est quelquefois nécessaire de brûler au nitrate d'argent, si le bourgeonnement est par trop exubérant.

Les boues ont, comme dans les affections nerveuses, une action calmante et analgésique. Elles ont surtout une action excitante, Il arrive le plus souvent qu'après cessation du traitement, une vitalité nouvelle existe dans les tissus.

On a remarqué en effet que dans un grand nombre d'ulcères invétérés, rebelles à toute thérapeutique, on a obtenu un bourgeonnement et une épidermisation rapides ainsi qu'une cicatrisation qui parfois a été durable.

Application en gynécologie. — L'emploi des boues radioactives actinifères est des plus intéressant en gynécologie, car, comme leur action ne produit aucun effet fâcheux sur les tissus, même en application prolongée, les boues permettent d'exposer les tissus malades au rayonnement pendant des temps plus ou moins longs et, si elles n'amènent pas toujours la guérison, elles ont l'avantage de calmer dans une très large mesure, sinon complètement, les grandes douleurs.

Le traitement s'opère avec des pansements sous forme de cataplasmes, avec des injections ou avec des bains.

En cas de blennorrhagie aiguë la douleur est diminuée dès le début du traitement et les phénomènes inflamma-

toires disparaissent progressivement. Le succès est aussi complet que pour le rhumatisme gonococcique.

Dans la métrite chronique les résultats du traitement sont aussi très nets. Le traitement qui dure de 1 à 2 mois, sans forcer à un repos absolu, se compose d'une série de 20 bains à 39 degrés, d'injections radioactives tous les matins et de pansements tous les deux jours au début, puis deux fois par semaine. La douleur disparaît assez rapidement.

Pour les fibromes utérins les boues auront une action hémostatique et diminueront ainsi les métrorragies si fréquentes. Un bain radioactif est indiqué deux fois par semaine et une injection radioactive chaque jour.

L'action tonique des bains radioactifs permet de relever l'état général et de régulariser les fonctions menstruelles chez les femmes anémiques. Au moment des règles on peut obtenir une action calmante très efficace par l'application d'un cataplasme radioactif abdominal.

Enfin dans le cancer utérin la boue radioactive actinifère agira uniquement pour calmer la douleur et pour diminuer l'écoulement purulent et sanguin. Le traitement se compose de bains et d'injections.

Mode d'emploi des boues radioactives. — Les boues radioactives actinifères sont employées soit sous forme de pansements humides, soit avec des bains.

Pour effectuer un pansement, on étend sur l'épiderme une couche de boue de l'épaisseur d'un demi-centimètre à l'aide d'une palette ou d'un coupe-papier. On recouvre d'un taffetas imperméable et l'on maintient le cataplasme à l'aide d'une bande.

La boue doit rester humide pendant toute la durée de l'application pour fournir son effet maximum, pour bien

dégager l'émanation. Dans le cas de pansements de très longue durée, il est bon de vérifier au bout de quelques heures si la boue est toujours humide, de l'humecter ou d'interposer une compresse humide sous le taffetas.

Toutefois, si l'application est longue, la boue ne doit pas être trop humide, car il pourrait y avoir macération et irritation de l'épiderme, ce qui se produira d'autre part, si le taffetas imperméable est par trop serré.

Quand l'épiderme présente une écorchure, une petite plaie récente, il y a lieu d'employer la boue après l'avoir stérilisée à l'autoclave et de faire le pansement aseptiquement, comme dans le cas des ulcères variqueux.

Pour décider de la fréquence des applications, on vérifiera l'état de l'épiderme qui peut présenter une réaction érythémateuse, sans gravité d'ailleurs le plus souvent. On lave et l'on place sur l'épiderme de la vaseline stérilisée ou de la pommade à l'oxyde de zinc. On espace le temps de renouvellement des applications.

Pour les douleurs articulaires on applique la boue pendant trois ou quatre heures, ou pendant toute une nuit. Dans les rhumatismes chroniques, on laisse la boue à demeure pendant plusieurs jours ; il faudra non seulement refaire le pansement tous les jours pour l'humidifier, comme il a été dit précédemment, mais encore cesser le traitement pendant un ou deux jours avec application de pommade à l'oxyde de zinc.

La boue d'un cataplasme peut servir à nouveau, à condition de la triturer et de l'humecter avec de l'eau contenant un peu de glycérine.

Dans le traitement à l'aide de *bains radioactifs* on prépare un bain ordinaire à la température de 37 degrés dans lequel on introduit une dose de 250 grammes de boue radioactive actinifère. Ceci dans le cas d'une action

générale tonifiante. Si l'on veut soigner plus activement les parties malades, on les recouvre de boue avant de plonger le malade dans le bain, puis on masse énergiquement les régions enduites. Le temps de séjour dans un bain radioactif est d'une demi-heure. On agite constamment l'eau afin de maintenir la boue en suspension et à ne pas la laisser se déposer. Après le bain le corps doit être rincé à l'eau pure, ce qui est une opération assez longue, car il est fortement imprégné par la boue.

Les boues laissent sur la peau des dépôts ferrugineux très tenaces et difficiles à faire disparaître. Il en est de même sur les parois de la baignoire. Aussi beaucoup de malades, surtout des femmes, éprouvent-ils une certaine appréhension à prendre des bains de boues radioactives.

En cas d'injection vaginale, pour éviter l'entraînement de la boue et de manière à n'agir que par l'émanation, on dispose au fond de l'injecteur une compresse de gaz recouverte de boue, puis on verse l'eau au fur et à mesure sur cette compresse.

Le radium et les animaux. — Les boues radioactives, actinifères ne sont pas seulement employées avec succès dans la médecine humaine. Elles fournissent aussi des résultats intéressants en thérapeutique vétérinaire, mais, avant d'indiquer ces résultats, il est bon de définir brièvement quelle est l'action du radium et de l'émanation sur les animaux.

J'ai déjà parlé de l'action microbienne (voir chapitre v). Je citerai maintenant des expériences qui ont été faites, il y a longtemps déjà, par M. DANYSZ à l'Institut Pasteur.

Expériences de M. Danysz. — En opérant sur des lapins et sur des cobayes dans des conditions identiques, M. DANYSZ a pu constater que la peau des cobayes est beaucoup plus

sensible que celle des lapins. Une intervention qui produit chez le cobaye une plaie assez étendue, ne fait au contraire qu'exciter la croissance des poils chez le lapin. Les rayons du radium peuvent donc exercer dans certaines conditions une action excitante et non plus destructive, mais plutôt un effet activant.

Les intestins semblent être très peu sensibles à l'action du rayonnement. Des ampoules contenant du sulfate de baryum radifère et maintenues pendant un à quatre mois dans la cavité péritonéale de quelques cobayes n'ont produit aucune lésion comparable à celles qui ont été observées sur la peau.

Il en est tout autrement du système nerveux central qui est infiniment plus sensible que l'épiderme.

Ainsi, quand on glisse dans la peau d'une souris âgée d'un mois un tube de verre contenant un sel de radium, de façon à le placer exactement au-dessus de la colonne vertébrale et d'une partie du crâne, on provoque au bout de trois heures des phénomènes de paralysie. Au bout de sept à huit heures, la petite souris est prise d'attaques de convulsions qui, si on laisse le tube en place, deviennent de plus en plus fréquentes et la tuent en douze à dix-huit heures.

Des souris de trois à quatre mois, traitées de la même façon, meurent avec les mêmes symptômes en trois ou quatre jours. Les souris âgées d'un an ne meurent qu'après six à dix jours.

Trois cobayes de huit à douze jours, qui ont porté pendant vingt-quatre à quarante-huit heures le même tube de radium sous la peau, au-dessus de la portion lombaire de la colonne vertébrale, ont eu au bout d'un à trois jours, le train de derrière complètement paralysé et ont succombé six à huit jours plus tard dans des convulsions analogues à celles des souris.

Des cobayes et des lapins adultes, traités de la même façon, ne présentaient pas de troubles nerveux immédiats ; ils succombaient toujours quelques semaines ou quelques mois plus tard.

Un gros lapin adulte a subi, sur la dure-mère après trépanation, une application de huit heures d'un tube de radium. Pendant les deux jours qui ont suivi l'opération, il n'a présenté rien d'anormal ; le troisième jour, il s'est déclaré une paralysie.

Les larves d'insectes et notamment les chenilles d'un papillon des farines, enfermées dans un tube de verre avec un tube de radium, sont paralysées dans leurs mouvements après un séjour de vingt-quatre heures et meurent deux ou trois jours plus tard. Dans ce cas, c'est encore le système nerveux qui semble le plus atteint.

M. DANYSZ a étudié l'action à distance du radium sur des petits animaux. Il enfermait des souris dans de petites cages en bois et plaçait le radium sur la cage, sur une planchette munie d'une ouverture de façon que les rayons n'aient pas d'épaisseur de bois à traverser.

Le résultat fut que la gravité des atteintes augmente avec le poids du radium et le temps de l'exposition. Après vingt jours d'une exposition ininterrompue, deux souris placées à 8 centimètres du sel ont été paralysées, puis sont mortes peu de temps après. La peau était congestionnée et ramollie comme une bouillie ; elle se déchirait à la moindre traction.

Après une exposition de quarante-huit heures aux rayons émanant d'un tube de radium, deux souris adultes ont eu après quinze jours une congestion profonde de la peau, une paralysie des membres. La mort est survenue après 22 jours. La même expérience répétée sur six petites souris d'un mois a produit une chute de poils

après quatre jours et amené la mort après dix jours, sans qu'il y ait congestion de la peau.

Dans toutes ces actions la paralysie et la mort semblent résulter d'une hémorragie interne; si l'on examine de près le cerveau et la moelle soumis au rayonnement, on trouve les capillaires rompus et la substance nerveuse noyée dans du sang. Les cellules nerveuses ne présentent aucune altération appréciable.

Il semble que dans toutes ces expériences la dose de radium ait été trop forte comparativement à la grandeur des animaux sur lesquels ont été effectuées les expériences et qu'il aurait fallu employer un poids de sel moins grand, peut-être l'émanation seule, ou les boues radioactives.

Action sur la croissance des animaux. — Des expériences intéressantes et plutôt contradictoires ont été faites relativement à l'influence des rayons du radium sur les animaux en voie de croissance.

Ces expériences ont été faites par M. BOHN sur des larves de crapauds et de grenouilles.

Celles de ces larves qui ont survécu à l'exposition des rayons du radium, ont éprouvé des modifications dans leur constitution : les unes immédiates, les autres au bout de quelques jours, et des monstruosité se sont toujours révélées chez tous au moment de la transformation en têtards.

D'autre part, d'expériences faites par SCHAPER il résulte que pour des larves de triton de 17 à 19 millimètres de longueur exposées au rayonnement du radium un certain temps chaque jour, si l'on coupait la queue des animaux ou l'extrémité du membre antérieur immédiatement avant l'exposition, la guérison de la blessure

se produisait normalement, puis le processus de régénération commençait pour s'arrêter bientôt. C'est ainsi qu'en dix jours une larve exposée au rayonnement ne possédait qu'un moignon indifférencié là où des individus témoins avaient reformé un membre bien développé avec des doigts. Après l'arrêt de la régénération, le tissu produit ne tardait pas à montrer des signes très nets de dégénérescence ; ces expériences montrent une fois de plus combien les tissus jeunes à croissance rapide sont surtout sensibles aux rayons de BECQUEREL.

Ces rayons de BECQUEREL agissent différemment sur la croissance des tissus et des organismes : quand cette croissance est lente, ils déterminent un amoindrissement de la taille ; quand elle est rapide et s'accompagne de transformations, ou ils détruisent les tissus, ou ils ralentissent leur croissance, ou bien enfin ils l'accélèrent.

Si les rayons du radium traversent le corps d'un animal, les tissus acquièrent des propriétés qui peuvent rester à l'état latent pendant de longues périodes pour se manifester tout à coup au moment où normalement l'activité des tissus augmente.

Tout ceci est du domaine d'expériences scientifiques, et assez contradictoires comme résultat. Il n'en va pas de même de l'emploi des boues radioactives actinifères en thérapeutique vétérinaire qui a donné certaines cures intéressantes dont je vais parler.

Utilisation des boues en thérapeutique vétérinaire. — Les essais d'utilisation des boues radioactives actinifères en thérapeutique vétérinaire ont été faits par le professeur PETIT, de l'École vétérinaire d'Alfort. Ils ont porté sur le chien et sur le cheval.

Il est évident qu'en thérapeutique vétérinaire, étant donné le prix d'un appareil de radium, on ne peut pas songer à employer les mêmes procédés qu'en médecine humaine.

Il faut employer des doses moins fortes de radium. L'emploi de ces faibles doses semble d'ailleurs résulter de ce qui a été dit précédemment.

Les injections intra-veineuses ou sous-cutanées ont donné de bons résultats pour des animaux qu'on peut vendre à un certain prix et pour lesquels un traitement onéreux se justifie. On emploie surtout les boues radioactives qu'on a appelées avec quelque justesse le *radium du pauvre*.

Eczéma du chien. — On caractérise d'eczéma chez le chien des dermatoses non parasitaires. C'est une maladie fréquente surtout chez les chiens d'un certain âge. Elle peut être soignée avec des bains de boue radioactive.

On commence par tondre les régions encore couvertes de poils, puis on savonne complètement l'animal dans de l'eau tiède. On le plonge ensuite pendant une bonne demi-heure dans un bain tiède radioactif préparé en délayant 250 à 300 grammes de boue actinifère dans de l'eau à 36 ou 37 degrés. Pendant la durée du bain, on frotte les parties atteintes, ce qui empêche en même temps la boue de se déposer et ce qui la maintient en suspension dans l'eau.

Le bain terminé, le chien est frictionné jusqu'à ce qu'il soit sec, après quoi on recouvre les régions malades d'une couche de boue étalée avec une spatule. On ne recouvre pas d'un pansement comme chez l'homme. On laisse au contraire la boue se dessécher et se réduire en

une poussière astringente dont l'influence semble heurieuse sur certains eczémas suintants.

Au début les bains seront quotidiens, puis on les espacera de plus en plus. On cessera enfin toute application directe de boues sous forme d'emplâtre.

Traitement du cheval. — Dans une communication faite en 1912 à la Société de pathologie comparée, M. le professeur PETIT de l'École vétérinaire d'Alfort donne des renseignements intéressants sur certaines maladies du cheval qui ont été traitées ou soulagées par application des boues radioactives actinifères.

Certaines lymphangites qu'on aurait pu de prime abord croire rebelles ont été guéries. Après quelques applications de boues radioactives actinifères le cheval ne boitait plus. Pourtant certains engorgements aboutissant au fibrome éléphantiasique doivent être considérés comme incurables.

Pour les crevasses du paturon le traitement par les boues radioactives actinifères est des plus efficace. Il est bon d'effectuer chaque jour un nouveau pansement. Il faut aussi, toutes les fois qu'on le pourra, associer les bains aux applications ou bien remplacer les bains par des lotions tièdes prolongées. Le traitement réussira tout spécialement chez le cheval pur sang à cause de la sécheresse et de la nervosité de ses membres, à cause de la finesse et de la pénétrabilité de ses téguments.

Pour les maladies de la corne l'action favorable des boues radioactives actinifères doit provenir surtout de leurs propriétés astringentes. Si, en dehors du bain, on fait des applications, la corne durcit en même temps que les suintements et les ramollissements disparaissent. Dans le cas de la maladie, dite fourchette échauffée ou

pourrie, l'odeur fétide de la corne fermentée n'existe plus au bout de très peu de temps.

Un cas de pododermatite ou crapaud a été soigné par les boues, mais le traitement n'a pas été suivi avec assez de régularité pour qu'on ait pu en tirer des conclusions.

Pourquoi les arthropathies et les synovites du cheval ne seraient-elles pas guéries par les boues radioactives actinifères, comme le sont chez l'homme les rhumatismes chroniques et gonococciques, ainsi que je l'ai dit précédemment ? Les traitements n'ont pas été jusqu'ici assez nombreux pour qu'on puisse tirer une conclusion. Ce qui paraît surtout certain, c'est que la douleur est très atténuée. On supprime la boiterie.

Sur les tendinites ou efforts de tendon les boues peuvent avoir une certaine action, à condition qu'il s'agisse d'une tendinite fébrile, caractérisée par une vive sensibilité des tendons au pincement, avec ou sans empatement de la région, résultant de l'œdème. Ce traitement est intéressant pour le cheval de course et il a été réalisé pour faire du dopping, ainsi qu'on peut le voir plus loin.

Quelle que soit la maladie traitée, il est bon d'employer concurremment les bains et les emplâtres. On donnera pendant une demi-heure un bain radioactif tiède, suivi d'un pansement humide qui restera jusqu'au bain du lendemain.

On délaie dans un seau ou dans la botte de cuir 200 ou 300 grammes de boue avec la quantité correspondante d'eau chaude. Le même bain peut servir à plusieurs reprises. La boue se déposant au fond, on décante l'eau, puis on ajoute à nouveau de l'eau chaude avec un peu de boue pour compenser les pertes.

Les emplâtres s'appliquent à froid ou à chaud. Après avoir tondu la peau on met une certaine épaisseur de boue. On recouvre d'une toile imperméable et d'un pansement ouaté humide pour empêcher la dessiccation. En enlevant chaque jour le pansement, il sera bon de bien nettoyer la région malade.

D'autres vétérinaires préfèrent avoir un emmaillottement qui est laissé à poste fixe et qu'on arrose fréquemment d'eau boueuse.

Cheval de course. — On a essayé jusqu'ici, sans succès, divers remèdes dans le but d'éviter le claquage des membres grêles des chevaux de course pur sang. Il semble que l'action stimulante et tonique des boues puisse être efficace.

On a cherché aussi à donner une suractivité fonctionnelle à l'appareil locomoteur avec effet immédiat mais non pas sans produire des troubles ultérieurs des muscles, des os, des tendons, des articulations. Cette suractivité peut être demandée aux boues radioactives sans qu'on s'expose aux mêmes inconvénients.

Il y a enfin certaines lésions communes du cheval de course qu'il est possible de traiter par l'emploi de la boue radioactive.

Le cheval de course a presque toujours de l'ostéoarthrite, la prédisposition provenant de l'hérédité, de la consanguinité, de la suralimentation et du travail précocé. Les entorses dans le début du dressage amènent bien souvent des troubles ostéo-articulaires.

Qu'il s'agisse d'ostéoarthrite des genoux, du boulet ou du jarret, un traitement radiothérapeutique sera efficace, soit sous forme de bain, soit par des applications de boues, comme il a été dit précédemment.

Les efforts de tendons sont terribles chez le cheval de course, parce qu'ils peuvent amener le claquage, c'est-à-dire la ruine de la bête. On applique comme remède la cautérisation aidée du repos. Le remède est bon. L'application des boues radioactives donne des résultats meilleurs encore.

On chauffe de l'eau dans une lessiveuse placée à une certaine hauteur. Cette eau s'écoule par un tube de caoutchouc dans une botte en cuir qui entoure le canon et le boulet et qui est fixée au-dessus du genou et sur le paturon par de la toile permettant la filtration de l'eau chaude. Chaque irrigation est de deux heures. On la fait suivre d'une application de boue radioactive qu'on maintient en couche épaisse à l'aide d'un pansement.

Le professeur PETIT de l'Ecole vétérinaire d'Alfort attribue à l'ionisation la valeur curative des boues actinifères, mais les expériences à ce sujet ne sont pas encore suffisantes pour qu'on puisse tirer une conclusion définitive.

Dans le traitement de toutes les affections du cheval de course on emploiera les boues sous forme de bains radioactifs, sous forme d'emplâtres et d'enveloppements, ou à l'état de pansement, comme je l'ai spécifié précédemment pour la guérison des maladies du cheval (page 149).

CHAPITRE VII

LE RADIUM EN THÉRAPEUTIQUE VÉGÉTALE

Considérations générales. — Essais sur les graines et sur leur germination. — Expériences de M. MATOUT. — Expériences du professeur STOKLASA. — Expériences de MM. PETIT et ANGELIN. — Expériences de M. CROCHETELLE. — Essais en liquide de KNOP. — Essais sur les bactéries du sol. — Essais pratiques en grande culture. — Action sur les betteraves. — Action sur les pommes de terre. — Action sur la vigne. — Action sur les plantes florales. — Plantes diverses. — Produit radioactif. — Engrais complet radioactif.

Considérations générales. — Le radium, par son émanation et par la radioactivité induite qui en résulte, exerce une action incontestable sur la vie des végétaux. C'est un agent thérapeutique, si son influence est exercée à petite dose. C'est un médicament homéopathique qui permet à la plante de mieux assimiler les aliments qui lui sont administrés sous forme d'engrais.

L'action est double.

L'émanation du radium exerce :

1° Une action directe sur la plante dont les racines, rendues plus vigoureuses et plus robustes, deviennent d'un fonctionnement plus parfait ;

2° Une action indirecte sur le milieu dans lequel vivent les racines, sur le sol au sein duquel l'émanation stimule la nitrification en déterminant la formation d'une légère quantité d'ozone qui excite les microbes nitrificateurs.

De toute manière il y a augmentation de la force vitale de la plante,

On sait que les végétaux se trouvent à certaines périodes de leur développement en état de réceptivité vis-à-vis des cryptogames parasites. Il a été démontré que, durant ces périodes, le suc cellulaire est plus riche en eau, au moins dans les tissus exposés aux invasions parasitaires, et de là vient une moindre résistance de la plante. Il faut donc réduire l'aquosité des cellules. En augmentant la puissance d'assimilation de ces cellules, l'émanation de radium diminue la quantité d'eau absorbée par les racines. Il y a un phénomène analogue à celui de l'engrais qui permet à la plante de résister même en pleine sécheresse. Le radium rend encore plus efficace cette action de l'engrais.

De toute manière un produit radioactif ne peut pas être considéré comme un engrais, mais bien comme un stimulant, comme un adjuvant précieux des engrais.

C'est ce que prouveront les divers essais d'application de la radioactivité en agriculture qui seront décrits dans ce chapitre.

Les atomes, les radiations qui viennent par milliers, que dis-je, par millions, à la manière de véritables projectiles ténus, heurter et même traverser les jeunes et impressionnables cellules radiculaires, les excitent, les entretiennent d'énergie, stimulent leur vitalité, leur multiplication.

Les plantes traitées par la radioactivité montrent un plus grand développement foliacé, ainsi qu'une teinte verte plus foncée, moins métallique des feuilles, indices d'une meilleure consommation azotée.

Et puis, les oxydations ou combustions plus énergiques dont les végétaux deviennent le siège, leur respi-

ration facilitée ou favorisée n'impliquent-elles pas un renouvellement plus fréquent des aliments, d'où résulte une augmentation du poids, c'est-à-dire du rendement, qui importe surtout ?

Il y a aussi accélération de la nitrification. Ainsi que chacun sait, la nitrification comporte trois phases successives : 1° l'ammonisation ; 2° la nitrosation ; 3° la nitratisation.

L'ammonisation ou fermentation ammoniacale est due à la transformation de l'azote organique de l'humus en azote ammoniacal, sous l'influence de certains microbes (*Bacillus mycoides racemosus*, *liquefaciens*, *arborescens*).

La nitrosation succède à la précédente et résulte de la transformation de l'azote ammoniacal en azote nitreux. Cette phase de la nitrification est due à deux espèces microbiennes isolées par WINOGRADSKY.

Enfin, la nitratisation, c'est-à-dire la transformation de l'acide azoteux en acide nitrique assimilable, est l'œuvre du ferment nitrique.

Il paraît évident que ces trois phases de la nitrification se poursuivent d'autant plus activement que les microbes nitrificateurs, qui sont des aérobies, sont plus abondamment pourvus de l'oxygène qui leur est nécessaire.

Or, les corps radioactifs ont une action ionisante avec ozonisation résultante du milieu ambiant. Le pouvoir oxydant de l'ozone contribue à expliquer l'action favorable de la radioactivité sur la multiplication des bons microbes, des microbes nitrificateurs.

En résumé, l'expérience semble avoir définitivement démontré qu'un sol fertile, qui renferme les quatre facteurs fondamentaux (azote, acide phosphorique,

potasse et chaux) sous une forme suffisamment assimilable, est toujours très sensiblement amélioré par la présence, en faibles proportions, de substances radioactives.

De même, dans un sol initialement moins riche, mais auquel on ajoute, suivant les règles d'une bonne pratique, tout ce qui lui manque et lui est nécessaire, sous forme d'engrais complet, les effets de la radioactivité sont des plus appréciables. C'est donc surtout avec l'engrais complet qu'il conviendra d'utiliser pour l'agriculture et l'horticulture les substances radioactives, ainsi que cela résulte de ce qui va être dit dans le présent chapitre.

Essais sur les graines et sur leur germination. — Des essais sur la germination de graines ont été faits par M. MATOUT, par le professeur STOKLASA, par le professeur PETIT en collaboration avec M. ANCELIN, par M. CROCHETELLE.

Expériences de M. Matout. — Les expériences de M. MATOUT partaient du principe que le radium, ayant une action destructive sur la peau, devait produire le même effet sur toute substance organique vivante et notamment sur les graines végétales avant leur germination.

Je laisse la parole à M. MATOUT pour décrire ses expériences :

« J'ai soumis quelques graines de moutarde et de cresson alénois à l'action du rayonnement.

« J'ai choisi ces types de graines simplement à cause
« de la rapidité de leur germination, ce qui permet
« d'observer plus rapidement les conditions de dévelop-

« pement de la plante après la semence, et de leur petit
 « volume, grâce auquel on peut opérer sur un plus
 « grand nombre d'échantillons à la fois.

« Pour être certain qu'aucune cause extérieure n'ait
 « pu amener de perturbation, et que les effets observés
 « soient réellement dus au rayonnement du radium, j'ai
 « employé le dispositif suivant à chaque expérience.

« Après avoir pris 20 graines de même origine, de
 « même aspect et à peu près de même volume, je les ai

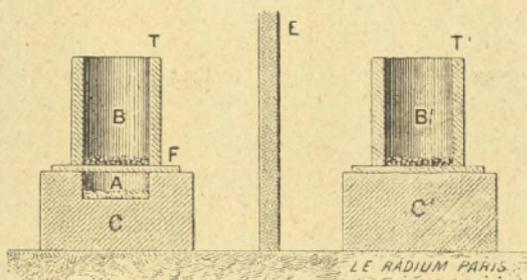


Fig. 12. — Appareil d'expérience de M. Matout.

« divisées en deux lots de 10 graines chacun ; le premier
 « lot fut placé en B (fig. 12) au fond d'un petit tube
 « de papier fort T fermé à la partie inférieure par une
 « feuille de papier mince F, de façon à arrêter le moins
 « possible les rayons les moins pénétrants.

« Le récipient ainsi préparé fut posé sur une cuve C,
 « contenant dans une petite cavité quelques grains de
 « baryum radifère A ; de cette façon le rayonnement,
 « après avoir traversé la feuille de papier formant le
 « fond du récipient, allait agir sur les graines en B.

« Le second lot était disposé exactement de la même
 « façon dans un tube semblable T' et le tout posé sur une
 « cuve C' de même matière que la première, mais ne con-

« tenant pas de radium ; il ne devait servir que de sujet
« de comparaison.

« Les deux lots ainsi préparés ont été placés sur un
« même rayon, dans un meuble vide, à l'abri de la
« lumière et de l'humidité ; ils étaient séparés l'un de
« l'autre par un écran de métal E destiné à empêcher
« absolument toute action du rayonnement d'un tube à
« l'autre.

« Avec ces précautions, on peut être certain que, si une
« cause extérieure agit sur l'un des échantillons ainsi
« disposés, elle doit également agir sur l'autre indépen-
« damment de l'action du radium, et que la différence
« des effets observés sera dûe à la présence de la matière
« radioactive d'un seul côté.

« Pour examiner ces effets, les graines étaient ensuite
« retirées de leurs récipients, semées dans un même
« vase, à la même profondeur, et sur deux zones dis-
« tinctes, de façon à pouvoir se développer exactement
« dans les mêmes conditions ; or, voici ce que l'on obser-
« vait :

« Au bout d'une exposition au radium d'une semaine
« et plus, toutes les graines du premier lot voyaient leur
« propriété germinative absolument détruite, tandis
« qu'avec des temps d'exposition moindres, suivant la
« durée de ces temps, une plus ou moins grande propor-
« tion seule des graines étaient détruites ou donnait des
« rejetons étiolés ; un seul jour d'exposition ne semblait
« pas produire d'action sensible.

« Dans tous les cas au contraire les graines du second
« lot servant de comparaison se sont développées de la
« façon la plus normale dans la proportion de 8 sur 10.

« Ces temps d'exposition au radium pour obtenir un
« résultat peuvent sembler un peu longs, mais il faut

« considérer que ces essais ont été faits sur une très
 « petite quantité (deux ou trois milligrammes) de matière
 « relativement peu active, il est certain qu'avec du
 « radium pur on obtiendrait des effets de destruction
 « beaucoup plus rapides ».

Ce dernier paragraphe de la communication de M. MATOUT indique bien ce que cherchait M. MATOUT : la destruction, puisqu'il ne trouvait pas la dose de radium assez forte. Avec des doses exagérées d'élément radioactif, on a eu de même des effets désastreux dans des essais pratiques en agriculture.

Les expériences de M. MATOUT vont à l'encontre de ce que je veux prouver relativement à l'action du radium et de son émanation sur les végétaux ; elles étaient intéressantes à citer parce qu'elles n'infirmant en rien ce qui sera dit plus loin.

Non seulement la dose de radium était trop forte, mais les rayons agissants n'étaient pas ceux qui devaient être choisis.

Etant donnée la manière dont l'essai était disposé, les rayons α étaient supprimés. Il ne restait que les rayons β et les rayons γ . Or une expérience faite par le docteur REHNS de l'Institut Pasteur a démontré que l'interposition d'une petite couche de terre entre le radium et les graines n'a pas empêché les graines de germer aussi bien que les témoins. Dans ce cas il n'y avait plus comme agissants que les rayons γ . Ceux-ci n'ont donc pas d'action. Seuls les rayons β semblent agir comme destructeurs.

Mais que font les rayons α contenus dans l'émanation, les rayons α initiaux non transformés en rayons β ou en rayons γ et cela à petite dose ? C'est ce que les expériences suivantes vont nous apprendre. On retrouve les

bienfaits des médicaments à faible dose signalés en thérapeutique humaine.

Expériences du professeur Stoklasa. — Le professeur STOKLASA, directeur de la Station agronomique de l'Université de Prague, a eu l'idée d'étudier l'influence radioactive qu'exercent sur les végétaux l'eau d'arrosage ou l'air ambiant, c'est-à-dire les fluides qui renferment de petites activités. Il fit présenter par M. MAQUENNE à l'Académie des sciences le 25 novembre 1912 une communication sur l'influence de la radioactivité dans le développement des plantes. Dans cette communication il montre l'action manifeste de la radioactivité sur les ferments aérobies nitrificateurs et fixateurs d'azote.

Pour ses expériences le professeur STOKLASA prit de l'eau radioactive naturelle de Saint-Joachimstal. Il opérait avec de petites doses et non plus avec des sels purs comme M. MATOUT. Il soumit à l'action de l'eau de Saint-Joachimstal des graines d'orge, de vesce, de lupin et de pois. Des lots témoins, composés des mêmes graines plongées dans de l'eau ordinaire, servaient de terme de comparaison. Les résultats des essais furent les suivants au bout de huit jours d'expérimentation.

		Avec l'eau ordinaire croissance en millimètres	Avec l'eau radioactive croissance en millimètres
Orge .	{ Racines	6	44-50
	{ Tiges	13	61-72
Vesce .	{ Racines	13-22	30-50
	{ Tiges	14	34-50
Lupin.	{ Racines	4-7	18-32
	{ Tiges	8	57-62
Pois .	{ Racines	15-24	23-28
	{ Tiges	5-13	46

Expériences de MM. Petit et Ancelin. — Le professeur PETIT de l'École vétérinaire d'Alfort et M. ANCELIN, ingénieur agronome, ont répété les mêmes expériences avec cette différence qu'ils ont employé de l'eau ordinaire chargée d'émanation à un degré voulu et même à un degré croissant. A cet effet ils mettaient l'eau dans un récipient dégageant de l'émanation et produisant

Après 12 heures, une radioactivité de 0,02 mg.-min. par litre :

24	—	—	0,058	—	—
36	—	—	0,081	—	—
48	—	—	0,098	—	—

Les graines d'expérience, divisées en deux lots et soumises à la germination dans des conditions identiques de température et d'éclairage, ont été disposées entre deux feuilles de papier buvard épais, humecté tous les deux jours, soit avec de l'eau ordinaire (lot témoin), soit avec la même quantité de cette eau ayant séjourné 48 heures dans une fontaine de ciment radifère où elle avait acquis, de ce fait, la radioactivité précédemment indiquée.

Les premiers essais ont porté sur des graines de ray-grass. Pendant les six premiers jours, aucune différence appréciable entre les deux lots ; l'influence de la radioactivité ne commence à se manifester qu'à partir du huitième jour. Au treizième jour, la différence est nettement sensible. Ainsi le nombre des graines germées est plus important dans le lot soumis à l'action de l'eau radioactive ; d'autre part la longueur des radicules et même des tigelles atteint quelques centimètres, tandis qu'elle ne mesure que quelques millimètres dans le lot témoin.

Avec le blé les différences sont aussi significatives.

Le 20 janvier deux lots de 30 grains sont mis en expérience dans les conditions indiquées.

Du 24 janvier, début de la germination, au 30 janvier, aucune différence entre les deux lots. Le 30 janvier le lot radioactif commence à se distinguer du lot témoin.

Le 3 février, treize jours après le début de l'expérience, la longueur moyenne de la tigelle est la suivante :

1° Avec l'eau radioactive.....	52 m/m
2° Avec l'eau ordinaire.....	46 m/m

Soit 6 millimètres en faveur des grains soumis à l'influence de la radioactivité.

Sur le maïs, les résultats sont de même ordre et quinze jours après le début de l'expérience la longueur moyenne des radicules mesurait :

1° Avec l'eau radioactive.....	49 m/m
2° Avec l'eau ordinaire.....	38 m/m
Soit une différence de.....	11 m/m

Dans ces essais, on remarque que l'influence de la radioactivité ne se manifeste bien nettement qu'au bout d'un certain nombre de jours, mais elle doit être contemporaine du début de l'expérience.

Expériences de M. Crochetelle. — M. CROCHETELLE, directeur de la Station agronomique de la Somme, a étudié l'influence que peut exercer sur la germination des graines la radioactivité, non plus en opérant comme précédemment par trempage et arrosage avec des eaux radioactives, mais en se mettant dans les conditions de la culture. A cet effet il a employé des cuvettes de photographie dans lesquelles il plaça tout d'abord 600 grammes de sable fin, stérilisé après lavage, puis le produit à essayer.

Dans l'espèce M. CROCHETELLE mit dans une cuvette 10 grammes d'un produit radioactif, dans une autre il

plaça simplement dans le sable un tube scellé renfermant 10 grammes du même corps ; une troisième cuvette servait de témoin. Sur le sable bien uni, il déposa les graines à essayer, en ligne, en adoptant le même nombre de graines et la même disposition pour toutes les cuvettes. Il versa ensuite sur les graines avec précaution 400 grammes de sable également lavé et stérilisé, et il ajouta la même quantité d'eau dans toutes les cuvettes, soit 250 centimètres cubes. Les cuvettes placées les unes à côté des autres à la même exposition, dans les mêmes conditions, recevaient en temps utile le même arrosage. Tous les jours la levée était notée et l'aspect des plantes au fur et à mesure de leur apparition.

De toutes ses constatations, M. CROCHETELLE tira les conclusions suivantes :

1° Les semences ne sont pas toutes influencées de la même façon par le produit radioactif, employé au point de vue de la germination :

2° L'influence de la radioactivité sur la germination a été nulle ou retardatrice ; par contre, sur la végétation des plantes levées, l'action bien nette du radioactif a été constatée ; les pois et surtout les haricots et les colzas ont été manifestement influencés.

Voici, d'ailleurs, comparativement le poids de neuf plants de haricots relevé par l'auteur :

Cuvette témoin.....	12 gr. 100
Cuvette avec tube scellé.....	16 — 300
Cuvette avec produit radioactif	23 —

Essais en liquide de Knop. — Ces essais sont dus au professeur STOKLASA déjà nommé.

La solution nutritive de KNOP était faite d'une part

avec des eaux radioactives naturelles ou rendues radioactives par l'émanation du chlorure de radium, d'autre part avec de l'eau ordinaire.

Ces eaux renfermaient par litre :

Carbonate de sodium.....	1	gramme
Phosphate acide de potassium,.....	6	— 30
Chlorure de potassium.....	0	— 25
Sulfate de magnésium.....	0	— 25

L'eau radioactive présentait pour 700 centimètres cubes une radioactivité de 70 unités MACH (1).

Sur les lentilles, les pois et le blé, M. STOKLASA obtint en 23 jours les récoltes suivantes :

	EAU	
	ordinaire	radioactive
	gr.	gr.
Lentilles.	3,7	6
Pois.	9,7	21
Blé.	3,1	8

L'eau radioactive a donc augmenté les récoltes dans la proportion de 62 à 164 p. 100 par rapport au témoin.

Essais sur les bactéries du sol. — A côté de ces travaux intéressant les graines ou la plante, il en est d'autres du professeur STOKLASA s'adressant sinon au sol lui-même, tout au moins aux micro-organismes fixateurs d'azote et transformateurs de matières azotés. Infinitement petits dont, suivant une certaine mesure, la vitalité est l'indice de la fertilisation des terres.

Jusque-là la question relative à l'influence du radium sur la biologie des bactéries avait occupé beaucoup de

(1) Voir à la fin du volume ce qu'est l'unité MACH.

savants et de leurs recherches il ressortait que, en général, cette influence était nuisible au développement des micro-organismes et finissait même par occasionner leur mort.

C'était là évidemment la conclusion de travaux sérieux, mais s'étant poursuivis dans les mêmes errements que les premiers que j'ai signalés pour les graines, c'est-à-dire avec des sources radioactives d'une intensité beaucoup trop forte.

C'est pourquoi le professeur STOKLASA reprit ces recherches avec de faibles radioactivités et ses expériences ont porté sur trois groupes principaux d'organismes, à savoir :

- 1° Bactéries fixatrices d'azote (*azotobacter chroococcum*);
- 2° Bactéries minéralisant l'azote organique (*bacillus proteus*, *mycoïdes*, *subtilis*);
- 3° Bactéries dénitrifiantes (*bacillus fluorescens*, *liquefaciens*, *pyocyaneus*).

Chacune de ces espèces a été cultivée avec les soins voulus, et pour chacune d'elles des essais ont été faits dans le but de reconnaître :

1° L'effet simultané des trois catégories de rayons α , β et γ en plaçant dans un petit sac au-dessus de la solution nutritive 20 à 80 grammes de pechblende.

2° L'effet dû aux rayons β et γ en plaçant la pechblende dans un tube de verre plongé au milieu du liquide nutritif afin d'absorber les rayons α .

3° L'effet produit par les eaux radioactives naturelles de Saint-Joachimsthal de 300 à 600 unités MACH (1), ou bien de Franzensbad avec 100 à 150 unités ou encore de Brambach avec 900 à 2 000 unités ;

(1) Voir la définition de cette unité à la fin du volume.

4° L'effet dû à de l'air radioactivé avec une activité comprise entre 30 et 5 000 unités MACH.

Chaque essai comportait deux séries de vases renfermant 250 centimètres cubes de solution. Dix de ces vases étaient soumis à l'influence du rayonnement ou de l'émanation, les autres étaient conservés comme témoins.

Les résultats ont été surtout probants pour l'action de l'air sur l'*azotobacter chroococcum*.

Avec un air radioactivé à 150 unités MACH, c'est-à-dire peu radioactivé, on a obtenu sur dix essais ayant duré vingt et un jours la fixation de 0 gr. 045 d'azote en plus par litre de bouillon.

La terre, inoculée avec l'*azotobacter chroococcum*, s'est aussi enrichie en azote, quand elle a été soumise à l'influence de l'émanation radioactive.

Avec les rayons β et γ la destruction des matières organiques et l'assimilation de l'azote élémentaire se sont trouvées plus faibles que dans les vases témoins.

Avec une émanation réalisée par un passage d'air de 9 à 20 unités MACH, on a trouvé au bout de neuf mois que dans un poids de 7 kgr. 5 de terre, il y avait un gain de 2 gr. 1 d'azote attribuable aux effets de l'émanation.

Il se confirme ainsi de plus en plus qu'en culture ce sont les faibles émanations qui doivent être employées et qui produiront les meilleurs résultats.

Essais pratiques en grande culture. — Mais tout ce qui précède n'est en somme qu'expériences de laboratoire. Expériences fort concluantes sans doute. Que se passe-t-il en grande culture ? On sait combien différent les essais en petit dans des locaux à température ou à aération uniformes et les expériences entreprises sur de grandes étendues à l'air libre.

Ces expériences ont été faites. J'en citerai quelques-unes.

Une première série d'expériences fut réalisée par M. Daniel BERTHELOT, chef de la Station de physique végétale de Meudon. S'étant adjoint le concours de M. GAUDECHON, ingénieur agronome, il cultiva, dans de grands vases de faïence ou de ciment enfouis dans le sol, des épinards, des haricots, des blés même et constata que l'uranium déterminait par son émanation comme un véritable affolement de la végétation. Au cours de ses expériences il constata que la radioactivité, semblable en cela à un faible courant électrique, rendait l'assimilation plus complète des éléments de nutrition. Les plantes traitées par la radioactivité montrent un plus grand développement foliacé, ainsi qu'une teinte de feuille verte plus foncée et moins métallique, ce qui est l'indice d'une meilleure consommation azotée.

D'autres expériences ont été faites en pots et en grande culture par MM. MALPEAUX et LEFORT, directeur et professeur à l'École d'Agriculture de Berthonval.

En pot ils constatèrent sur le trèfle incarnat et avec 5 p. 100 de produit radioactif, un accroissement de récolte de 15,7 p. 100 sur les lots qui n'avaient reçu que l'engrais complet.

Sur l'avoine, l'addition dans l'engrais de 5 p. 100 de produit radioactif a accru le rendement en grains de 9,4 p. 100 et de 17,6 pour 100 avec une dose double.

En grande culture, un produit radioactif ajouté au surperphosphate et au nitrate de sodium a donné à l'hectare 510 kilogs de grains en plus que les parcelles qui n'avaient reçu que les engrais phosphatés et azotés précités.

De même sur les betteraves à sucre et fourragères,

MM. MALPEAUX et LEFORT obtinrent des résultats significatifs.

Une troisième série d'expériences a été faite en Angleterre. A la demande du Ministère de l'Agriculture M. FOULKES, Principal de l'Harper Adams Agricultural College de Newport, procéda à des essais sur les betteraves, sur les turneps, sur les pommes de terre et les légumineuses.

La substance radioactive fut mélangée intimement dans une proportion de 2 p. 100 avec des os étuvés, du sulfate de potassium et du nitrate de sodium. Le sol était une terre grasse et lourde, reposant sur un sous-sol argileux.

Pour la betterave la graine fut semée le 4 mai; la récolte faite le 28 octobre. L'engrais répandu, additionné dans la proportion de 2 p. 100 de matière radioactive, était un engrais complet, c'est-à-dire renfermant les quatre principes fondamentaux : azote, acide phosphorique, potasse et chaux. Une pièce témoin semblablement traitée, mais sans produit radioactif, fut enssemencée à côté de la première.

Les rendements par acre (demi-hectare) furent les suivants :

	kilogs,
Avec l'engrais complet, plus le produit radioactif.....	34 190
Avec l'engrais complet seul.....	30 024 seulement.

Avec le turnep la graine fut semée le 1^{er} juin, la récolte faite le 9 novembre. Les conditions expérimentales étaient les mêmes. Les résultats furent les suivants :

	kilogs,
Avec l'engrais complet, plus le produit radioactif.....	15 850
Avec l'engrais complet seul.....	13 132

D'autres expériences de M. FOULKES, portant sur les pommes de terre et les légumineuses, ont également démontré l'action favorable de la radioactivité, tant au point de vue du rendement que de l'aspect végétatif et de la richesse en fécule en ce qui concerne les solanées.

Il faut retenir ceci, que les expériences anglaises ont été réalisées par l'addition à un engrais complet d'une certaine quantité de produit radioactif. Il faut avant tout, en effet, que les plantes aient à leur disposition les matériaux nutritifs qui leur sont indispensables et auxquels l'engrais radioactif ne saurait évidemment suppléer.

Enfin une dernière série d'expériences a été faite par M. BARTHE, secrétaire du Comice agricole de Besançon. Ces expériences ont donné les résultats consignés dans le tableau de la page suivante.

Les expériences furent faites sur cinq ares. La parcelle témoin était fertilisée au fumier de ferme. Cette parcelle est désignée par la lettre A sur le tableau. L'autre parcelle (B du tableau) recevait la même dose de fumier avec addition de 2 kilogrammes à 2 kilog. 500 de produit radioactif.

Action sur les betteraves. Des essais qui viennent d'être décrits, résulte positivement une action efficace de la radioactivité sur le développement de la betterave. M. CROCHETELLE, directeur de la Station agronomique de la Somme a procédé en 1913 à des expériences plus complètes qu'il y a lieu de signaler.

Dans la Somme un champ d'une grande étendue, d'une grande homogénéité, a été mis à sa disposition. Dans ce champ une enclave de 10 ares a été tracée pour y expérimenter l'emploi d'un engrais radioactif. La fumure et les soins ont été les mêmes dans tout le champ.

N° d'ordre	NOMS des expérimentateurs	DEMEURES des cultivateurs	CULTURES en expérience	NATURE du sol	RENDEMENTS				OBSERVATIONS
					en parcelle A		en parcelle B		
1	DUNOIS Léon	Chatezeule	Betteraves	terre franche	en racines 4 050 kg. en feuilles 900 kg.	en racines 6 475 kg. en feuilles 920 kg.			
2	ROUSSILLON Hippolyte	Champforgeron	—	—	7 850 —	8 690 —			les feuilles n'ont pas été pesées.
3	SIMPLON Charles	Les Epoisses	Pommes de terre	—	en racines 1 025 kg.	en racines 1 775 kg.			
					grain	paille	grain	paille	
4	VAIBERT EL.	Fontain	Blé	argilo-calcaire	kg. 100,50	kg. 280	kg. 1 088	kg. 400	épis bien plus beaux, plus gros
5	MAIRE Léon	La Bousserotte	—	—	145	190	160	215	
6	JEUNE Emile	Monthoncons	Avoine	calcaire	75	125	81	170	

A la levée des graines, il y avait avantage pour l'enclave à engrais radioactif. Puis l'avantage est toujours resté, les feuilles de cette enclave étant très vertes avec une turgescence extraordinaire.

Un peu avant l'arrachage des racines, des échantillons furent pris et analysés. Les analyses donnèrent les résultats suivants :

	Avec engrais radioactif	Sans engrais radioactif
Poids moyen	444 grammes	680 grammes
Densité du jus à 15° .	7°63	8°03
Feuilles par pied . .	656 grammes	486 grammes

Il semblerait d'après cela que l'engrais radioactif agit surtout pour donner une plante plus foliacée et que son influence soit néfaste sur les racines.

Mais, au moment de l'arrachage, c'est-à-dire quinze jours après, on s'aperçut que les betteraves de l'enclave qui avait reçu l'engrais radioactif avaient prospéré très rapidement, tout en conservant des feuilles très vertes et aussi turgescentes qu'auparavant au lieu de feuilles jaune or étiolées comme dans le reste du champ. L'effet de la radioactivité aurait donc été de retarder la maturité de la plante.

Des échantillons furent prélevés à nouveau, échantillons qui donnèrent à l'analyse :

	Avec engrais radioactif	Sans engrais radioactif
Poids moyen	844 grammes	653 grammes
Densité du jus. . . .	7°7	8°1
Sucre % de jus	17,98 .	18,55
Pureté apparente . .	88 % .	86,4 %
Feuilles par pied . .	872 grammes	530 grammes

C'est la parcelle qui a reçu l'engrais radioactif qui donne le plus fort rendement à l'hectare. La moyenne de la récolte totale est de 36 985 kilogrammes avec 7°95 de densité. Avec l'engrais radioactif on obtient 41 000 kilogrammes avec une densité de 7°7.

Si la densité est plus faible, la pureté est plus grande. Il semble d'ailleurs qu'il aurait fallu arracher les betteraves dans l'enclave plus tard que celles du reste du champ, et qu'ainsi la densité aurait été comparable.

Action sur les pommes de terre. — Des expériences ont été faites à l'École Nationale d'agriculture de Grignon. L'engrais complet employé avait pour composition :

Nitrate de calcium.....	100 kg.
Superphosphate	300 —
Chlorure de potassium.	100 —

A cet engrais on incorporait 2 p. 100 en poids de matière radioactive. Les résultats des essais sont consignés dans le tableau suivant :

VARIÉTÉS	POIDS de la récolte rapporté à 1 are		FÉCULE 0/0	
	Engrais complet	Engrais complet avec radioactif	Engrais complet	Engrais complet avec radioactif
Early Regent	65,3	80,0	13,11	14,01
Merveille d'Amérique . .	110,1	121,3	16,61	18,35
Salanum Frimel	138,0	148,0	14,68	15,22
Institut de Beauvais . . .	162,3	151,3	13,61	14,68
Abdul Hamid	67,0	75,3	18,32	19,50
Union Agricole	50,5	49,0	23,57	25,25
Sas	110,8	144,3	17,64	18,27
Kruger	108,3	111,0	14,74	16,25

D'autre part, avec un engrais complet composé de superphosphate, de sang desséché et de sulfate de potassium, on est arrivé aux résultats suivants en faisant varier les doses de produit radioactif mélangé sur deux variétés de pommes de terre, *Early Rose* et *Kruger*.

<i>Early Rose</i> :	Poids par m ² kgr.	Fécule 0/0	Fécule par m ² gr.
Engrais complet seul	1,947	16,09	313
Engrais complet et très faible dose de produit radioactif	1,972	17,23	340
Engrais complet et faible dose de produit radioactif.	1,986	15,28	303
Engrais complet et dose un peu plus forte de produit radioactif	2,118	14,30	303
Engrais complet et dose moyenne de produit radioactif	2,548	15,57	399
<i>Kruger</i> :			
Engrais complet seul	1,646	16,48	271
Engrais complet et très faible dose de produit radioactif	1,271	17,58	214
Engrais complet et faible dose de produit radioactif.	1,313	17,89	235
Engrais complet et dose un peu plus forte de produit radioactif	1,632	16,71	273
Engrais complet et dose moyenne de produit radioactif	1,792	17,14	307

Il a été reconnu que la dose de produit radioactif à incorporer au superphosphate correspondait à 5 p. 100 du poids de ce superphosphate. Avec les mêmes qualités de pommes de terre, *Early Rose* et *Kruger*, on a obtenu les résultats suivants :

	Notes données sur 20 aux plantes suivant l'aspect qu'elles présentaient pen- sant la végétation.	Poids par hecto
<i>Early Rose</i> :		
Engrais complet seul	17,5	19,470 kilos
Engrais complet avec radioactif	20	25,480 —
<i>Kruger</i> :		
Engrais complet seul	14,7	16,460 kilos
Engrais complet avec radioactif	17	17,920 —

Action sur la vigne. — C'est surtout dans cette application de la radioactivité que l'on se rend compte du supplément de force donné à la plante par une émanation à faible activité.

En mettant au pied de chaque souche au printemps 50 à 60 grammes de produit radioactif, en enterrant bien le produit non loin des racines, on constate, au moment où la fumure ou toute autre espèce d'engrais sera placé sur le terrain, un rendement supplémentaire en feuilles et en fruits.

On a prétendu que la radioactivité aidait la plante à résister aux maladies cryptogamiques, au mildiou, au blackrot. Elle donne à la plante une plus grande vigueur, mais cette vigueur ne la rendra pas toujours indemne de toute maladie, et il est bon de ne pas négliger les précautions recommandées pour lutter contre les maladies de la vigne.

Action sur les plantes florales. — Dès 1910, M. VIAUD-BRUANT de Poitiers fit des essais sur des chrysanthèmes, des géraniums et des cannas. Il constata lors de la floraison un éclat plus vif des fleurs. Il nota aussi plus de précocité.

En 1911, M. VIAUD-BRUANT fit de nouvelles expériences sur les mêmes plantes et les résultats obtenus furent aussi bons que l'année précédente. D'autre part, un rosier, également repoté avec de l'engrais et arrosé comme précédemment, devint beaucoup plus vigoureux que les témoins comme végétation de bois. La floraison surtout fut remarquable. De deux pieds du même âge, de même taille au début, seul le pied traité au produit radioactif a fleuri abondamment et les roses obtenues furent du plus pur cramoisi intense velouté.

En 1912, M. BLOT, directeur à la maison Vilmorin-Andrieux, entreprit quelques essais. Il expérimenta sur plusieurs lots de chrysanthèmes, avec des lots témoins, un pourcentage d'engrais radioactif de 2, 4, 6, 8 et 10 p. 100. Les chrysanthèmes traités ne parurent pas influencés au début par la radioactivité, mais ils manifestèrent, vers la fin de leur croissance, une plus grande végétation de bois et un plus grand développement foliacé et radicaire, indice évident et classique d'une forte consommation azotée. D'autre part, la floraison se montra proportionnelle à la dose d'engrais, c'est-à-dire à l'intensité, d'ailleurs toujours faible, de la radioactivité mise en œuvre.

L'important, dans le cas de l'application de la radioactivité aux plantes florales, est de choisir judicieusement la dose d'engrais radioactif. Il vaut mieux mettre trop peu que trop, de manière à ne pas s'exposer à détruire les tissus plutôt que de les régénérer. Il ne faut jamais introduire la quantité recommandée en grande culture, c'est-à-dire 40 à 50 kilogrammes de produit radioactif à l'hectare.

D'autre part, M. TRUFFAUT a observé qu'en pleine terre la radioactivité ne donnait aucun résultat, alors que dans les pots il a toujours obtenu un développement herbacé et un verdissement de la plante, cela surtout au moment de la période de faim de cette plante.

Il estime qu'il y a lieu de faire des applications sur des végétaux cultivés pendant longtemps en pots ou en bacs, tels que les plantes de serres ou d'orangeries, à croissance relativement lente, en particulier les palmiers. Ceci correspond à ce que j'ai dit de l'influence de la radioactivité sur la chlorophylle.

Plantes diverses. — A l'Ecole Nationale d'Agriculture de Grignon, en dehors des expériences que j'ai signalées pour la pomme de terre, des essais ont été faits avec l'orge, le lin, la moutarde blanche, l'avoine, le blé de mars, les légumineuses fourragères. Des suppléments de rendement ont été trouvés.

Plus récemment le D^r H.H. RUSBY, correspondant du Bureau de chimie de Washington, doyen de la Faculté de Pharmacie à Columbia College, a fait des expériences sur diverses plantes et a pu conclure de ces expériences que la production était accrue de 29 p. 100 avec les laitues, de 17 p. 100 avec les haricots, de 35 p. 100 avec les concombres, de 35 à 44 p. 100 avec diverses variétés de courges, de 80 p. 100 avec les melons, de 24 p. 100 avec les carottes, de 50 p. 100 avec le maïs et de 70 p. 100 avec les radis.

Pour les navets il a procédé à des essais en grande culture dans le but de déterminer le moment où la dose de radioactivité devient destructive et il a trouvé qu'il ne fallait pas dépasser 50 livres anglaises de produit radioactif à l'acre.

Le D^r RUSBY fit aussi des expériences sur les choux, constatant que la graine perce à peine la terre dans le lot témoin, alors que dans l'autre lot, sous l'effet de la radioactivité, les feuilles commençaient déjà à se développer. Le même fait s'est produit chez un maraîcher des environs de Paris qui a pu, grâce à l'emploi de l'engrais radioactif, obtenir en moins de temps une récolte de choux plus abondante. La figure placée au début de cet ouvrage montre la différence obtenue comme croissance sur un chou adulte, suivant qu'on emploie ou non un engrais radioactif.

En Espagne des essais fort intéressants ont été faits en

grande culture pour la production d'un maïs dont les pieds atteignaient plus que la hauteur d'homme.

Enfin, avec le cacao, des résultats fort intéressants ont été obtenus par le directeur de la Roça de San Miguel, à San Thomé.

Produit radioactif. — Il résulte clairement de tout ce qui vient d'être dit que la radioactivité, pour produire de bons effets sur les plantes, doit être très faible. Quelle sera son importance? On s'est arrêté au chiffre de 0.03 U^3O_8 , c'est-à-dire la trois centième partie de l'activité de l'uranium.

Quelles substances radioactives choisira-t-on? Les minerais d'uranium à basse teneur sont indiqués. Toutefois il est rare de trouver de l'uranite à 0,03. Le titre le plus bas est d'ordinaire 0,05 au Portugal. D'autre part, il est bon de mélanger à cette uranite une certaine quantité de carnotite; cette carnotite aura toujours au moins 0,06 comme teneur en uranium.

Force est donc de réduire l'activité des minerais. On le fait aisément en mélangeant ces minerais avec une substance inerte, avec du sable par exemple. Ce sable devra être le moins ferrugineux possible. L'idéal serait d'avoir de la silice presque pure. Le mélange se fera dans un broyeur-mélangeur, car le produit radioactif doit être livré en poudre. La mesure de l'activité finale du produit obtenu se fera avec l'électroscope que j'ai décrit précédemment (voir page 76).

La mesure se fait comparativement avec un étalon d'oxyde d'uranium. La vitesse de chute de la feuille d'or dans l'électroscope doit être égale aux 3/100 de celle produite par l'étalon.

Le produit radioactif ainsi obtenu à 0,03 d'activité ne

sera pas employé seul dans l'agriculture, car il n'est pas par lui-même un engrais, mais un stimulant d'engrais.

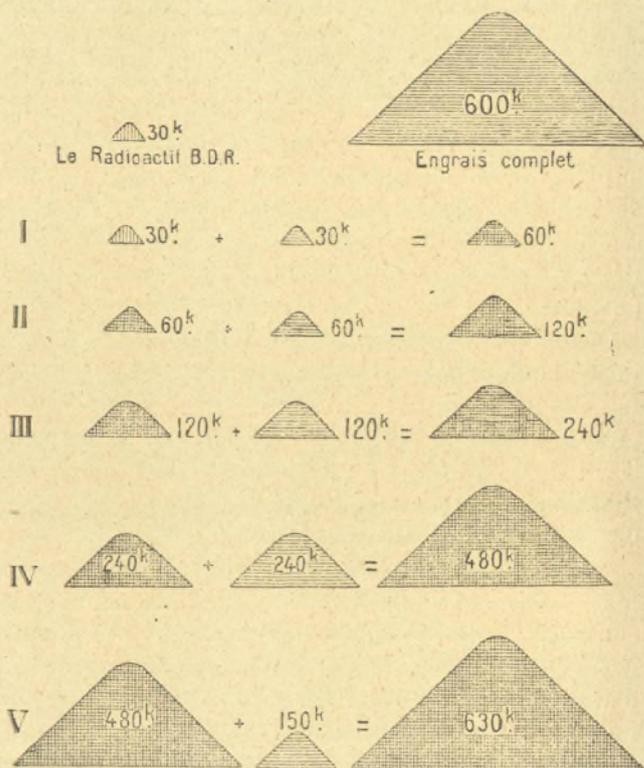


Fig. 13. — Préparation de l'engrais radioactif.

On le mélange avec un engrais connu et ce mélange s'effectue comme il suit (fig. 13):

Supposons qu'il faille mélanger 30 kilogrammes de produit radioactif avec 600 kilogrammes d'engrais complet. On prend d'abord les 30 kilogrammes du lot 1, on

les mêle avec 30 kilogrammes d'engrais, en remuant souvent et bien avec une pelle pour obtenir un mélange parfait. Les 60 kilogrammes ainsi obtenus sont mélangés de nouveau et de la même manière avec 60 kilogrammes d'engrais de façon à constituer un lot II de 120 kilogrammes. On reprend successivement 120 kilogrammes puis 240 kilogrammes d'engrais pour faire des lots III et IV de mélange, de 240 kilogrammes et de 480 kilogrammes. Enfin les 150 kilogrammes restant d'engrais sont à nouveau bien mélangés de manière à obtenir 630 kilogrammes d'un engrais radioactif prêt à employer.

Il est difficile de demander à un agriculteur d'apporter tous ses soins à la réalisation d'un tel mélange. Dans le mélange il faut que l'activité soit répartie dans toute la masse et non point localisée en certains points, auquel cas, étant trop forte sur ces points, elle aurait une action destructive et non point régénératrice. La plus grande attention est requise dans ce but. Peut-on demander une telle attention à un ouvrier agricole ?

Le mieux est de livrer à la consommation des engrais radioactifs tout préparés. On composera des engrais complets radioactivés dont la formule conviendra non seulement à la nature chimique des terres, mais encore à la diversité des cultures sur ces terres.

Engrais complet radioactivé. — En fournissant à l'agriculteur un engrais radioactif tout préparé, on évitera des fausses manœuvres et des déboires dans l'application de la radioactivité. On lui épargnera aussi des recherches sur la bonne formule d'engrais à employer dans sa terre pour la culture qu'il pratique.

Les engrais doivent apporter à la plante les éléments nutritifs dont elle a un pressant besoin, qui font défaut

dans les sols ou qui s'y trouvent sous une forme peu assimilable. Ces éléments sont l'acide phosphorique, l'azote, la potasse et la chaux.

L'azote favorise et active la végétation. L'acide phosphorique est l'agent de la fructification ; il agit sur le poids et la maturation des grains. La potasse détermine la formation de la fécule pour les pommes de terre, de la saccharine pour la betterave. Quant à la chaux, elle est non seulement un élément nutritif indispensable, mais encore elle favorise les réactions du sol.

Si dans un sol on peut réunir ces quatre facteurs principaux à raison de 1 gramme d'azote, 1 gramme d'acide phosphorique et 2 grammes de potasse par kilogramme de terre, et si on y ajoute une certaine quantité d'émanation de manière à rendre mieux assimilables les éléments existant dans la terre, on réalise l'engrais complet radio-activé et cet engrais sera susceptible d'augmenter dans une très large mesure les rendements en agriculture.

L'azote se trouve dans le sulfate d'ammonium, dans le nitrate de sodium, dans la cyanamide.

L'acide phosphorique provient des superphosphates et des scories de déphosphoration.

La potasse existe dans le chlorure de potassium, dans le sulfate de potassium (celui-ci agissant également comme engrais nitré).

La chaux est fournie au sol à l'état de chaux, de superphosphate de chaux ou de plâtre.

Avec ces éléments on arrive à constituer plusieurs formules d'engrais complet s'appliquant à diverses cultures de plantes, par exemple celles-ci :

Pour les céréales on emploie :

Sulfate d'ammonium	200 à 300 kilogrammes.
Superphosphate à 14 p. 100	250 à 300 —

ou bien la formule suivante :

Nitrate de sodium	260 à 400 kilogrammes.
Superphosphate à 14 p. 100	250 à 300 —

Pour les pommes de terre on composera un engrais de :

Fumier de ferme bien décomposé	20 000 kilogrammes.
Superphosphate de chaux	500 —
Chlorure de potassium	150 —
Nitrate de sodium	250 —

Pour les betteraves on fera usage de :

Fumier de ferme	30 000 à 40 000 kilogrammes.
Nitrate de sodium	200 à 300 —
Superphosphate	300 à 400 —

Pour le tabac on recommande :

Nitrate de sodium	400 à 500 kilogrammes.
Superphosphate à 15 p. 100.	400 —
Sulfate de potassium	200 —

Pour les légumineuses on a avantage à employer :

Nitrate de sodium	100 kilogrammes.
Superphosphate de chaux	250 —
Chlorure de potassium	125 —

Sur les prairies on épandra :

Nitrate de sodium	250 à 300 kilogrammes.
Scories de déphosphoration	200 à 300 —
Chlorure de potassium	100 —

Dans les vergers on emploie :

Superphosphate	600 kilogrammes.
Chlorure de potassium	150 —
Nitrate de sodium	200 —

Avec les plantes textiles on réalise le mélange suivant :

Fumier de ferme	20 000 kilogrammes.
Superphosphate à 15 p. 100.	300 à 400 —
Nitrate de sodium	250 à 300 —
Chlorure de potassium	150 —

Pour la vigne, dans une terre franche calcaire d'une richesse équilibrée, on aura deux fumures, l'une intensive qui est la suivante :

Sang desséché à 13 p. 100	200	kilogrammes.
Corne torréfiée à 14 p. 100	300	—
Nitrate de potassium	100	—
Carbonate de potassium à 60 p. 100	27	—
Superphosphate à 15 p. 100	500	—
Plâtre	1 000	—

L'autre moyenne dont la composition est :

Sang desséché à 13 p. 100	150	kilogrammes.
Corne torréfiée à 14 p. 100	200	—
Nitrate de potassium	100	—
Superphosphate à 15 p. 100	400	—
Plâtre	1 000	—

Tous ces mélanges pourront être radioactivés de manière à donner les meilleurs résultats.

Ce qu'on trouve surtout dans le commerce comme engrais complet radioactif, ce sont les formules suivantes :

Scories azotées radioactives.	{	Azote	3 %	{	Epannage (600 à 700 kgr. à l'hectare).
		Acide phosphorique soluble citrate	9 %		
		Radioactif	9 %		
Engrais radio-phosphaté n° 1.	{	Acide phosphorique soluble citrate	12 %	{	Pour terres fortes ou légères, pauvres en chaux et pour terres de défrichement.
		Radioactif	12 %		
		Engrais radio-phosphaté n° 2.	{		
Radioactif	12 %				
Engrais radio-phospho-potassique.	{	Acide phosphorique soluble citrate		10 %	{
		Potasse d'Alsace	7 %		
		Radioactif	8 %		

Engrais complet intensif.	}	Azote ammoniacal	3 %	}	Pour betteraves et pommes de terre (800 à 1 000 kgr. à l'hectare)
		Acide phosphorique soluble eau et citrate	6 %		
		Potasse riche d'Al- sace	4 %		
		Radioactif	6 %		

Les premiers essais faits avec ces formules ont déjà donné des résultats appréciables et sont susceptibles sans doute de fournir des rendements supérieurs avec une application plus méthodique et plus judicieuse de ce qu'est et de ce que sera dans l'avenir l'engrais radio-actif.

CHAPITRE VIII

APPLICATIONS DIVERSES

Phosphorescence et luminescence. — Spinthariscopes. — Sulfure de zinc. — Applications commerciales et industrielles. — Pierres précieuses. — Eaux minérales. — Production d'hélium. — Le radium, agent de force motrice. — Application industrielle.

J'aborde ici l'examen de diverses applications dont quelques-unes, si elles prennent un jour un certain développement, pourront créer l'industrie du radium. La luminosité du sulfure de zinc sous l'influence du radium qui a été utilisée pendant la guerre, pourrait peut-être s'industrialiser. On a espéré obtenir, par la décomposition du radium, une certaine quantité d'hélium, mais la quantité n'était pas suffisante pour remplacer l'hydrogène dans le gonflement des ballons. Dans le commerce des eaux minérales et des pierres précieuses le radium peut jouer un rôle.

Ce sont autant de points que j'examinerai brièvement dans ce chapitre.

Phosphorescence et luminescence. — On sait que certains corps, exposés à la lumière solaire, présentent la propriété de rester phosphorescents pendant un certain temps dans l'obscurité. Le sulfure de calcium donne une luminosité bleu foncé ou bleu orange; le sulfure de strontium a une phosphorescence verte; le sulfure de

zinc sous forme de blende hexagonale émet dans l'obscurité des rayons tout à fait analogues à ceux des anneaux du ver luisant (*lampe*).

La phosphorescence de ces corps qui est temporaire et qui ne réapparaît que lorsqu'on les soumet à nouveau à l'action des rayons solaires, peut être rendue permanente par le rayonnement du radium. L'application de ce principe a surtout été réalisée avec le sulfure de zinc. Outre que les sulfures de calcium et de strontium peuvent, en s'altérant à l'air, cesser d'être phosphorescents, il semble que le mélange sel de radium et sulfure de calcium ne soit pas aussi stable que le mélange sel de radium et sulfure de zinc.

Le radium n'agit pas seulement sur les corps de nature phosphorescente qui viennent d'être indiqués.

J'ai dit précédemment (page 43) que les rayons émis par les sels de radium rendent lumineux les sels alcalins et alcalino-terreux, le sulfate double d'uranyle et de potassium, les matières organiques (coton, papier, peau) le quartz et le verre. Le verre de Thuringe sera particulièrement lumineux. Avec le platino-cyanure de baryum on produit une magnifique phosphorescence verte. Cette phosphorescence se produit même avec un écran absorbant des rayons. Elle a lieu à travers le corps humain. Le platino-cyanure de potassium devient bleu azur.

Certains minerais deviennent lumineux sous l'action du rayonnement des sels de radium. Le diamant donne une très belle phosphorescence. La willémitte ou silicate de zinc naturel prend un éclat très vif. Enfin la kunzite découverte en Californie devient rose-saumon.

Cette coloration est due à la présence de la lithine, le minéral étant un silicate d'alumine et de lithine. Le minéral à l'état naturel est incolore, ou, s'il est coloré, il

aura une faible teinte rose foncé ou violet améthyste. Les cristaux sont souvent assez volumineux, mais ils se clivent très facilement étant du système clinorhombique, et ce sont les lamelles de ces cristaux qui donnent la plus belle couleur de phosphorescence,

A quoi sont dûs ces phénomènes de luminescence et de phosphorescence ? Probablement à l'énergie considérable emmagasinée par les rayons du radium ou à la vitesse de petits projectiles dont ces rayons sont animés,

Un petit appareil imaginé par le Dr PERMAN justifie cette hypothèse.

L'appareil se compose d'un écran en sulfure de zinc sur lequel viennent scintiller les rayons du radium. Ce sont les rayons α qui agissent. Ces rayons sont autant de petits projectiles lancés à partir du sel de radium. Quand ils frappent l'écran en sulfure de zinc, ils provoquent un clivage des minuscules cristaux de blende, clivage qui est accompagné d'une émission de lumière. On se trouve en présence d'une multitude de petites étoiles qui scintilleraient au milieu d'un ciel noir.

Les rayons α ne sont d'ailleurs pas les seuls qui soient capables de produire la phosphorescence. La willémité et le platino-cyanure de baryum sont particulièrement lumineux avec les rayons β pénétrants.

La luminosité a été examinée au spectroscope. On a reconnu le fait que le spectre n'est pas parfaitement continu. Ce spectre présente des renforcements dont les positions correspondent aux bandes brillantes du spectre de l'azote obtenu en analysant la lumière produite par des décharges électriques à travers ce gaz. Les bandes seraient ainsi dûes aux décharges électriques du radium à travers l'air environnant. A cela viendrait s'ajouter l'effet des phénomènes de phosphorescence sous l'action

des rayons BECQUEREL, comme je l'ai précédemment écrit (voir page 45).

Spinthariscopes. — Sir W. COOKES a imaginé un appareil qu'il a nommé spinthariscopes des deux mots grecs *spintharis* scintillation et *skopein* examiner et qui montre

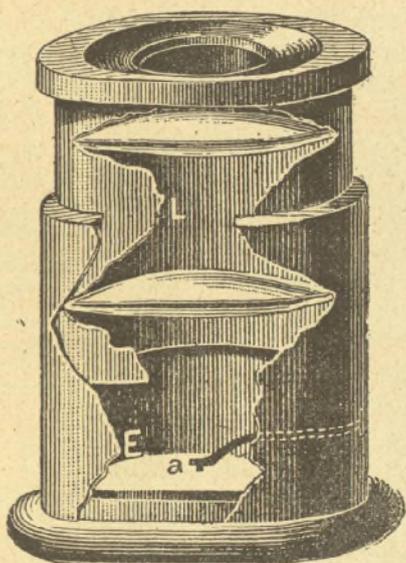


Fig. 14. — Spinthariscopes Cookes.

pratiquement mieux que l'appareil du Dr PERMAN précédemment décrit, l'effet du rayonnement du radium pour produire la luminosité des corps.

L'appareil (fig. 14) se compose essentiellement d'une petite boîte au fond de laquelle on a placé un écran de sulfure de zinc phosphorescent. A quelques dixièmes de

millimètre de l'écran on fixe à l'extrémité d'un fil métallique un petit grain d'un sel de radium très actif. Une loupe grossissante à deux verres, placée à la partie supérieure de la boîte permet d'examiner l'écran.

L'œil, regardant par la loupe dans l'obscurité, observe dans la boîte une lueur légère et distingue sur l'écran une véritable pluie de points lumineux apparaissant ou disparaissant à intervalles continuellement répétés. Les points brillants, semblables à une série d'étoiles filantes, sont plus abondants dans le voisinage du sel de radium où la lueur est continue.

Le phénomène n'est pas altéré par un courant d'air. Il se produit aussi dans le vide, mais, si l'on interpose un écran entre le sel de radium et l'écran de sulfure de zinc, il est complètement supprimé. On en conclut aisément que les points lumineux sont autant de rayons α qui viennent bombarder l'écran de sulfure de zinc.

Sulfure de zinc. — Le sulfure de zinc sera, soit phosphorescent à l'état temporaire, soit lumineux d'une façon permanente.

Pour préparer le sulfure de zinc phosphorescent, il faut réaliser une cristallisation spéciale, cristallisation permettant d'avoir des clivages suivant lesquels s'établira la phosphorescence. C'est une question de tour de main. Les surfaces de cristaux doivent être très nombreuses de manière à mieux recevoir l'impression de luminosité qui se transforme en phosphorescence.

Pour rendre le sulfure de zinc lumineux d'une manière permanente, on lui incorpore un sel de radium. Suivant la quantité de ce sel, on obtient des effets de luminosité variables. Toutefois il y a une limite. Au delà d'un certain poids de radium mélangé au sulfure de zinc, il n'y a

plus croissance marquée de la luminosité. Alors que jusqu'à un milligramme de bromure de radium mis dans un gramme de sulfure de zinc, il y a une augmentation notable de clarté, il n'en est plus de même si l'on incorpore de plus grandes quantités de sel de radium. Une question de prix intervient également qui empêche de rendre vendable dans de bonnes conditions le produit obtenu.

Avec un quart de milligramme de bromure de radium par gramme de sulfure de zinc, on réalisera un corps doué d'une luminosité permanente très belle pouvant se vendre à un prix qui n'est pas prohibitif.

Au bout de cinq ou dix années la luminosité s'affaiblit du fait que le sel de radium jaunit ou même noircit, comme je l'ai dit précédemment (page 43). Pour recouvrer en partie cette luminosité il faudrait dissoudre à nouveau le sel de radium. On ne le fait pas le plus souvent.

Applications commerciales et industrielles. — Diverses applications des propriétés de phosphorescence et de luminosité du sulfure de zinc ont été faites dans le commerce et un peu dans l'industrie.

On a songé à faire des écrans lumineux. Mais le prix du sulfure de zinc uniquement phosphorescent sans être radifère est assez élevé. Il faut un produit bon marché pour pouvoir recouvrir de grandes surfaces, qui, ayant reçu pendant le jour la lumière solaire, deviendront lumineuses pendant la nuit.

Dans la marine on a eu l'idée de rendre lumineuses pendant la nuit certaines parties de la coque d'un navire. Dans l'automobilisme on a voulu également avoir des surfaces phosphorescentes pour faciliter une circulation nocturne.

Jusqu'ici toutes ces idées ne sont pas entrées dans la pratique à cause du prix élevé de la matière première. Elles ne deviendront vraiment réalisables que le jour où l'on pourra fabriquer à bas prix le sulfure de zinc phosphorescent.

Les applications sont plus nombreuses pour de petits appareils de visibilité pendant la nuit et pour ces appareils on emploie le sulfure de zinc radifère.

Les premiers essais qui remontent à plusieurs années ont été faits en horlogerie. Ils sont aujourd'hui d'application courante.

On fabrique des cadrans de montre lumineux. On pratique dans ces cadrans des entailles à l'emplacement de chacun des chiffres des heures et l'on garnit ces entailles avec du sel lumineux permettant de lire très distinctement le chiffre pendant la nuit. Les aiguilles sont creuses de manière à pouvoir enserrer une certaine quantité de matière lumineuse.

Pendant la guerre de 1914-1918 on a fabriqué à bon marché une grande quantité de ces montres à cadran lumineux. Le sel employé était le plus souvent du sulfure très phosphorescent, mais nullement radifère, de sorte que la luminosité des montres était loin d'être parfaite et souvent éphémère.

Pour la marine, on fabrique des boussoles à visibilité nocturne. Les quatre points cardinaux du cadran de la boussole sont en lettres lumineuses. L'aiguille contient une certaine quantité de sel radifère. Il ne faut pas exagérer la quantité de ce sel, car il pourrait en résulter des troubles dans l'aimantation de la boussole.

Pendant les hostilités de 1914-1918 on a imaginé toute une série d'appareils de visibilité pour le tir pendant la

nuit. Ces appareils ont été placés sur des fusils. Ils ont servi également sur les canons.

Sur les canons on a placé des niveaux lumineux permettant le réglage du tir pendant la nuit. Dans ces niveaux on mettait des comprimés de sel lumineux d'une forte intensité. Par temps sombre la lueur était des plus perceptible, même à une certaine distance. On pouvait ainsi ne pas interrompre le tir et même le régler au besoin.

Certains architectes ont eu l'idée de placer dans les appartements des commutateurs lumineux. Idée excellente, car, bien qu'on sache en entrant dans une chambre l'endroit où se trouve le commutateur électrique, ce n'est pas sans quelque tâtonnement qu'on arrive à le trouver et, si l'on se réveille la nuit, la lueur est assez vive pour permettre de savoir où se procurer immédiatement de la lumière.

Les applications sont nombreuses et même illimitées. On peut enduire de substances phosphorescentes ou lumineuses des boîtes d'allumette pour les trouver facilement la nuit, des bouées de sauvetage qui demandent à être visibles dans l'obscurité, des écrans de cartons pour donner de la lumière dans les poudrières, des numéros de maisons, des noms de rues, des horloges d'église ou de mairie, des poignées de portes, des trous de serrure.

Le champ des applications sera grandement ouvert, quand on pourra obtenir les sels de radium à meilleur marché qu'à l'heure actuelle.

Pierres précieuses. — J'ai dit (page 44) que les rayons du radium communiquaient un éclat spécifique au diamant. J'ai indiqué également (voir page 44) que les pierres précieuses changeaient de couleur sous l'action

du rayonnement. Ces propriétés peuvent être utilisées dans le commerce de la joaillerie.

Le diamant pourra être distingué de ses imitations : strass ou verres lourds, dont la luminosité est extrêmement faible comparée à celle du diamant.

On peut aussi caractériser le vrai diamant par sa transparence aux rayons du radium.

Dès le début des expériences sur les rayons ROENTGEN, on constata que le carbone dans ses divers états (charbon, diamant, graphite) est très transparent. Le jais, qui est une variété de charbon que la joaillerie imite souvent, présente le même caractère. Les propriétés de ces diverses substances vis-à-vis des sels de radium sont tout à fait analogues. On peut ainsi reconnaître une imitation de joaillerie avec une petite ampoule de verre contenant quelques centigrammes d'un sel de radium. Cette ampoule remplace avantageusement les nombreux et très encombrants appareils que les rayons X exigent pour leur fonctionnement.

On imite le diamant dans le commerce avec des verres lourds, riches en plomb ; d'autres fois on taille en brillants des pierres de valeur moindre : le cristal de roche, le corindon, le grenat décoloré.

Pour différencier le véritable diamant de ses imitations, on étudie son action sur une plaque photographique ou sur des substances fluorescentes, sous l'influence des rayons émis par les sels de radium.

Dans la méthode photographique on dispose la pierre à étudier sur une plaque sensible recouverte de papier noir. Au-dessus, et à quelques centimètres, on suspend une petite ampoule de radium. Après avoir développé et fixé, on trouve sur le fond noir de la plaque la silhouette du corps dont on l'avait recouvert.

Les taches produites par l'ombre des diamants vrais ou faux sont si manifestement différentes, qu'il est impossible de ne pas les reconnaître de prime abord. Le diamant vrai étant très transparent laisse passer les rayons qui impressionnent la plaque photographique, tandis que les imitations, très opaques au rayonnement, n'ont aucune action à cet endroit sur la plaque sensible.

La méthode fluoroscopique donne des résultats plus rapides avec une égale certitude.

Les faux diamants font une tache noire sur le fond verdâtre et lumineux, tandis que les vrais diamants sont pour ainsi dire invisibles : l'ombre de leur armature apparaît seule et dénudée.

Il suffit d'un simple examen de l'écran fluorescent pour juger de l'authenticité d'un diamant.

Les différents verres qui servent à imiter le diamant (quartz, corindon, etc.) sont beaucoup moins transparents. Les pierres d'alumine recherchées sous les noms de rubis, émeraude, œil-de-chat, saphir, sont légèrement obscures, mais ne portent pas une ombre aussi intense que le verre employé pour les imiter.

Il y a là une question très importante pour la joaillerie. Dans les deux cas, il est utile de comparer les résultats obtenus avec un véritable diamant placé sur la plaque sensible ou sous l'écran à côté des pierres à essayer.

Une autre application pratique dérive du fait qu'un grand nombre de pierres précieuses changent de coloration sous l'effet des rayons du radium. La topaze incolore devient jaune orangé. Les joailliers peuvent, en réalisant des colorations heureuses, donner une valeur beaucoup plus grande aux pierres précieuses qu'ils mettent en vente.

Eaux minérales. — Il est aujourd'hui reconnu que toutes les eaux minérales véritablement efficaces sont radioactives.

Un auteur, il y a quelques années déjà, écrivait ceci :

« Tous les médecins ont constaté le désaccord qui
« existe le plus souvent entre l'action thérapeutique des
« eaux et ce qu'on sait de leurs principes minéralisa-
« teurs. Mais qui pourrait affirmer que la science a dit
« son dernier mot et que nous ne trouverons pas un
« jour dans les eaux minérales, cette inconnue, que ni
« la chimie, ni l'observation médicale n'ont pu encore
« isoler ? »

Cette inconnue, ce sont les émanations des corps radioactifs et principalement celle du radium.

L'émanation aura souvent un effet curatif aussi grand que les principes chimiques contenus dans l'eau thermale. Le fait est d'autant mieux prouvé que l'eau minérale, mise en bouteille et perdant au bout de quelques temps sa radioactivité, comme je l'ai dit page 68 ne présente plus les mêmes effets, quand on la consomme à Paris, que lorsqu'on la boit à la source.

On peut redonner la radioactivité aux eaux minérales. On peut aussi préparer artificiellement des eaux radioactives pour éviter aux malades un long voyage et un séjour coûteux dans une station thermale. Il y a là toute une série d'applications susceptibles de devenir une source de bénéfices pour les pharmaciens.

On introduira dans une bouteille d'eau un corps radioactif capable de donner lentement des émanations d'activité progressive. On mélangera à l'eau une solution radifère très diluée. On distillera de l'eau contenant du chlorure de radium. Enfin on placera de l'eau distillée dans une enceinte close activée par le radium.

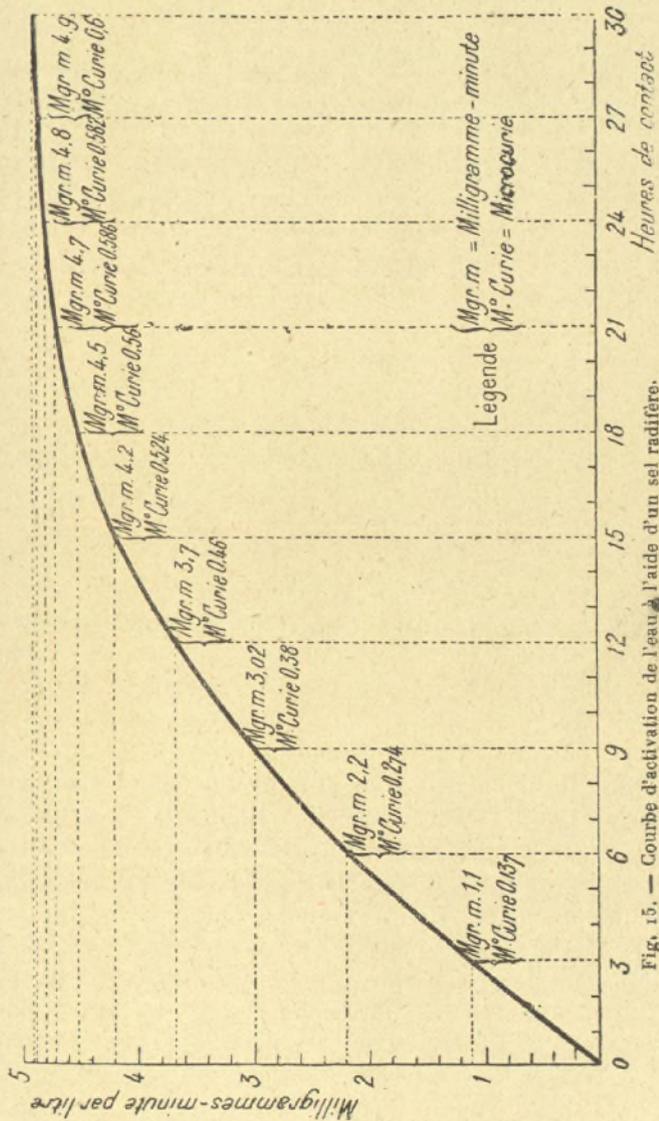


Fig. 15. — Courbe d'activation de l'eau à l'aide d'un sel radifère.

Avec un corps radioactif plongé dans l'eau distillée et dans un récipient hermétiquement fermé et stérilisé, on obtient une courbe d'activité caractéristique (fig. 15). Au bout de 23 heures l'activité limite est atteinte et l'on peut boire l'eau. On obtiendra une radioactivité comparable à celle de certaines eaux minérales, mais il faut absorber l'eau sitôt après que le récipient a été débouché, sans quoi l'émanation risque de s'échapper dans l'atmosphère.

Production d'hélium. — Parmi les eaux radioactives naturelles, quelques-unes sont spécifiques. Elles contiennent de l'hélium, et cet hélium est une transmutation du radium.

C'est tout à fait fortuitement que l'hélium a été découvert.

A l'occasion de l'éclipse de soleil du 18 août 1868, visible aux Indes, l'astronome français JANSSEN vit dans le spectroscope une magnifique raie jaune distincte de toutes celles qui avaient été observées jusqu'ici. FRANKLAND et LOCKYER supposèrent que cette lumière était émise par un corps simple nouveau, inconnu jusqu'ici, auquel ils donnèrent le nom d'hélium. Mais ce ne fut que plus tard, en 1894, que sir William RAMSAY, professeur de chimie à l'University College de Londres, traitant en collaboration avec lord RAYLEIGH un minerai d'uranium, la clévéite, trouva un gaz qui était l'hélium.

Et la raison pour laquelle RAMSAY a trouvé de l'hélium dans la clévéite, c'est que l'émanation du radium se transforme en hélium. Ceci a été confirmé en 1903 par les recherches de sir William RAMSAY et de M. SODDY.

L'émanation une fois purifiée fut scellée dans un

minuscule tube spectral, afin de pouvoir examiner convenablement le spectre des gaz. Puis le tube fut abandonné à lui-même. Au bout de trois ou quatre jours, l'émanation se désintégrant, l'hélium fit son apparition, et finalement le tube donna le spectre de l'hélium.

De son côté sir E. RUTHERFORD a conclu de ses travaux que les rayons α des corps radioactifs sont des atomes d'hélium électrisés positivement et expulsés par les atomes radioactifs au moment de leur désintégration avec une vitesse de 20.000 kilomètres par seconde. Comme l'hélium est un produit stable et qu'il ne se mélange pas, il reste tel quel dans les minerais radioactifs sans s'en échapper, tant que le minerai n'est pas chauffé ou dissous. D'où explication de la découverte de l'hélium par RAMSAY dans la clévéite.

L'hélium est un gaz et le second des gaz les plus légers que nous connaissions ; il est deux fois plus dense que l'hydrogène. Pendant longtemps il fut le seul à résister à tous les efforts tentés en vue de le liquéfier par un froid extrême et sous une haute pression. D'où l'idée que l'on a eue de l'employer pour le gonflage des ballons. Il est actuellement très recherché dans ce but.

Pourrait-il en résulter une application industrielle du radium ? Pour cela il faudrait que le radium pût produire une forte proportion d'hélium.

On a cherché à déterminer quelle est la quantité d'hélium qui peut sortir du radium. Un échantillon de 400 milligrammes de bromure de radium pur desséché a été laissé pendant trois mois dans une ampoule de verre communiquant avec un petit tube de Geissler et avec un manomètre à mercure. Il s'est produit un dégagement de gaz à raison de un centimètre cube par mois.

Il existe en France une série de sources thermales disposées sur la carte dans une direction nord-est sud-ouest et ayant des teneurs en hélium plus ou moins élevées. Ce sont de l'est à l'ouest les stations de Bussang, Luxeuil, Maizières, Santenay, Grésy, Saint-Honoré-les-Bains, Bourbon-Lancy, Decize, Pougues, Bourbon-l'Archambault, Néris et Evaux. Santenay et Maizières ont des teneurs en hélium de plus de 10 000 unités, la teneur de l'air étant prise comme unité. Toutefois l'ensemble de toutes ces stations thermales fournirait à peine 200 centimètres cubes d'hélium par an.

Au contraire les gaz naturels américains donnent un dégagement de 30 000 mètres cubes d'hélium par jour. Cet hélium est recueilli. On liquéfie tous les composants du gaz naturel, sauf l'hélium, dans des appareils analogues à ceux qui sont employés pour la liquéfaction de l'air. On obtient un produit à 95 p. 100 de pureté.

MM. MOUREU et LEPAPE ont fait à l'Académie des sciences une communication sur l'hélium des grisous et la radioactivité des houilles dont j'extraits les passages suivants :

« La mine de Frankenholz amène au jour, quotidiennement, 10 m³ d'hélium. Pour fixer les idées, nous supposerons que la quantité totale d'hélium qu'elle aura déversée dans l'atmosphère, lorsqu'elle sera épuisée, est équivalente à celle qu'elle fournirait avec le débit actuel, et le gaz ayant partout et toujours la même teneur en hélium (0,027 p. 100) pendant 20 ans, ce qui donnerait le volume de 73 000 m³. Admettons un instant, en outre, que les matières radioactives de la houille (dont nous supposons encore, pour simplifier, que la masse n'a pas diminué) sont restées constantes depuis la période carbonifère, que nous ferons remonter, pour prendre un chiffre moyen

parmi ceux qui ont été proposés, à 100 millions d'années. Connaissant les teneurs de la houille de Frankenholz en radium ($0 \text{ gr. } 04 \cdot 10^{-12}$ de radium par gramme de houille), et en thorium ($0 \text{ gr. } 03 \cdot 10^{-5}$ de thorium par gramme de houille), ainsi que les lois de production de l'hélium par le radium et le thorium, on trouve qu'il a été produit, depuis 100 millions d'années, 2 mm^3 , $2 \cdot 10^{-3}$ d'hélium par gramme de houille, et que, par conséquent, le poids de houille d'où proviendraient les $73 \text{ } 000 \text{ m}^3$ d'hélium serait de 33 milliards de tonnes (soit 22 milliards de mètres cubes); c'est environ mille fois la production annuelle de la France. Mais n'est-il pas probable que l'hélium engendré reste, en grande partie, occlus dans la houille, et qu'une fraction très petite doit seule s'en dégager; en sorte que la masse de houille qui aurait été réellement nécessaire pour que la mine puisse répandre dans l'atmosphère $73 \text{ } 000 \text{ m}^3$ d'hélium serait très supérieure à 33 milliards de tonnes (peut-être 100 fois cette quantité, peut-être beaucoup plus encore). Il semble donc, d'après ces évaluations, qu'il n'y ait qu'une très petite fraction de l'hélium des grisous qui doit être issue des matières radioactives de la houille.

« D'un autre côté, il résulte de nos recherches que l'hélium est toujours accompagné, dans les grisous, des quatre autres gaz rares: néon, argon, krypton, xénon. Or, ceux-ci ne sont certainement pas produits par la houille; ils viennent, sans doute, d'ailleurs. Et, comme nos travaux antérieurs ont prouvé que les cinq gaz rares se trouvent toujours ensemble dans les mélanges naturels, il est ainsi démontré que les matières radioactives de la houille ne sont pour rien dans la production d'une partie, au moins, de l'hélium des grisous. Nous pensons pouvoir ajouter que cette partie est de beaucoup la plus importante.

« On pourrait envisager le même problème en considérant aussi les roches encaissantes, dans la substance desquelles sont également disséminées des matières radioactives. D'après les plus récentes études, les teneurs moyennes des roches sédimentaires sont, pour le radium, 1 gr. 5 10^{-12} de radium par gramme de roche, et, pour le thorium, 1 gr. 16 10^{-5} de thorium par gramme de roche, soit environ 49 fois les teneurs en radium et en thorium des houilles. On voit donc qu'un raisonnement semblable au précédent conduirait à des chiffres du même ordre de grandeur et, par conséquent, à une conclusion analogue.

« Quoi qu'il en soit, en présence de quantités aussi considérables d'hélium, il est hors de doute qu'il n'y en a qu'une minime fraction qui soit de formation récente, de l'hélium *jeune* ; on peut dire, en toute assurance, que la presque totalité est de l'hélium ancien, de l'hélium *fossile*, et qu'une partie au moins (sans doute de beaucoup la plus importante) n'est pas issue de matières radioactives de la houille ».

Les expériences et les évaluations de MM. MOUREU et LEPAPE sont des plus intéressantes et méritaient d'être signalées *in extenso*.

Rien ne dit qu'un jour on ne puisse pas trouver dans la fabrication de l'hélium un débouché industriel pour le radium.

Le radium, agent de force motrice. — Rien n'a encore été fait au point de vue pratique, mais des idées ont été émises.

M. C.E.S. PHILLIPS, physicien américain distingué, a imaginé un petit moteur qui est actionné par le radium.

M. PHILLIPS s'est basé, pour faire du radium une

force motrice utilisable, sur la propriété qu'ont les solutions de ce corps de décomposer l'eau en formant un mélange détonant constitué par de l'oxygène et de l'hydrogène.

M. GOUY, professeur à la Faculté des Sciences de Lyon, reconnaît au radium une énergie potentielle considérable. Il écrit à ce propos :

« Le jour où nous connaissons les circonstances dans lesquelles s'opère la destruction du radium, où nous pourrons à notre gré l'activer ou l'arrêter, ce jour-là nous aurons dans le radium et dans les corps analogues, l'uranium, le polonium, l'actinium, le thorium, (il en existe même dans l'air que nous respirons), le plus violent explosif qui ait jamais existé. Un gramme se détruisant instantanément réduira en miette maisons et monuments par la violence de son explosion ».

Un jour viendra sans doute où l'on pourra domestiquer et utiliser la force du radium.

En attendant, on a imaginé un petit appareil qui réalise jusqu'à un certain point le mouvement perpétuel, si recherché depuis longtemps déjà.

L'appareil (fig. 16) est dû à M. STRUTT.

Une petite ampoule en verre R contenant du radium est suspendue à une tige de quartz Q à l'intérieur d'un réservoir en verre. Deux feuilles d'or très minces forment sous l'ampoule un électroscope. Ces feuilles, en s'écartant, viennent toucher deux lames métalliques mises en communication permanente avec la terre. Le vide le plus parfait a été opéré dans le réservoir de verre.

Le fonctionnement de l'appareil est le suivant.

La charge d'électricité positive de l'ampoule de radium se communique aux feuilles d'or *mm'*, qui s'écartent progressivement. Ces feuilles arrivent à toucher les lames

métalliques a' . La charge s'écoule au sol. Les feuilles retombent pour reprendre bientôt une nouvelle charge. Si l'ampoule contient une grande quantité de bromure de radium, les charges et décharges se succèdent à des intervalles de temps très courts.

Tout ceci, ce ne sont que des idées d'où sortiront peut-

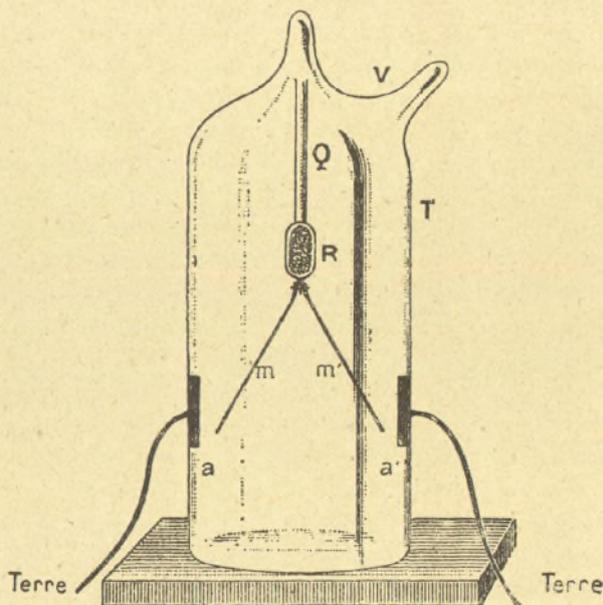


Fig. 16. — Appareil Strutt.

être un jour des applications industrielles. Au point de vue théorique les données à appliquer en pratique sont les suivantes.

La quantité de chaleur dégagée par un gramme de radium est de 137 calories 7 par heure. Après dissolution dans l'eau, c'est-à-dire après perte de l'émanation

le radium ne dégage plus que 33 calories par heure, tandis que l'émanation produit 100 calories par heure. Si l'on obtenait un jour de grandes quantités d'émanation, par exemple un demi-litre de gaz, on réaliserait une énergie de rayonnement égale à celle d'une centaine de puissantes lampes à gaz et l'on fondrait ou réduirait en vapeur toute matière connue.

Application industrielle. — La seule application industrielle du radium consiste dans la désélectrisation de produits industriels textiles.

L'électrisation se manifeste pendant la fabrication des produits textiles non seulement sur les fibres textiles, mais encore sur certains organes des machines. Pour combattre cette électrisation, on a eu recours à plusieurs procédés. L'un d'eux est basé sur la propriété qu'a le radium d'absorber l'électricité. Il a été essayé dans une filature de schappe (bourre de soie).

On plonge la matière dans une solution radioactive. Le bain étant donné avant le peignage produit son effet pendant toute la durée de la fabrication, quelle que soit la durée des opérations. En outre les propriétés de la matière n'ont été nullement altérées, car la teinture se fait dans d'aussi bonnes conditions.

D'autre part, on soumet à une préparation radioactive la matière composant les cylindres de pression. Il ne s'agit plus d'enduits qui agissent superficiellement. La masse entière est transformée, mais conserve quand même son élasticité. Les cylindres peuvent être tournés sans perdre la propriété de ne pas s'électriser, soit qu'ils soient en caoutchouc, comme pour la schappe, soit en cuir pour les autres textiles.

On peut aussi employer des écrans radioactifs sur les-

quels passent les fibres textiles ou encore on insuffle, au point précis où l'électrisation se produit, une certaine quantité d'émanation sortant d'un barboteur où se trouve du bromure de radium.

Ces procédés permettent de réaliser une bonne marche dans les ateliers de textiles. La matière n'a plus tendance à coller aux cylindres de pression ni aux autres organes de machine. Il y a par suite suppression des déchets provenant des accrochages dus à l'électrisation, une régularité plus grande de la matière fabriquée, une réduction des arrêts et par suite une augmentation de la production.

CHAPITRE IX

FORMES DE VENTE DU RADIUM

Premiers appareils médicaux. — Appareils à sels collés. — Appareils de forme spéciale. — Tubes en platine. — Aiguilles. — Appareils d'émanation. — Eaux radifères. — Tubes de verre. — Pots de boues radioactives. — Engrais. — Tubes de sulfure de zinc radifère.

A l'heure actuelle, le radium se vend :

1° Aux médecins pour les applications en thérapeutique humaine, soit sous forme de sels de radium, soit à l'état de boues radioactives ;

2° Aux agriculteurs pour l'amélioration de leurs cultures ;

3° Aux commerçants ou aux industriels pour des applications lumineuses.

J'examinerai rapidement dans ce chapitre les diverses formes que revêtent les appareils contenant des sels de radium pour répondre à ces emplois.

Premiers appareils médicaux. — Les premiers appareils médicaux étaient à faible activité. On n'osait au début manier que des poids peu élevés de sels de radium.

Les toiles radifères contiennent une certaine quantité de sels de radium insolubles fixés au moyen d'un vernis

spécial absorbant peu le rayonnement. Elles laissent ainsi passer une quantité considérable de rayons α .

Ces toiles conservent la souplesse des tissus ordinaires, à moins qu'elles n'enroben du radium de très haute activité. Elles sont peu épaisses de sorte qu'on peut les appliquer dans des régions où des appareils à grande épaisseur ne pourraient pas être utilisés. Elles peuvent épouser dans une application toutes les convexités et toutes les concavités de l'organe traité. Enfin elles se conservent indéfiniment et peuvent être lavées dans les antiseptiques couramment employés en médecine.

Les toiles radifères ont l'avantage de pouvoir faire agir sur de grandes surfaces des doses faibles de radium. Toutefois elles ne sont plus de vente courante à l'heure actuelle.

Appareils à sels collés. — Les appareils à sels collés ont, comme les toiles radifères, un certain caractère de vétusté, tout au moins comme appareils à vernis. Les appareils émaillés sont plus récents et encore employés.

L'appareil à sels collés se compose de deux parties : une armature métallique et le vernis radifère qui enrobe le sel de radium inclus dans l'armature métallique.

L'armature métallique (cuivre, laiton, nickel) a une épaisseur suffisante pour donner de la rigidité à l'appareil. La surface intérieure, au lieu d'être plane, peut être hérissée d'aspérités qui agrippent le vernis. Une toile sera fixée aussi sur cette surface de manière à enrober le vernis. Dans ces appareils il faut toujours craindre une perte de produit radioactif, surtout au bout d'un certain temps et prendre toutes dispositions pour diminuer cette perte.

La forme des appareils est très variable.

Un appareil assez ancien est l'appareil rond (fig. 17). Il a l'avantage de permettre de transporter sans danger le radium.

Le sel de radium se colle sur la face inférieure de la pièce supérieure de l'appareil.

Cette pièce supérieure *b* se visse sur la pièce inférieure *c* qui est percée de trous pour laisser passer le rayonne-

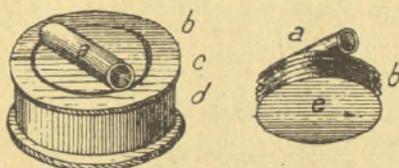


Fig. 17. — Appareil rond à sels collés.

ment du radium. De plus il y a un couvercle protecteur du rayonnement pendant le transport.

Pour faire une application on dévisse le couvercle et on place la face de la pièce percée de trous sur la partie malade.

Lorsque la pièce supérieure est vissée à fond sur la pièce inférieure, le sel de radium se trouve à environ 1 mm. 5 du point d'application. En dévissant plus ou moins la pièce supérieure, on peut l'éloigner, si on le juge nécessaire.

En dévissant complètement la pièce supérieure, elle se trouve indépendante de la pièce inférieure ; on peut alors l'appliquer soit directement soit en interposant un linge, une feuille de papier, ou un écran plus ou moins perméable.

Un tube *a* placé sur la pièce supérieure de l'appareil sert :

- 1° A visser et dévisser la pièce supérieure ;
- 2° A faire les applications avec la main ;
- 3° A recevoir un manche, que l'on tient dans la main pour opérer les applications ;
- 4° A recevoir un cordon qui sert à le fixer à demeure sur la partie à traiter.

Cet appareil a été fait en quatre dimensions, 10 millimètres, 15 millimètres, 20 millimètres et 25 millimètres.

Un autre appareil (fig. 18) consiste en une plaquette carrée en métal montée sur un manche en bois de lon-



Fig. 18. — Appareil avec manche.

gueur variable. Une articulation permet d'orienter la plaquette dans toutes les directions. Sur cette plaquette on mettra un centigramme de sel de radium par surface de 1 centimètre carré. Le sel employé est du bromure transformé en sulfate.

On a vendu également des appareils carrés et rectangulaires (fig. 19) munis ou non d'un manche en bois (fig. 20). Les dimensions sont 2 centimètres, 3 centimètres et 4 centimètres de côté pour les appareils carrés, 2 centimètres sur 3 centimètres, 3 centimètres sur 4 centimètres pour les appareils rectangulaires. Si les appareils sont très petits, leur rayonnement est trop faible. S'ils sont de grande dimension, ils deviennent difficiles à manier et à fixer sur la partie malade.

Sur tous ces appareils on fixe un vernis ayant des caractéristiques

tères spéciaux de perméabilité, de solidité et de résistance. Ce vernis, élevé à une haute température, est suffi-

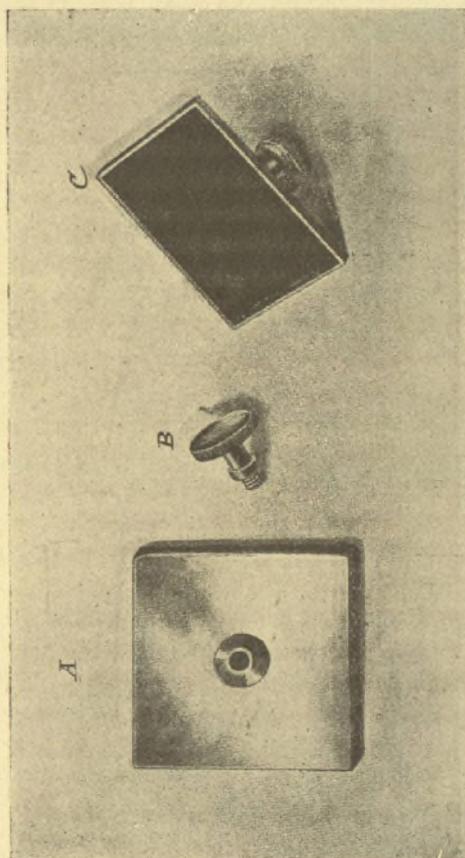


Fig. 19. — Appareil carré à sels collés.

samment mou pour pouvoir être coulé sur le métal. On incorpore au vernis fluide la quantité voulue de sel de

radium et on place le tout en couche mince sur l'appareil, de manière que la répartition du produit soit bien uniforme. On met en général 1 centigramme de sel par cm^2 de surface. Le vernis est ensuite séché et résinifié.

Après refroidissement le vernis est parfaitement dur. Il offre une surface lisse, légèrement luisante et de couleur brunâtre. Ce vernis résiste bien à l'eau bouillante et aux variations de température jusqu'à 150 degrés, de sorte qu'on peut après chaque application aseptiser les appareils à l'autoclave.

Les appareils à vernis résistent bien à froid ou à chaud dans les liquides suivants : eau, permanganate de potassium à 1 p. 100, eau oxygénée à 12 volumes, bisulfite de sodium à 1 p. 100, glycérine, vaseline, bichlorure de mercure à 1 p. 100. Il ne faut jamais les mettre dans l'alcool.

Quand on les chauffe à l'autoclave, il faut les maintenir horizontaux. Le chauffage ne doit pas être prolongé plus de 20 minutes. Puis on les laisse refroidir pendant 15 minutes sans jamais toucher au vernis.

Malgré tout il y a des pertes. On ne craint pas autant ces pertes avec l'émail. On emploie un émail fusible à haute température dans lequel on incorpore le sel de radium. Les appareils ainsi fabriqués sont plus robustes. Ils pourront être flambés pour être stérilisés. On les plongera sans crainte dans des solutions antiseptiques et dans l'alcool.

Appareils de forme spéciale. — La forme des appareils à sel collés qui vient d'être décrite ne convient pas, quand il faut atteindre certaines cavités du corps humain. On a imaginé des appareils concaves pour application sur les paupières et des appareils convexes pour les

régions nasojugales. On a réalisé des appareils cylindriques ou sphériques pour des applications dans le

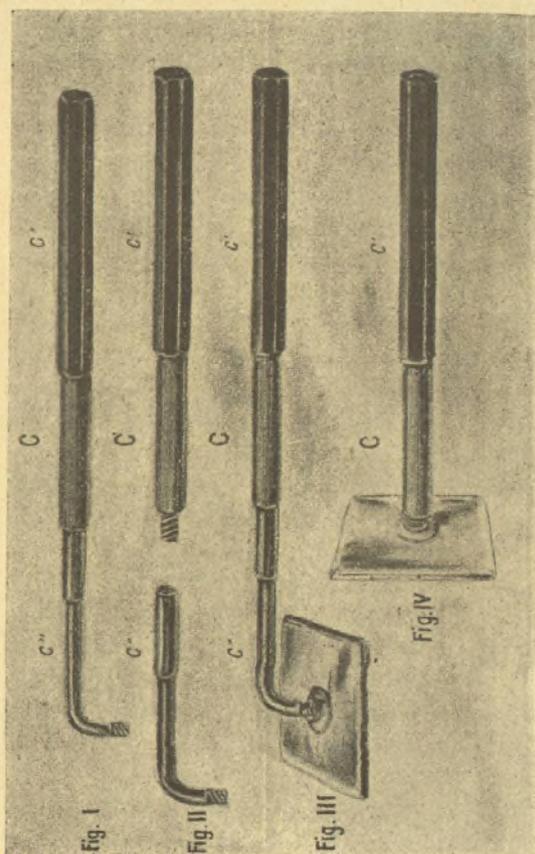


Fig. 20. — Appareils carrés à sels collés avec leurs manches.

conduit auriculaire, dans l'urètre, dans l'anus, dans l'utérus et pour des kystes à atteindre dans des culs-de-sac. En ophtalmologie il faut avoir des appareils lamel-

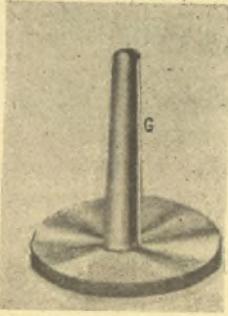


Fig. IV

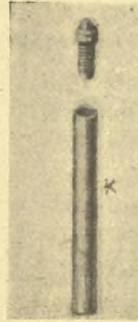


Fig. V

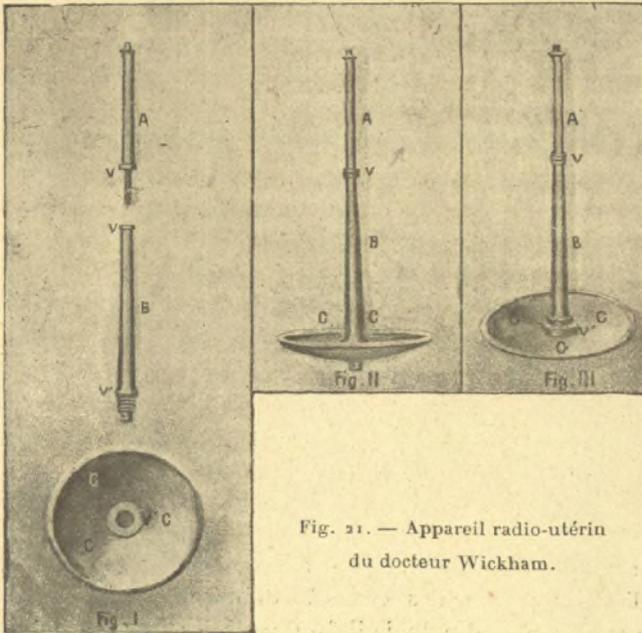


Fig. 21. — Appareil radio-utérin
du docteur Wickham.

laïres à lame très mince qu'on pourra glisser entre le globe oculaire et entre la paupière.

Le docteur WICKHAM a imaginé un appareil radio-utérin. Cet appareil (fig. 21) a la forme d'un champignon ou d'un clou à large tête. Il est formé de trois parties vissées, deux qui forment la tige et le cylindre, la troisième qui constitue la tête ou le disque.

Du vernis radifère comble les dépressions des tiges A et B, et est déposé dans une cupule C tout en respectant la concavité de cette cupule, c'est-à-dire sans remplir cette concavité. Sur les parties plates de la cupule il n'y a pas non plus de vernis, ce qui permet de dévisser sans toucher au vernis.

Un écran G de plomb ou d'argent s'emboîte sur la tige et sur la cupule. Un autre écran tube K protège la tige entière ou une des parties de cette tige.

Je citerai également comme appareil spécial la sonde à radium imaginée par M. ARMET DE LISLE.

L'appareil (fig. 22) permet de faire agir le rayonnement du radium dans les cavités du corps humain ; il est constitué par une sonde ordinaire dont l'extrémité inférieure porte une fenêtre latérale, derrière laquelle on vient placer un sel de radium R collé sur une plaquette métallique. La plaquette peut glisser à l'intérieur de la sonde et est guidée par un fil d'acier *f* qui permet de lui don-

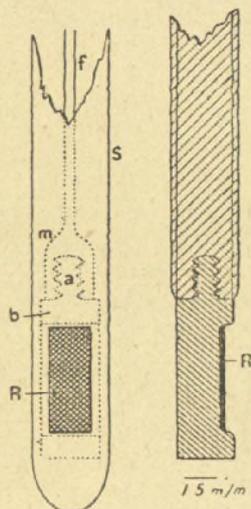


Fig. 22. — Sonde à radium.



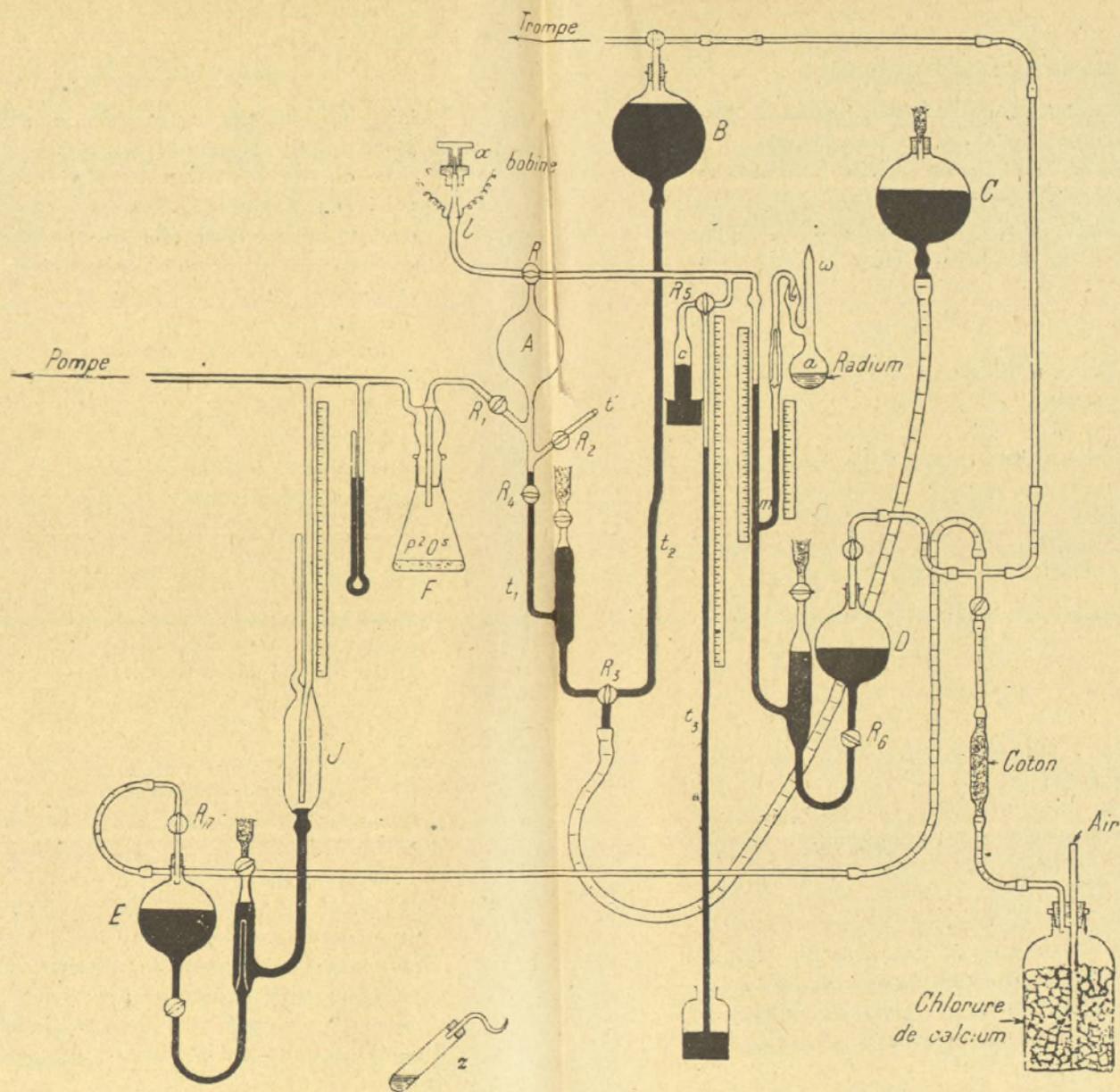


Fig. 24. — Appareil à émanation du laboratoire de Gif.

ner l'orientation désirée. L'appareil peut également être utilisé dans le traitement d'affections superficielles.

Pour le transport, la plaquette se visse à l'intérieur d'une boîte en cuivre épais.

Actuellement tous ces appareils sont plutôt désuets et de vente peu courante. Ils ont été remplacés avec avantage par les tubes en platine ou mieux par les aiguilles.

Tubes en platine. — Au début on introduisait des tubes en verre scellé contenant le sel de radium dans des tubes en or ou en argent. Aujourd'hui et depuis longtemps déjà on verse le sel à même dans le tube de métal. Ce sel doit être très concentré, vu les faibles dimensions des tubes.

Les tubes, qu'ils soient en or, en argent, actuellement en platine iridié, ont 5 dixièmes de millimètre d'épaisseur, un diamètre de 2 millimètres et une longueur variable suivant la quantité de radium qu'ils contiennent mais ne dépassant pas 2 à 3 centimètres, même pour les quantités de 50 milligrammes de radium élément. Le platine a été spécialement choisi comme métal, parce qu'il n'est pas détérioré par le bombardement du radium, comme l'aluminium ou même l'argent.

Le sel de radium introduit dans le tube est le sulfate. Ce sel étant très fixe et insoluble, on aura moins à craindre les pertes au cas où une fissure viendrait à se produire dans le métal.

Au moment de la fabrication et sitôt après la soudure du tube, il est bon de s'assurer qu'il n'y a aucune fuite. Pour cela on scelle le tube dans un tube en verre. Après un jour ou deux, on ouvre le tube de verre et l'on aspire l'air qu'il contenait dans un appareil de déperdition à

cylindre (voir page 98). S'il y a une fuite dans le tube de métal, une certaine quantité d'émanation se sera répan-

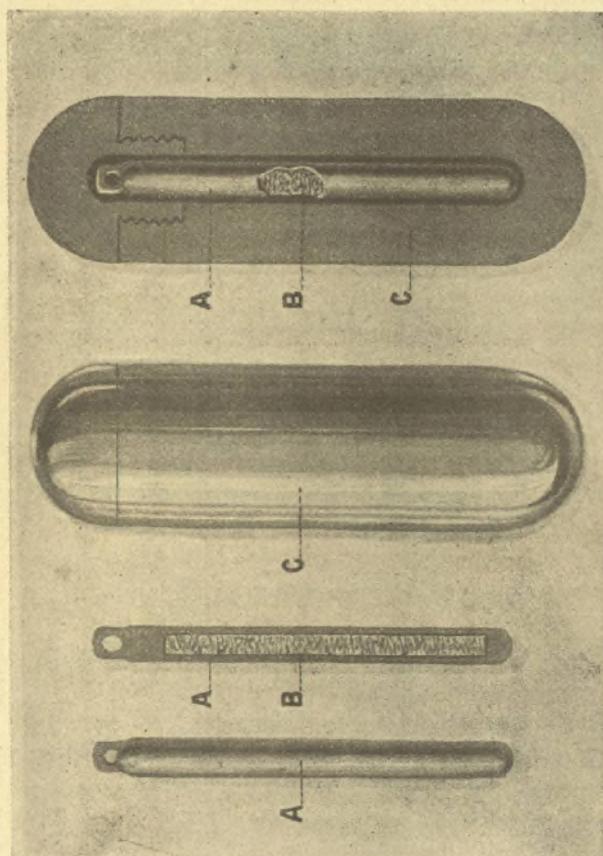


Fig. 23. — Tubes de platine avec leur étui.

due dans le tube en verre et l'électroscope signalera la présence de cette émanation.

L'extrémité des tubes (fig. 23) est munie d'un petit œillet

où l'on passera un fil d'argent permettant de retenir le tube et de le retirer après l'avoir introduit dans une cavité quelconque de l'organisme. Avant de mettre le tube dans cette cavité, on le placera dans un drain de caoutchouc qu'on ferme à ses deux extrémités, et l'ensemble pourra être à son tour entouré d'un manchon de gaze plus ou moins serré au moyen d'un cordonnet de lin ou de soie.

Dans certaines applications, on augmentera l'intensité des rayons γ ultra-pénétrants en enfermant le tube de platine dans un étui d'argent, de plomb ou de métal, d'épaisseur variable. Cet étui rendra également moins dangereux qu'à l'état nu le transport du tube de radium.

Pour les applications superficielles on peut constituer des appareils carrés ou rectangulaires analogues aux appareils à sels collés.

On accolera à l'intérieur d'une boîte carrée ou rectangulaire plusieurs tubes de platine de manière à donner un rayonnement faible et propre à la guérison d'une tumeur. Dans ce cas, pour qu'il y ait homogénéité de rayonnement, il faut que les tubes soient exactement remplis de sels de radium et non pas chargés à moitié.

Aiguilles. — Les aiguilles sont des tubes de très faible diamètre et contenant par suite une petite quantité de sels de radium. Ces aiguilles peuvent agir par la méthode du *feu croisé* du docteur WICKHAM. Elles sont fabriquées de telle sorte qu'on puisse les introduire dans une tumeur en nombre plus ou moins grand suivant l'étendue et la profondeur de la tumeur, leurs pointes étant convergentes.

Les dimensions de ces aiguilles sont de 25 à 30 millimètres pour la longueur, de 2 à 3 millimètres comme diamètre extérieur. Elles se terminent en pointe de ma-

nière à pouvoir être introduites aisément dans les tissus.

Elles contiennent en général six milligrammes de bromure de radium transformé en sulfate. Le produit occlus est le même que celui qui est introduit dans les tubes de platine précédemment décrits.

Mais la concentration du sel de radium doit être plus considérable pour permettre de renfermer dans un très petit espace un poids important de substance radioactive. Cette concentration est le plus souvent de 80 à 90 p. 100.

Appareils d'émanation. — Ces appareils comprennent le producteur d'émanation et les récepteurs où est recueillie l'émanation.

Pour produire l'émanation de radium, on se sert d'ap-

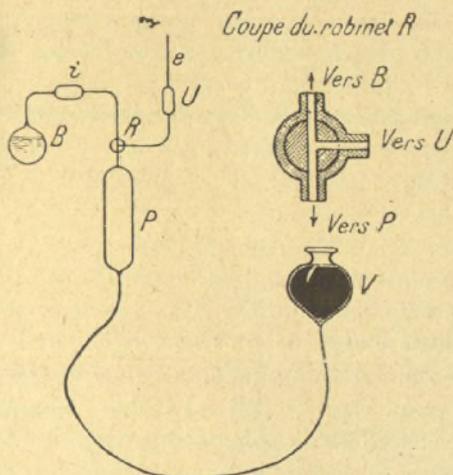


Fig. 25. — Schéma d'un appareil à émanation.

pareils assez divers mais qui présentent tous le dispositif essentiel suivant (fig. 25) :

Un petit ballon B contient une solution aqueuse d'une quantité déterminée d'un sel soluble de radium. Ce ballon est relié d'une part à une pompe capable de faire un très bon vide, d'autre part à un ajutage pouvant recevoir les appareils que l'on veut remplir d'émanation. Un robinet à 3 voies R permet de communiquer soit avec le ballon B soit avec le récipient U, soit avec la pompe P.

La pompe est une pompe à mercure qui permet de faire le vide dans le ballon. Le vide une fois fait, l'émanation diffuse.

Le volume occupé par l'émanation représentant d'assez grandes quantités d'énergie est minime. Mais, sous l'influence du rayonnement du radium et de ses dérivés, contenus dans le ballon, l'eau de la solution est décomposée et des quantités relativement importantes de gaz sont dégagées augmentant considérablement le volume de gaz qui correspond à une quantité donnée d'énergie.

Le laboratoire de Gif possède un appareil au moyen duquel l'on peut, sans recourir à l'air liquide, emmagasiner dans un volume infime des quantités considérables d'émanation.

Le principe de l'appareil (fig. 24) est basé sur ce fait que le gaz émanation contient toujours un excès d'hydrogène atteignant 10 p. 100. En introduisant une certaine quantité d'oxygène on transforme l'hydrogène en eau et l'on obtient comme résidu de l'émanation pratiquement pure. C'est ce qui est réalisé dans l'appareil à Gif au Laboratoire d'essais de substances radioactives.

L'émanation s'accumule dans une ampoule *a*. Elle est arrêtée par un tube manométrique *m*. La cloche *c* et le tube *t₃* sont primitivement remplis de mercure. Par aspiration on introduit dans la cloche *c* de l'oxygène produit avec de l'oxyde de mercure rouge.

Pour faire une prise d'émanation, on visse en α l'appareil à remplir, le mercure du système AB étant dans la position indiquée sur la figure. On fait le vide dans l'appareil et dans le ballon A, l'air extrait étant desséché sur de l'anhydride phosphorique contenu dans un flacon F.

On suit la diminution de pression au moyen du manomètre ; puis, lorsque ce dernier ne donne plus de renseignements suffisants, on utilise la jauge de Macleod J. Le mouvement du mercure dans la jauge se fait par extraction ou admission d'air dans le ballon E qui se trouve en relation par l'intermédiaire du robinet R, avec une trompe à eau ordinaire.

Le vide doit être aussi parfait que possible et inférieur à $\frac{1}{1000}$ de millimètre de mercure.

Quand le vide est suffisant, on ferme le robinet R₁, on fait descendre le mercure du manomètre *m* en faisant le vide à la trompe sur le ballon D et en ouvrant progressivement le robinet R₆. Puis on ferme le robinet R₆. On tourne alors le robinet R de façon à introduire dans le ballon A l'émanation accumulée, après quoi le robinet est remis dans la position primitive, le mercure étant de nouveau réintroduit dans le manomètre *m*. On fait écouler le mercure contenu dans B dans le ballon A.

Ce piston de mercure refoule l'émanation vers l'éclateur *e*. Quand il se trouve à un ou deux centimètres de la base de l'éclateur, on fait passer l'étincelle pendant quelques instants. L'oxygène se combine à l'hydrogène présent. On laisse alors de nouveau monter le mercure en ayant soin d'attendre que l'éclateur soit bien froid pour le cas où le passage de la décharge l'aurait légèrement chauffé. Quand le mercure a atteint la limite

inférieure de l'ampoule ou de l'appareil à charger, on ferme le robinet R et on sépare l'ampoule par un léger dard de chalumeau, si elle est en verre ou en fermant au préalable le pointeau de l'appareil, si c'est un appareil à pointeau métallique.

Pour remettre l'appareil dans son état primitif, on fait le vide à la trompe dans l'ampoule B. On met l'extrémité maintenant ouverte du support *s* en communication par un tube de caoutchouc avec l'atmosphère en ayant soin de sécher l'air au chlorure de calcium et de le

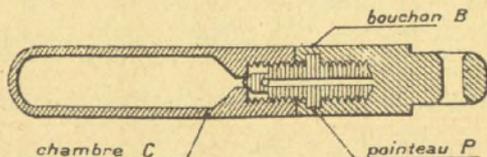


Fig. 26. — Tube droit à émanation.

filtrer sur du coton. Ce tube restera d'ailleurs en position jusqu'à la prochaine prise.

Quand le vide est suffisant en B, on met le robinet R dans sa position primitive, puis on ouvre lentement le robinet R_3 ; le mercure monte en B. Quand il a atteint un niveau inférieur à la position de l'ajutage du robinet R_2 on ferme le robinet R_3 et on établit la pression atmosphérique en B. L'appareil est de nouveau prêt pour une nouvelle prise.

Les appareils récepteurs de l'émanation seront des tubes en verre ou bien des appareils carrés, des tubes métalliques, une sonde urétrale, tous appareils analogues à ceux qui sont couramment employés avec une charge de sulfate de radium.

Les appareils (fig. 26, 27 et 28) ne se différencient que

par la présence d'un robinet à pointeau permettant d'introduire l'émanation. On fait des tubes droits (fig. 26), des tubes cintrés avec manche (fig. 27) et des appareils

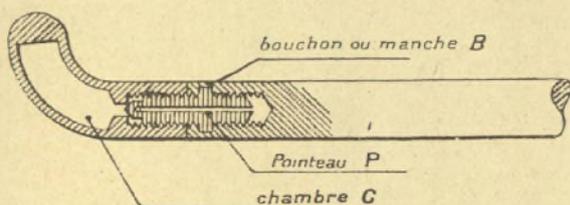


Fig. 27. — Tube coudé à émanation.

plats (fig. 28). Dans ces appareils il faut soigner tout particulièrement l'étanchéité des vis de manière à éviter toute fuite de gaz émanation. On obtient cette étanchéité par l'emploi de paraffine fondue.

En dehors des fuites, l'émanation se perd par destruc-

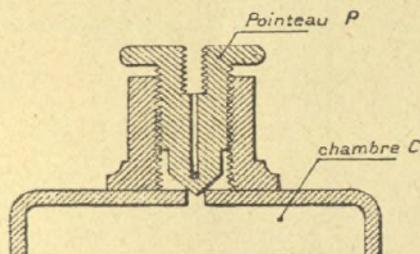


Fig. 28. — Appareil plat à émanation.

tion. Dans tous ces appareils, alors que l'équilibre radioactif met trois heures à s'établir, c'est-à-dire un temps beaucoup plus court que dans le cas de tubes chargés de sels de radium, l'émanation sera réduite de la moitié de sa valeur au bout de quatre jours et finira par disparaître complètement. Les tubes à émanation n'ont pas la durée

indéfinie des tubes à sels de radium, ce qui, au point de vue commercial, est beaucoup plus intéressant.

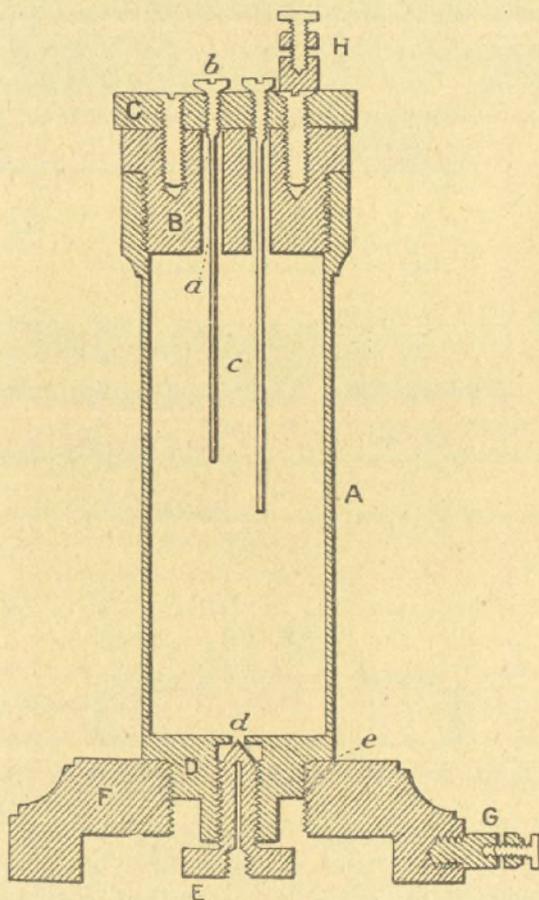


Fig. 29. — Appareil pour l'activation d'aiguilles métalliques.

On emploie aussi les aiguilles. Alors que celles-ci reçoivent le plus souvent une dose assez faible de sel de

radium vu leur grandeur, elles peuvent contenir une grande quantité d'émanation, puisque l'émanation en équilibre avec deux grammes de bromure de radium occupe un volume inférieur à un millimètre cube à la pression atmosphérique.

Les aiguilles peuvent aussi être simplement activées et portées à un potentiel électrique négatif. Tel est le cas pour des aiguilles extrêmement fines. A cet effet on emploie l'appareil suivant (fig. 29).

Un pointeau F se visse sur l'appareil producteur d'émanation. Des aiguilles métalliques sont fixées sur des vis *h* et reliées électriquement à une armature C dont la borne H est en contact avec le pôle négatif d'une batterie électrique. Cette armature est isolée du reste de l'appareil par un bouchon B en ébonite.

La durée d'exposition des aiguilles est variable suivant la quantité de dépôt actif qu'on veut obtenir sur ces aiguilles par la destruction de l'émanation. Quand on retire de l'appareil les aiguilles après activation, il faut le faire avec beaucoup de soin pour ne pas enlever le dépôt actif. Les aiguilles doivent être activées à proximité de leur lieu d'application.

On peut enfin opérer le moulage des lésions qu'il faut soigner et remplir d'émanation. On obtient ainsi une répartition du rayonnement absolu uniforme. L'application est meilleure qu'avec un appareil chargé de radium ou d'émanation. On interpose, s'il est nécessaire, des plaques peu épaisses en argent de manière à ne laisser agir que les rayons ultra-pénétrants γ .

Eaux radifères. — Les eaux radifères se vendent dans des tubes en verre scellés. Les tubes contiendront soit l'activité demandée, soit une activité supérieure.

Si l'activité doit être très faible, on a intérêt à laisser opérer par le médecin les mélanges qui lui permettront d'abaisser la teneur en radium. Il suffira de mélanger à un litre d'eau distillée une fraction déterminée de la solution radifère. Les mesures se font en microcuries (voir la définition de ce terme à la fin du volume).

Tubes de verre. — S'il s'agit de sels de radium d'une faible activité, la vente pourra s'en faire comme pour les eaux radifères dans des tubes scellés en verre.

Les tubes de verre serviront aussi pour des échanges de sels de radium, avant que ces sels ne soient inclus dans les appareils médicaux cités plus haut. A l'usine, à la fin d'un fractionnement, il est rare qu'on ait recueilli 10 milligrammes de bromure de radium, ou un multiple de 10 milligrammes, quantité qui est demandée par les médecins. Il faut donc mélanger la contenance de plusieurs tubes de verre pour confectionner un tube métallique d'un poids de radium déterminé. On doit ouvrir les tubes de verre pour inclure leur contenu dans un appareil thérapeutique.

En Amérique les producteurs aiment mieux faire des tubes de verre plutôt que de constituer des tubes de platine. Force sera encore d'ouvrir ces tubes de verre pour remplir les appareils de thérapeutique. Il faut le faire avec la plus grande précaution et la plus extrême prudence, en raison d'explosions qui se produisent et qui projettent une certaine quantité de sel. Les pertes sont d'autant plus grandes que le radium est inclus depuis plus longtemps dans le tube de verre. Si le tube est de fabrication très ancienne, mieux vaut le dissoudre chimiquement et refaire au laboratoire un fractionnement.

Pots de boues radioactives. — Les boues radioactives se vendent en pots de porcelaine. Ces pots doivent être hermétiquement fermés, de manière à éviter que la boue ne se sèche.

Si la fabrication des pots remonte à un certain temps, il est bon de les rouvrir avant de procéder à leur livraison et, si la boue est reconnue par trop sèche, on l'humidifie avec de l'eau glycinée. Il ne faut pas exagérer. Les boues ne doivent pas être vendues avec plus de 50 p. 100 d'eau.

Le pot de 1 kilogramme se vend 15 francs.

Ces pots de porcelaine conviennent pour des quantités de 5 à 10 kilogrammes maximum. Si l'on vend dans un seul récipient 50 kilogrammes et plus, il vaut mieux employer des tonneaux et non plus des pots qui risqueraient d'être cassés dans les manipulations de transport.

La boue radioactive sera vendue par grandes quantités et à l'état brut à raison de 4 à 6 francs le kilogramme, l'acheteur devant alors la malaxer à nouveau avec de l'eau chargée de glycérine.

Engrais. — Comme engrais on vendra à l'agriculture soit un produit radioactif stimulant, soit un engrais complet.

L'un et l'autre de ces produits s'expédient par sacs en jute capables de contenir 50 kilogrammes. Toutefois, pour le produit radioactif, on fait des sacs de 25 kilogrammes.

Le prix du produit radioactif est à l'heure actuelle de

80	francs	les	100	kilogrammes
50	—	les	15	—
25	—	les	25	—

Les engrais complets se vendent en ce moment depuis

36 francs jusqu'à 58 francs les 100 kilogrammes, suivant qualité.

La manutention et le transport des engrais radioactifs sont exactement les mêmes que pour les engrais ordinaires.

Tubes de sulfure de zinc radifères. — Qu'il s'agisse du sulfure de zinc phosphorescent ou du sulfure de zinc radifère lumineux d'une manière permanente, la vente s'opère dans des tubes de verre. Les tubes sont plus grands pour le sulfure phosphorescent que pour le sulfure lumineux. Les premiers sont fermés par un simple bouchon. Les seconds sont complètement scellés.

En mélangeant le sulfure de zinc à un agglomérant, on fera des comprimés ayant la forme de petites pastilles. Ces comprimés sont surtout pratiques pour les sels lumineux. On peut les coller et les fixer très aisément sur les points qu'on cherche à rendre visibles dans l'obscurité.

Le prix du sulfure de zinc phosphorescent est de 1 franc le gramme, quand il est pris par petites quantités. Par grandes quantités le prix descendra à soixante centimes.

Le prix du gramme de sulfure de zinc radifère est augmenté de la quantité de radium introduite, le prix du radium étant compté sur la base de 120 dollars (base 1920) le milligramme de radium élément. A l'heure actuelle le gramme de sulfure de zinc lumineux mélangé à un quart de milligramme de bromure de radium revient à 175 francs.

CHAPITRE X

EVOLUTION DE LA SCIENCE AVEC LE RADIUM

Radioactivité. — Energie. — Energie du radium. — Hypothèses sur l'énergie du radium. — Le radium agent catalyseur. — Evolution du radium. — Transformation atomique. — Transmutation. — Nouvelle théorie atomique résultant de la désintégration atomique.

On a vu précédemment ce qu'était le radium et ce qu'on pouvait attendre de ses applications en médecine, en agriculture et peut-être en industrie. Il reste à donner quelques indications sommaires sur la révolution qu'a amené dans la science la découverte du nouveau et mystérieux métal.

Ce sera l'objet de ce dernier chapitre.

Radioactivité — La radioactivité est une science nouvelle qui s'écarte des lois précédemment connues en physique et en chimie.

En étudiant de près cette science, on s'aperçoit bien vite combien étaient superficielles nos connaissances d'antan sur la matière. Par sa découverte, le radium nous a montré quels effets considérables et insoupçonnés pouvait avoir cette matière.

C'est ainsi que les substances radioactives sont perpétuellement le siège, sans être stimulées et surtout *sans s'épuiser*, d'une continuelle manifestation d'énergie. Ce

fut une découverte qui étonna fortement les physiciens. C'est surtout une découverte qui a démontré que notre connaissance des lois de la nature est loin d'être parfaite et complète.

Comment concilier de tels phénomènes avec l'ancienne hypothèse de l'indestructibilité de la matière et de l'énergie ? Avec la radioactivité il est évident qu'il y a désorganisation de la matière, désorganisation s'opérant d'une façon rapide et spontanée. Les atomes qui forment les substances sont animés de mouvements giratoires avec attractions et répulsions. Le mouvement est si rapide qu'on a pu croire à la stabilité de la matière comme à celle d'une toupie en état de rotation. A un moment donné il y aura rupture d'équilibre dans la rotation des atomes et production d'énergie. Il y aura ainsi désagrégation de la matière. Cette désagrégation est si lente qu'elle a pu échapper à l'investigation des anciens savants.

Quoi qu'il en soit les principes qui existent à la base de la physique et de la chimie, ne sont pas sapés par les propriétés radioactives de la matière. Bien plus, on finit bientôt par reconnaître que la science nouvelle de la radioactivité peut s'harmoniser avec les anciennes vues de la chimie sur les atomes et les éléments. C'est une science qui permet de rechercher les causes là où uniquement le savant se contentait d'observer les effets.

En étudiant de plus près la radioactivité qui nous apprend avant tout qu'il y a, emprisonnées dans la matière ordinaire, de vastes réserves d'énergie, on abordera d'une manière plus concrète le problème de la vie humaine. Et ces réserves d'énergie, nous aurons tendance, quand nous les connaissons mieux, à les employer pour les besoins de la vie. Là est l'avenir et un nouvel avenir.

Avenir d'autant plus plein de promesses que la radioactivité est le seul des phénomènes de la matière que nous ne pouvons ni arrêter ni influencer. Un atome d'uranium, et c'est de beaucoup le plus lourd des atomes connus, est toujours radioactif. Quels que soient les efforts faits, on n'a pas pu supprimer cette radioactivité. Il y a une source constante d'énergie.

Energie. — L'énergie se dépense. En brûlant du charbon, nous dissipons follement un héritage d'énergie accumulé par le soleil dans les combustibles durant les longs âges du passé.

Dans le tramway électrique nous payons la valeur de l'énergie qui se dépense pour ne pas être récupérée. Dans la nature rien ne marche par soi-même. Il faudra créer de l'énergie en l'achetant. Il n'en va plus de même avec le radium et avec les substances radioactives.

La doctrine de l'énergie, qui est à la base de toute l'industrie moderne, a été définie par TAIT il y a quelques années déjà.

La première loi, dite de la conservation de l'énergie, affirme que l'énergie est une entité, qui possède, non moins que la matière, une existence réelle et qu'on ne peut, pas plus que la matière, créer ou détruire.

La seconde loi qui concerne la transformation de l'énergie, dit que la même énergie peut se transformer en travail utile une fois seulement. Pour obtenir un certain travail avec une source quelconque d'énergie, il faut transformer cette énergie en une forme qui lui permettra de mettre quelque chose en mouvement. Et, comme le mouvement est forcément accompagné de frottements, l'énergie se convertit en chaleur. On dit alors que c'est de l'énergie perdue, car la transformation inverse de la chaleur en

énergie ne peut pas être effectuée économiquement. Non pas que la transformation soit impossible, mais elle exige la dégradation d'une nouvelle quantité d'énergie, quantité plus grande que celle produite, de sorte que dans la pratique il n'y a pas lieu de songer à résoudre le problème.

Avec le radium la production d'énergie étant constante, il n'y a plus lieu de s'inquiéter de telles pertes.

Energie du radium. — Comme toute énergie, l'énergie émise par le radium, peut être mesurée sous forme de force ou de chaleur et ainsi définie.

D'après J.-S. THOMSON l'énergie accumulée dans un gramme de radium représenterait 100 milliards de kilogrammes et d'après Max ABRAHAM 1 gramme d'électrons représente l'énergie de 80 milliards de chevaux-vapeur en une seconde.

Des expériences précises ont établi que 1 gramme de radium dégage 134 calories 7 par heure. La quantité de chaleur émise par un poids donné de radium pendant trois quarts d'heure est suffisante pour élever un certain poids d'eau du point de congélation au point d'ébullition. Une quantité de 32 milligrammes de bromure de radium développe deux calories et demi par heure. En neuf ans on crée ainsi 200 000 calories. En comparant à un poids égal de charbon qui fournit 250 calories seulement, on constate qu'en neuf ans le radium a fourni 800 fois plus d'énergie que le charbon.

D'autre part, quand le charbon est brûlé, il n'est plus charbon. De même la poudre et la dynamite, après avoir explosé, n'existent plus. Le radium, au contraire, quand il a émis de la chaleur ou qu'il a donné les séries d'explosion des rayons α , reste toujours actif, autant que par le passé.

Ceci n'est plus en rapport avec la doctrine de l'énergie qui nie la possibilité de réaliser un mouvement perpétuel, puisque l'énergie ne se reforme pas telle qu'elle était primitivement et qu'il y a toujours perte.

Non seulement l'énergie du radium ne s'arrête pas, mais elle ne saurait être enrayée par aucun moyen quel qu'il soit.

Et, si l'on élève ses regards vers les cieux, si l'on contemple le soleil, on y voit un exemple de mouvement pratiquement perpétuel que le radium sur la terre semblerait capable de réaliser. Cette source d'énergie apparemment inépuisable du soleil, qui contribue à l'entretien continu de la vie sur notre planète, le radium la posséderait.

Et cette radioactivité du radium n'est affectée en rien, ni par les températures les plus fortes, ni par les froids extrêmes, ni par les plus fortes pressions, ni par les plus violents réactifs chimiques, ni par l'action des puissants explosifs, ni par les plus intenses décharges électriques.

Le radium tire son énergie de sources jusqu'ici cachées et obéit à des lois encore inconnues. Seul sur la terre, indifférent à tout ce qui l'entoure, il semble être un soleil arraché à un firmament inconnu et avoir amené avec lui le mystère de ce firmament. Relativement à sa masse il fournit d'ailleurs de l'énergie à une vitesse beaucoup plus élevée que le soleil ou n'importe quelle étoile.

Cette énergie du radium, énergie insoupçonnée autrefois, ouvre un champ nouveau aux questions de l'évolution, de l'histoire passée et de la destinée future de l'univers.

Hypothèses sur l'énergie du radium. — D'où vient l'énergie du radium et comment cette énergie est-elle

entrée dans le radium ? A ces deux questions, il semble plausible de répondre par l'énoncé des deux hypothèses suivantes, qui tendent à démontrer que l'énergie serait dans le radium lui-même.

Ou bien l'énergie doit provenir du radium ; c'est la première hypothèse, celle qui paraît la plus conforme à la réalité.

Ou bien cette énergie est fournie au radium par le milieu dans lequel il se trouve. C'est la seconde hypothèse.

Dans la première alternative, si l'énergie vient du dedans, c'est qu'elle se trouve dans l'atome même. Il y a ainsi dans la matière radioactive une réserve d'énergie considérable et insoupçonnée autrefois, réserve qui se trouve concentrée dans les atomes, c'est-à-dire dans les plus petites parties intégrantes de la matière.

Mais, s'il en est ainsi, les réserves d'énergie interne ne seraient pas indéfinies et à un moment donné la radioactivité cesserait. La matière ne peut pas donner de l'énergie en restant semblable à elle-même.

Or, pour le radium, l'hypothèse admet que l'énergie est accumulée dans l'atome même. Si le radium n'est plus semblable à lui-même, c'est l'atome lui-même qui se transforme. Et il se produit une réaction d'un ordre nouveau et inconnu autrefois réaction complètement différente de celle des changements chimiques. Il y a transmutation spontanée du radium en d'autres éléments.

La seconde alternative admet que le radium agit comme un mécanisme transformateur à l'instar de ces appareils qui transforment un courant électrique de haute tension en courant à basse tension. Les atomes de radium emmagasinent une source d'énergie externe qui existe, on ne sait comment, dans l'espace, et rendent

cette source perceptible à nos sens en la libérant sous une forme concrète.

Cette seconde hypothèse est moins plausible que la première. Car où peut bien se trouver cette réserve illimitée d'énergie absorbée par le radium ? Au plus profond de la mine la pechblende est tout aussi active que près de la surface. Si l'énergie vient de l'extérieur, elle est capable de traverser des couches considérables de terrains. D'autre part, on a reconnu qu'il est impossible de faire cesser la radioactivité ou de la modifier d'une manière quelconque. Ceci ne s'accorde pas avec l'existence d'un agent récepteur.

Toutefois la seconde hypothèse explique mieux que la première pourquoi l'énergie du radium, malgré son intensité et sa puissance, ne s'efface pas avec le temps et diminue seulement au bout d'un nombre d'années très considérable.

Le radium agent catalyseur. — On a proposé d'autres théories pour expliquer l'énergie du radium.

L'énergie serait emmagasinée par le radium comme la phosphorescence par certains corps. Le radium utiliserait cette énergie pour se transformer ou pour provoquer la transmutation des éléments voisins. Cette idée est due à M. DEBIERNE.

Celui-ci, poussant plus loin encore la réalisation de son hypothèse, dit dans son ouvrage *Le Radium et la Radioactivité*.

« Le radium peut être considéré comme un élément
 « catalyseur, provoquant la transformation d'éléments
 « communs, comme la mousse de platine provoque la
 « combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène et celle du
 « gaz sulfureux et de l'oxygène. Une quantité minime de

« radium pourrait donc provoquer le dégagement d'une
« énorme quantité d'énergie sans qu'on pût observer une
« variation sensible dans le radium ».

Et ceci semble d'accord avec ce qu'a dit M. Ernest SOLVAY dans une communication à l'Académie des Sciences. M. SOLVAY présente l'explication suivante pour l'énergie du radium.

« L'énergie que nous ne produisons pas nous-mêmes
« par des moyens physiques ou mécaniques, parmi les-
« quels sont les êtres vivants eux-mêmes, proviendrait
« pour ainsi dire exclusivement du soleil, ainsi qu'on
« l'a toujours admis.

« Elle serait composée d'une infinité de rayons énergé-
« tiques divers et comprenant tous ceux que l'on ren-
« contre dans la radiation des corps phosphorescents et
« radioactifs.

« Ces rayons divers trouveraient chacun, parmi les
« différents corps qui constituent nos milieux, des molé-
« cules éparses aptes à les potentialiser *tels qu'ils sont*,
« c'est-à-dire aptes à les recevoir et à les fixer temporel-
« lement et spécifiquement sous forme d'énergie latente,
« quel que soit d'ailleurs le mécanisme de cette poten-
« tialisation spécifique : le principe en cause serait que
« *la réceptivité d'un corps pour l'énergie* (comme d'ail-
« leurs, sa transparence et son opacité) *varierait avec sa*
« *nature et avec son état physique moléculaire, et aussi*
« *avec la nature et avec l'état physique moléculaire du*
« *corps qui émet l'énergie.*

« Mais il existerait des corps renfermant des molécules,
« ou même entièrement constitués par des molécules
« possédant une réceptivité plus grande encore pour ces
« divers rayons énergétiques, que les molécules éparses
« dont nous venons de parler ; tels les corps phospho-

« rescents pour certaines radiations, et les corps radio-actifs pour d'autres ; et ces corps, introduits dans des milieux quelconques, les dépotentialiseraient à leur profit en attirant à eux leur énergie spéciale et, de plus, concentreraient celle-ci dans l'espace relativement restreint que présente leur volume.

« Alors donc que notre œil ne pourrait percevoir cette énergie éparse, il le pourrait dès qu'elle serait ainsi concentrée sur un corps ».

Evolution du radium. — Quelle que soit la valeur plausible des hypothèses qui viennent d'être énumérées sur l'énergie du radium, quelle que soit la manière dont cette énergie est emmagasinée ou existante dans le radium, ce qui est certain, c'est que le dégagement d'énergie est toujours accompagné d'un phénomène d'évolution du radium.

Il se produit des transformations atomiques, quelquefois une transmutation du radium en d'autres métaux. Il semblerait d'après cela que le radium doit diminuer de poids avec le temps. Il n'en est rien. Une surface de 1 centimètre carré de sel de radium ne perd qu'un milligramme au bout d'un million d'années.

L'évolution porte sur des quantités de substances échappant parfois à la sensibilité des méthodes d'analyse les plus exactes. La transformation ne se fait pas en une seule fois, mais bien par une série d'échelons successifs. Il y a une sorte de cascade. Le radium passe, au cours de son évolution, par une longue série de corps intermédiaires, chacun d'eux dérivant du précédent et engendrant le suivant.

On admet que l'électricité est engendrée par des particules moléculaires extrêmement petites et douées d'une

très grande vitesse, particules qu'on appelle *électrons*. Inversement le radium produira des bombardements, des explosions de ces électrons. Ceux-ci, ces atomes, en perdant une énergie potentielle de gravitation, donneront une certaine énergie correspondante de radiation.

On a été amené à concevoir l'atome (1) comme un système solaire en miniature où les corpuscules chargés d'électricité négative tournent comme des planètes autour de soleils de masse plus grande chargés d'électricité positive, le tout formant un système absolument neutre. Plus l'atome solaire est lourd, plus le système planétaire est riche en corpuscules. Et si certains de ces corpuscules, éloignés du centre, arrivent à se détacher, ils produiront un phénomène analogue à celui des rayons X.

Cette hypothèse explique fort bien pourquoi les corps à poids atomique très élevé comme le radium produisent de la radioactivité.

D'autre part, on a été amené à admettre que l'atome n'est pas formé d'une matière continue, mais bien de particules soit de même nature, soit de nature différente et que l'atome était sécable, les *ions* ou atomes dissociés cheminant par exemple les uns à côté des autres sans se combiner dans les solutions électrolytiques.

Ces atomes divisés pourront à un moment se réunir sous forme de nébuleuses, puis de soleils, et l'énergie dégagée dans cette formation sera d'un ordre de grandeur très élevé. A nouveau une certaine proportion d'énergie sera produite par la dissociation de certains corpuscules du système solaire.

C'est là, semble-t-il, la base de l'évolution du radium.

(1) Voir page 242 la description exacte de la nouvelle théorie atomique.

Transformation atomique. — On peut, jusqu'à un certain point, mettre en évidence la production d'atomes par le radium et vérifier l'hypothèse précédemment émise de la transformation atomique.

Dans une faible quantité de bromure de radium pesant 30 milligrammes, il existe cinquante millions de trillions d'atomes séparés de radium, si le sel est pur. On a établi qu'un deux millième de ces atomes se désintègre chaque année. Etant donné qu'il y a trente-deux millions de seconde dans l'année, il en résulte que dans chaque seconde il passe un peu moins de mille millions d'atomes de radium.

Un tel bombardement de multitude de particules donne un rayonnement ondulatoire. On peut briser ce rayonnement et le transformer en une multitude d'étoiles brillantes. C'est ce qui a été fait dans le *spinthariscopes* précédemment décrit (voir page 187).

L'appareil permet de compter la quantité des particules atomiques émises par le radium.

Avec un *spinthariscopes* de forme spéciale permettant de compter le nombre des scintillations par seconde, on a pu déterminer ce fait que le nombre total de particules effectivement expulsées par seconde est de 136 millions pour un milligramme de radium à l'état normal. On ne peut plus nier l'atome ni la théorie atomique. Aujourd'hui n'importe qui, en s'asseyant en face d'un appareil spécial, peut compter à l'aide de sa montre le nombre d'atomes qui, émis par une certaine quantité de radium, viennent se briser, sous forme lumineuse sur un écran. Avec un simple verre grossissant et peu grossissant, on arrive à observer l'atome et ses effets.

Les particules émises par le radium dans le *spinthariscopes* sont des atomes d'hélium, c'est-à-dire du gaz le

plus léger connu après l'hydrogène. L'expérience a démontré que les radiations α sont des émissions à des vitesses différentes mais toujours considérables d'atomes d'hélium chargés de deux atomes d'électricité (*électrons*). Le radium perdrait successivement 5 atomes d'hélium pour donner naissance à des éléments d'un poids atomique nouveau diminué chaque fois de 4 unités.

Transmutation. — Le radium n'est pas en effet comme l'hélium un corps stable. Il donne lieu à des transmutations successives.

Ces transmutations ne se font pas instantanément ni en une seule fois. Il y aura production de neuf corps intermédiaires dont chacun provient du précédent, toujours avec dégagement d'énergie. Chaque transformation successive comporte une quantité notable d'énergie.

La transformation du radium en émanation est la première étape de ces transformations successives. L'émanation se transforme à son tour en un troisième élément, appelé radium A. Cet élément engendre à son tour un quatrième élément appelé radium B, qui se transforme en radium C.

Le premier corps produit par l'émanation ou radium A de rayonnement α se transforme avec une grande activité après une vie moyenne de 4 minutes 5. Le radium B qui en résulte, produit un rayonnement β très peu pénétrant et a une vie moyenne de 38 minutes 5. Quant au radium C, il se détruit en expulsant à la fois les trois sortes de rayons α , β et γ . La durée moyenne de sa vie est de 28 minutes 1.

Cette transformation se fait en deux temps. Les rayons β et γ sont émis d'abord, puis les rayons α . Le produit qui expulse les rayons α , a été appelé radium C'.

Il a une durée de vie extrêmement courte. On l'estime à un millionième de seconde.

Le radium C', après expulsion des particules α , devient radium D, corps dont la vie est beaucoup plus longue et atteint vingt-quatre années.

Ce sont en somme ces produits dérivés du radium qui émettent les fameux rayons α , β et γ définis dans le cours de cet ouvrage et non pas le radium lui-même à son origine.

Avec la transformation du radium C', on n'est pas à la fin du processus de transmutation. Mais la série des transformations se produit avec autant de lenteur que les premiers phénomènes étaient rapides. Ce sont des années qui sont exigées et non plus des minutes.

Le radium E qui dérive du radium D se transforme en 7 jours 25 en radium F qui est le polonium découvert par Mme CURIE. La vie moyenne du polonium est de 202 jours. Celui-ci émet surtout des rayons α , alors que le radium E de vie beaucoup plus éphémère donnait des rayons β .

Quel est le produit final de transmutation ?

Quand le radium F ou polonium expulse une particule α , qu'est-ce qu'il engendre ?

En partant du calcul des poids atomiques, on est amené à faire choix pour le corps produit ou radium G, soit du plomb ayant 207,8 comme poids atomique ou du bismuth de poids atomique 208. Or, en se basant sur ce qui existe dans la nature, en tenant compte de ce fait que les minerais d'uranium dont la formation géologique est ancienne et où les transmutations successives qui ont eu le temps de se produire à travers les âges, contiennent une proportion élevée de plomb, on est amené à conclure que le plomb doit être le produit final de la

transmutation. Toutefois aucun chimiste n'a encore décelé le plomb comme produit final du radium et la démonstration pratique est encore à faire.

Quoi qu'il en soit, il y a transformation du radium en d'autres corps et notamment en un corps stable comme l'hélium, et ce phénomène de transmutation n'est-il pas comme un accomplissement du rêve des anciens alchimistes ? Si nous n'arrivons pas à faire de l'or, nous assistons à des phénomènes assez spéciaux de la chimie pour lesquels les anciens chercheurs d'or avaient peut-être un semblant de télépathie.

Le radium ne serait-il pas jusqu'à un certain point la pierre philosophale si convoitée autrefois ?

Nouvelle théorie atomique résultant de la désintégration atomique. — Il résulte de ce qui précède que les atomes se transforment en se désintégrant. L'élément radium, par perte d'un atome d'hélium, devient l'émanation. L'un appartient au groupe de terres alcalines, l'autre est un gaz de la famille de l'argon. Parmi les neuf transformations que le radium subit, l'atome se désintègre en expulsant chaque fois un ou plusieurs atomes d'hélium, et les substances de transition, formées à la suite les unes des autres, sont absolument différentes par leurs caractères et par leurs propriétés.

Cette désintégration existe même pour l'or et pour l'argent, bien qu'ils aient été choisis depuis longtemps pour les usages monétaires. Elle est lente, plus lente pour l'argent que pour l'or, mais elle se produit peu à peu.

La transmutation peut s'expliquer en concevant l'atome autrement qu'on ne l'avait défini autrefois.

L'atome se composerait de deux éléments : l'électron

ou atome d'électricité négative et le centre positif qu'on peut assimiler avec le noyau de l'atome d'hydrogène. Autour de ce noyau atomique positif gravitent des électrons distribués en plusieurs couches concentriques et assez nombreux pour neutraliser par leur charge négative l'électricité positive centrale. Les électrons les plus rapprochés du centre sont dits *nucléaires*, les plus éloignés sont dénommés *périphériques*.

Cette hypothèse permet d'expliquer certaines propriétés de l'atome.

C'est ainsi que quelques propriétés physiques ou chimiques des éléments sont dûes à la variation du nombre des éléments de la couche superficielle de l'atome. Ceci se vérifie par l'étude des longueurs d'onde des raies spectrales.

Quant au noyau, c'est le siège des phénomènes radioactifs. La stabilité de ce noyau dépendra de sa constitution avec une série de centres positifs et de la quantité d'énergie qui y est incluse. Plus la masse est grande, plus la radioactivité sera importante.

Et c'est la modification de ce noyau atomique qui sera la cause de la désintégration atomique et des phénomènes de transmutation.

Si le noyau atomique expulse des particules α et β , il y a transmutation chimique avec variation concomitante des propriétés physiques. Il y a changement de stabilité et ce changement de stabilité dépendra du groupement des éléments positifs et négatifs de l'atome.

De nouveaux horizons ont ainsi été ouverts en physique, comme je le disais au début de ce chapitre. Le radium nous a fait connaître une nouvelle source d'énergie et nous a fait chercher plus complètement d'où pouvait venir l'énergie. Nous nous approchons de plus en plus

d'une connaissance plus exacte des secrets de la nature. Rien ne dit que bientôt nous n'arriverons pas à capter pour nos besoins les sources primaires d'énergie que la nature a toujours gardées par devers elle, semblant les réserver pour l'avenir. Il y a là pour l'homme une perspective de travail des plus belle, [et le radium avec sa découverte et l'étude de ses propriétés n'aura pas été étranger à la transformation future de certaines parties des sciences physiques.

ANNEXES

I

UNITÉS DE RADIUM

Le Congrès de radiologie et d'électricité de Bruxelles, en septembre 1910, a décidé la création d'une unité de mesure radioactive, qu'on a appelé le *curie*.

Ce congrès constitua la Commission internationale de l'étalon du radium, qui s'est réunie à Paris du 25 au 28 mars 1912, et eut pour principal objet l'examen des étalons internationaux : l'un de 21 mgr. 99 de chlorure pur anhydre RaCl_2 préparé par M^{me} Curie, déposé à Paris au Bureau international des poids et mesures ; l'autre de 31 mgr. 17 de chlorure pur, RaCl_2 , conservé à Vienne comme étalon auxiliaire.

Ces étalons ont servi à établir des étalons secondaires utilisés dans divers laboratoires.

Le *curie* est la quantité d'émanation produite à l'infini par un gramme de radium en équilibre radioactif.

Un gramme de radium, étant placé dans une ampoule scellée, produit de l'émanation se détruisant elle-même. Il arrive un moment où la quantité d'émanation qui se détruit dans un temps donné, est compensée par une quantité égale qui se forme dans le même temps. On dit alors que ce radium est en équilibre radioactif. Cet état d'équilibre est atteint au bout d'un mois. A ce moment la quantité d'émanation contenue dans l'ampoule est le *curie*. C'est donc la quan-

tité d'émanation en équilibre avec un gramme de radium.

Elle occupe un volume de 0 m³ 6 à zéro degré centigrade et 760 millimètres de pression atmosphérique.

Le millicurie est le millième du curie.

Le microcurie est le millionième du curie.

Le millimicrocurie est le milliardième du curie.

1 mgr. de radium élément équivaut à 125,0 millicuries.

1 mgr. de bromure de radium équivaut à 73,4 millicuries.

1 gr. de radium élément produit 0,00751 curie d'émanation par heure.

En Allemagne il existe une autre unité à laquelle on se réfère souvent dans les mesures. C'est l'unité *mache*.

Le tableau ci-contre permet de comparer les ordres de grandeur du curie et du mache.

II

TABLES DE KOLOWRAT

Ces tables servent à mesurer l'émanation du radium et rendent des services dans les laboratoires pour y effectuer les calculs de la radioactivité des solutions préparées.

Les tables sont au nombre de deux.

TABLEAU D'ÉQUIVALENCE DES DIVERSES UNITÉS D'ÉMANATION DU RADIUM

CURIE	1	MILLICURIE	1 000	MICROCURIE	1 000 000	GRAMME-seconde	479 530	GRAMME-minute	7 993	MILLIGRAMME-seconde	479 530 000	MILLIGRAMME-minute	7 993 000	UNITÉS MACHE	2 500 000
-------	---	------------	-------	------------	-----------	----------------	---------	---------------	-------	---------------------	-------------	--------------------	-----------	--------------	-----------

Dans ces tables, λ , qui représente la constance radioactive de l'émanation, a pour valeur :

$$\lambda = 0,00751 \text{ (heure)}^{-1}$$

ou :

$$\lambda = 2,085 \times 10^{-6} \text{ (seconde)}^{-1}$$

1^{re} Table. — Si q est la quantité d'émanation restant après un temps t , q_0 la quantité d'émanation initiale et $e^{-\lambda t}$ la fonction exponentielle équivalant à la quantité d'émanation existant après un temps t , la formule de calcul sera :

$$q = q_0 \times e^{-\lambda t}$$

2^e Table. — Cette table permet de calculer la quantité d'émanation q accumulée dans un temps t dans un tube de verre scellé contenant un sel de radium. On suppose que la quantité initiale dans le tube était nulle. En désignant par Δ la quantité d'émanation dégagée par heure, on a :

$$q = \Delta \times \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

Dans les dosages par l'émanation, on connaît la quantité q et le temps t . On en déduit la valeur de Δ , c'est-à-dire la quantité d'émanation par heure, en sachant que 1 gramme de radium donne par heure 0,00751 curie.

Inversement si, dans une solution titrée de radium, on a déterminé Δ , on déduira la valeur de q .

L'expression $\frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$ représente le temps pendant lequel la quantité d'émanation se serait accumulée, si cette émanation ne subissait pas la loi de désintégration.

Les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 16, 25 du présent volume sont extraites de l'ouvrage de Jacques Danne sur le Radium publié par la Librairie Béranger.

Les figures 7, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 sont extraites du journal La Radiumculture et du catalogue de la Société Banque du Radium.

Les dessins des figures 24, 26, 27, 28, 29 ont été obligeamment remis par M. Gaston Danne, directeur du Laboratoire des substances radioactives à Gif (Seine-et-Oise).

Enfin certaines parties du texte de ce Manuel ont été inspirées par la lecture d'ouvrages sur le Radium et la Radioactivité dûs à la plume de Besson, M^{me} Curie, Danne, Muguet, Niewenglowski, Soddy, Docteurs Wickham et Degrais.

TABLE DES MATIÈRES

NOTE DE L'AUTEUR.....	7
-----------------------	---

CHAPITRE PREMIER. — Découverte du radium.

Premières recherches.....	9
Expériences d'Henri Becquerel.....	10
Radioactivité des corps.....	13
Travaux de M. et de M ^{me} Curie.....	14
Origine présumée du radium.....	17

CHAPITRE II. — Propriétés physiques et chimiques.

Poids atomique.....	20
Spectre du radium.....	21
Propriétés chimiques générales.....	22
Dégagement de chaleur.....	24
Rayonnement.....	27
Rayons α	29
Rayons β	30
Rayons γ	33
Passage des rayons à travers les corps opaques.....	34
Activité.....	36
Radioactivité induite.....	37
Émanation.....	39
Action ionisante.....	41
Coloration des corps.....	42
Luminosité.....	44
Effets chimiques.....	45
Désactivation et vie moyenne.....	48

CHAPITRE III. — Sources naturelles du radium.

L'uranium, véhicule du radium.....	52
Répartition géologique des minerais d'uranium.....	53
Pechblende	54
Uranite	56
Chalcolite	58
Carnotite	58
Minerais complexes	60
Substances radioactives	64
Eaux radioactives.....	66
Recherche des minerais et des substances radioactives....	70
Méthode radiographique.....	72
Électroscope	76

CHAPITRE IV. — Préparation chimique du radium.

Préparation mécanique.....	82
Départ du radium de l'uranium.....	83
Fractionnement	85
Appareils de mesure	88
Électromètre	88
Quartz piézo-électrique	90
Électroscope de laboratoire	93
Mesures avec l'électroscope.....	96
Matières radioactives solides	96
Substances liquides et gazeuses.....	98
Mesure du radium par les rayons γ	100
Marché et vente du radium.....	102

CHAPITRE V. — Action en thérapeutique humaine.

Généralités	107
Action respective des rayons α , β , γ	109
Action des rayons radifères sur la peau humaine.....	112
Traitement des nævis et des angiomes.....	113
Traitement du lupus	116
Traitement du cancer	118
Maladies de la femme	122
Maladies nerveuses	124
Action sur les yeux	125
Action microbienne	126
Emploi du radium à petites doses.....	129
Traitement par l'émanation.....	131

CHAPITRE VI. — Emploi des boues radioactives dans la thérapeutique humaine et dans la thérapeutique vétérinaire.

Boues radioactives actinifères	135
Traitement du rhumatisme	137
Affections du système nerveux	138
Ulcères variqueux	139
Application en gynécologie	140
Mode d'emploi des boues radioactives	141
Le radium et les animaux	143
Expériences de M. Danysz	143
Action du radium sur la croissance des animaux	146
Utilisation des boues en thérapeutique vétérinaire	147
Eczéma du chien	148
Traitement du cheval	149
Cheval de course	151

CHAPITRE VII. — Le radium en thérapeutique végétale.

Considérations générales	153
Essais sur les graines et sur leur germination	156
Expériences de M. Matout	156
Expériences du professeur Stokiasa	160
Expériences de MM. Petit et Ancelin	161
Expériences de M. Crochetelle	162
Essais en liquide de Knop	163
Essais sur les bactéries du soi	164
Essais pratiques en grande culture	166
Action sur les betteraves	169
Action sur les pommes de terre	172
Action sur la vigne	174
Action sur les plantes florales	174
Plantes diverses	176
Produit radioactif	177
Engrais complet radioactif	179

CHAPITRE VIII. — Applications diverses.

Phosphorescence et luminescence	184
Spinthariscopes	187
Sulfure de zinc	188
Applications commerciales et industrielles	189

Pierres précieuses	191
Eaux minérales	194
Production d'hélium	196
Le radium, agent de force motrice	200
Application industrielle	203

CHAPITRE IX. — Formes de vente du radium.

Premiers appareils médicaux	205
Appareils à sels collés	206
Appareils de forme spéciale	210
Tubes en platine	214
Aiguilles	218
Appareils d'émanation	219
Eaux radifères	225
Tubes de verre	226
Pots de boues radioactives	227
Engrais	227
Tubes de sulfure de zinc radifère	228

CHAPITRE X. — Evolution de la science avec le radium.

Radioactivité	229
Énergie	231
Énergie du radium	232
Hypothèses sur l'énergie du radium	233
Le radium, agent catalyseur	235
Évolution du radium	237
Transformation atomique	239
Transmutation	240
Nouvelle théorie atomique résultant de la désintégration atomique	242

ANNEXES

I. — Unités de radium	245
II. — Tables de Kolowrat	246

ÉDITIONS D'ACTUALITÉS

39, Avenue de Saint-Mandé, PARIS (XII^e)

R. C. Seine : 199.254

Chèques postaux : Paris 479-89

GASTON VESSILLIER. — **Chances simples à la roulette.
Systèmes à perte, en équilibre, infaillibles.**

Exposé théorique et pratique du jeu..... 200 fr. 00

MARCEL D'AVESNES. — **Pour construire son poste de
téléphonie sans fil.**

I. — A PARIS ET DANS LA BANLIEUE.

II. — DANS TOUTES LES RÉGIONS.

Ouvrage essentiellement pratique..... 5 fr. 00

MARCEL BOLL. — **Euclide, Galilée, Newton, Einstein.**

Ouvrage à la portée de tous..... 1 fr. 50

HENRY-GASTON. — **Peuples du monde, où allez-vous ?**

AU SOCIALISME ? AU COMMUNISME ? AU BOLCHEVISME ?

Exposé des systèmes sociaux..... 1 fr. 50

Frais de port en sus 10 %

