

69
C
Collection " Sciences et Voyages "

Docteur P. LOWYS

LES RAYONS X
ET
LE RADIUM

PRIX : 3 FRANCS.



ÉDITIONS DE " SCIENCES ET VOYAGES "
PARIS :: 3, Rue de Rocroy :: PARIS

~~9396~~

29/8/32

N-16
R-2



LES RAYONS X
ET
LE RADIUM

Bmic 96

La Collection
SCIENCES ET VOYAGES

se compose des livres suivants :

1. Ce qu'il est indispensable de connaître concernant l'Automobile.
2. Les Applications de l'Électricité à la vie domestique.
3. L'Utilisation des forces naturelles.
4. Le Monde qui peuple les Océans.
5. La T. S. F. à la portée de tous.
6. Traité pratique de Motocyclisme.
7. Les Animaux préhistoriques.
8. Ce que tout le monde doit savoir sur l'Aviation.
9. La Théorie d'Einstein dévoilée aux profanes.
10. Petit traité de photographie pratique.
11. La Motoculture et les Machines agricoles.
12. Les Parfums : Leur préparation industrielle et domestique.
13. Guide pratique de l'Apiculteur.
14. Entretien sur les insectes, leur intelligence et leurs mœurs.
15. Le Travail du Bois à la maison.
16. Le Travail du Fer à la maison.
17. La Prédiction de l'avenir.
18. La Construction des postes de T. S. F.
19. L'Industrie et l'exploitation du Cinéma.
20. Comment construire sa maison.
21. Le Continent de l'Avenir.
22. L'Asie Mystérieuse.
23. Cultivons notre jardin.

Chacun de ces volumes est envoyé franco contre la somme de **3 fr. 50** adressée au Directeur de SCIENCES ET VOYAGES, 3, rue de Rocroy, Paris.

Quatre de ces volumes au choix seront envoyés gratuitement à toute personne qui souscrit un abonnement d'un an au journal SCIENCES ET VOYAGES qui paraît chaque semaine sur 24 pages bourrées d'illustrations, dont 16 en rotogravure, la seule revue scientifique française qui possède 300.000 lecteurs honorée de souscriptions ministérielles françaises et étrangères, pouvant être mise entre toutes les mains et être comprise par tous.

Dans nos bureaux : **3 francs.**

Prix de l'Abonnement : Un an, France et Colonies : **40 fr.**; Étranger : **50 fr.**,

Utilisez notre compte de chèques postaux : Paris C. C. 259-10

N° Bis 388 091/- 103267

Collection "SCIENCES ET VOYAGES"

Docteur P. LOWYS 2, Rue du Lombard

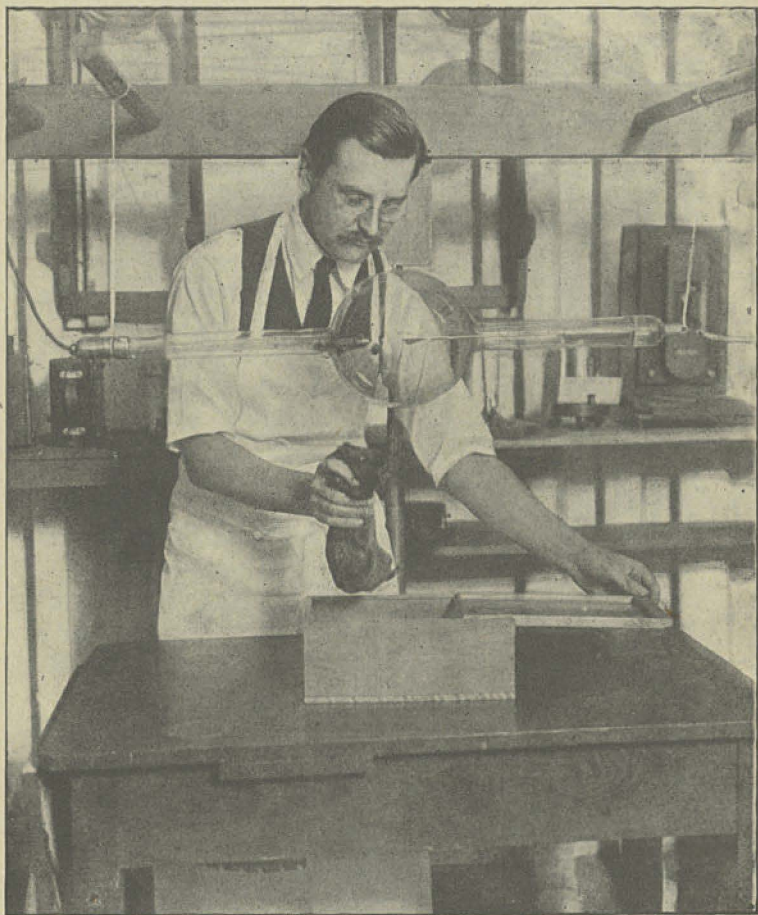
MUSÉE COMMERCIAL
et COLONIAL
LILLE

LES RAYONS X
ET
LE RADIUM



EDITIONS DE "SCIENCES ET VOYAGES"

3, RUE DE ROCROY, 3
PARIS



Une expérience faite sur un cochon d'Inde atteint de cancer à la partie inférieure du corps.



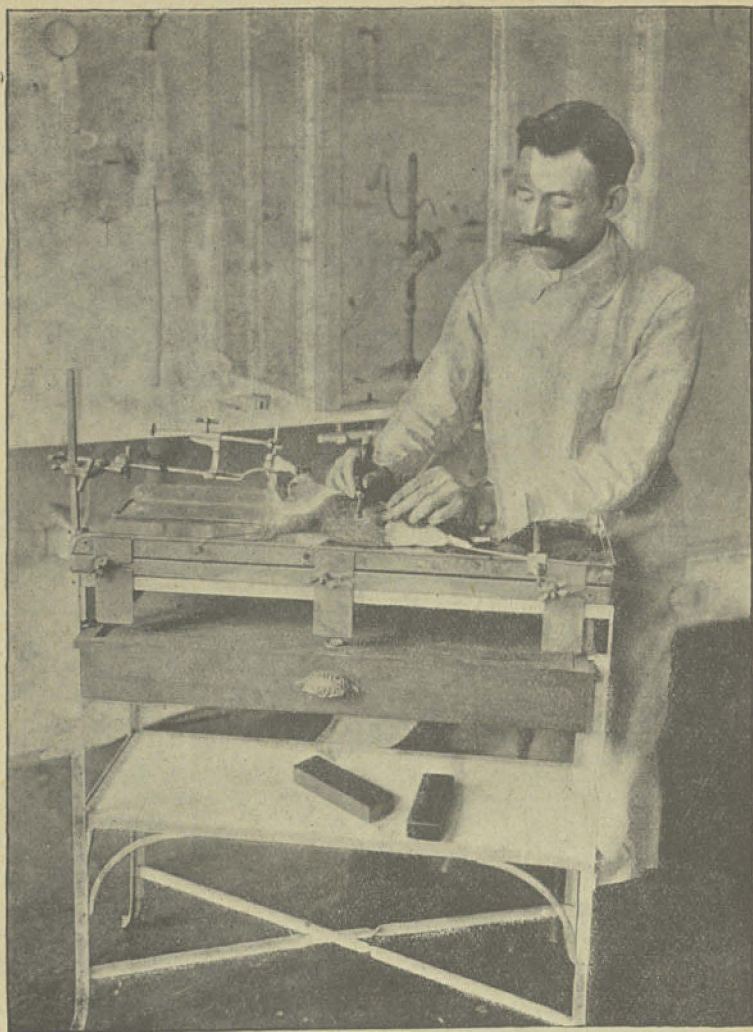
INTRODUCTION

L'importance croissante que prennent, de jour en jour, les rayons X et le radium justifie l'utilité d'un résumé sommaire mais clair sur leur origine, leur nature, leurs propriétés et leur application au point de vue médical.

Nous nous sommes efforcés de n'exposer que des notions faciles à comprendre pour toute personne cultivée, insistant surtout sur les principes généraux pour laisser systématiquement de côté toutes les notions ou trop complexes (théorie atomique) ou trop techniques (dé-

tails sur l'application médicale des rayons X ou du radium). D'ailleurs, ceux que ce sujet intéresserait et qui désireraient des renseignements complémentaires n'auront qu'à consulter deux livres excellents, dont nous nous sommes parfois inspiré : *Le Radium*, par Soddy (Alcan, éd.) et *Les Rayons X*, par Duhem (Flammarion, éd.).

Notre seul but aura été d'apporter au lecteur avide de s'instruire quelques précisions sur ces corps toujours mystérieux, tantôt redoutables et tantôt bienfaisants.



Application de radium à un cobaye.

LES RAYONS X ET LE RADIUM

PREMIÈRE PARTIE

LES RAYONS X

I. — LEUR ORIGINE, LEUR DÉCOUVERTE, LEURS PROPRIÉTÉS.

Les rayons X tirant leur origine des rayons cathodiques, nous dirons d'abord quelques mots sur ces rayons.

(1) Production des rayons cathodiques.

Si, dans une ampoule close où, grâce à une pompe à mercure, on a fait un vide partiel, ampoule munie de deux pièces métalliques (électrodes), on fait passer une décharge électrique, on voit le tube s'illuminer. Tel était le tube de Geissler qui, placé dans les devantures de physique amusante, faisait la joie des enfants, par ses

jolies teintes. Mais, si nous continuons à faire le vide à l'intérieur de cette ampoule de verre, on voit une lueur violette partir de l'électrode reliée au pôle positif (ou anode), lueur qui s'étend jusqu'à quelques centimètres de l'électrode opposée, reliée au pôle négatif (cathode), dont elle est séparée par un espace obscur, la cathode elle-même étant entourée d'une lueur de couleur variable suivant la nature du gaz remplissant l'ampoule. Au fur et à mesure que le vide augmente, la lueur positive diminue de longueur et d'intensité, tandis que la négative va en augmentant, puis se sépare de

la cathode, laissant entre cette dernière et la lueur cathodique primitive un nouvel espace sombre, qui, à son tour, va en augmentant jusqu'à envahir toute l'ampoule. A une pression voisine du millième de millimètre de mercure, « il n'y a plus de lueur dans l'ampoule, mais on constate une phosphorescence des parois vis-à-vis de la cathode. Cette phosphorescence est produite par des rayons spéciaux émis par la cathode et qui viennent frapper les parois de l'ampoule en les chauffant et en provoquant la fluorescence du verre. (Duhem.) Ces rayons, issus de la cathode, furent donc appelés *rayons cathodiques*.

Enfin, si, à l'intérieur de l'ampoule, on fait régner le vide parfait, le courant électrique ne peut plus passer et il n'y a plus aucun phénomène dans l'ampoule. Ces aspects différents dans l'ampoule réalisés par une diminution croissante du vide constituent le *tube de Crookes*.

(2) Nature des rayons cathodiques.

Le physicien français J. Perrin a montré que ces rayons étaient non pas de simples vibrations de l'éther (r), comme les radiations lumineuses, mais que ce flux qui jaillit de la cathode vers l'anode est formé de particules infiniment petites (le rapport de leur grosseur à leur masse montre que celle-ci doit être 1.830 fois plus petite que la masse d'un atome d'hydrogène), se déplaçant avec une vitesse considérable et transportant une charge d'électricité négative.

(1) On appelle « éther » un milieu hypothétique qui remplit tout l'espace interposé entre toutes les choses et qui pénètre tout. L'éther est ce fluide subtil et invisible, qu'on n'a jamais pu peser ni isoler, qui transmet la lumière par ondes lumineuses de même que l'air transmet le son par ondes sonores (Malgorn).

(3) Propriétés des rayons cathodiques.

(a) *Propagation* : c'est un faisceau rectiligne, se propageant en ligne droite vers l'anode (bombardement cathodique). (b) *Production de chaleur* : ils chauffent tous les points qui les arrêtent (ils peuvent, en quelques secondes, porter au rouge blanc une lame de platine, interposée sur leur passage, et même la fondre). Ce dégagement de chaleur considérable est dû à l'énergie mécanique énorme qui les anime (un petit moulinet placé dans l'ampoule se met à tourner comme s'il était mû par un souffle émané de la cathode). (c) *Effets chimiques* : ils peuvent changer la coloration de certains sels et ils dégagent beaucoup d'ozone. (d) *Propriétés électriques* : les corps chargés positivement les attirent, ceux négativement les repoussent, ce qui indique la nature de leur charge électrique (2 corps électrisés de même sens se repoussent, 2 corps électrisés de sens contraire s'attirent). (e) *Production de rayons X* : tout point frappé par les rayons cathodiques émet dans toutes les directions des rayons X. Autrement dit, on transforme l'énergie matérielle de choc (bombardement cathodique) en une autre forme d'énergie immatérielle, vibratoire : les Rayons X (avec, en outre, production de chaleur (Sauze)). (f) *Vitesse de propagation* : elle varie entre 20.000 et 150.000 kilomètres à la seconde (celle de la lumière est de 300.000 kilomètres à la seconde). (g) *Hétérogénéité du faisceau cathodique* : « C'est un rayonnement complexe fait d'une série de rayonnements, inégalement pénétrants tout comme le soleil donne la lumière blanche pour notre œil, celle-ci n'étant que la réu-

nion de radiations de diverses couleurs. » (Belot.) Il y a, en somme, une véritable « gamme » d'ondes animées de vitesses variables.

(4) Découverte des rayons X.

C'est un savant allemand, mort tout récemment, Conrad Röntgen,



LE PROFESSEUR RÖNTGEN (1845-1923).

qui les découvrit, tout à fait par hasard. En 1895, alors professeur à l'Université de Würtzbourg, il étudiait les tubes de Crookes ; il s'aperçut

qu'un écran recouvert d'une substance spéciale (platino-cyanure de baryum), placé au voisinage d'un tube de Crookes, devenait fluorescent, c'est-à-dire s'illuminait vivement et ce, chose encore plus curieuse, malgré l'enveloppement de l'écran dans un papier noir, l'interposition d'une planche de bois, d'un dictionnaire, d'une feuille métallique... En outre, ces mystérieux rayons impressionnaient, à travers des corps opaques à la lumière solaire, des plaques photographiques. Ignorant tout de la nature de ces radiations, Röntgen les baptisa « Rayons X.

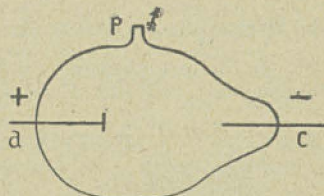
(5) Propriétés des rayons X.

(a) *Propriétés générales* : ils impressionnent les plaques photographiques, ils provoquent la fluorescence de certaines substances (platino-cyanure de baryum, sulfure de zinc); ils ionisent les gaz (c'est-à-dire les rendent conducteurs pour le courant électrique), enfin, tout comme les rayons lumineux, ils peuvent se disperser lorsqu'ils sont projetés à travers une fente étroite sur des cristaux spéciaux. (b) *Propriétés particulières* : d'une part, ils produisent des *rayons secondaires*, ce qui veut dire que, de même que tout point frappé par les rayons cathodiques émet des rayons X, tout point frappé par les rayons X émet à son tour de nouveaux rayons; d'autre part, ils ont un *pouvoir pénétrant* particulier: ils ont la faculté de traverser des épaisseurs de substances plus ou moins grandes. Les rayons très pénétrants sont dits *rayons durs*, les moins pénétrants sont appelés *rayons mous*. L'ingénieuse comparaison de Zimmern fera saisir cette différence : soit un groupe de mitrailleuses tirant simultanément

une pluie de balles explosibles animées de vitesses différentes, sur une cible qui serait un mur de terre molle. Chacune de ces balles fera explosion à l'endroit où elle s'amortirait. Les projectiles doués de la plus grande vitesse traversent le mur où ils font un minimum de dégâts ; à peine pourrait-on trouver trace de leur passage, si ce n'est au niveau de l'orifice de sortie. Les balles les moins rapides s'amortiront en faisant explosion à la surface du mur ; celles qui sont douées d'une vitesse moyenne éclateront dans l'épaisseur du mur. L'ampoule de rayons X, c'est le groupe de mitrailleuses ; les rayons X émis, voilà les balles ; les rayons durs, ce sont les balles les plus rapides ; les rayons mous, les moins rapides, avec tous les intermédiaires possibles entre ces deux groupes.

Avant d'aller plus loin, nous croyons utile de donner un tableau d'ensemble sur l'échelonnement de toutes ces radiations : lumière, son, chaleur, rayons X, radium, ondes hertziennes de la T. S. F. qui jouent un rôle si

important dans la vie humaine. Entre elles, il n'y a point de fossé profond, mais une gradation insensible et harmonieuse. Sur ce tableau, le pou-



Tube de Crookes. — P : petit tube pour faire le vide ; a : anode ; c : cathode.

voir de pénétration va en croissant de gauche à droite, tandis que la longueur d'onde va en augmentant de droite à gauche. Qu'est-ce donc que cette longueur d'onde, qui reviendra souvent au cours de cet exposé? Empruntons à Malgorn cette comparaison : assimilons les différentes ondes à des vagues ; la longueur d'onde sera la distance la plus courte mesurée

Ondes hertziennes T. S. F.)	Son.	Chaleur.	Petite zone inconnue.	I. R. (Intra-rouge). (radiations calorifiques.)	Lumière solaire. R. V.	U. V. (ultra-violet). (radiations impressionnant les plaques photographiques)	Petite zone inconnue.	Rayons X mous. durs. Rayons X.	Rayons Y. Radium.
-----------------------------	------	----------	-----------------------	--	------------------------	---	-----------------------	--------------------------------	-------------------

LONGUEUR D'ONDE



Nota : Tout récemment ont été comblées les lacunes entre : 1° les rayons infra-rouges de plus grande longueur d'onde et les ondes hertziennes les plus courtes, par deux savants américains, Nichols et Tear ; 2° entre les rayons ultra-violet et les rayons X par le savant français Holweck qui a pu produire des rayons X très mous.

qq km.	qq m.	qq cm.	qq mm.	1 mm de différence entre le rouge (R) et le violet (V).	1/10 mm.	1/100 mm.	1 1000 mm et moins.
Ondes hertziennes	Son.	Chaleur.	I. R.	Lumière solaire.	U. V.	Rayons X.	Radium.

POUVOIR DE PÉNÉTRATION



Nota : La longueur d'onde des rayons X mous est de 0^m00000005 ; celle des rayons X durs de 0^m00000003 ; celle des rayons Y du radium de 0^m00000001.

entre deux crêtes voisines. Les vagues sont d'autant plus rapprochées l'une de l'autre que la longueur d'onde est plus courte (ex : vagues de la Méditerranée), d'autant plus éloignées qu'elle est plus grande (ex : vagues de l'Océan). Dans le premier cas, si les vagues sont espacées d'environ 10 mètres de crête à crête, la longueur d'onde sera de 10 mètres; dans le deuxième cas, si elles le sont de 100 mètres, la longueur d'onde sera de 100 mètres. Toutes ces ondes sont de même nature; elles se propagent avec une vitesse sensiblement la même (300.000 kilomètres-seconde), celle de la lumière, mais ne diffèrent entre elles que par leur longueur d'onde. Plus celle-ci est courte, plus le pouvoir pénétrant est grand et inversement.

Le pouvoir pénétrant des rayons X varie : (a) avec la différence de potentiel alimentant l'ampoule; plus celle-ci est grande, c'est-à-dire plus le courant est puissant, plus le pouvoir

pénétrant est grand; (b) avec le poids atomique du corps traversé; plus un corps est pesant sous le même volume, plus il est dense, et plus les rayons X le traversent difficilement (mercure, plomb) et inversement; c'est pourquoi, dans l'organisme humain, les corps les plus denses (os) sont les plus imperméables aux rayons X, les moins denses (gaz intestinaux, pulmonaires) sont les plus transparents; (c) avec l'épaisseur de la matière traversée: il est bien évident que plus celle-ci est grande et plus les rayons X seront arrêtés. En somme, si l'on considère une ampoule en plein fonctionnement, on voit que les rayons les plus mous (c'est-à-dire les moins pénétrants) seront arrêtés par quelques centimètres d'air; ceux un peu moins mous arriveront jusqu'à la peau mais n'iront pas plus loin; tandis que les rayons durs iront jusque dans la profondeur des tissus et d'autant plus loin qu'ils seront plus pénétrants, plus durs.

II. — PRODUCTION DES RAYONS X.

(1) Les sources d'énergie.

La première condition pour avoir des rayons X est de posséder un courant électrique à haute tension, au moins 30.000 volts; on en utilise même actuellement donnant 200.000 volts et plus. Au début, on se servait, faute de mieux, des vieilles machines statiques, comme la classique machine de Wimshurst que nous vîmes tous fonctionner lors de notre passage au collège. Vu ses inconvénients (débit trop faible et irrégulier), on ne tarda pas à l'abandonner pour s'adresser aux transformateurs qui sont basés sur le principe de la bobine d'induction.

Si deux circuits conducteurs sont voisins, toute variation électrique dans le premier (inducteur) retentit dans le deuxième (induit) par la formation d'un courant électrique dit « induit ». On envoie un courant de faible tension mais de forte intensité dans le circuit « primaire », formé d'un fil métallique gros et court, donc peu résistant, enroulé sur un noyau de fer doux (dont l'aimantation, lorsque le courant passe, ajoute encore son

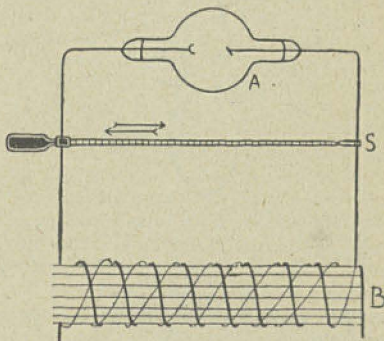
effet inducteur propre à celui du courant primaire), ce premier courant induit donne naissance, dans le circuit « secondaire », formé d'un fil fin et long (déroulé, il peut atteindre plusieurs kilomètres), donc très résistant, à un courant de tension forte et d'intensité faible mais suffisante néanmoins pour faire fonctionner l'ampoule radiogène. C'est, en somme, le principe de la classique bobine de Rhumkorff. Chaque fois que le courant continu initial est brusquement et rythmiquement coupé ou rétabli, naît dans le circuit induit un deuxième courant. Pratiquement, on n'utilise que l'onde de rupture, toujours beaucoup plus énergique que l'onde de fermeture, qui est absorbée avant son arrivée dans le tube.

Comment arrive-t-on à couper assez brusquement, rapidement et rythmiquement le courant continu utilisé pour alimenter l'ampoule radiogène? Grâce à des *interrupteurs*. On a abandonné les anciens systèmes à marteau beaucoup trop lents pour un système électrolytique et surtout pour les *interrupteurs à turbine et à jet*

de mercure. Alors que dans le désuet système à marteau, c'était un ressort qui se chargeait de ramener à sa position initiale un marteau lorsqu'il cessait d'être attiré par un noyau de fer doux, ce qui limitait considérablement le nombre des interruptions, ici, c'est une petite turbine qui, par son mouvement rapide de rotation, oblige deux jets de mercure à s'épandre sur deux palettes métalliques convenablement disposées ; le passage du jet sur les palettes établit le courant, les intervalles entre les palettes correspondent à des interruptions de courant. On voit donc le grand nombre d'interruptions qu'on peut avoir en seconde (jusqu'à 200), surtout si l'on remplace l'air se trouvant à l'intérieur de l'appareil par un milieu plus isolant (gaz d'éclairage ou, à défaut, vapeurs d'éther produites par une soufflerie).

Tout ce que nous venons de dire s'applique donc au *courant continu*. Mais les Compagnies nous fournissent généralement du *courant alternatif*, plus facile et moins coûteux à transporter. Ce courant, comme son nom nous l'indique, passe alternativement par un maximum positif, un zéro, un maximum négatif, un zéro, un maximum positif, etc... tous ces changements s'effectuant plusieurs fois en une seconde. Or, un tel courant ne peut passer dans une ampoule qui nécessite un courant toujours de même sens. On emploie donc des dispositifs qui coupent sans pitié ce malheureux courant, ne laissant ainsi arriver dans le circuit primaire qu'une de ses moitiés. Au lieu d'interrupteurs coupant le courant, il existe des appareils (*contacts tournants*) qui font un tri, et choisissent une seule phase, toujours la même, du courant alternatif, laissant dédaigneusement l'autre de côté.

Mais alors intervient un facteur qui gênerait le passage toujours dans le même sens du courant dans l'ampoule : c'est l'onde inverse, onde développée dans la bobine par la fermeture du courant primaire et qui, ingrate qu'elle est, tend à cheminer en sens inverse du courant qui l'engendra, contrariant donc sa marche, puisque sa direction serait de la cathode vers l'anode au lieu d'être, comme elle le devrait, de l'anode vers la cathode. Il faut, par conséquent, créer, sur le trajet du secondaire, une résistance électrique assez forte pour arrêter cette onde inverse funeste au fonctionnement de la machine mais pas assez pour empêcher le passage de l'onde directe, absolument indispensable au dit fonctionnement. On y parvient grâce aux *souppapes*, sorte

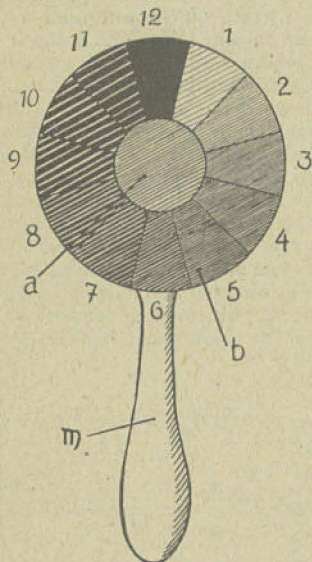


Le Spintermètre (Duhem). — A : ampoule ; S : le Spintermètre ; B : bobine d'induction.

d'ampoules dont une des électrodes est immense par rapport à l'autre qui est minuscule (d'une part, un gros fil enroulé en tire-bouchon, d'autre part, une surface quasi punctiforme), l'électrode fonctionnant seulement

lorsque le sens du courant en fait une cathode, l'onde, pour laquelle elle devient une anode, se trouvant arrêtée.

Pour mesurer la résistance totale du



Radiochronomètre de Benoist. — a : disque d'argent ; b : disque d'aluminium ; m : manche.

circuit électrique de l'ampoule (et pratiquement celle de la résistance intérieure, l'ampoule suffit), on utilise un appareil, imaginé par M. Becclere, disposé sur le circuit secondaire. C'est le *spintermètre*. On intercale entre la bobine et l'ampoule une tige métallique graduée en centimètres et glissant, à frottement doux, dans une bague également métallique ; cette tige est terminée à une extrémité par un manche isolant permet-

tant de la saisir pour la faire glisser plus ou moins d'une bague à l'autre, par une pointe effilée ; en face de celle-ci est une petite pointe fixe. Entre ces deux pointes, suffisamment écartées jaillira l'étincelle. Si, au contraire, elles sont rapprochées au contact, le circuit est fermé sur le spintermètre, on a un circuit « bobine-spintermètre-bobine », le courant ne passe plus dans l'ampoule. Écartons maintenant, d'une manière progressive, la tige mobile de la pointe fixe ; une étincelle passe ; mais, à un moment donné, la couche d'air interposée est assez grande pour que sa résistance électrique, jusqu'ici inférieure à celle de l'ampoule, devienne juste supérieure à celle de l'ampoule et le courant, choisissant toujours le chemin le moins pénible, abandonne le spintermètre pour passer dans l'ampoule, réalisant le circuit normal « bobine-ampoule-bobine ». C'est ce qu'on exprime, après avoir mesuré en centimètres cette distance, en disant que l'ampoule a tant de centimètres d'étincelle équivalente. Plus l'ampoule est résistante, c'est-à-dire plus les radiations émises sont pénétrantes, plus l'étincelle équivalente est grande, puisqu'il aura fallu davantage écarter la tige mobile. Par conséquent, la longueur d'étincelle équivalente permet d'apprécier approximativement la qualité des rayons X (nous verrons au chapitre de la radiothérapie comment on apprécie leur quantité). On convient de dire qu'une étincelle de 5-6 centimètres correspond à un tube mou, une de quinze centimètres à un tube dur.

Mais on réalise beaucoup plus exactement une telle mesure avec le *radiochronomètre de Benoist*, basé sur le principe suivant. Certains corps traversés par les rayons X se laissent également traverser par eux, qu'ils

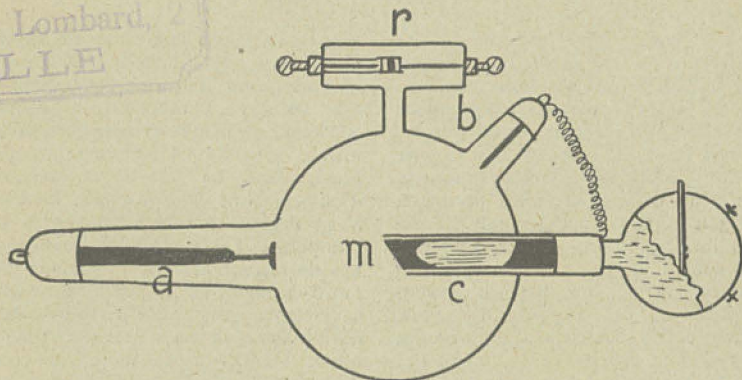
derniers soient durs ou mous (*corps aradiochromiques*); d'autres, au contraire, plus difficiles, font un choix parmi les rayons X les traversant (*corps radiochromiques*), ne laissant passer que les rayons durs et retenant les rayons mous proportionnellement à leur épaisseur. Citons parmi les premiers, l'argent; parmi les seconds, l'aluminium. Si donc, autour d'un disque central d'argent, d'une épaisseur donnée (11^{mm}), on dispose, concentriquement, en rayons de roue, douze petits secteurs d'aluminium, d'épaisseur croissante (1, 2, 3, 4... 12^{mm}), et qu'on place cet appareil entre un faisceau de rayons X et un écran fluorescent, qui s'illuminera sous leur passage, on verra une image fixe pour le disque d'argent, également perméable à toutes les sortes de radiations, et des images de plus en plus foncées correspondant aux épaisseurs de plus en plus grandes des secteurs d'aluminium. On recherche, par comparaison, celui des douze secteurs qui a une teinte analogue à la teinte étalon de l'argent. Est-ce, par exemple, le secteur de 8^{mm} d'épaisseur? Convenons de l'appeler secteur n° 8, et disons que nous avons affaire à un rayonnement n° 8 ou de 8 unités Benoist (plus rapidement, de 8 B.). On admet que les rayons 1 et 2 sont très mous; 2 et 3, mous; 4, 5 et 6, moyens; 6 et 7, demi-durs; 9 et 10, nettement durs; 11 et 12, très durs.

(2) Les ampoules radiogènes.

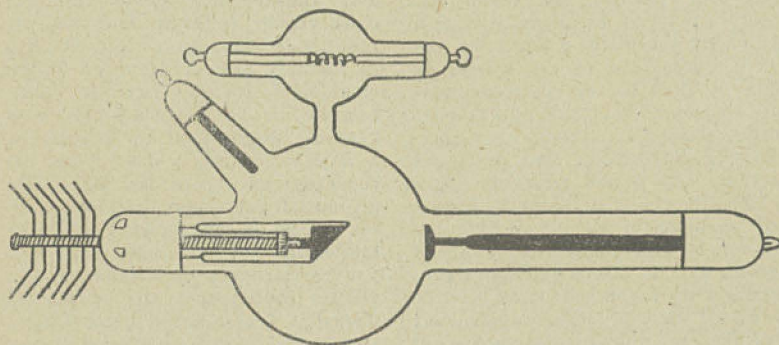
L'ampoule à rayons X est constituée par une ampoule de verre soufflée en un ballon de capacité variable (3-4 litres), de façon à avoir sa partie centrale sphérique et ses deux extrémités allongées pour donner passage aux deux électrodes : la négative

ou cathode, la positive ou anode. La cathode est formée d'un miroir en aluminium, de forme concave pour que les rayons cathodiques se rassemblent au centre de courbure de ce miroir. L'anode est terminée par une lame, placée en face de la cathode, d'où son nom d'*anti-cathode*, inclinée à 45 degrés et placée au centre de l'ampoule. Les rayons cathodiques, nés de la cathode, seront arrêtés par l'anti-cathode, et le point de l'anti-cathode frappé par les rayons cathodiques et d'où naissent par conséquent les rayons X, porte le nom de *point d'impact*. L'anti-cathode est construite en platine iridié et surtout en tungstène, métaux choisis pour leur dureté, leur poids atomique considérable (puisque l'intensité de production des rayons X croît avec ce facteur) et leur point de fusion très élevé (pour éviter que l'anti-cathode ne se mette à fondre sous l'énorme dégagement de chaleur dû à la transformation des rayons cathodiques en rayons X). Mais cette précaution est encore parfois insuffisante et on est obligé de la refroidir en la montant sur une masse métallique (cuivre) terminée en dehors par des ailettes (radiateur à air) ou par un dispositif à circulation d'eau (radiateur à eau). Certaines ampoules dites « intensives », ainsi protégées, peuvent supporter pendant un temps très court, il est vrai, des intensités de courant considérables (jusqu'à 50 milliam-pères).

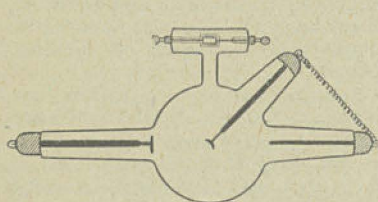
Inutile de dire que la construction d'une ampoule est chose fort délicate, puisqu'il faut réaliser un appareillage absolument étanche, sans aucune fuite. Une fois l'ampoule garnie de ses accessoires et vérifiée quant à son étanchéité, on fait le vide en son intérieur avec une pompe à mercure,



Ampoule radiogène Pilon intensive à refroidissement par eau.
 a : cathode ; b : anode ; c : anticathode ; m : miroir ; r : régulateur.



Ampoule radiogène au D Belot, à refroidissement à ailettes pour la radiothérapie.



Ampoule radiogène Filon pour les petites installations.

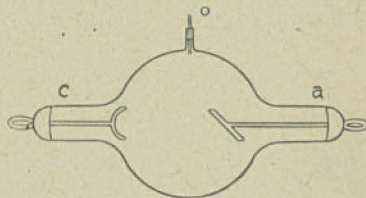
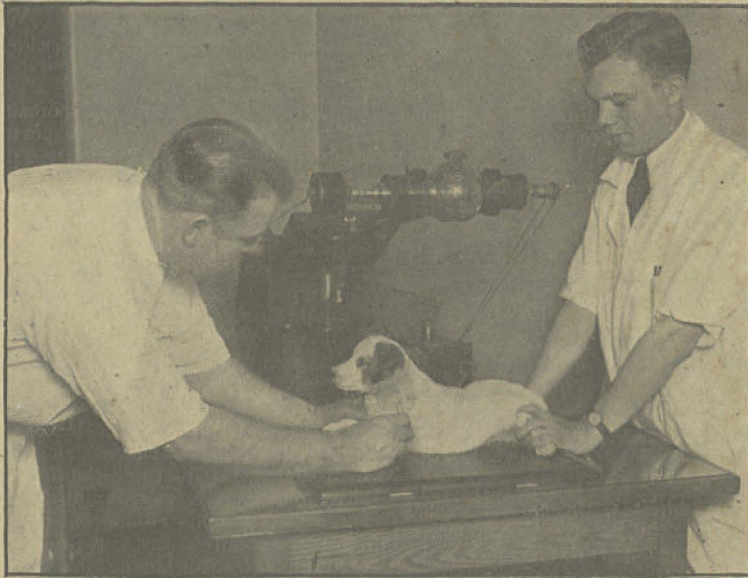


Schéma d'une ampoule radiogène. — o : osmo-régulateur de Villard ; c : cathode ; a : anticathode.

jusqu'à $1/10^6$ de mm. de mercure. Quoique ce vide soit extrêmement poussé, l'ampoule renferme encore des molécules gazeuses. En effet, le nombre des molécules contenues dans un centimètre cube d'air est prodigieux : il faut un 3 suivi de 19 zéros ! Si l'on

(Malgorn). Pendant tout ce temps, l'opérateur doit se mettre rigoureusement à l'abri des rayons X se formant dans l'ampoule et en irradiant pour éviter les accidents graves dont nous reparlerons. Aussi, le pompage s'effectue-t-il dans une cabine de bois revêtue



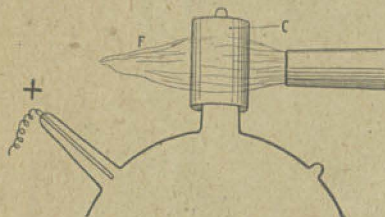
Les animaux bénéficient également de la radiothérapie.

rangeait ces molécules en tas d'un milliard, il faudrait, pour compter tous ces tas successifs, en mettant une seconde pour passer de l'un à l'autre, 10 siècles en ne s'arrêtant ni jour ni nuit ! (Olmer) ; dans l'espace d'un demi-millimètre cube, c'est-à-dire le volume d'une tête d'épingle, il y a dix millions de fois plus de molécules d'air qu'il n'y a d'êtres humains vivant actuellement à la surface de la terre

de plomb qui recouvre les rayons X, cabine où est ménagée une fenêtre de verre plombé permettant de suivre constamment l'opération et de pratiquer toutes manœuvres utiles.

Voici donc notre ampoule toute prête à fonctionner. Est-ce tout et le radiologue peut-il laisser marcher son ampoule sans avoir à s'en préoccuper ? Nullement. Car, au fur et à mesure que fonctionne l'ampoule, le

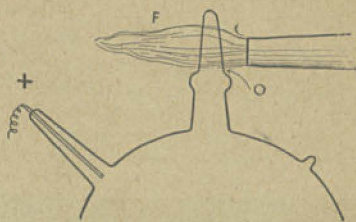
gaz qui restait dans son intérieur (puisqu'il n'y avait qu'un vide partiel, le vide absolu arrêtant tout courant électrique), support absolument indispensable pour le passage facile du courant producteur de rayons X, va en diminuant, étant « consommé » en quelque sorte par ce courant. Conséquence : la résistance opposée au courant par le tube va constamment en augmentant; les rayons X, pour pouvoir la franchir, deviennent de plus en plus pénétrants, de plus en plus durs; ce qui se traduit par un accroissement de longueur de l'étincelle équivalente et une augmentation de numéro au radiochromomètre de Benoist. L'am-



Osmo-régulateur de Villard. (Pour durcir.)
— C : capuchon ; F : flamme.

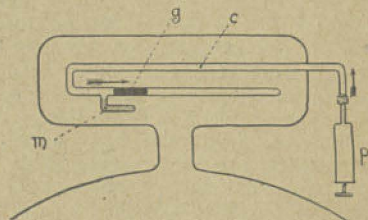
poule « durcit », dit-on en langage courant, ce qui est très gênant (pendant un examen radioscopique du poumon, par exemple, une lésion légère facilement pénétrable, bien visible au début, le devient de moins en moins et même plus du tout avec des rayons trop durs). En somme, si un tube est mou, c'est qu'il contient beaucoup d'air, et s'il est dur, parce qu'il en renferme très peu. Que faire? Puisque du gaz s'en va, eh bien! il faut en remettre dans l'ampoule pour remplacer celui disparu. Nous citerons trois des procédés les plus employés :

a). Osmo-régulateur de Villard :



Osmo-régulateur de Villard (pour mollir).
— F : flamme ; O : osmo-régulateur.

ce procédé est basé sur une porosité spéciale de certains éléments portés au rouge. De même que la fonte d'un poêle chauffé à blanc laisse passer dans l'atmosphère de la pièce le dangereux gaz oxyde de carbone formé dans le poêle, de même, le platine porté au rouge devient perméable à l'hydrogène. A cet effet, on soude à la paroi de l'ampoule un petit tube creux de platine, en doigt de gant. Si l'ampoule a durci et qu'on veuille diminuer le vide régnant à son intérieur en y introduisant un peu de gaz, il suffit de chauffer le platine avec le centre d'une flamme de bec Bunsen, riche en hydrogène. Le platine chauffé le laisse passer et le gaz diminue, une fois introduit dans l'ampoule, sa résistance excessive. On a réalisé une véritable « transfusion de gaz ». Au contraire, le tube est-il trop mou et

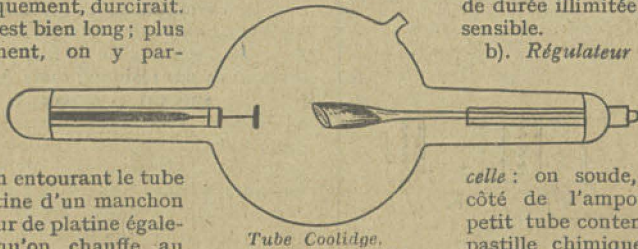


Régulateur à Air de Bauer. — g : gouttelette de mercure ; m : mica comprimé ; C : petit tube de verre ; p : pompe.

veut-on le durcir? On pourrait, évidemment, laisser fonctionner quelque temps l'ampoule qui d'elle-même, automatiquement, durcirait. Mais c'est bien long; plus rapidement, on y par-

L'osmo-régulateur (appareil basé sur cette perméabilité spéciale aux gaz ou « osmose ») est un procédé de durée illimitée et très sensible.

b). Régulateur à étin-



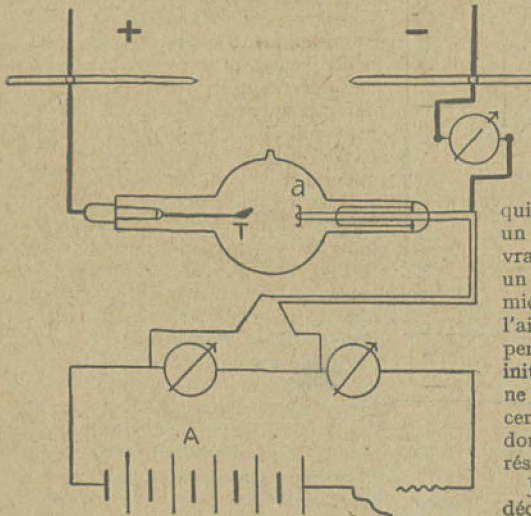
vient en entourant le tube de platine d'un manchon extérieur de platine également qu'on chauffe au rouge; le tube intérieur rougit lui aussi et, se trouvant baigné dans une atmosphère d'air pur, l'hydrogène contenu dans l'ampoule

sous l'action d'un courant électrique, laisse échapper dans l'ampoule le gaz qu'il renfermait. Ce procédé n'a qu'une durée limitée (jusqu'à épuisement des gaz contenus dans la pastille).

c). Régulateur à air de Bauer : on introduit directement de l'air atmosphérique dans l'ampoule grâce à un coup de pompe

qui déplace temporairement un index de mercure, découvrant ainsi un court instant un petit tube renfermant du mica comprimé perméable à l'air. Dès qu'on cesse de pomper, l'index revient à sa place initiale, bouche le mica, l'air ne passe plus. Ce procédé est certes ingénieux, mais ne donne pratiquement que des résultats médiocres.

Jusqu'ici, nous venons de décrire des systèmes d'ampoule où l'émission des électrons se faisait uniquement aux dépens du gaz restant dans l'ampoule (gaz résiduel). Il existe, depuis peu, un deuxième type d'ampoule, où le vide est poussé jusqu'à l'absolu.



Montage d'un tube Coolidge. — T : le tube Coolidge; A : batterie d'accumulateurs chauffant le fil : a.

sort cette fois-ci et va se perdre à l'extérieur, accomplissant un trajet inverse à celui décrit précédemment.

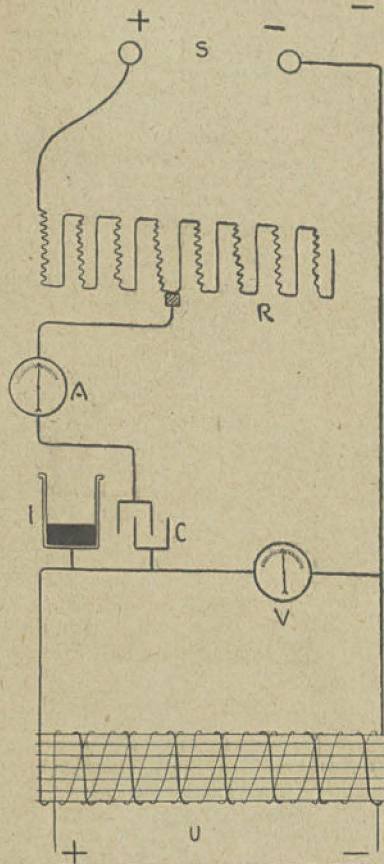


Schéma de montage du primaire (Duhem).
 — S : source ; R : rhéostat (formé d'un fil résistant dont on peut mettre à volonté un nombre de tours variable en circuit pour faire varier à volonté l'intensité du courant). — A : ampèremètre (pour mesurer l'intensité du courant ; est placé en série, c'est-à-dire est traversé directement par le courant) ; I : interrupteur (pour établir et couper brusquement le courant) ; C : condensateur ; V : voltmètre (pour mesurer la tension ; est placé en dérivation, c'est-à-dire n'est traversé qu'indirectement par le courant) ; U : utilisation.

Le courant ne peut donc passer ; comment tourne-t-on la difficulté ? C'est un ingénieur américain, Coolidge, qui résolut élégamment ce problème, en réalisant l'ampoule Coolidge. Ici, l'émission des électrons ne se fait plus aux dépens du gaz résiduel, mais grâce au principe suivant : un corps chauffé au rouge, produisant des vapeurs métalliques, émet donc ses électrons, particules indispensables au passage du courant (effet Edison). La cathode, dans le tube Coolidge, est constituée par un filament métallique (tungstène) que l'on peut chauffer jusqu'à incandescence à l'aide d'un courant électrique auxiliaire (batterie d'accumulateurs). La production des rayons X ne dépend donc plus de la marche de l'ampoule elle-même, grâce comme précédemment à un vide convenablement poussé, ni trop ni trop peu, mais elle dépend seulement d'un dispositif complètement indépendant du courant principal. Deux gros avantages en découlent aussitôt : d'une part, comme il est très facile de maintenir fixe la température du filament, on obtient aisément un courant constant dans le temps, sans que le radiologue soit obligé d'employer l'osmo-régulateur ou tout autre appareil analogue ; d'autre part, puisqu'il est facile de faire varier la température de ce filament, c'est sans aucune peine que l'on peut modifier à volonté la puissance de pénétration des rayons X (car plus la température du filament augmente, plus le degré de vide est poussé, plus les rayons sont pénétrants), passant des rayons durs aux rayons mous et inversement. Ce n'est pas tout : vu la fixité du point d'impact (point d'où émanent les rayons X engendrés par l'arrêt brusque des rayons cathodiques), on peut concentrer les rayons en un faisceau très serré, ce qui est précieux

pour augmenter la finesse des images. Ainsi donc, grâce à l'indépendance de l'intensité du rayonnement et de sa qualité, on peut, en actionnant simplement deux manettes, modifier, à volonté et instantanément, d'une part la *qualité* de pénétration des rayons émis (en agissant sur la température du filament), d'autre part la *quantité* totale de rayons (en agis-

de l'appareil (une ampoule vaut dans les 3.000 francs, et comme on peut être appelé à la renouveler souvent, cela grèverait lourdement le budget du radiologue.)

Pour nous résumer, nous dirons que l'ensemble des appareils nécessaires pour produire les rayons X comprend (Duhem) :

- 1). Le circuit primaire qui part de la

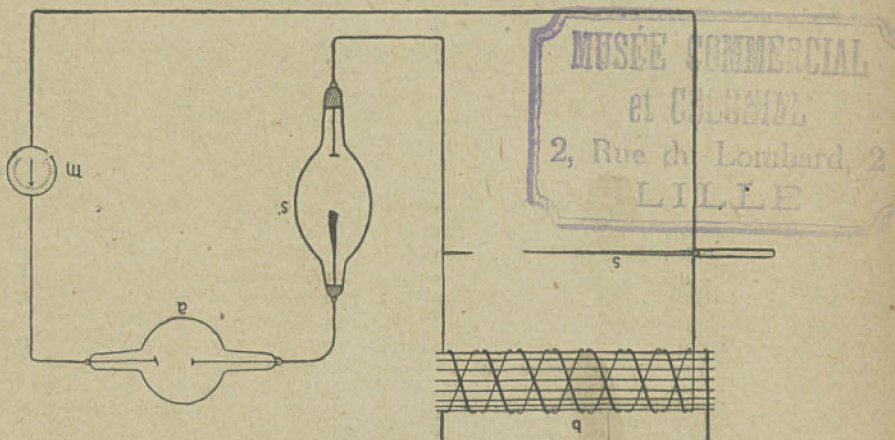


Schéma de montage du secondaire. — b : bobine ; S : spintermètre ; a : ampoule ; m : milliampèremètre ; S' : soupape ; a : ampoule.

sant sur la différence de potentiel aux deux bornes du tube). Donc, les tubes Coolidge ne sont ni durs ni mous, puisqu'ils ne contiennent pas d'air du tout. En terminant, nous devons reconnaître que ce procédé, si précieux par certains côtés, offre des inconvénients non négligeables qui en limitent la portée : possibilité d'accidents mortels si l'opérateur touche un circuit de haute tension (exemple de la mort du radiologue Jaugeas, foudroyé en pratiquant un examen radiologique dans son service d'hôpital) et prix coûteux

source d'énergie et va jusqu'au circuit du transformateur et qui comprend :

- a). Le rhéostat de réglage du courant primaire ; b) l'interrupteur autonome à mercure et le condensateur, pour accumuler de l'énergie ; c) l'ampèremètre ; d) le voltmètre (facultatif) ; e) le circuit primaire de la bobine.
- 2) Le circuit secondaire qui part de l'enroulement secondaire de la bobine et aboutit aux deux bornes de l'ampoule. Il comporte : a) les soupapes, généralement au nombre de deux ; b) le spintermètre ; c) le milliampèremètre ; d) l'ampoule.

III. — APPLICATIONS MÉDICALES DES RAYONS X.

Celles-ci sont au nombre de trois : la *radioscopie* et la *radiographie* utilisées seulement dans un but diagnostique (*radio-diagnostic*), et la *radiothérapie*, servant pour le traitement de certaines affections.

On appelle *radioscopie* la méthode consistant à placer le patient à examiner devant l'ampoule radiogène pour que les rayons X émanés d'elle le traversent, et à interposer entre le dit patient et l'œil de l'observateur un écran qui s'illuminera plus ou moins, suivant la quantité de rayons ayant traversé le corps du patient.

On appelle *radiographie* le procédé utilisant le pouvoir qu'ont les rayons X d'impressionner les plaques photographiques en substituant à l'écran employé en radioscopie une plaque photographique. On peut ainsi garder une image durable et non plus fugitive, durant juste le temps de l'examen, comme pour la radioscopie.

Enfin, dans la *radiothérapie*, on envoie des rayons X sur la peau ou tous autres tissus pour leur faire subir des modifications bienfaisantes spéciales.

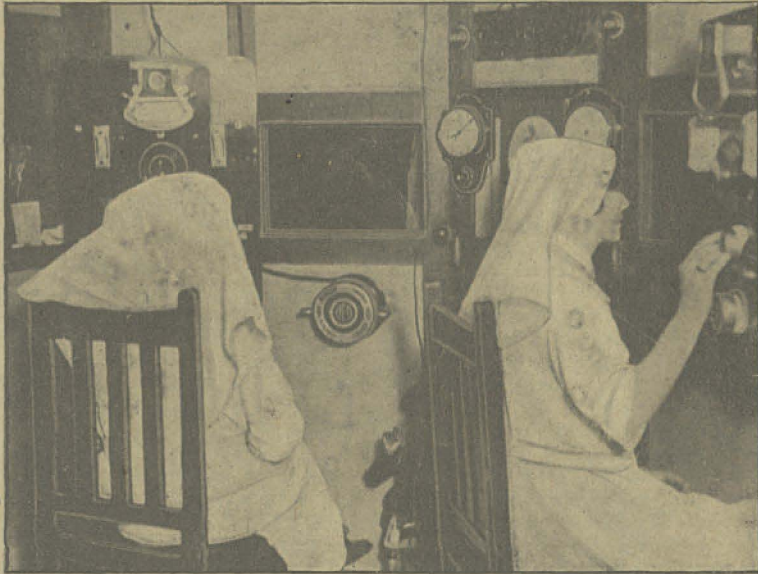
(1) RADIOSCOPIE

« Pour obtenir une image radioscopique, on place la partie à examiner devant le tube et on met devant elle un écran au platino-cyanure de baryum. Les rayons partant de l'ampoule la traversent plus ou moins, suivant qu'ils sont plus ou moins durs, et viennent, s'ils l'ont traversée complètement, frapper l'écran qui alors s'éclaire. Si les rayons ne pénètrent pas la partie à examiner, qu'ils soient arrêtés parce que pas assez pénétrants, l'écran ne sera pas illuminé ; il paraîtra noir en cet endroit. Le corps humain est composé de parties qui se laissent pénétrer différemment par les rayons dont l'écran présentera des parties plus ou moins éclairées ou obscures. C'est cette gamme d'ombres et de parties éclairées qui formera sur l'écran l'image radioscopique » (Josserand).

Il ne faut pas croire que les ombres obtenues sur l'écran soient la reproduction exacte de la réalité. Ce ne sont que des images *approximatives*, parce qu'agrandies et déformées

d'autant plus agrandies que la surface examinée est placée près de l'ampoule et plus loin de l'écran, d'autant plus déformées que les images sont examinées plus obliquement par rapport à l'anticathode. Pour obtenir

exact, non déformé de l'objet à examiner. On a réalisé un *orthoradiogramme*, toujours utile, parfois indispensable (examen des affections du cœur et de l'aorte). Pour avoir une image correspondant bien à l'objet,



☞ Cette photo montre la fenêtre permettant de voir les rayons X sur le patient et réduisant au minimum les risques pour l'opérateur.

une image vraiment exacte, il faut donc déplacer successivement l'ampoule de telle façon que les rayons issus du centre de l'anticathode soient constamment perpendiculaires à l'écran (*rayon normal*) ; si on relie par un trait les différents points ainsi successivement marqués sur l'écran radioscopique, on obtient un contour

il existe aussi un autre procédé, d'ailleurs moins bon : la *téléradioscopie*. On se rappelle que les ombres sont d'autant moins agrandies que l'ampoule est plus éloignée du patient. Si donc on place l'ampoule à une distance suffisante pour avoir des rayons parallèles, l'image ne sera plus déformée. L'inconvénient de ce procédé,

est de nécessiter de trop grandes intensités pour compenser l'éloignement de l'ampoule.

Les différentes ombres observées sont dues, avons-nous dit, à la différence de densité des corps traversés. On s'est ingénié à augmenter leur visibilité par différentes méthodes. On peut, ou bien exagérer la clarté de l'organe à examiner, pour qu'il tranche plus nettement sur les parties voisines plus sombres, ou bien, au contraire, introduire à l'intérieur de ces organes une substance opaque aux rayons X, leur silhouette ainsi dessinée en ombre chinoise contrastant nettement avec les régions environnantes relativement plus claires.

Pour le premier procédé, le plus simple consiste à introduire de l'air dans le tube digestif soit par absorption d'une potion (bicarbonate de soude, acide tartrique) dégageant dans l'estomac du gaz carbonique qui le distend, soit, plus simplement encore, en insufflant de l'air grâce à une sonde introduite dans l'estomac et reliée à une soufflerie. Une méthode plus compliquée est le *pneumopéritoine*; pour augmenter la visibilité des organes abdominaux, on introduit, par ponction aseptique de la peau, du gaz (oxygène, acide carbonique) dans la grande cavité péritonéale. Ce gaz va s'infiltrant entre tous les viscères et souligne de sa vive clarté les limites plus sombres des organes abdominaux (foie, rate, rein) ou de productions pathologiques quelconques (tumeurs) qui, par contraste, se détachent nettement.

Dans le deuxième procédé, toujours par le tube digestif, on fait avaler au patient une substance opaque (bismuth, baryum), rarement en cachet, surtout en bouillie qui, remplissant de sa masse le tube di-

gestif, le fait apparaître en noir. Pour les bronches, on injecte, par la trachée, une substance opaque (huile iodée) qui se répand jusque dans les plus fines ramifications bronchiques. Pour l'uretère (conduit reliant le rein à la vessie) et pour celle-ci, on injecte par les voies naturelles une autre substance opaque (collargol, bromure de sodium). Enfin, tout récemment, on a préconisé l'injection d'huile iodée (lipiodol) dans le canal rachidien qui entoure la moelle (en passant à travers deux vertèbres, afin de délimiter, à la radio, l'image d'une tumeur médullaire.

Terminons ce chapitre sur la radioscopie par quelques détails matériels. La salle d'examen sera vaste, bien aérée; on devra surtout pouvoir y réaliser une obscurité complète pendant les séances, grâce à une occlusion parfaitement hermétique de toutes les parties pouvant laisser passer la lumière (fenêtres, joints, portes). Il faut, en effet, éviter à tout prix l'introduction brusque de lumière susceptible de troubler l'adaptation du radiologue. Que faut-il entendre par ce terme d'adaptation? On sait que, lorsqu'on passe subitement du grand jour à l'obscurité complète, on ne voit absolument plus rien, on est complètement aveuglé par l'obscurité tout comme on le serait par une lumière éblouissante. Il faut donc attendre un certain temps (généralement, cinq à dix minutes, parfois moins chez certaines personnes aux « yeux de chat » voyant immédiatement ou presque après leur passage de la lumière dans l'obscurité) pour que l'œil puisse distinguer nettement les objets qui l'environnent dans l'obscurité régnant autour de lui. C'est pourquoi, s'il vous est arrivé de pénétrer dans la salle de radiologie d'un

hôpital, vous aurez pu voir les radiologues, entrant dans la pièce, s'asseoir et causer un certain moment entre eux avant de commencer l'examen des malades. Ce n'est pas pur bavardage, mais seulement la nécessité d'attendre un certain temps pour qu'on soit « adapté ». Si, au cours de l'examen radioscopique, on a besoin de lumière (prise de notes, manipulations à effectuer aux appareils), on doit se servir d'une lumière assez faible et colorée (jaune, rouge) pour ne pas troubler l'adaptation.

Pour que l'ampoule puisse se déplacer à volonté verticalement, et horizontalement, on emploie des châssis verticaux dérivés du *châssis de Beclere*, grand cadre rectangulaire, de bois dans lequel un autre cadre plus petit se meut de haut en bas, à l'aide d'un jeu de poulies et de contrepoids ; un troisième cadre glisse horizontalement dans le deuxième (Duhem). En outre, un diaphragme permet, par son ouverture plus ou moins grande, d'examiner une région ou très vaste ou très limitée (les deux poumons ou bien un petit espace grand comme une pièce de cent sous) avec, naturellement, tous les intermédiaires possibles.

Pour pratiquer les examens couchés, on se sert d'une *table radiologique* de bois mince mais résistant et transparent aux rayons X. Quant aux *écrans fluorescents*, il sont ainsi constitués : on saupoudre de fins cristaux de platino-cyanure de baryum une feuille de carton enduite de gomme arabique pour assurer leur adhésion ; on fixe avec un vernis, on monte dans un cadre en bois et on recouvre, du côté de l'opérateur pour le protéger, d'une glace en verre plombé pour arrêter les rayons X. Actuellement, vu les prix considérables qu'atteignent les écrans au platino-cyanure

de baryum, on se sert souvent d'écrans au tungstate de calcium, beaucoup plus économiques et de fluorescence sensiblement égale, la seule différence étant que la coloration d'un tel écran illuminé par les rayons X est blanc-grisâtre au lieu d'être jaune-verdâtre comme avec le baryum.

(2) RADIOGRAPHIE

On impressionne, avons-nous dit, des plaques photographiques par les rayons X pour obtenir un cliché de la région à examiner. L'obtention et la possibilité de conservation d'une pièce indiscutable est précieuse pour renseigner, sans doute possible, sur l'existence ou l'absence d'une lésion donnée, chose parfois très importante au point de vue médico-légal.

Mais l'inconvénient de la radiographie est de nous montrer la froide image photographique d'un objet immobilisé « mort », au lieu que la radioscopie nous faisait voir les organes vivants en plein fonctionnement. En somme, les deux méthodes ne s'excluent pas ; chacune a ses indications spéciales et très fréquemment elles se complètent l'une l'autre. (Une victime a-t-elle ou non une fracture ? Un militaire demandant une pension a-t-il ou non une lésion pulmonaire ou digestive?..)

Pratiquée à intervalles réguliers, la radiographie permet d'enregistrer les états successifs de la maladie, de suivre son évolution, ce qui peut être très utile pour porter un pronostic. Enfin, la radiographie a le gros avantage d'être bien plus sensible que la radioscopie, révélant de fins détails qui avaient passé inaperçus à l'œil du radiologue. C'est que les plaques sont très sensibles pour les rayons peu pénétrants,

alors qu'il faut des rayons beaucoup plus pénétrants pour illuminer les cristaux de l'écran fluorescent ; d'autre part, les particules de sels d'argent qui composent une plaque, étant émulsionnés dans la gélatine, sont très petites et sont égales ; il n'en est pas de même pour l'écran où les cristaux de platino-cyanure, ne devant pas être broyés, ont une certaine grosseur (environ $1/2 10^6$ de mm.) On a donc une différence de finesse analogue à celle séparant la fine trame d'un portrait fait chez le photographe de la trame grossière d'une reproduction dans un journal.

Les plaques employées sont analogues à celles servant pour la photographie. On utilise généralement une émulsion très rapide (plaques à l'iodobromure d'argent). Pour obtenir une image très nette, il faut éliminer au maximum les rayons : *secondaires* qui naissent dans toutes les directions, au niveau de tous les points frappés par les rayons X, et qui voilent la plaque pour peu que le temps de pose soit prolongé. On y arrive, d'une part, en employant un *localisateur* « dont l'ouverture limite à la fois la région à radiographier et le cône des rayons émanant de l'ampoule à cette seule région » (Duhem) et, d'autre part, en utilisant l'*anti-diffuseur*, série de lames de plomb disposées en une rangée horizontale et de telle sorte qu'elles ne laissent passer que les rayons directs, arrêtant tous, ou du moins une grosse partie, des rayons secondaires. L'expérience a montré que, pour avoir une bonne radiographie, il fallait employer des rayons peu pénétrants, ne dépassant pas le n° 6 au radio-chromomètre de Benoist, les rayons plus durs traversant plus facilement les tissus mous, d'où obtention d'une image grisâtre uniforme sans ces con-

trastes de teintes qui font la beauté d'un cliché.

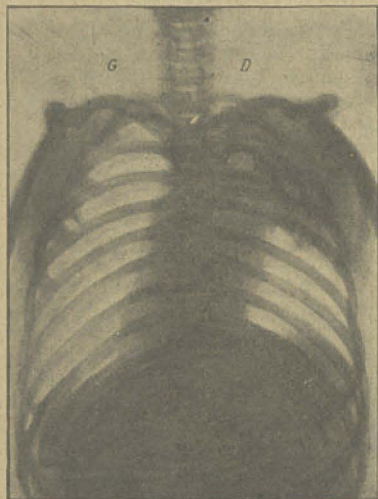
La table radiographique est construite de manière à, une fois le sujet couché sur cette table, permettre de déplacer ou l'ampoule ou le sujet lui-même. Elle comprend deux ampoules, une au-dessus, une au-dessous.

Il existe un appareil spécial pour la radiographie dentaire.

Pour faire une radiographie, on place la plaque sensible (bien enveloppée de papier noir, perméable aux rayons X, mais imperméable aux rayons lumineux qui l'impressionneraient) juste contre la région à radiographier. On l'y maintient immobile par des bandes de toile, un autre système permettant, quand besoin est, l'immobilisation du sujet (compresseur pour radiographies du rein, de la vésicule biliaire). On place l'ampoule à la position et à la distance voulue de la plaque. On fait passer le courant pendant le temps nécessaire, puis on retire la plaque et il ne reste plus qu'à la développer, comme une plaque photographique ordinaire (révélation, fixage et lavage).

Actuellement, on est arrivé à réduire considérablement le temps de pose pour les radiographies. Au lieu des poses interminables de jadis, on emploie aujourd'hui des poses de quelques secondes (5-10), d'où grand soulagement pour le malade, surtout s'il est obligé de rester immobile sans respirer pendant toute la durée de la pose, comme c'est le cas pour la radiographie pulmonaire. Pour réduire encore le temps de pose, on emploie de très fortes intensités (que fournissent un transformateur avec contact tournant) et des *écrans renforceurs*. Ce sont des feuilles de carton recouvertes d'une substance fluorescente (tungstate de

chaux) qui ont la propriété d'émettre sous l'influence des rayons X des rayons secondaires; aussi, lorsque l'écran renforçateur est appliqué intimement contre la plaque à impressionner, il se produit une augmentation de l'effet des rayons X permet-



CLICHÉ DU D^r CONTREMOULIN. — Tuberculose pulmonaire droite se traduisant par l'opacité marquée du poumon droit qui est pris de haut en bas avec seulement une partie intacte, claire, en bas et à droite. Côté gauche normal.

tant de réduire, d'une façon marquée, le temps de pose (1/25^e à 1/40^e de seconde et même avec les très fortes intensités, quelques centièmes de seconde). On est même arrivé à réaliser des *radiographies instantanées*, par le procédé de Dessauer. On intercale, dans le circuit de l'ampoule, un fil qui fondra à une intensité

donnée, analogue en somme, au coupe circuit ordinaire des canalisations électriques. Lorsque le circuit est fermé, l'ampoule s'allume vivement, impressionnant aussitôt la plaque; mais immédiatement, le fil fond et coupe le courant. Le temps de pose a été instantané. En disposant une série de fils fusibles, et de plaques, se succédant à intervalles déterminés, on peut obtenir une suite de films analogues à ceux du cinématographe.

Enfin, il nous reste à signaler la *radiographie stéréoscopique*, qui donne de si beaux effets en permettant la vision en relief des différents rapports dans l'espace des parties lésées (fractures, luxations, présence de corps étrangers, fins détails dans la radiographie pulmonaire). On prend deux plaques de la même région, en déplaçant l'ampoule de six centimètres lors de la deuxième pose, le patient restant toujours immobile et la deuxième plaque occupant toujours exactement la même place que la première. On est donc dans les mêmes conditions que la photographie stéréoscopique ordinaire. On examine les deux plaques dans un stéréoscope de grande dimension.

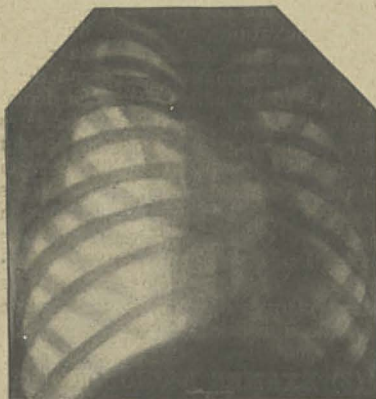
(3) EXAMEN RADIOLOGIQUE DES DIFFÉRENTS ORGANES

a) Appareil respiratoire.

L'examen du thorax se pratique généralement debout. On examine d'abord le sujet de face, placé au « garde-à-vous » (position antérieure), puis de dos après l'avoir fait pivoter sur lui-même (position postérieure) et, si besoin est, dans deux positions intermédiaires : oblique droite antérieure ou oblique gauche antérieure (O. I. D. A. et O. I. G. A.), suivant

que le malade, les bras levés comme s'il « faisait camarade », pivote ou par le côté droit ou par le côté gauche.

Supposons notre sujet placé, de face : on voit deux zones claires séparées par une masse sombre allongée. Les deux zones claires sont les poumons (champs pulmonaires), traversés par les ombres des clavicules horizontales, en haut et, sur toute leur hauteur, par les ombres parallèles et obliques des côtés. L'ombre allongée du milieu est due à la superposition de deux images : celle qui est en arrière, la colonne vertébrale, cachée par



CLICHÉ DU D^r MAINGOT. — Tuberculose pulmonaire traitée par le pneumothorax artificiel, à droite (vue prise de face et non plus de dos comme précédemment, d'où inversion des côtés). En allant de gauche à droite, on voit la clarté gazeuse qui envahit tout le côté, comprimant le poumon qui apparaît sous forme d'un moignon allongé de haut en bas, tassé contre la colonne vertébrale, vers le milieu du cliché. Au milieu, la colonne vertébrale ; plus à droite, l'ombre en pointe du cœur, réjoulé par le gaz ; enfin, le champ pulmonaire gauche, situé tout à fait à droite sur le cliché, avec sa transparence normale, mais qui, ici, paraît sombre par rapport à l'éclatante clarté du gaz.

celle se trouvant au devant : l'ombre du cœur et des gros vaisseaux en partant ou s'y rendant. L'ombre cardio-aortique repose sur une coupole sombre à convexité supérieure, le diaphragme, séparant le thorax de l'abdomen. Au dessous de lui, se trouvent les masses sombres des organes abdominaux : le foie à droite ; à gauche, l'estomac et la rate. Enfin, au niveau des champs pulmonaires, à mi-hauteur environ, partent, en rayonnant de l'ombre moyenne, pour se diriger à droite et à gauche, de fines ramifications : les ombres hilaires (dues à ce qu'elles se trouvent au niveau du hile du poumon par comparaison avec le hile d'un haricot), formées des vaisseaux allant ou venant du hile pulmonaire et des bronches.

En position oblique, on voit se séparer, se dissocier les deux ombres superposées de la colonne vertébrale, postérieure, et du cœur avec les gros vaisseaux, antérieure. Entre les deux, apparaît maintenant un espace clair : l'espace clair médian ou encore espace rétro-cardiaque (étant en arrière du cœur) ou pré-vertébral (étant en avant de la colonne vertébrale). Un deuxième espace clair se trouve entre le sternum et le cœur, en avant du précédent : c'est l'espace pré-vertébral ou rétro-sternal (situé en avant de la colonne vertébrale, mais en arrière du sternum).

L'examen du poumon comprend trois parties : a) statique (disposition générale du thorax) : le thorax est-il étroit, allongé avec un cœur étiré de haut en bas, « en goutte », comme on le voit chez le jeune citadin qui a grandi trop vite, « la grande asperge » ? Le thorax est-il court, trapu, tassé comme chez le petit paysan, au cou de taureau, robuste et solide ? Ou bien, avons-nous affaire à un thorax

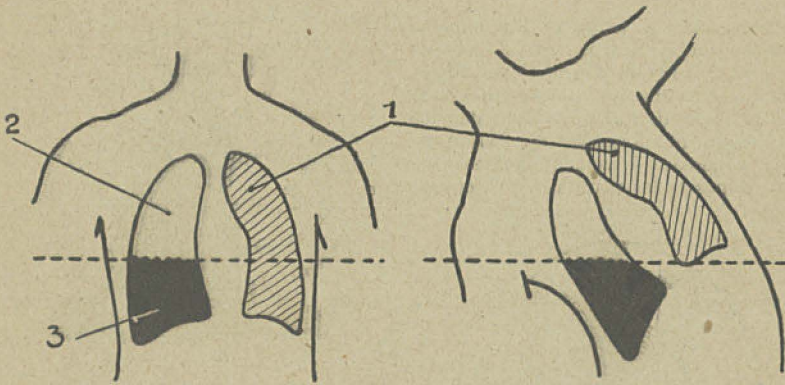
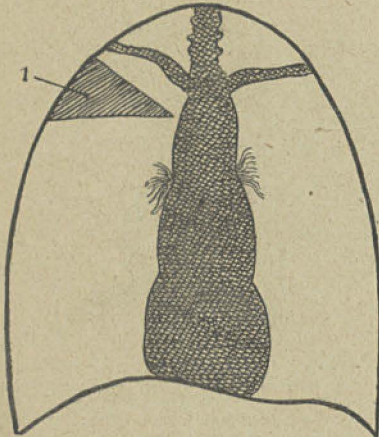


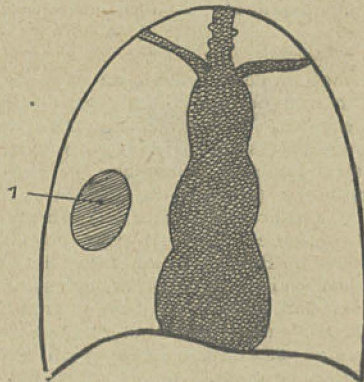
Schéma montrant que dans le cas d'hydro-pneumothorax (où le liquide peut remuer librement à l'inférieur du thorax) le niveau supérieur du liquide reste toujours horizontal quelle que soit la position donnée au malade. A gauche : malade debout ; à droite : malade penché. 1 : poumon normal ; 2 : gaz ; 3 : liquide.

harmonieusement proportionné, ni trop long, ni trop large, comme on le voit chez un bel athlète? b) *cinématique* (mouvements du thorax) : les côtes jouent-elles bien, le thorax se

remplit-il facilement d'air, le diaphragme est-il mobile comme normalement, s'abaissant à chaque inspiration, se relevant à chaque expiration (s'abaissant par l'irruption de l'air pénétrant, à chaque inspiration, dans les poumons ; se rele-

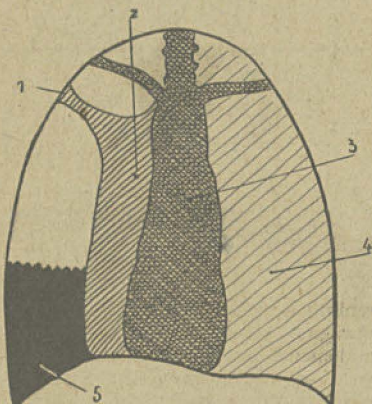


1 : Triangle pneumonique.



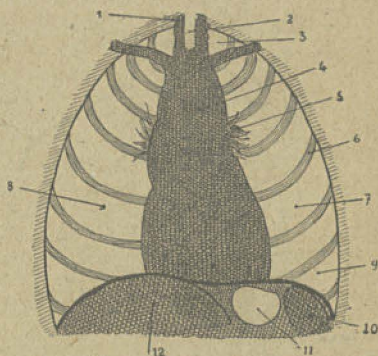
1 : Kyste du poumon.

vant, sous la poussée des organes abdominaux se trouvant au-dessous de lui)? c) *transparence* : normalement, les champs pulmonaires, vu la présence de l'air et la faible densité du tissu pulmonaire, sont transparents, laissant également et complètement passer les rayons X. En cas de



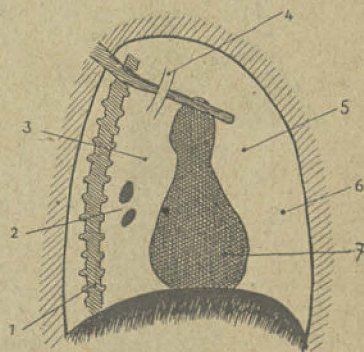
Hydro-pneumothorax. — 1 : adhérence retenant le poumon à la paroi ; 2 : moignon pulmonaire ; 3 : cœur refoulé vers la droite ; 4 : poumon gauche normal ; 5 : liquide avec ses petites vagues au niveau supérieur.

lésions, il peut y avoir ou excès de clarté ou ombres. Citons, parmi les premières, l'emphysème (transparence excessive des champs pulmonaires qui sont distendus), le pneumothorax (présence de gaz dans la cavité pleurale à la place du poumon), les cavernes (l'aspect type est la « bulle de Bouchard » sous forme d'une image claire, arrondie, comme si on avait fait dans le poumon un trou à l'emporte-pièce, limitée par un anneau sombre, et pouvant contenir un peu de liquide dans sa moitié inférieure).



Vue de face. — 1 : colonne vertébrale ; 2 : ruban clair de la trachée ; 3 : sommets pulmonaires ; 4 : ombre cardio-aortique ; 5 : ombres hilaires ; 6 : gril costal ; 7, 8 et 9 : champs pulmonaires ; 10 : ombre de la rate ; 11 : poche à air gastrique ; 12 : ombre du foie. (A gauche : poumon droit, à droite : poumon gauche).

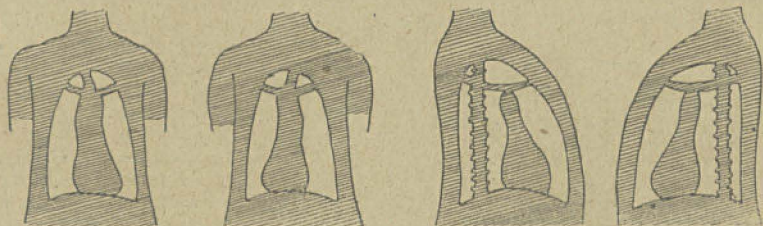
Mentionnons, parmi les ombres : la pneumonie (sous forme d'une ombre triangulaire au niveau de l'aisselle ;



Vue en O. I. D. A. — 1 : colonne vertébrale ; 2 : on a figuré deux ganglions ; 3 : espace clair rétro-cardiaque ou prévertébral ; 4 : trachée ; 5 : poumons ; 6 : espace clair rétro-cardiaque ou rétro-sternal ; 7 : cœur.

le triangle pneumonique); les kystes et tumeurs (masse sombre occupant un champ pulmonaire); la pleurésie (le

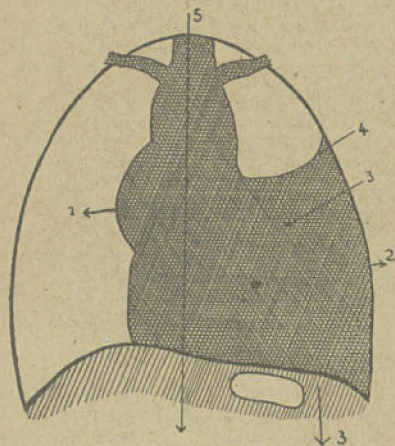
côté opposé; il jette un voile opaque : (Maingot), les hydro-pneumothorax (présence de gaz surmontant du li-



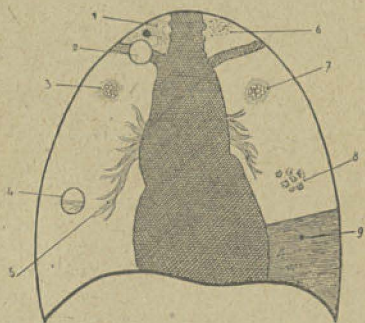
De gauche à droite : vues face, dos OIDA et OIGA.

liquide immobilise : tout le côté atteint est comme « bloqué » par le liquide; il écarte: refoulant les côtes en dehors, le cœur en dedans, vers le

quide accumulé dans le bas, ce qui fait que, lorsque le malade se remue, on ne voit plus qu'une masse sombre; on voit onduler le niveau liquide sous forme de petites vagues, mais, quelle que soit la position prise par le malade, il reste toujours rigoureusement ho-



Pleurésie. — 1 : cœur dévié à droite; 2 : moitié gauche du thorax élargie; 3 : ombres du cœur et du liquide se confondent; 4 : niveau supérieur du liquide; 5 : en bas diaphragme à air abaissés; 5 : ligne médiane.



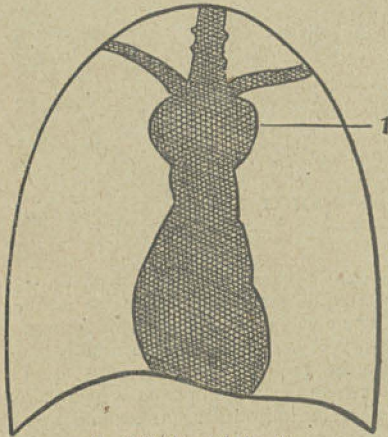
Aspects de la tuberculose. — 1 : après la toux (aspect nuageux); 2 : caverne sèche (bulle de Buahar); 3 : nid d'abeilles (en radiateur d'auto); 4 : caverne (bulle avec liquide dans la moitié inférieure); 5 : ombres hilaires chargées (plus étendues et plus foncées); 6 : aspect gravité des sommets; 7 : mie de pain; 8 : pommelures; 9 : opacité générale d'une partie du poumon.

horizontal, puisqu'il est libre de se mouvoir); les ganglions de l'adénopathie trachéo-bronchique des jeunes enfants (petites masses sombres ovales, accompagnées généralement d'une ac-

au-dessus des clavicules), mais seulement si le tissu pulmonaire est perméable à l'air, comme c'est le cas du poumon sain).

b) Appareil circulatoire.

On apprécie la forme générale, les contours, les dimensions du cœur et des gros vaisseaux le surmontant (aorte et artère pulmonaire). Il existe toute une série de repères et de diamètres reliant les différents points de l'ombre cardio-aortique qu'il serait trop complexe d'énumérer ici et dont nous nous bornerons à citer l'existence. Pour bien apprécier les contours du cœur (dilatation cardiaque, anévrisme de l'aorte), nous rappelons l'utilité de l'orthoradiographie (procédé consistant à dessiner le contour de l'ombre cardio-aortique en déplaçant constamment l'ampoule de façon à ce que le contour soit toujours dessiné par le rayon normal, juste perpendiculaire). En outre, l'examen radiologique est très utile dans les affections du péricarde (manchon séreux enveloppant le cœur tout comme la plèvre tapisse le poumon) : en cas d'épanchement péricardique (analogue à la pleurésie pour le poumon), l'ombre cardiaque s'étale en largeur et prend une forme quasi-sphérique, perdant sa forme allongée normale.



1 : Anévrisme de l'aorte.

centration des ombres hilaires, qui sont plus foncées, « chargées » et plus étendues); enfin les aspects de la tuberculose pulmonaire (opacité plus ou moins étendue, voile, taches et marbrures; pommelures; le début des cavernes se traduisant par une teinte sombre creusée en son centre de petites zones claires ou très fines (images en nids d'abeille en radiateur d'auto) ou plus grosses (images en mie de pain). Signalons que dans la tuberculose pulmonaire, on note l'absence du phénomène normal de l'illumination subite des sommets par la toux (car la toux faisant pénétrer de l'air en supplément augmente pour un bref espace de temps la clarté des sommets pulmonaires (zones situées

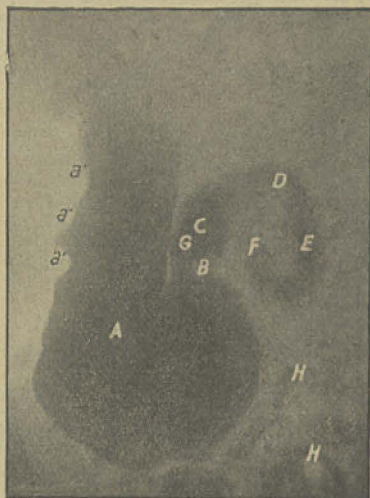
c) Appareil digestif.

Nous rappelons que l'on étudie la forme, la mobilité, la force d'évacuation et sa rapidité... du tube digestif ou en augmentant sa clarté (insufflation, potion gazeuse) ou en le dessinant en noir par absorption d'une bouillie opaque (carbonate de bismuth ou sulfate de baryum), celle-ci

pouvant être administrée en lavement (examen du gros intestin).

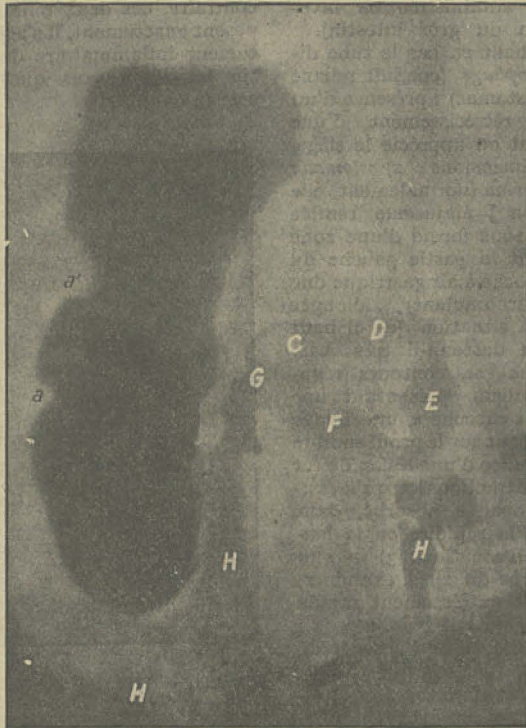
Suivons de haut en bas le tube digestif : 1) *œsophage* (conduit reliant la bouche à l'estomac) : présence d'un spasme, d'un rétrécissement, d'une dilatation, dont on apprécie le siège, la forme, les dimensions ; 2) *estomac* : on étudie sa forme (normalement, elle est allongée, en J majuscule, renflée dans le haut, sous forme d'une zone claire soulevant la partie gauche du diaphragme (poche à air gastrique due aux gaz s'y accumulant), allongée dans le bas, sa situation (est-il haut situé ou bien descend-il très bas) (ptose gastrique), ses contours (réguliers ou irréguliers, présentant une « niche », une « encoche », une image claire se découpant sur le profil sombre de l'estomac, indice d'une lésion de cet organe), ses contractions lorsqu'il évacue le repas opaque absorbé, dans l'intestin grêle, la rapidité ou la lenteur de cette évacuation ; 3) *intestin grêle* : il est très difficile à examiner, vu sa traversée extrêmement rapide par le repas opaque ; 4) *gros intestin* : on étudie la présence ou l'absence de retrécissements, déformations, soudures par brides, adhérences... l'existence de spasmes, les caractères de la traversée de la bouillie opaque. A ce propos, nous citerons, à titre documentaire, un ingénieux procédé dû à Sauvé pour le diagnostic entre une lésion de l'appendice ou du gros intestin d'où il naît (tuberculose iléo-cœcale). Avec un fil métallique (donc opaque aux rayons X) et malléable, on circonscrit exactement la tumeur dont il s'agit de définir l'origine anatomique. Si l'anse métallique est, à l'examen radiologique, extérieure à la bouillie opaque remplissant le cœcum (origine du gros intestin), il s'agit d'appendicite chronique ; si, au

contraire, ces deux ombres se superposent exactement, il s'agit bien d'une tumeur inflammatoire du gros intestin lui-même sans que l'appendice soit en cause.



CLICHÉ DU D^r MAINGOT. — Estomac d'un malade debout après absorption d'un repas opaque. On voit la forme allongée de haut en bas de l'estomac, avec sa partie supérieure renflée et claire (poche à air gastrique), sa partie inférieure allongée et sombre, vu le repas opaque qui la remplit. En remontant un peu à droite, on voit le duodénum qui fait suite à l'estomac, puis, dans le coin inférieur de droite, le paquet des anses intestinales où commence à peine à arriver un peu de bouillie opaque. Remarquez sur le côté gauche de l'estomac 3 petites encoches.

A : estomac ; B : pylore ; C : bulle duodénal ; D : duodénum, 2^e portion ; E : duodénum, 3^e portion ; F : duodénum, 4^e portion ; G : duodénum angle duodénum immédiatement en arrière du pylore ; H : duodénum ; a' zones suspectes. Côté gauche. Image de l'abdomen debout, 6 heures après un repas opaque et immédiatement après un 2^e repas.



CLICHÉ DU D^r MAINGOT. — *Même estomac, malade couché. On voit ici nettement, en haut à droite, la colonne vertébrale; à gauche, la masse sombre de l'estomac avec, sur son bord gauche, ses 2 encoches encore plus nettes. A droite et vers le bas, on retrouve le duodénum et les intestins.*

A : Estomac; B : pylore; C : bulle duodénal; D : duodénum, 2^e portion; E : duodénum, 3^e portion; F : duodénum, 4^e portion; G : duodénum, angle duodénum immédiatement en arrière du pylore; H : duodénum a' : zones suspectes. Côté gauche. Imdgs de l'abdomen debout, 6 heures après un repas opaque et sitôt après un 2^e repas.

On étudie aussi le foie (présence de tumeurs, d'abcès) et la vésicule biliaire (présence de calculs).

d) Appareil urinaire.

On recherche surtout la présence

de calculs dans le rein et l'uretère, plus rarement la forme de cet uretère et de la vessie par injection de substance opaque dans cette dernière (cysto-radiographie).

e) Squelette.

La radiographie permet d'étudier :
a) les *fractures*. Soit un os du bras brisé; on s'assure ainsi du nombre, du volume, de la forme et des rapports réciproques des fragments d'os brisés, du siège du foyer de fracture, et de la direction du trait de fracture. Comme toujours, l'ampoule sera suffisamment éloignée du foyer de fracture (50 cent.) pour avoir des rayons parallèles, la normale du foyer lumineux passera par le centre de fracture; on prendra toujours deux clichés, un de face et un de profil et; chez l'enfant, un cliché de l'os sain de l'autre côté, à



CLICHÉ DU D^r PARÈS. — Le même genou vu de face et d'en arrière. On retrouve les 3 os précédemment décrits; comme la rotule se trouve en avant du fémur et que la vue est prise d'en arrière, toute l'épaisseur du fémur masque la rotule qui ne se voit plus.



CLICHÉ DU D^r PARÈS. — Un genou sain vu de profil. On voit de haut en bas l'extrémité inférieure du fémur, la masse de la rotule plaquée contre elle, et les extrémités supérieures des 2 os de la jambe (tibia, gros et trapu; péroné, mince et effilé). Remarquer les travées osseuses et les contours des masses musculaires encadrant de chaque côté les os.

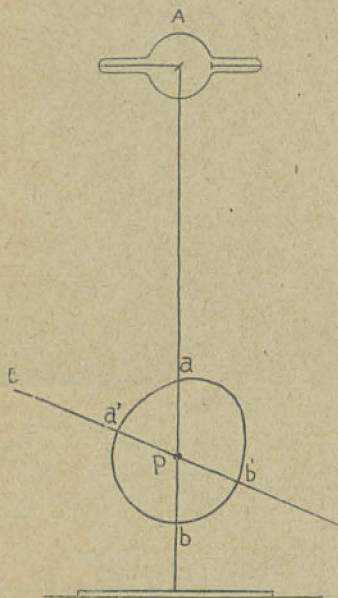
cause de la présence de cartilages existant normalement et pouvant en imposer pour un trait de fracture;
b) les *luxations* (une épaule est-elle démise?);
c) les *anomalies osseuses* (un os est-il absent ou en surnombre?)
c) les *inflammations aiguës* (ostéomyélite et surtout *chroniques* del'os (tuberculose de la colonne vertébrale ou mal de Pott; tumeur blanche du genou ou ostéo-arthrite tuberculeuse de cette articulation).

f) Corps étrangers.

La recherche des corps étrangers a présenté, pendant la guerre, un in-

térêt capital, lorsqu'il fallait extraire à coup sûr les projectiles dont étaient atteints nos blessés. Aussi, les voitures automobiles radiologiques, pouvant se déplacer avec tout le matériel néces-

plus difficile de le localiser avec une précision telle que le chirurgien puisse l'extraire sans difficulté ni dégâts pour les tissus environnants. Les procédés préconisés ont été très nombreux, rivalisant, la plupart, d'ingéniosité mais parfois d'application délicate et compliquée (exemple : compas de Hirtz nécessitant la construction d'une épure). Nous ne citerons que les procédés les plus simples :



Localisation d'un projectile par la méthode des 2 axes. — A : ampoule ; P : projectile ; a-b-a'-b' : différents points de repère pris, l'ampoule étant d'abord en A, puis en B.

saire, rendirent-elles de grands services.

S'il est généralement facile de voir le corps étranger qui, par sa nature métallique, donne une ombre opaque facile à distinguer (exception faite de cas délicats où le projectile est logé dans une épaisse masse musculaire, d'où confusion des images) il est

1). *Procédé des deux axes* : soit un projectile inclus dans le mollet. On prend une première plaque, le mollet reposant sur la plaque, puis une deuxième, la plaque étant appliquée sur une face latérale (interne ou externe) de celui-ci. On prend soin chaque fois de marquer sur la peau le point d'entrée et le point de sortie du rayon normal, l'ampoule ayant été préalablement bien centrée sur le projectile. Le point de croisement des deux axes obtenus, perpendiculaires l'un à l'autre, donnera la situation du projectile. 2). *Procédé des triangles semblables* : on prend une plaque, puis une deuxième plaque après avoir déplacé l'ampoule d'une quantité connue. Par des calculs assez simples, connaissant la distance séparant l'ampoule de la peau, celle dont a déplacé l'ampoule et la valeur du déplacement de la deuxième image sur la deuxième plaque, par rapport à la première, on peut connaître la distance allant de la peau au projectile.

Une fois connus la profondeur, la position, les rapports du projectile examiné, il reste au chirurgien à procéder à l'extraction. Celle-ci se fait avec le contrôle des rayons X, contrôle ou permanent ou intermittent. Dans le premier cas, l'opérateur, placé devant l'écran, en pleine obscurité, glisse sa pince (qui se profile en ombre chinoise sur l'écran illuminé

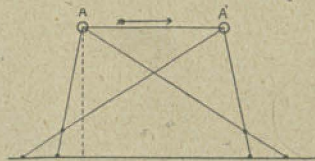


Les rayons X permettent de découvrir dans les murs des pièces de fer qu'il est parfois nécessaire de faire disparaître. (Cour-circuit, etc.)

par les rayons X), dans les chairs pour extraire le projectile ; il peut à chaque instant rectifier sa position, ayant le projectile, ou du moins son ombre, constamment sous les yeux. Rien n'empêche d'ailleurs de faire, de temps en temps, de la lumière, en cas de nécessité. Le professeur Bergonié a préconisé la méthode suivante : on utilise une lumière monochromatique (rouge) où le chirurgien conserve sa sensibilité visuelle (une lumière ordinaire l'éblouirait et lui ferait perdre son accommodation). On opère donc sous une lumière rouge. De temps en temps, on fait l'obscurité et le chirurgien contrôle sous l'écran où il en est, et ceci d'autant plus facilement que sa rétine a été « sensibilisée » par la lumière rouge pour la teinte jaune verdâtre de l'écran fluorescent. Dans le deuxième cas (*contrôle intermittent*), le blessé est couché sur une table radiographique. Le chirurgien opère à la lumière ordinaire. Quand besoin est, on fait passer le courant, et un radiologue, les yeux cachés par un appareil spécial (comme ces grosses lunettes avec lesquelles les chauffeurs se protègent les yeux) les maintenant dans l'obscurité complète, peut ainsi donner au chirurgien tous renseignements nécessaires.

Avant de terminer ces quelques lignes sur la radio-diagnostic, nous dirons que les rayons X ne sont pas seulement utilisés en médecine mais aussi dans un *but industriel*. A côté d'applications relativement restreintes (expertise des vieux tableaux, examen des perles, dépistage des frau-

des, comme l'introduction d'objets métalliques, fusils de contrebande, dans des ballots de coton), on utilise couramment les rayons X pour « ausculter » en quelque sorte les métaux, en étudiant leur perméabilité. On peut ainsi déceler, en plein cœur de la masse métallique, les défauts les plus minimes (soufflures, manques d'homogénéité) qui apparaissent en teintes plus ou moins claires



Repérage des projectiles par le procédé des triangles semblables.

sur le fond sombre uniforme du métal. Naturellement, plus le poids atomique est élevé, moins la pénétration en profondeur des rayons X peut se faire (elle atteint jusqu'à 80 mm. pour l'aluminium, 55 pour l'acier, 4 seulement pour le plomb). Le gros avantage de ce procédé est de permettre l'examen sur place, sans les déplacer, de grosses machines que l'on veut examiner, et que l'on ne pourrait démonter ou transporter. La prise d'un cliché sera un document irréfutable et permanent qui attestera, sans contestation possible, l'intégrité absolue d'un métal ou décelera la présence de défauts, si légers soient-ils.

MUSÉE COM
et COL
2, Rue du Louv
LILLE

IV. — RADIOTHÉRAPIE.

(Appelée aussi « Rœntgenthérapie », du nom du savant qui découvrit les rayons X.)

a) Action biologique des Rayons X. Accidents par eux causés.

L'origine de la radiothérapie réside dans une tentative toute empirique de deux savants viennois qui, ayant constaté, comme accidents dus aux radiodiagnosics, des altérations de la peau avec chute des poils, tentèrent de les reproduire expérimentalement. Ils furent assez heureux pour obtenir la chute des poils d'une verrue après l'avoir exposée aux rayons X. La radiothérapie était née. Mais avant d'en exposer les principes généraux, il est bon de parler de *l'influence des rayons X sur les tissus vivants*.

C'est l'important chapitre de la *radio-sensibilité* que nous devons exposer. On entend par ce terme un état spécial des cellules vivantes, indépendant de leur densité physique, variable suivant les différents tissus de l'organisme, et ayant comme résultat que la destruction de ce tissu ne dépend pas seulement de la quan-

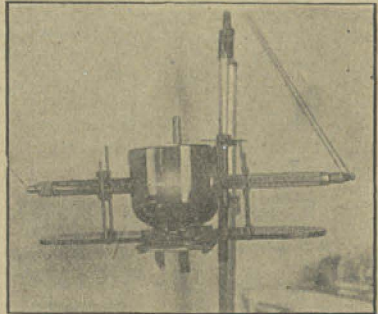
tité de rayonnement qu'il reçoit, mais aussi de sa susceptibilité particulière aux rayons X. (Tout ce que nous disons ici s'applique d'ailleurs au radium.) Tel tissu sera très sensible aux rayons X et une faible quantité suffira pour l'impressionner ; c'est un individu frêle qu'ébranle une pichenette. Tel autre sera très résistant et demandera une dose bien supérieure ; c'est le robuste gaillard qui ne fléchit que sous un violent coup de poing. C'est ainsi que le tissu lymphoïde (ganglions rate) est le plus sensible et mérite le coefficient 100 ; le tissu osseux est le moins radio-sensible (coefficient 1), avec, entre eux, des intermédiaires (10 pour le tissu conjonctif, 40 pour la peau). Une loi spéciale (Bergonie-Tribondeau) a établi que les cellules sont d'autant plus sensibles aux radiations qu'elles sont en état d'activité reproductrice plus grande, leurs fonctions étant moins fixées puisqu'elles sont en changement perpétuel, et que les cellules plus hautement différenciées (cellules musculaires, nerveuses) sont plus radio-résistantes.

Voici une preuve de cette radio-

sensibilité; c'est l'expérience de Scholtz (de Koenigsmark, 1920). Il rabat l'oreille d'un jeune porc, et la fixe, dans cette position. Il irradie l'oreille sur sa face jadis interne, maintenant externe. Il se produit une très vive inflammation non seulement de la face irradiée, mais encore de la face appliquée contre la peau du cou et même de cette dernière aussi, malgré qu'elle soit recouverte par l'oreille retournée. Or, les cellules du tissu musculaire et cartilagineux interposés entre les deux faces de l'oreille *restent indemmes*, preuve de la radio-sensibilité différente de la peau d'une part, du muscle et du cartilage d'autre part. L'action des rayons X est encore plus marquée chez le nouveau-né et l'embryon que chez l'adulte. Si on irradie un jeune animal, on peut entraver son développement, et ce d'autant plus que l'irradiation a été pratiquée plus près de la naissance. Ainsi, si on irradie un jeune lapin seulement au niveau de ses membres antérieurs, les autres étant protégés par du plomb, on entraîne un arrêt de développement du train de devant, le train de derrière se développant normalement, ce qui donne à l'animal adulte l'aspect d'un étrange kangourou en miniature.

Il se trouve justement que, dans les cancers, les cellules sont en état d'« anarchie », se reproduisant constamment avec une hâte fébrile et désordonnée. Elles seront donc radio-sensibles, d'autant plus que leur activité reproductrice est plus grande et qu'elles tendent davantage à se rapprocher de l'état embryonnaire. Au contraire, les éléments normaux environnants étant moins radio-sensibles que ces cellules malades, il suffira d'appliquer une dose assez forte pour les tuer, mais insuffisante

pour léser les éléments sains. On comprend donc que plus une tumeur est radio-sensible, plus le traitement sera facile, puisque plus sera grand l'écart entre ces deux doses (l'une tuant les cellules malades, l'autre lésant les éléments sains); au contraire, plus la tumeur sera radio-résistante, plus elle sera difficile à traiter puisque plus sera faible l'écart entre ces deux doses, moins on aura de marge pour se mou-



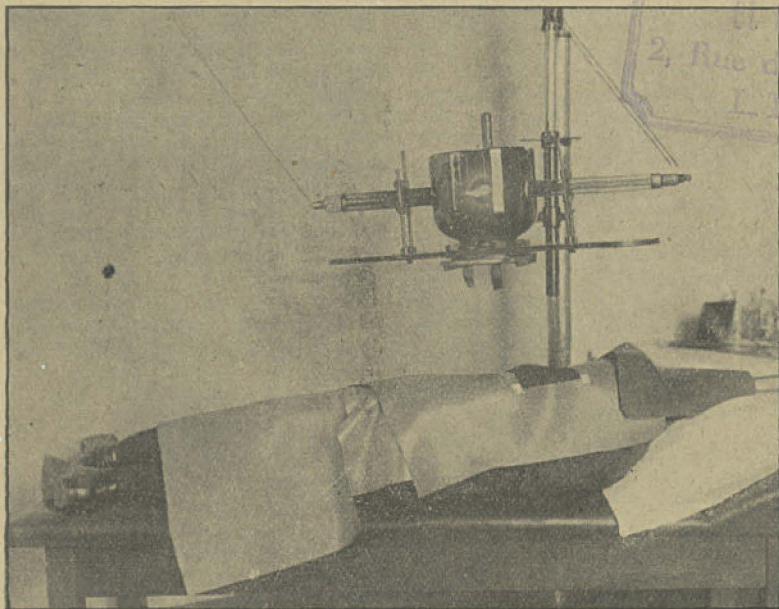
Le tube qui projette les rayons X pour soigner le cancer.

voir entre elles. On voit donc la différence capitale séparant le traitement chirurgical des tumeurs de ce traitement par les agents physiques que sont les rayons X (ou le radium): « A l'encontre du couteau, des caustiques, qui, à l'aveugle, sans discernement, enlèvent en bloc tissus sains et malades, on réalise une sélection jusque-là inconnue, on détruit les éléments malades sans altérer les éléments normaux » (Belot).

Ce qui complique encore le problème, c'est le fait suivant: Si on applique une dose trop forte, on endommage les parties saines, venons-

nous de dire. Mais si on applique une dose trop faible? Y aura-t-il seulement absence de résultat thérapeutique? Malheureusement non. On peut faire beaucoup de mal, en excitant la prolifération des cellules

tue les cellules cancéreuses comme si on leur avait administré un poison. A dose moindre, on ne fait que les « engourdir » et les troubler dans leur développement. A dose insuffisante, on produit un effet d'excitation



Voici de quelle manière les rayons X sont projetés sur le patient dont tout le corps, sauf la partie malade, est protégé par des feuilles de plomb.

cancéreuses, en donnant un coup de fouet à la tumeur, ensuite en augmentant leur résistance au rayonnement (*radio-vaccination des tumeurs*) et enfin en affaiblissant la résistance des cellules saines qui se laisseront envahir plus facilement par la maladie. En somme, à dose suffisante, on

(*radio-excitation*). Comme exemple de ce phénomène, citons le *cancer des radiologistes*, par application de doses faibles et répétées.

Accidents causés par les rayons X. — On appelle *radio-dermites* l'ensemble des maladies de la peau dues à l'action nocive des rayons X. Elles sont

ou aiguës, apparaissant brusquement chez les malades subissant un traitement trop énergique ou présentant une susceptibilité particulière de la peau que rien ne pouvait faire prévoir, ou chroniques, survenant sournoisement chez les radiologues manipulant constamment et depuis longtemps les rayons X. Il apparaît d'abord une rougeur plus ou moins marquée de la peau, puis une chute des poils (ou des cheveux), sans signe d'inflammation. Si la lésion est grave, il se fait des érosions, des ulcérations cutanées (*brûlure de Röntgen*). On peut noter parfois des troubles généraux (fatigue, vertiges, syncopes, nausées, vomissements, anémie) constituant le *mal des irradiations*. Chose curieuse, le radium ou les rayons X peuvent amener la guérison des lésions cutanées qu'ils avaient produites, à doses différentes. Trop souvent, hélas ! on apprend le martyre de radiologues succombant après avoir subi des amputations successives (mort d'Infroy, de Leray), témoignant ainsi du douloureux sacrifice que s'imposent librement les radiologues pour soulager de leurs maux ceux qui souffrent.

Les moyens de protection sont actuellement très poussés : a) l'ampoule radiogène est enfermée dans une cuve métallique contenant une couche d'huile (comme refroidisseur), recouverte d'une couche de plomb de 5mm d'épaisseur pour arrêter tout rayonnement. Elle est percée d'une ouverture circulaire que l'on peut rétrécir à volonté grâce à un diaphragme dont elle est munie, destinée à laisser passer le faisceau de rayons X. Un autre orifice sert à la surveillance de l'ampoule; b) l'écran fluorescent est muni, du côté de l'opérateur, d'une couche de verre plombeux, cette

protection étant impossible du côté du patient (puisque l'écran ne serait plus impressionné par les rayons X) et d'ailleurs inutile (le malade ne restant qu'un laps de temps infime exposé aux rayons X); c) l'opérateur peut porter des lunettes avec verre plombeux, des gants et un tablier en caoutchouc contenant des sels de plomb. Récemment, on a prétendu que les rayons X pouvaient causer des lésions graves chez les personnes voisines d'une installation radiologique (locataires se trouvant sur le même palier, malades couchés dans une salle voisine de la salle de « radio »). Il n'en est rien, les rayons X, vu la loi du carré des distances dont nous allons reparler, étant rapidement arrêtés; il n'y a danger que pour l'opérateur en contact constant et rapproché avec les rayons (discussion à l'Académie de Médecine, octobre 1923).

b) Principes généraux de la radiothérapie.

Soit une série de couches successives traversées par les rayons X. Chaque couche reçoit moins de rayons que la précédente, d'une part parce qu'elle est plus éloignée (loi du carré des distances), d'autre part parce que cette couche précédente a retenu une partie du rayonnement.

(1) *Loi du carré des distances* : les rayons X sont absorbés en raison inverse du carré des distances séparant leur point d'émission de la surface qui les arrête. C'est-à-dire que si une surface donnée reçoit une certaine quantité de rayons X, à une distance double de l'ampoule, elle ne recevra plus que, non pas la $1/2$ de la dose précédente, mais la $1/4$ de la $1/2$, soit le quart seulement. Regaud donne les chiffres suivants qui illustrent bien ce fait. Si à une dis-

tence de 5 mm., l'intensité du rayonnement est, mettons, de 1 ; à 10 mm.

elle est de $\frac{5^2}{10^2} = 1/4$; à 50 mm., de

$\frac{50^2}{5^2} = 1/100$; à 100 mm., $\frac{100^2}{5^2} = 1/400$.

(2) *Absorption.* — L'absorption des rayons X par les tissus est d'autant plus marquée que, d'une part, la densité du corps traversé est plus grande (l'absorption est plus forte pour les os que pour les parties molles, elle est à peu près la même pour les tissus graisseux et cutanés), et que, d'autre part, l'épaisseur des tissus traversés est plus grande.

Ceci dit, nous pouvons maintenant exposer, d'après Simone Laborde, les quatre principes généraux de la radiothérapie :

1) *Utiliser des rayons pénétrants* (qui ont une action élective sur les cellules cancéreuses, tout en respectant les parties saines). On obtient des rayons pénétrants d'abord en agissant à l'émission des rayons X (en augmentant la différence de potentiel pour produire beaucoup de rayons pénétrants), ensuite en agissant sur la composition du rayonnement une fois émis (ce n'est pas tout que d'avoir beaucoup de rayons pénétrants, encore faut-il se débarrasser des rayons peu pénétrants produits en même temps ; c'est ce qu'on réalise par la *filtration*, dont nous reparlerons avec plus de détails à propos du radium.) A propos de filtration, nous nous bornerons à dire qu'on emploie surtout l'aluminium (1 filtre de 12 mm. d'épaisseur en aluminium correspond à un filtre de 1 mm. de cuivre et 1/2 mm. de zinc). La filtration réduit au minimum la quantité de rayons arrivant à la peau et celle pénétrant en profondeur. C'est ce que montrent

les expériences de Belot, opérant à travers des épaisseurs croissantes d'eau, de densité analogue à celle des tissus. Soit 100, la dose arrivant à la peau.

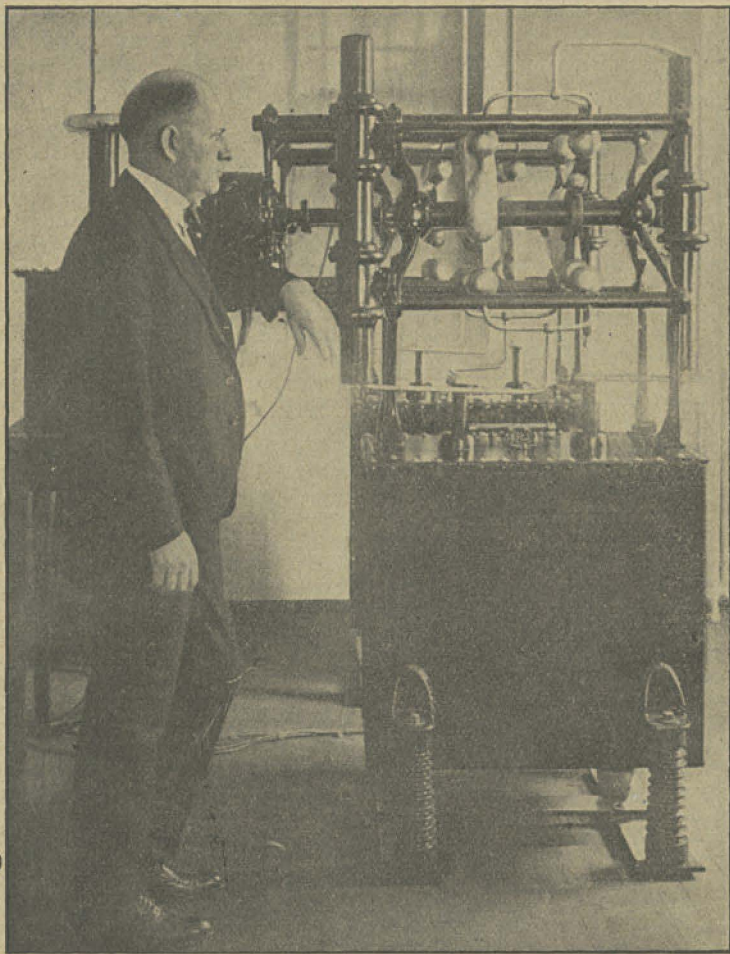
A 4 centimètres de profondeur : sans filtre, il ne parvient plus que 10 % de la dose superficielle ; avec filtres, de 1 mm. d'aluminium, 29 % et de 5 mm. d'aluminium, 45 %.

A 8 centimètres de profondeur ; sans filtre, 5 % ; avec filtre (5 mm.) il en parvient encore 20 %.

2) *Augmenter la distance focale.* (distance séparant le foyer de l'ampoule, point d'émission des rayons X, de leur arrivée à la peau).

Plus on l'augmente, en effet, plus on atténue la différence d'intensité du rayonnement entre le point le plus rapproché du foyer et le point le plus éloigné ; à une distance suffisante, l'épaisseur de la tumeur devient négligeable par rapport à la grande distance focale. Si l'ampoule était située à l'infini, l'écart entre la dose superficielle et la dose profonde, la différence serait complètement annulée, ce qui serait idéal. Mais ceci n'est que théorique ; car intervient ici l'inexorable loi du carré des distances, par laquelle les rayons X sont arrêtés en cours de route. Aussi pratiquement, on s'en tient de un moyen terme : soit une distance de 25 à 40 centimètres entre la zone à traiter et le foyer de l'ampoule, elle-même fonctionnant sous une tension d'environ 220.000 volts (étincelle équivalente de 40 centimètres de longueur), avec un rayonnement filtré par 12 mm. d'aluminium ; ainsi, il parvient environ à 10 centimètres de profondeur 20 % de la dose arrivant à la superficie.

3) *Multiplier les portes d'entrée.* On réalise le « feu croisé de Wick-



Cet appareil délivre un courant de 200.000 volts, son perfectionnement aurait l'avantage d'éliminer tout danger pour les médecins, infirmiers et malades.

ham, c'est-à-dire qu'on fait converger sur l'organe à irradier plusieurs faisceaux de rayons. Chaque surface de peau ne reçoit qu'une faible quantité de rayons X, insuffisante pour la léser, mais toutes ces radiations convergent vers le centre de la tumeur, où elles s'entre-croisent et s'accumulent, détruisant ainsi la partie malade profonde sans avoir altéré la peau.

4) *Elargir les portes d'entrée*, c'est-à-dire en augmenter la surface. Plus les portes d'entrées sont grandes, plus considérable sera la quantité de rayons arrivant jusqu'au centre de la tumeur. Pour cela, « on substitue au foyer punctiforme ou linéaire une surface radiante » (Regaud). Mais cet élargissement des portes d'entrée est limité par le facteur précédent ; si on les élargit trop, on ne peut les multiplier à volonté, aussi, ici encore, on prend un moyen terme.

Tous ces procédés tendent à supprimer le grand facteur cause d'inefficacité en radiothérapie, *l'inégalité de l'irradiation d'une tumeur* (Regaud). Celle-ci entraîne d'abord de fâcheuses conséquences au point de vue stérilisation de la tumeur (si on laisse survivre quelques cellules cancéreuses, la récurrence est fatale, après une période de rémission plus ou moins longue) ; la peau peut être brûlée ou, du moins, diminuée dans son pouvoir de résistance contre la maladie. Il faut donc non seulement administrer la dose juste suffisante pour tuer les cellules cancéreuses sans léser les parties saines, et il faut la répartir également sur toute l'étendue de la surface à traiter.

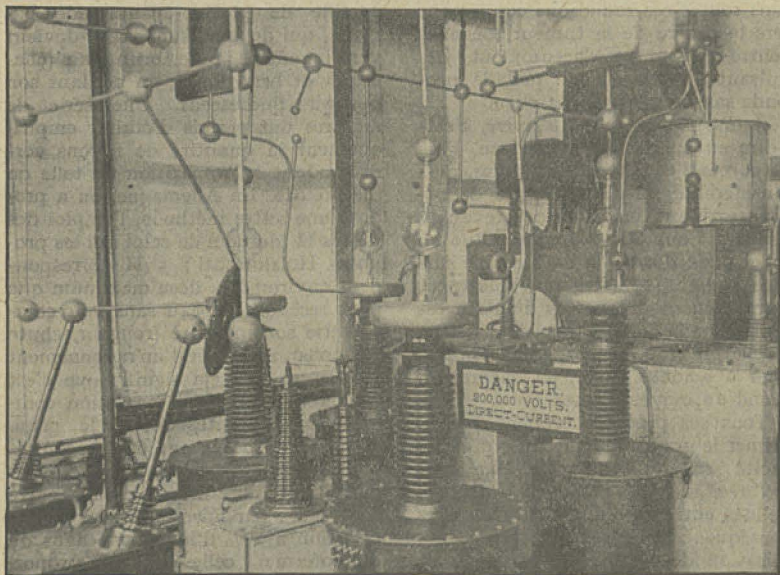
Nous voici donc amenés à parler de la mesure de la *quantité* des rayons X administrée (la qualité, avons-nous dit plus haut, se mesurant par la longueur d'étincelle équivalente et

par le radiochromomètre de Benoist). On emploie généralement le procédé Sabouraud-Noiré, basé sur le principe suivant. Les rayons X possèdent le pouvoir de faire virer la couleur d'une pastille de platino-cyanure de baryum, qui de vert fluorescent devient vert jaunâtre, jaune, brun clair (chamois), et brun foncé, en perdant son pouvoir fluorescent. Une série de mesures ont permis d'établir empiriquement la quantité de rayons correspondant à l'apparition de telle ou telle teinte. En Allemagne, on a proposé une autre méthode, l'emploi des unités H (du nom de celui qui les proposa, Holzknecht) ; 5 H correspondent environ à la dose maximum que peut recevoir la peau sans voir compromise son intégrité (rougeur, chute des poils). Si l'on dit d'un rayonnement qu'il a 10 H, cela signifie que c'est le double de la dose maximum compatible avec l'intégrité de la peau. D'autres procédés ont été préconisés (chromoradiomètre de Bordier, donnant les teintes intermédiaires entre 0 et 5 H ; par mise en liberté d'iode (solution à 2% d'iodoforme dans du chloroforme), celle-ci étant proportionnelle à la quantité de rayons utilisée ; fluoromètre de Guillemot, où l'on compare la luminescence du platino-cyanure de baryum frappé par les rayons X à un étalon de radium ; ionomètre d'Iser-Solomon, méthode très sensible et très précise se basant sur le pouvoir ionisant des rayons X).

Ces procédés (sauf l'ionomètre) ne sont d'ailleurs qu'approximatifs (on ne mesure que la quantité de rayons absorbés par la pastille, et elle a en outre l'inconvénient de virer plus rapidement avec les rayons durs qu'avec les rayons mous). Néanmoins, en pratique, ils donnent des résultats

très satisfaisants. Récemment, les Allemands (école de Fribourg) ont proposé une autre méthode de détermination. On prend pour unité la

mais atteindre 130 % de la dose cutanée sous peine de lésions graves ; celle du muscle est de 1,8 ; on ne doit donc pas atteindre 80 % de la dose



La plus grande et plus puissante machine de rayons X destinée à soigner le cancer, dont démonstration a été faite à la séance inaugurable de la semaine nationale du cancer à l'Université de Colombia. La construction de cette machine a demandé deux ans et les essais six mois. Elle est maintenant au point pour sauver les victimes du cancer. Elle tue trois fois plus rapidement que n'importe quelle autre machine le cancer, aucun tube à rayons X actuellement construit ne saurait supporter sa puissance totale. Malades, médecins et infirmières sont protégés par des feuilles de plomb pendant que la machine fonctionne à cause de la force de ses rayons. Cette photo montre le matériel qui fournit la force à cet appareil merveilleux.

dose maximum tolérée par la peau, celle qui cause seulement une légère rougeur (dose cutanée) ; soit 1 cette dose ; la radio-sensibilité intestinale est alors de 1, 3, c'est-à-dire que la dose qui atteint une anse intestinale ne doit ja-

cutanée... La dose nécessaire pour atteindre la cellule cancéreuse est voisine de la dose cutanée ; elle varie entre 0,9 et 1,1, descendant parfois jusqu'à 0,6, 0,7. D'autre part, il y a des limites inférieures au-dessus desquelles

il faut toujours se tenir si l'on ne veut pas donner un coup de fouet à la tumeur; il faut toujours administrer au minimum 0, 3, 0, 4. Au-dessous, on excite la prolifération des cellules cancéreuses, et on diminue la résistance des cellules saines. Mais ces chiffres ne donnent qu'une précision apparente; ce ne sont que des indications, rien de plus.

c) Différents procédés d'application de la radiothérapie.

1) *Radiothérapie superficielle* : elle s'emploie lorsqu'on veut agir sur la peau et les tissus superficiels. Il est ici inutile d'employer des rayons très pénétrants; on se contente de rayons n^{os} VI-VII au radiochromomètre de Benoist; la pastille de platino-cyanure de baryum est appliquée directement sur la peau et renseignera sur la quantité de rayons que cette dernière aura absorbée.

2) *Radiothérapie profonde* : lorsqu'on veut agir au maximum sur des organes profondément situés, tout en voulant respecter l'intégrité de la peau, il faut utiliser un rayonnement très pénétrant, ce qui s'obtient, nous le rappelons, d'une part par une filtration convenable (interposition d'un filtre d'aluminium d'épaisseur convenable) pour débarrasser les rayons très pénétrants de leurs frères peu pénétrants qui seraient dange-

reux pour la peau, d'autre part, en augmentant la différence de potentiel aux bornes de l'appareil. Voilà pourquoi, au lieu d'utiliser des tensions de 50, 60, 000 volts comme autrefois, on en emploie aujourd'hui de 200, 300, 350.000 volts (ce qui est énorme, mais encore peu de chose par rapport au radium dont on peut approximativement évaluer la force à 1.000.000 de volts!) ce qui correspond à une étincelle équivalente de 40 centimètres de long! On y arrive aujourd'hui grâce aux avantages de l'ampoule Coolidge, sur lesquels il est inutile de revenir. Les indications de la radiothérapie profonde sont d'autant plus nettes que la tumeur est plus radio-résistante et plus profondément située. Si dans le fibrome, elle peut se faire avec intérêt, elle est formellement indiquée dans le cancer; dans les autres affections, il n'est pas nécessaire de l'employer. Il ne faut pas, en effet, l'utiliser à tort et à travers, car elle n'est pas sans présenter des inconvénients : prix élevé de l'installation (une trentaine de mille francs) et surtout dangers que courent les personnes en contact avec des rayons X aussi pénétrants. Aussi, une telle installation nécessite-t-elle des appareils spéciaux de protection, car « avec les rayonnements ainsi obtenus, les minces feuilles de plomb, les tabliers de caoutchouc plombé ne sont que feuilles de papier » (Guilleminot).



V. — MODES D'APPLICATION DE LA RADIOTHÉRAPIE.

On peut utiliser ou bien des doses *petites* fréquemment répétées (2-3 H tous les deux trois jours; indications : névralgies, démangeaisons de la peau); ou bien des doses *moyennes* (5 H, en une seule fois, tous les vingt jours; indications : maladies de la peau; certains fibromes) ou bien enfin des doses *fortes* (40-50 H en une ou deux séances très rapprochées).

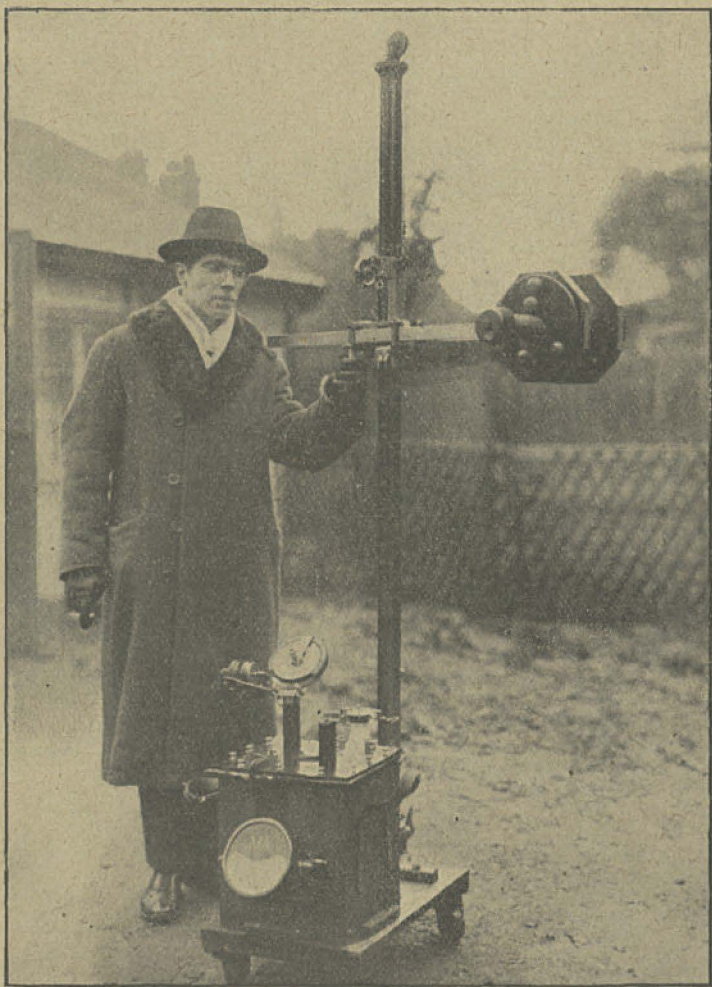


Comment on souffle les ampoules radiogènes.

Ce procédé est surtout indiqué dans les tumeurs graves. Actuellement, en effet, on s'oriente de plus en plus vers l'application unique et massive, pour éviter la radio-vaccination des tumeurs et la radio-sensibilité des cellules saines, résultat opposé à celui cherché. En somme, on cherche à mettre « knock-out » le plus rapidement possible la tumeur, sans perdre son temps à agacer l'adversaire par de petits chocs faibles et espacés, ne lui faisant pas de mal et pouvant exciter sa fureur. « L'efficacité et l'innocuité de la méthode exigent que toutes les parties d'une tumeur reçoivent des quantités égales et suffisantes de rayonnement, autant que possible simultanément dans un temps relativement court ». (Regaud).

(a) Indications de la radiothérapie.

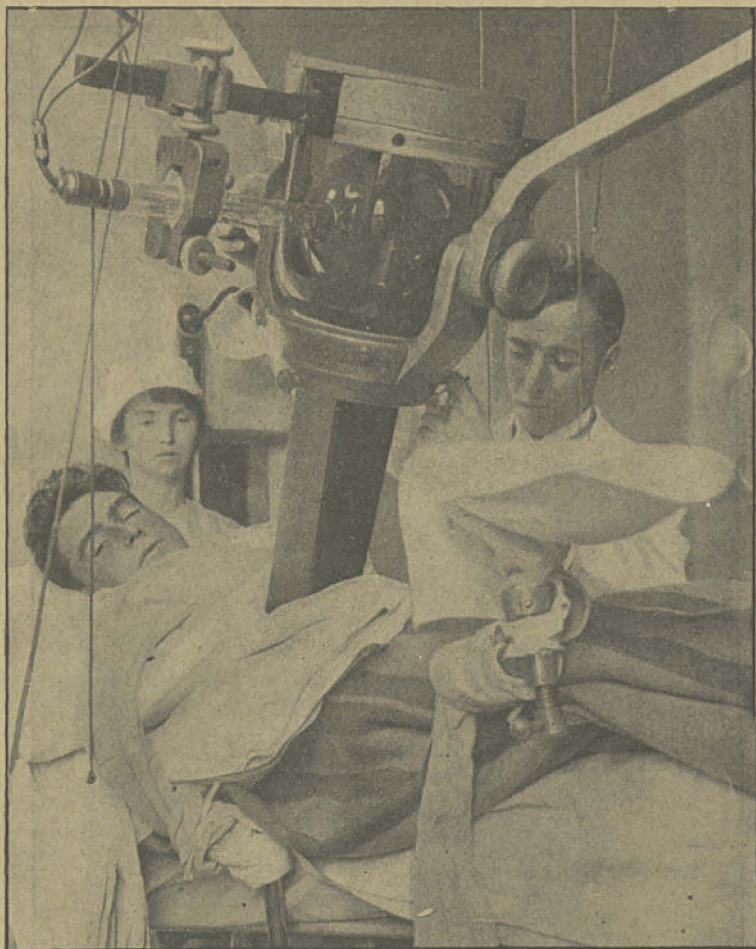
Tumeurs : sous l'action des rayons X, les cellules malades meurent comme empoisonnées et leurs cadavres sont enlevés par des globules blancs accourus qui s'en débarrassent en les mangeant! D'autre part, des fais-



Le Professeur Low qui vient d'inventer un appareil portatif des rayons X susceptible de rendre de grands services.

LES RAYONS X ET LE RADIUM.

4



Un nouvel et merveilleux appareil à rayons X qui vient d'être installé au Kings College Hospital pour combattre le cancer. Cet appareil a coûté 1.500 livres sterling; il n'est pas destiné à faire des photos, son usage exclusif est dans le traitement des tumeurs malignes. Sur cette photo, un patient subit le traitement par cet appareil.

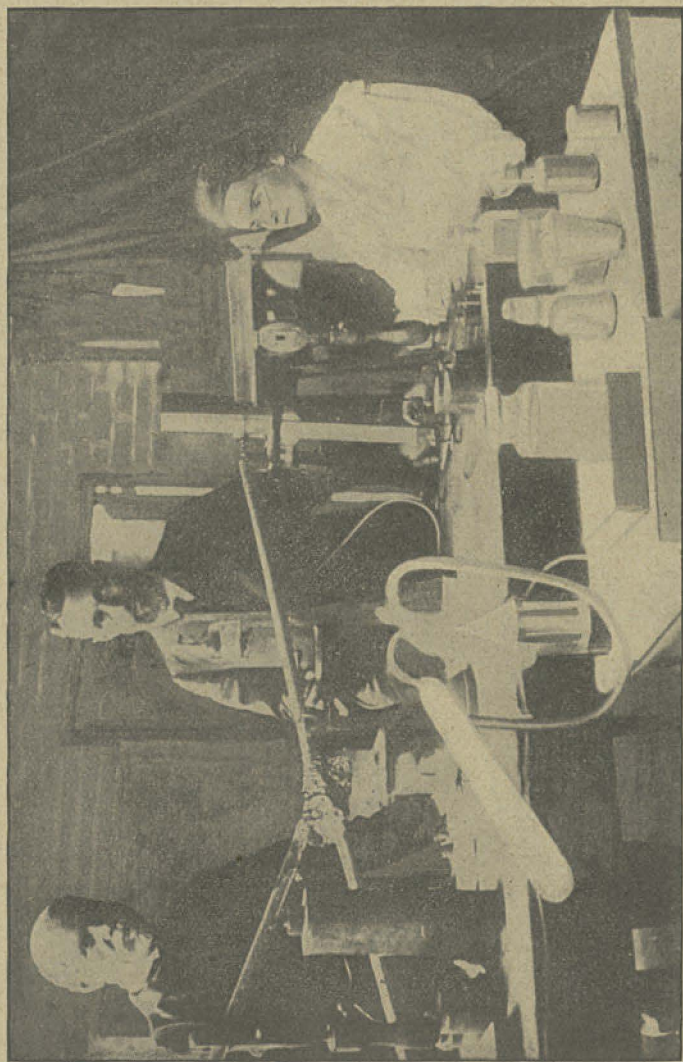
ceaux de tissu fibreux, cicatriciel, enserrant et étouffent les résidus de la tumeur qui n'auraient pas été éliminés ou résorbés. On emploie la radiothérapie seule ou associée au bistouri (avant l'opération, pour tuer les parties malades qui pourraient échapper au couteau du chirurgien), ou au traitement par le radium. Inutile de détailler ici les indications de chaque méthode, ce qui sortirait de notre domaine.

2) *Fibromes* : on note une disparition rapide des hémorragies et des douleurs. Ici encore nous ne parlerons pas de la question trop technique des indications respectives de l'opération et de la radiothérapie. Ce sera au médecin à décider dans chaque cas particulier. Rappelons que c'est un Français, Foveau de Courmelles qui, en 1904, proposa, au grand étonnement général, la radiothérapie des fibromes ; 3) *Cicatrices* douloureuses ou gênantes au point de vue esthétique, *trajets fistuleux*, *moignons d'amputation* douloureux ; *maladies de la peau* (démangeaisons, taches de vins, tuberculoses de la peau, ulcères variqueux, exagé-

ration des poils, *leignes* (résultats merveilleux) ; 4) *Néuralgies* (sciaticques, dans certains cas), ataxie locomotrice et autres maladies de la moelle (résultats inconstants) ; 5) *Goutte exophtalmique* (avec ou sans traitement électrique associé) ; 6) *Maladies du sang* et des organes formateurs du sang (rate) : anémie, leucémies ; *Ostéo-arthrites* tuberculeuses, *ganglions* tuberculeux du cou, certaines formes de *rhumatisme* ; bons résultats dans l'*hypertrophie du thymus* (le « riz de veau » de l'animal) causant des crises d'étouffement.

On voit donc que les indications de la radiothérapie sont très variées et chaque jour, on peut dire que, grâce aux perfectionnements incessants de la technique radiothérapique, ses indications tendent à s'accroître. Mais, comme toujours, seul le médecin est juge compétent pour préconiser ou non un traitement radiothérapique, dont les indications sont parfois difficiles à poser et nécessitent cette solide culture clinique qui fait la gloire de la médecine française.





M. ET M^{me} CURIE AU DÉBUT DES TRAVAUX SUR LA DÉCOUVERTE DU RADIUM DANS LEUR PRIMITIF LABORATOIRE.

DEUXIÈME PARTIE

LE RADIUM

I. — HISTORIQUE DE LA DÉCOUVERTE.

La découverte du radium fut une conséquence inattendue de celle des rayons X Röntgen. En 1896, les savants discutaient sur l'origine des rayons X. L. Poincaré pensait que ces rayons, susceptibles de traverser les corps opaques aux rayons lumineux, prenaient naissance dans la fluorescence du verre de l'ampoule, phénomène qui se traduisait extérieurement par la belle teinte verte qu'elle prenait. La même année, le savant français Becquerel entreprit de savoir si la lumière phosphorescente (1) était entièrement absorbée par les objets opaques ou bien si elle pouvait les traverser. Ce savant travaillait, au

(1) On appelle phosphorescence la propriété que possèdent certaines substances, exposées à la lumière solaire, de briller ensuite dans l'obscurité.

Muséum d'histoire naturelle, dans une pièce humide et obscure, aux murs lézardés et croulants d'un rez-de-chaussée d'une vieille maison du Jardin des Plantes qui avait, un siècle plus tôt, servi d'écurie. (Paul Becquerel.) Il étudia donc divers sels, particulièrement certains sels d'*uranium*, dont la phosphorescence est provoquée par la lumière solaire. Il enveloppa une plaque photographique dans du papier noir, plaça dessus des sels d'*uranium* et exposa le tout à la lumière solaire. Il développa la plaque et voit qu'elle a été impressionnée; il en conclut que la préparation avait émis secondairement des rayons capables de traverser les corps opaques, ce que ne peuvent faire les rayons lumineux du soleil. Mais un



MADAME CURIE.

jour, par un heureux hasard, lors d'une répétition de cette expérience, le soleil ne se montre pas. Becquerel prend sa plaque recouverte de sels d'uranium et l'abandonne dans un tiroir obscur

pendant plusieurs semaines. Un beau jour, il développe la plaque et constate avec stupéfaction qu'elle avait été impressionnée aussi bien à l'obscurité qu'à la lumière. On voyait sur la plaque l'image floue des sels d'uranium ! Par conséquent, ce sel mystérieux avait émis, en pleine obscurité et spontanément, un rayonnement invisible et totalement différent de la lumière solaire ou de la phosphorescence.

En 1898, Schmidt découvre la radio-activité du *thorium*.

La même année, M^{me} Curie étudie les propriétés radio-actives de la *pechblende*, minéral d'uranium (notamment de la pechblende de Joachimsthal, en Autriche, qui contient jusqu'à 50 % d'oxyde d'uranium). La pechblende était plus radio-active que l'uranium pur que l'on pouvait en extraire. Elle en conclut donc, de concert avec son mari, associés à la même recherche, que ladite pechblende contenait d'autres corps inconnus encore et plus radio-actifs que l'uranium. Des éléments ainsi séparés, 2 en particulier, le bismuth et le baryum, étaient fortement radio-actifs. Or, ces 2 corps à l'état ordinaire ne le sont nullement. Donc, comme nous le disions, la radio-activité de ces éléments séparés de la pechblende était en réalité due à la présence de deux éléments nouveaux à eux mélangés en petite quantité. Du bismuth, après de longues et délicates recherches, elle put isoler le *polonium* (nom donné pour rappeler le pays d'origine de M^{me} Curie) et du baryum, le *radium*.

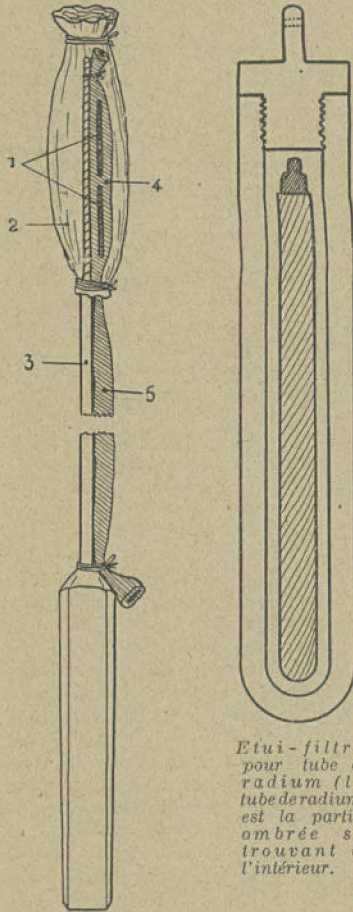
II. — LA RADIO-ACTIVITÉ.

(1) Sa définition.

La radio-activité est un état particulier d'instabilité, dont le résultat est qu'un corps radio-actif donne constamment naissance à un autre corps ; c'est un véritable « cataclysme intra-atomique continu. » (Pr. Perrin.) Ce serait la manifestation extérieure des changements constants des atomes, tout comme la fièvre extériorise l'invasion d'un organisme par la maladie, les corps, en état d'équilibre instable, tendent constamment à se simplifier, tout comme une cascade tombant de roche en roche donne constamment naissance à un filet d'eau de plus en plus petit. De même, entre le terme original jusqu'au terme terminal, « il y a une série d'intermédiaires dont chacun provient du précédent par un nouveau dégagement d'énergie » (Soddy), qui en est le témoin tangible. La caractéristique de la radio-activité est « l'émission spontanée continue d'énergie dont les rayonnements ne sont qu'une manifestation. La chaleur, la lumière peuvent être obtenues de nombreuses manières, mais c'est un fait nouveau de constater qu'elles sont produites, d'un bout de l'année à

l'autre, sans relâche ni diminution apparente, comme elles le sont par le radium, sans que la substance productrice soit, en aucune manière apparente, consumée ou altérée. Ce fut là le trait frappant ; les substances radio-actives parurent réaliser ce fait scientifiquement impossible de tirer des rayons, semblait-il, d'une provision d'énergie ». (Soddy.) Tandis que la vitesse d'une *réaction chimique* s'accroît très rapidement quand la température s'élève, celle d'une transformation radio-actives reste la même à la température de l'air liquide ou à celle du rouge vif. Les deux phénomènes ne sont donc pas de la même nature. Dans les réactions chimiques, ce sont les molécules qui sont altérées ; dans les transformations radio-actives ce sont les atomes qui se désagrègent (Berthoud). « Malgré les efforts dépensés et les brillants résultats obtenus depuis la découverte de la radio-activité, nous n'avons pu encore élucider le phénomène qui est à sa base. Le mécanisme de la désintégration des atomes nous est toujours voilé, puisqu'il réside au sein du noyau atomique. Or, celui-ci est pour nous d'accès difficile à cause des lignes de

défense qui l'encerclent et le protègent, à cause de la colossale énergie qu'il

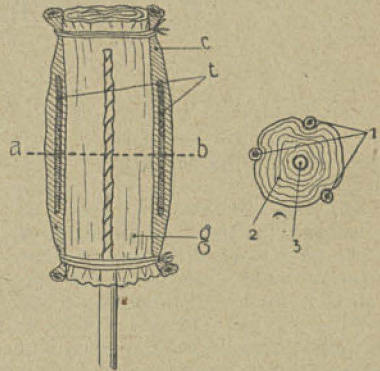


Etui-filtre pour tube à radium (le tube de radium est la partie ombrée se trouvant à l'intérieur.

1 : tubes de radium; 2 : gaze; 3 : tube porte-radum; 4 : caoutchouc; 5 : tube de caoutchouc.

renferme, à cause enfin des lois d'action de ses éléments certains

ment très différentes de celles que nous observons à notre échelle de dimensions et de distances». (Lepapée). « N'oublions pas en effet, que le volume du noyau atomique est infiniment petit : si l'on pouvait regarder une goutte d'eau avec un microscope assez puissant pour que l'image de cette goutte soit de la grosseur de la terre,



Tube porte-radum. — c : caoutchouc; t : tubes de radium; g : gaze. — A droite : coupe suivant a b. 1 : radium; 2 : gaze hydrophile; 3 : tube porte-radum.

l'atome, vu dans ce microscope, serait une grosse orange, son noyau, 10 fois plus petit, ne serait qu'un grain de poussière à peine visible malgré le grossissement formidable de l'instrument.» (Olmer).

(2) Ses propriétés.

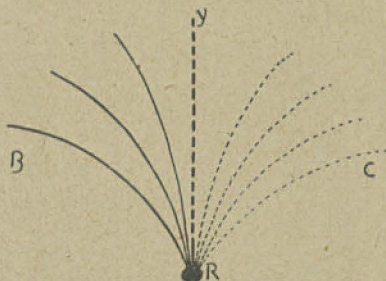
Les quatre effets principaux des substances radio-actives sont : (a) elles impressionnent les plaques photographiques, comme le ferait la lumière (expérience de Becquerel plus haut citée); (b) elles excitent la phosphorescence de certaines substances

placées dans leur voisinage (un cristal de platino-cyanure de baryum brille avec une telle lumière verte); (c) elles déchargent les corps électrisés placés dans leur voisinage (expérience de Soddy : « Voici un gland de soie qu'on a électrisé par frottement. Tous les fils se repoussent l'un l'autre et divergent. Dès que le radium est approché, les fils s'abaissent immédiatement », preuve qu'ils ont été bien déchargés. Jusqu'ici donc nous retrouvons des propriétés déjà décrites à propos des rayons X; (d) enfin, les substances radio-actives possèdent une dernière propriété, dont nous reparlerons plus en détail avec le rôle de la radio-activité : c'est la production de la chaleur analogue à celle obtenue par la combustion du charbon.

(3) Sa mesure.

Pour cela, on utilise la propriété, que nous venons de signaler, possédée par les corps radio-actifs, de transformer l'air normalement isolant en un bon conducteur électrique, grâce à la formation (le corps radio-actif émettant des corpuscules dont nous reparlerons plus en détail) de points de condensation facilitant de proche en proche le passage du fluide électrique, d'où la décharge des corps électrisés. Le premier appareil utilisé était très simple : il comprenait deux plateaux parallèles disposés horizontalement et écartés de quelques centimètres, entre lesquels on établissait une différence de charge électrique. Si on plaçait, sur le plateau inférieur, une substance radio-actives, la différence de charge électrique entre les deux plateaux diminuait, ce qu'on déterminait facilement par un galvanomètre et on en pouvait ainsi déduire la

charge radio-actives. Actuellement, on emploie des appareils portatifs analogues au classique électroscope à feuilles d'or; feuilles qui s'écartent lorsqu'elles se trouvent électrisées (en vertu du principe bien connu de la répulsion mutuelle de deux corps chargés d'électricité de même sens). Voilà donc nos deux feuilles d'or à l'état de divergence; si nous dirigeons sur elles un rayonnement radio-actif, elles se déchargent, donc se rapprochent. En comparant la vitesse de



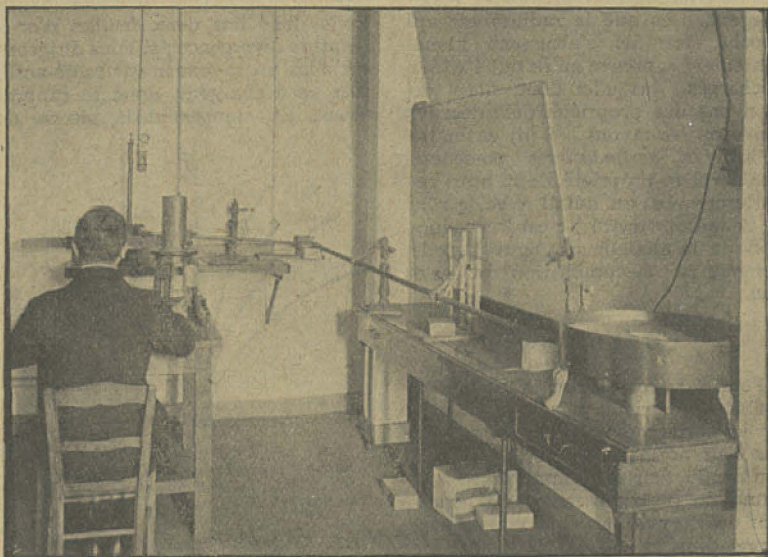
Action d'un champ magnétique sur le rayonnement du radium. — R : radium; Y : pas dévié; B : dévié; C : dévié en sens inverse de B.

rapprochement réalisée avec celle obtenue à l'aide d'une substance de radio-activité connue, on évalue aisément la valeur radio-actives du rayonnement à étudier. Dans l'appareil ici utilisé, les feuilles sont en aluminium et on lit leurs variations au microscopie.

La précision de cet appareil est telle qu'il est très facile de « reconnaître un cinquantième de millionième de milligramme de radium et l'on pourrait, probablement, avec beaucoup de soin, découvrir le dixième de cette quantité. Si l'on divisait également entre tous

les êtres humains vivant actuellement dans le monde $1/2$ grain (32,4 milligrammes) de bromure de radium pur, et que l'une des portions dût nous revenir, un électroscope à feuilles d'or fournirait le moyen de la décou-

l'unité choisie était trop faible. On décida donc, au Congrès International de Bruxelles (1910), d'adopter un étalon spécial que prépara M^{me} Curie et auquel, par un légitime hommage, son nom fut donné. M^{me} Curie pré-



Le service d'étalonnage des ampoules radio-actives par la méthode du quartz piézo-électrique.

vrir et de l'identifier avec la plus grande facilité » (Soddy).

(4) Son unité.

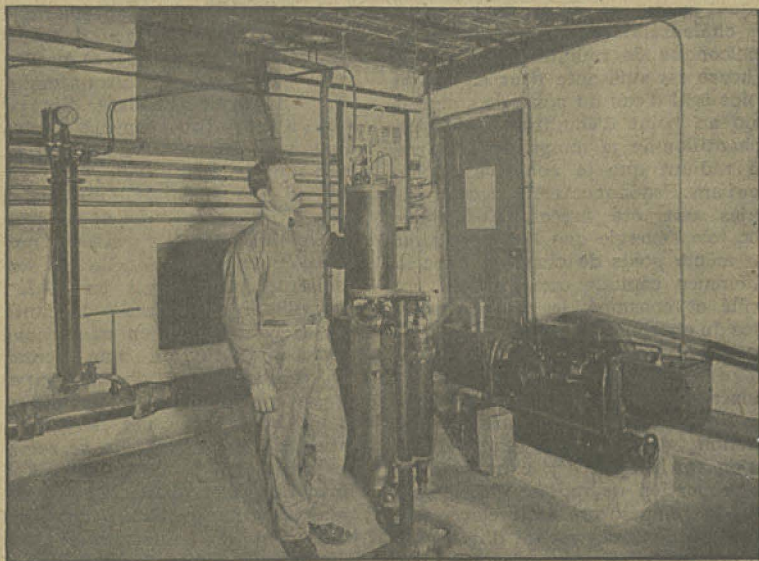
On avait d'abord pris comme unité la première matière radio-active connue, l'uranium. Mais comme les sels de radium présentent une puissance radio-active infiniment supérieure (près de deux millions de fois forte),

para un étalon, depuis soigneusement conservé à Paris, consistant en un tube contenant 22 mmgr. de chlorure de radium aussi soigneusement purifié que possible. « Désormais le mmgr. de radium sera aussi nettement défini qu'une livre de thé » (Soddy).

Le *curie* est la quantité d'*émancipation* (gaz produit par le radium) en *équilibre radio-actif* avec 1 gramme de radium. On dit que le radium est à

l'état d'équilibre radio-actif lorsque, après 1 mois de séjour en vase clos, il perd autant d'émanation qu'il en produit, c'est-à-dire que la quantité d'émanation émise a atteint un maximum qu'elle ne dépassera désor-

de première importance. C'est un élément marquant dans la constitution de la terre, disséminé, il est vrai, en petite quantité très diffuse. On le trouve dans les eaux (de mer, les roches, le sable marin (on a pu dé-



Machine à air liquide (The Bristol Oxygen C^o) dans les sous-sols de l'Institut du Radium.

mais plus. Le curie étant une unité trop forte, pratiquement on ne se sert que du *millicurie*, ou millième partie du curie. Lorsqu'on dit d'un appareil qu'il fournit 100 millicuries-heures, cela veut dire que, en une heure, 100 milligrammes de radium ont été utilisés.

(5) Son rôle.

Le radium joue un rôle terrestre

celer la radio-activité de 50 grammes seulement de sable marin), les gaz volcaniques, la rosée, le brouillard, les eaux minérales (Bagnères, Plombières et surtout la Bourboule dont la source Choussy-Perrière est la plus radio-actives de France), dans l'atmosphère des villes d'eaux (ce qui explique, avec l'altération de la radio-activité par la mise en bouteille et le transport des eaux minérales, les effets supérieurs obtenus par la consommation

des eaux à leur source même, à ceux de leur absorption à distance). Le radium, comme producteur d'énergie, émet constamment de la chaleur (phénomène analogue au dégagement de chaleur considérable accompagnant la transformation des rayons cathodiques en rayons X). « La quantité de chaleur émise par une quantité quelconque de radium pendant 3/4 d'heure est suffisante pour élever un poids égal d'eau du point de congélation au point d'ébullition. Voici un échantillon de 32 mmgr. de bromure de radium que je conserve depuis neuf ans. Pendant ce temps, 200.000 calories ont été créées, c'est-à-dire 800 fois l'énergie que l'on peut tirer du même poids de charbon, avec la différence capitale que, lorsqu'il est brûlé et consumé, le charbon n'est plus du charbon, tandis que ce radium est aussi actif que jamais. Le Pt Joly (*Radio-activité et Géologie*) a montré l'effet du radium des roches du tunnel du Simplon dans la production des hautes températures qu'on fut surpris d'y trouver. Plus la proportion de radium était forte, plus la température était élevée; la présence dans ces roches d'une proportion de radium de quelques millièmes supérieure à la proportion normale eût presque ruiné l'entreprise » (Soddy). On conçoit donc, vu ce dégagement considérable de chaleur (1 gr. de radium dégage 135 calories par heure), que le radium lutte efficacement contre le refroidissement terrestre, en maintenant constante la température interne de notre globe. Autrement dit, en une heure et quart le radium peut fournir la quantité de chaleur nécessaire pour fondre son poids de glace et le transformer en eau bouillante. On trouve enfin du radium dans les étoiles, les planètes et le soleil, con-

tribuant ainsi par son rayonnement propre à entretenir le vaste foyer solaire, source de notre vie sur notre planète. A propos des autres corps radio-actifs, nous reparlerons et de leur rôle et de leurs applications industrielles ou médicales.

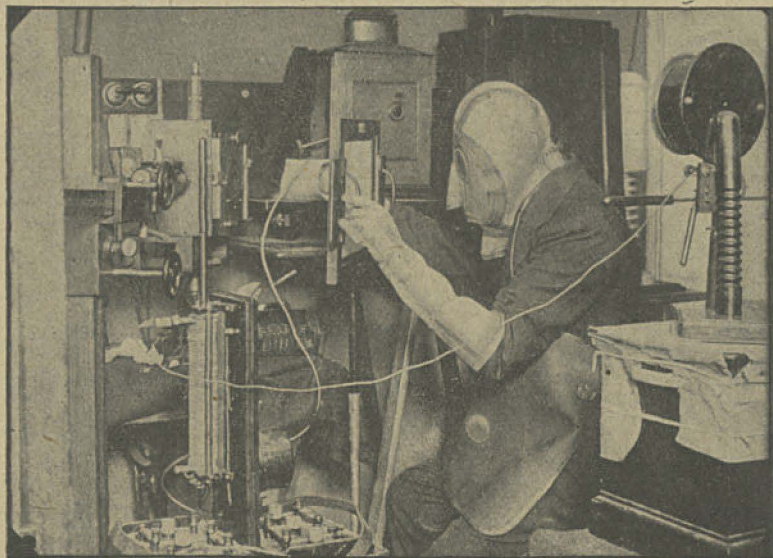
En terminant, envisageons rapidement quel peut être l'avenir de la radio-activité (Paul Becquerel); 1) la découverte de l'énergie intra-atomique, source d'énergie formidable. Sion pouvait libérer brusquement l'énergie d'un kilo de radium, elle égalerait celle fournie par 340 tonnes de houille brûlées en un instant. On a calculé que, dans un gramme de n'importe quelle substance, il y avait une quantité d'énergie égale à celle qui serait suffisante pour élever un poids de 30 millions de tonnes à la hauteur de la Tour Eiffel, en une seconde, c'est-à-dire environ une centaine de milliards de chevaux-vapeur. 2) La vie humaine ne serait pas moins bouleversée par la transmutation de la matière. En se servant des rayons α , le grand savant Sir Rutherford a pu réaliser ces premières transformations; grâce à ce « bombardement » il a pu démolir les atomes d'azote, de fluor, d'aluminium, de phosphore, et obtenir de l'hydrogène. On peut donc envisager comme réalisable la possibilité de produire de l'or avec du plomb. 3) Enfin, en agissant sur les tissus vivants, on pourra créer des espèces nouvelles aux caractères transmissibles héréditairement, réalisant ainsi, et combien plus parfaitement, le rêve hallucinant du Docteur Moreau qu'enfanta l'imagination de Wells

(6) Applications industrielles.

Nous n'envisagerons ici que celles concernant le radium.

Citons la transformation des couleurs des pierres précieuses (corindons incolores en rubis rouges et topazes jaunes), coloration des verres en violet, possibilité de déterminer l'âge des formations géologiques par l'étude

soleil avant de l'être sur la terre, est un gaz très léger, liquéfiable à une température extrêmement basse (-270 , le zéro absolu étant -273), de poids atomique égal à 4 (hydrogène : 1). On a pu établir expérimentalement



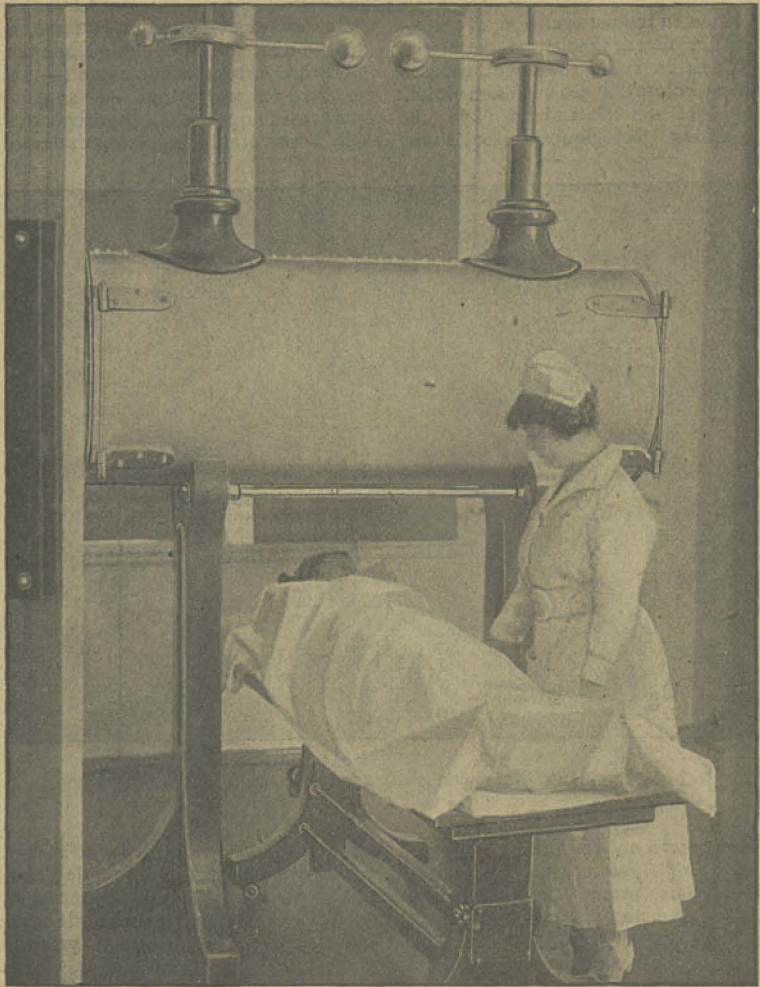
Radiographie des perles vraies et cultivées par un expert londonien.

des proportions respectives de radium et d'hélium contenues dans la roche (tout atome de radium se scindant constamment en deux atomes, un d'hélium et un d'émanation, suivant l'ancienneté de la roche, on trouvera des proportions plus ou moins grandes de radium et d'hélium).

L'hélium (du mot grec : soleil) dont l'existence, grâce à la méthode spectroscopique, était connue sur le

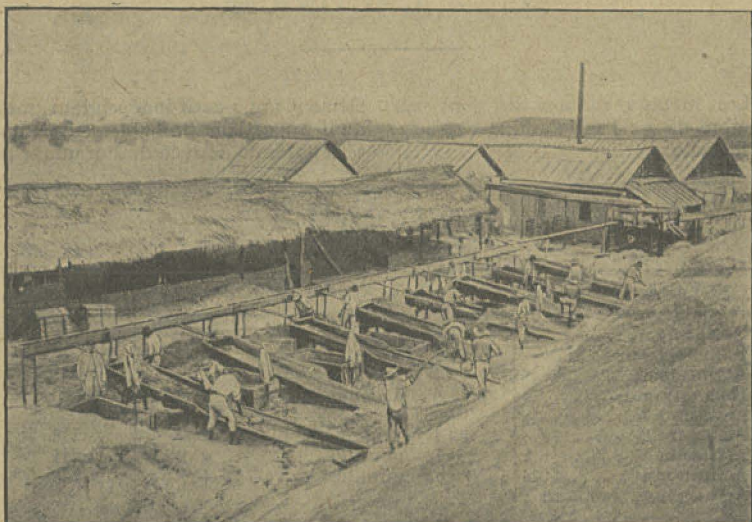
la production d'hélium par le radium (on abandonne à elle-même de l'émanation dans un fin tube scellé ; après trois, quatre jours, la méthode spectroscopique y montre la présence d'hélium). Pour l'uranium, la vitesse de production est d'environ 2 mmgr. d'hélium par millier de tonnes d'uranium et par an. (Soddy.)

Cet hélium est un gaz coûteux, il est vrai, ce qui en limite fort l'applica-



Installation d'un nouvel appareil de rayons X à l'hôpital de Washington.

tion pratique, mais absolument inflammable ; c'est pourquoi on l'a tou- où deux d'entre eux furent foudroyés) pour le gonflement des ballons, à la



Lavage et séchage des sables rares.

jours préconisé (et notamment à propos de la récente catastrophe lors d'une course de ballons sphériques

place du gaz d'éclairage ordinaire susceptible de s'enflammer par la foudre.

MUSÉE COMMERCIAL
et COLONIAL
2, Rue du Lombard, 2
LILLE

III. — L'ACTINIUM.

Les métaux radio-actifs sont au nombre de 3 : l'actinium, le thorium et le radium.

élément radio-actif indépendant, mais qu'il appartient probablement à une série latérale dérivée de l'uranium ou

TABLEAU I.
(SODDY)

Nom de la substance.	Durée de vie.	Particules émises	Poids atomique.
<i>Actinium</i>	28,8 ans.		
Radio-actinium.....	28,1 jours.	α	
Actinium X.....	16,4 jours.	α	
Emanation.....	5,6 secondes,	α	
Actinium A.....	0,003 secondes.	α	
Actinium B.....	52,1 minutes.	α	238
Actinium C.....	3,1 minutes.	α	234
Actinium D.....	6,83 minutes.	$\beta + \gamma$	230
Actinium E. Inconnu..			

TABLEAU II.
(SODDY)

<i>Thorium</i>	5,000 000 000 ans?	α	232
Mésothorium I.....	9,67 ans.		228
Mésothorium II.....	8,9 heures.	$\beta + \gamma$	228
Radiothorium.....	2,75 ans.	α	228
Thorium X.....	5,3 jours.	α	224
Emanation.....	78 secondes.	α	220
Thorium A.....	0,2 secondes.	α	216
Thorium B.....	95,4 heures.	β	212
Thorium C.....	87 minutes.		212
	se divise en 65 % de β , d'où le		
Thorium C'.....	10 ⁷ secondes.	α	212
	et 35 % de γ , d'où le		
Thorium D.....	4,5 minutes.	$\beta + \gamma$	208
Produit final ?.....	?	?	208

Nous serons très brefs sur l'*actinium* encore mal connu, non encore isolé complètement, et « corps chimique assez mystérieux » (P^r Perrin). On suppose actuellement que ce n'est pas un

d'un de ses descendants immédiats antérieurs au radium (Soddy). Le lecteur trouvera au tableau les renseignements concernant ce corps, qui ne nous retiendra pas davantage,



IV. — TERRES RARES ET THORIUM.

(1) Terres rares.

Les anciens chimistes appelaient *métaux terreux* ceux dont les oxydes, insolubles dans l'eau, avaient les propriétés physiques grossières et l'aspect de la terre crayeuse ou argileuse. Si certains sont très abondants (alumine), d'autres sont très peu répandus, d'où le nom de *terres rares* qui leur fut donné. D'autres furent classés parmi les *terres nobles*, tels le *thorium*, dont nous allons parler.

On divise les terres rares en deux grands groupes : yttrique (celui de l'yttrium) et cérique (celui du cérium). Il y a environ une quinzaine de terres rares, toutes affublées de noms aussi bizarres, aussi « rares » : terbium, didyme, praséodyme, glucinium... Ces métaux représentent une partie des déchets de fabrication de l'oxyde de thorium dans l'industrie des manchons à gaz incandescent, dans lesquels entrent environ 99^o/_o d'oxyde de thorium et 1^o/_o d'oxyde de cérium. Soddy propose l'expérience suivante bien facile à réaliser : « Prenons un manchon à incandescence, dont on fait disparaître la fibre par combus-

tion, coupons-le dans le sens de la longueur et étendons-le, le mieux possible, sur un carton. Puis, posons sur le manchon une plaque photographique placée au préalable dans une enveloppe imperméable à la lumière, et laissons le tout en repos pendant une quinzaine de jours ou davantage. En développant la plaque, on constatera qu'une image du manchon a été formée dans l'obscurité, par les rayons du thorium contenus dans le manchon. »

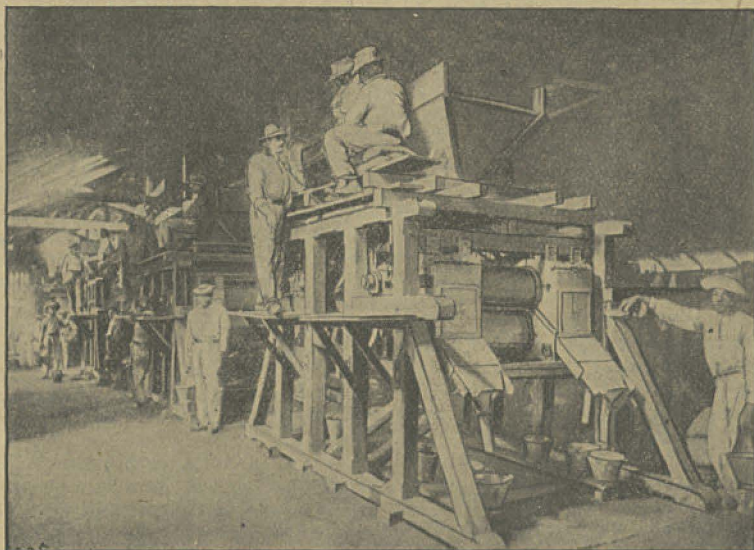
A la suite des recherches expérimentales de Frouin et Grenet sur l'action empêchante des terres rares vis-à-vis du développement de cultures de bacilles de Koch (bacilles de la tuberculose), on appliqua ces métaux au traitement des tuberculoses médicales (formes chroniques, non évolutives de la tuberculose pulmonaire), chirurgicales (ganglions du cou, tumeur blanche) et externes (tuberculoses de la peau : lupus). On pratique des injections de solution aqueuse (injections intra-veineuses) ou huileuses (injections sous-cutanées) de sulfate de didyme. On a souvent noté une amélioration marquée de l'état gé-

néral et local, avec modification de la formule sanguine (augmentation du nombre des globules blancs); mais ces résultats sont inconstants et nombreux ont été les insuccès notés.

(2) Thorium.

Le thorium, dont nous citons le rôle à propos de l'industrie des man-

contre en très faible quantité dans certaines roches, dans les sables provenant de leur usure par la mer. Quant au *mésothorium*, proche parent du thorium, connu depuis une quinzaine d'années, on l'isole à grands frais des sous-produits de la fabrication du thorium. Le tableau II nous renseigne sur la « filiation du thorium ».



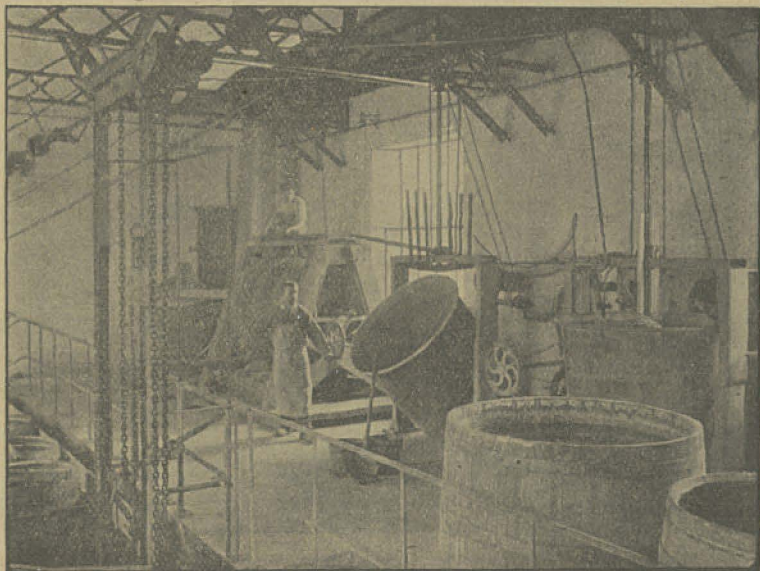
*Trieur électro-magnétique pour séparer la monazite des minéraux lourds
(Zircon et oxyde de fer titanique).*

chons à incandescence, s'extrait des sables *monazités* du Brésil et des Carolines (qui n'en contiennent que quelques 1/10 de milligramme à la tonne). Sous l'influence des vagues marines, il se fait dans ces sables une concentration naturelle du minéral lourd (la *monazite*) que l'on ren-

Quels sont les avantages que présente le thorium par rapport au radium? D'une part, son pouvoir de pénétrabilité plus considérable (nous rappelons que le rayonnement du radium, à longueur d'onde plus courte, est lui-même plus pénétrant que les rayons X); sa puissance plus grande

à volume égal (son activité est environ 300 fois plus grande), d'autre part enfin, la radio-activité du thorium s'accroît spontanément, par formation constante de radio-thorium et de tous ses autres descendants. Donc, dans une ampoule de thorium injectable, on trouve, en outre du radium

avantage important sur le radium, car il y a toujours danger à lancer dans la circulation un produit dont il faut près de deux cents ans pour qu'il perde la moitié de son activité. On ne peut donc, dans ces derniers cas, employer que des doses très faibles, trop faibles pour agir efficacement.



Attaque et gros traitements des minerais broyés.

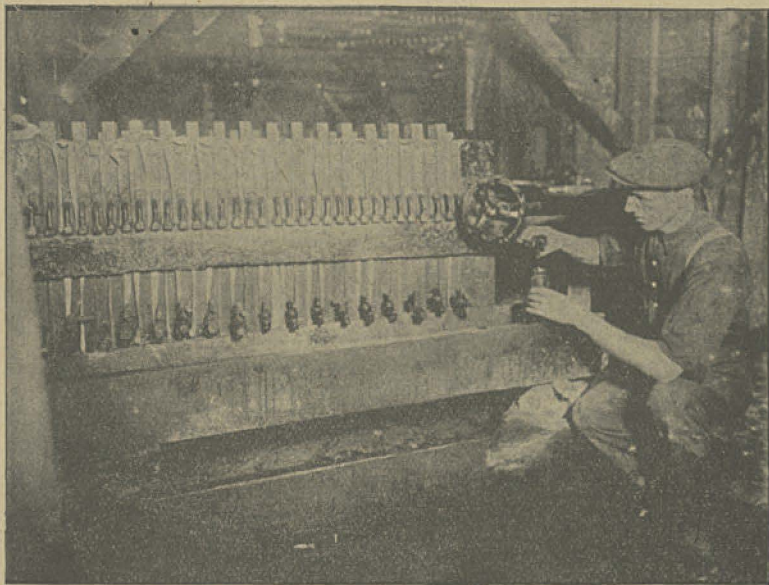
tous les produits instables de désintégration du mésothorium, mais contrairement aux solutions de radium ayant moins d'un mois d'âge (solution en équilibre radio-actif), il n'y a pas ici d'émanation, non pas parce qu'elle ne se forme pas, mais parce qu'elle se détruit aussitôt formée (en moins d'une minute). C'est donc un

Au contraire, avec le thorium, se détruisant rapidement sans danger d'accumulation, on peut employer des doses très élevées vraiment actives.

Actuellement, on emploie surtout le bromure (ou le sulfate) de thorium, ou par ingestion (on avale le contenu d'une ampoule dilué dans de l'eau ou des comprimés) ou par injections

(sous-cutanées, ou intra-musculaires, ou intra-veineuses.) Ces piqûres sont indolores et ne provoquent aucune réaction locale ou générale. Elles ont été employées dans les rhumatismes aigus et chroniques (où

localement par les applications de radium, comme nous le verrons au chapitre de la radiumthérapie), les états de faiblesse et de dépression générale (bonne action stimulante), dans les maladies du sang (anémies).

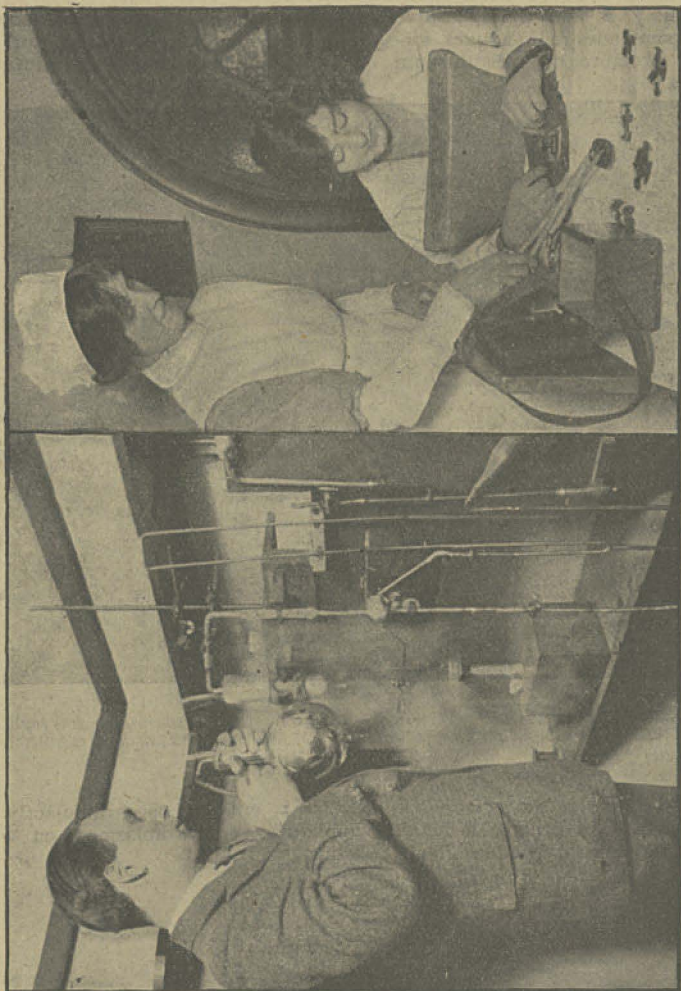


Avec la découverte d'immenses gisements de minerais contenant du radium dans la région du Congo, le prix du radium a baissé de 40 % ; et l'industrie de l'extraction du radium a reçu une grande impulsion, d'autant que le débouché est inépuisable. Dans ces filtres, le sulfide de radium est purifié et préparé pour la dernière opération qui permettra d'obtenir les sels de radium dans la forme sous laquelle cette substance, la plus chère du monde, est le plus communément employée.

elles ont une action calmante remarquable, avec élimination d'acide urique), la goutte (parfois bons résultats), la tuberculose pulmonaire (résultats décevants), le cancer (pour modifier les humeurs et associer tout l'organisme à la lutte contre la tumeur, qui se fait

En somme, on obtient parfois d'assez bons résultats, mais c'est loin d'être la règle, tout comme pour les terres rares. Tel malade est amélioré, tel autre ne l'est pas, sans qu'on puisse savoir pourquoi.

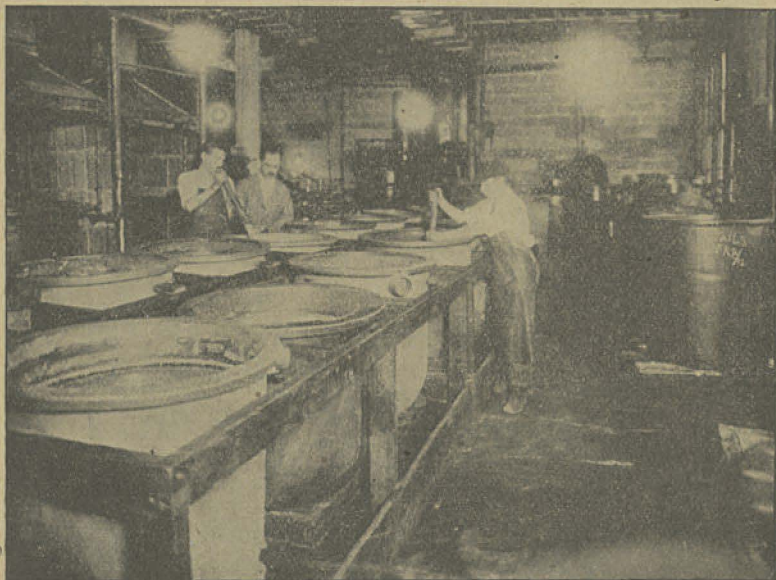
En outre de cette administration



La préparation des applications de radium dans un hôpital de Londres.

interne, il y a une thérapeutique externe (pommades radio-actives, formées de bromure de mésothorium

peau ; ou bien applications de solution alcoolique radio-active, qu'on étale comme une couche de teinture



Cette photo montre une phase de l'extraction du radium. Après avoir obtenu le métal sous la forme de sulfite, on le dissout dans ces pots quand il est prêt pour une filtration définitive.

incorporé dans un mélange lanoline-vaseline, contre les prurits, le lupus après scarifications préalables de la

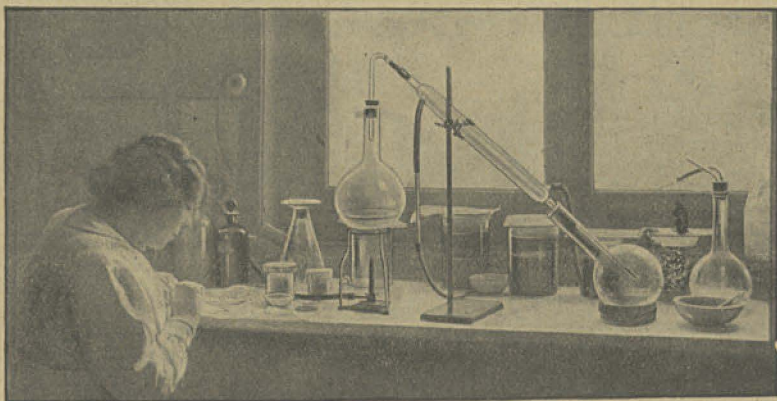
d'iode ; enfin, boues radio-actives appliquées en cataplasmes ou en bains).



V. — L'URANIUM ET SA SÉRIE DE DÉSINTÉGRATION RADIO-ACTIVE.

L'uranium, troisième corps radio-actif, est le plus lourd des atomes connus (l'atome est l'« unité quantitative minima d'un élément (Soddy)

tion intermédiaire entre l'ancêtre uranium et l'arrière-petit-fils, le plomb. » (Laporte). Nous partirons de cet atome, le plus lourd et le plus com-



Laboratoire de chimie du pavillon Curie (Préparation des disques odonium et appareil de purification du nitrate d'urane).

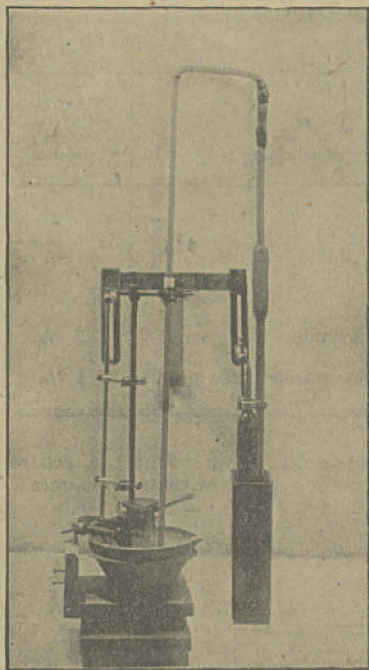
puisqu'il est de 238,2 (16 pour l'oxygène et 1.008 pour l'hydrogène). C'est le vénérable patriarche de la famille, l'ancêtre d'où dérivent tous les autres corps que nous allons décrire. Le radium apparaît donc comme une généra-

plexe connu, pour arriver finalement au plomb, chaque corps en engendrant un autre moins lourd et moins complexe que son générateur. Les uns, appliquant le précepte « courte et bonne », ont une vie

TABLEAU III
(SODDY)

Nom de la substance.	Poids atomique	Quantité relative dans les minerais (1).	Durée de vie.	Particules émises.	Vitesse en km-seconde.	Parcours de l'air en mm.
Uranium I....	238	1,000 000 000 (1 tonne).	8,000 000 000 ans.	α	14 700	25
Uranium X 1.	234	1/80 mmgr.	35,5 jours.	β		
Uranium X 2.	234	4/10 000 000 mmgr.	1,65 minutes.	$\beta + \gamma$		
Uranium XII.	234	375 grammes.	3,000 000 ans.	α	15 400	29
Ionium.....	230	12 grammes.	100 000 ans.	α	15 600	30
Radium.....	226	305 mmgr.	2 440 ans.	α	16 100	33
Emanation....	222	1/500 mmgr.	5,55 jours.	α	17 400	41,6
(1) Cette colonne indique la quantité relative dans les minerais, la quantité d'uranium étant supposée égale à 1,000 000 000. Si ces nombres se rapportent à des milligrammes, comme 1,000 000 000 de mmgr. valent 1 tonne, la quantité se rapporte à une masse de minéral contenant une tonne d'uranium (SODDY).						
Dépôt radio-actif à transformation rapide.						
Radium A....	218	1/1,000 000 mmgr.	4,3 minutes.	α	18 200	47,5
Radium B....	214	9/1,000 000 mmgr.	38,5 minutes.	β		
Radium C....	214	7/1,000 000 mmgr.	28,1 minutes.	$\beta + \gamma$		
Radium D....	214	4/1,000 000 000 000 000 mmgr.	0,000 001 secondes.	α	20 600	69,4
Dépôt radio-actif à transformation lente.						
Radium D....	210	3 milligrammes.	24 ans.	β		
Radium E....	210	1/400 mmgr.	7,25 jours.	$\beta + \gamma$		
Radium F.... (polonium)	210	1/15 mmgr.	202 jours.	α	16 800	37,7
Radium G.... (plomb).	206					

éphémère (jusqu'à un cent millionième de seconde), compensant cette brièveté par un surcroît d'activité; les autres ont une existence prolongée, auprès de laquelle pâlit celle d'un Mathusa-



Flacons pour la conservation des solutions de radium dans l'armoire blindée.

lem, puisque certains atteignent des milliers de millions d'années ! (Pour plus de détails, consulter le tableau III.)

Après l'uranium, nous avons l'*ionium*, ascendant direct du radium, puis notre lameux *radium*, l'*émulsion*, gaz par

lui engendré, les radiums A, B, C, D, E, F (ou *polonium*; dans la pechblende il y a beaucoup moins de polonium que dans le radium; dans 1 tonne de ce minerai, il y a moins de 20 millièmes de mgr. de polonium, mais sa radio-activité dépasse de beaucoup celle du radium), G (ou *plomb*; la preuve que le plomb est bien le produit final, c'est qu'on le rencontre en quantité considérable dans tous les minerais renfermant de l'uranium. Plus la formation géologique est ancienne, et plus le minerai renferme de plomb. On en a bien découvert un, l'autumite, n'en renfermant pas; mais il contient des traces d'hélium, moins que sa quantité de radium, ce qui indique sa formation récente; il n'a pas encore eu le temps nécessaire pour subir la série complète de désintégrations successives aboutissant au plomb). En somme, le radium est « un composé complexe de tous les corps radio-actifs qui marquent les états successifs de l'atome radium pur pendant sa transformation en plomb » (Dresse-Fabre).

« L'uranium d'une part, l'émulsion d'autre part, représentent vis-à-vis du radium deux extrêmes diamétralement opposés. L'uranium effectue si lentement sa transformation, qu'il subsistera pendant des milliers de millions d'années; l'émulsion se détruit si rapidement qu'elle dure seulement pendant quelques semaines, tandis que le radium occupe une position intermédiaire avec sa vie moyenne de 2,500 ans environ... Nous rappelons que la quantité totale d'énergie émise par le radium au cours de sa désintégration complète est environ 360.000 fois plus grande que celle produite par la combustion d'un poids égal de charbon. Et l'énergie libérée par l'uranium est environ 13% »

supérieure à celle dégagée par le même poids de radium. Il y a dans ce flacon près de 500 grammes d'oxyde d'ura-

ce petit flacon, l'énergie d'au moins 160 tonnes de charbon sommeille et attend sa libération. L'énergie d'une

TABLEAU IV
(SODDY)

Nature	Charge électrique.	Grosueur.	Vitesse de propagation.	Pouvoir pénétrant.	Proportion du rayonnement total.
Rayons α	véritables corpuscules.	considérable.	faible.	très faible.	90 %
Rayons β	matériels.				
	idem.	faible.	grande.	grand.	9 %
Rayons γ	immatériels.	neutre.	très grande.	très grand.	1 %

nium, par conséquent près de 400 grammes d'uranium, d'une valeur de vingt-cinq francs environ. N'est-il pas merveilleux de songer que, dans

tonne d'uranium suffirait à éclairer Londres pendant toute une année. (Soddy).

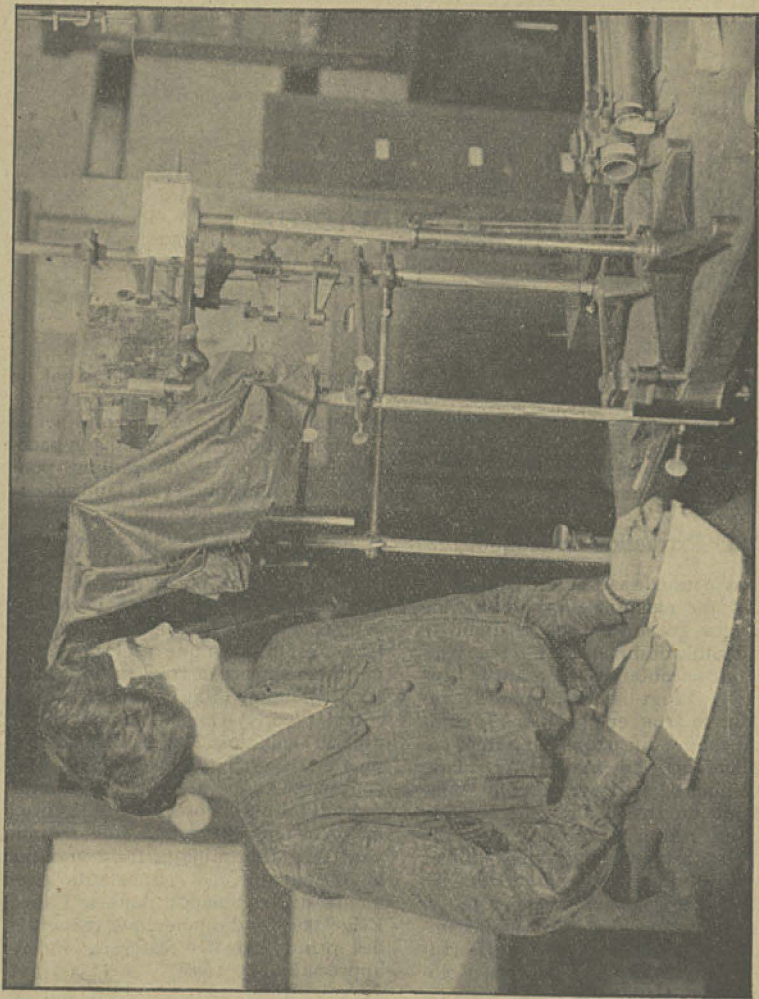
VI. — LE RADIUM.

Maintenant que nous possédons quelques notions indispensables sur la radio-activité en général et sur les corps radio-actifs en particulier, nous pouvons aborder avec fruit l'étude du radium proprement dit.

(1) Extraction du radium.

Tout le monde sait la faible quantité de radium existant dans le monde (quelques grammes), vu la quantité considérable de minerais qu'il faut traiter pour en obtenir des quantités infimes. « Vingt centigrammes de radium ne se trouvent pas dans le commerce comme un paquet de sublimé » (Guilleminot). La matière première, avons-nous déjà dit, est représentée par le résidu du travail de la pechblende pour en retirer l'uranium, base de diverses substances colorantes. Mais les minerais d'urane sont peu abondants ; le principal gisement est situé en Autriche, à Joachimsthal ; moins importants sont ceux de Beira (Portugal), de Norvège, Cornouailles, Colorado. Tout récemment, on en a signalé de très importants au Congo Belge (Union Minière du Haut-Katanga), qui ont été aussitôt exploités.

Annuellement, de Joachimsthal on extrayait, de 15-20.000 tonnes d'oxyde d'uranium à 50 %, 2 grammes seulement de radium. « Il y a dans la pechblende une partie de radium pour 3.200.000 d'uranium ; il faudrait de 100 - 200 tonnes des plus riches pechblendes, donnant jusqu'à 50 % d'uranium, pour obtenir 30 grammes de radium pur. Mais, par sa qualité, c'est-à-dire par la radio-activité, le radium supplée à ce qui lui manque en quantité. C'est ainsi qu'une seule goutte de véritable essence de roses presque inestimable, donne l'illusion de milliers de roses » (Soddy). On conçoit donc que le radium soit une des substances les plus coûteuses, probablement la plus coûteuse. Avant la guerre, le gramme de radium était coté 400.000 francs ! Actuellement, un gramme de radium vaut plus d'un million. Il est vrai que la découverte des importants gisements de pechblende dans le Congo Belge permet d'espérer une réduction des prix ; mais ils resteront encore appréciables ! Aussi, est-il courant de voir qu'un malade, traité par le radium, a pour 2-300.000 francs de radium sur lui. Terminons en disant que l'Institut Pasteur du Radium de



La mesure du radium exige une manipulation très soignée.

Paris, rue Pierre-Curie, possède 3 gr. de bromure de radium solide et 3 gr.50 en solution pour la production de l'émanation.

(2) Les 3 rayonnements émis par le radium.

Au cours de ses transformations successives l'atome de radium, transformé en « atome de plomb beaucoup moins lourd, aura perdu une partie de son poids, qui représente la somme des particules émises par les rayonnements successifs du radium et de chacune des substances intermédiaires » (Dresse-Fabre). Ce rayonnement invisible à l'œil nu tout comme les rayons X, comprend trois catégories de rayons qu'on a convenu d'appeler : rayons a (alpha), rayons b (beta), rayons g (gamma) qui se distinguent l'un de l'autre par de très grandes différences dans leur pouvoir de pénétrer la matière... De plus, ces trois catégories de rayons sont elles-mêmes complexes et comprennent plusieurs types facilement discernables. Mais les différences entre les rayons a, par exemple, considérés comme faisant partie d'une même classe, sont faibles et peu importantes en comparaison de la différence énorme que l'on constate entre un rayon a quelconque et un rayon b ou g quelconques. Les plus pénétrants des rayons a connus ne le sont guère plus que deux fois autant que les moins pénétrants de ces mêmes rayons ; tandis que les rayons b, en tant que classe, peuvent être considérés approximativement comme cent fois plus pénétrants que les rayons a, et les rayons g comme cent fois plus pénétrants que les rayons b. » (Soddy.)

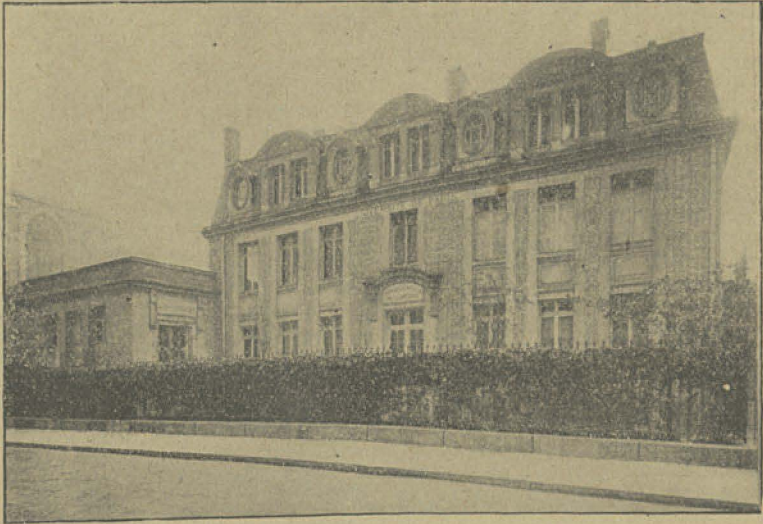
(a) *Rayons a.* — Le rayonnement est constitué par la projection à travers l'espace de paicules matérielles qui

ne sont autres que des atomes d'hélium. « C'est une nuée d'atomes d'hélium en vol rapide... Dans 30 mmgr. de radium, il y a 50 millions (5×10^{10}) d'atomes séparés, dont, chaque année, se désintègrent environ $1/2.000$ eme de ces atomes. Comme il y a 32 millions de secondes en un an, pendant chaque seconde, il se désintègre un peu moins de 1.000 millions de ces atomes de radium. Cette trace ancienne de radium vomit littéralement des particules a. » (Soddy). 1 mmgr. de radium expulse, à chaque seconde, 136 millions de particules a (Pr. Rutherford). Elles cheminent à une vitesse vingt fois inférieure à celle de la lumière mais encore respectable: 20.000 kilomètres par seconde. « Cette vitesse est bien supérieure à la course la plus rapide auparavant connue (une étoile filante n'atteint que 30-60 kilomètres par seconde ; la vitesse d'un obus sortant de la bouche d'un canon n'atteint qu'une fraction de kilomètre par seconde). Pendant qu'une étoile filante franchirait la distance de la terre à la lune, une particule a atteindrait le soleil » (Soddy.) Les corpuscules qui constituent le rayonnement a sont chargés d'électricité positive (ainsi que l'indique le sens de déviation du rayonnement sous l'approche d'un champ magnétique comme un aimant). Elles représentent la plus grande partie du rayonnement total du radium (92 %). Leur pouvoir de pénétrabilité est faible (elles sont rapidement absorbées par l'air ou un écran de quelques dixièmes de mm. d'épaisseur ; pour l'air, 50 mm. suffisent à les arrêter).

La radio-activité est un phénomène qui intéresse la masse ou le volume. Ce qui veut dire que toutes les parties d'un sel de radium, par exemple, non seulement la surface, mais aussi, les portions internes, émettent des

rayons a, b et g. La substance elle-même absorbe énormément ces divers rayons car les sels de radium sont denses ou lourds. Mais cette absorption n'affecte pas, naturellement, d'une manière égale les rayons très pénétrants et les rayons a, faiblement pé-

de même. *Le poids de la substance est à leur égard, moins important que l'étendue de la surface libre.* Une très minime quantité de bromure de radium, un mmgr, par exemple, répandu en très mince couche sur une large plaque, dégagera énormément plus



Vue générale de l'Institut du Radium à Paris (Pavillon Curie).

nétrants. Ceux de ces derniers qui naissent à l'intérieur du sel ne parviennent pas à l'extérieur. Ainsi, seule, une très mince couche superficielle contribue à fournir le rayonnement a. Il résulte de ceci que, étant données les faibles quantités de radium que nous avons à notre disposition, l'intensité des rayons pénétrants est plus ou moins proportionnelle à la quantité de radium employée, tandis que pour les rayons a, il n'en est plus

de rayons a que la même quantité sous forme de petit cristal. Si nous répandons une très faible quantité de radium sur une très large surface, les rayons b et g émis par une si faible quantité seront sensiblement négligeables, tandis que, dans ces conditions, les rayons a acquerront leur plus grande intensité. En fait, une mince couche de sel pur de radium peut être considérée comme une source de rayons a homogènes et sensiblement

exempts de rayons b et g. Pour montrer que ces rayons a sont les plus agissants au point de vue électrique, Soddy fait l'expérience suivante : « Au-dessus d'une mince couche de radium, à découvert, j'approche le

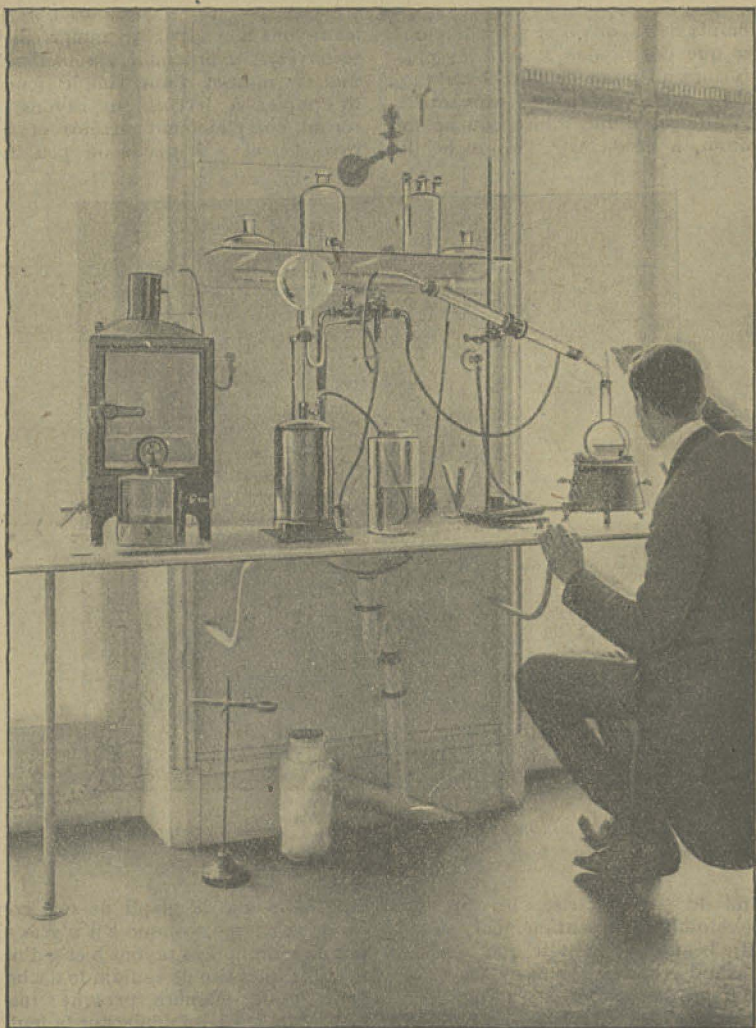
les rayons b et g par 30 mmgr. Si je recouvre, maintenant, la pellicule nue de radium d'une simple feuille de papier à lettres, les rayons a seront complètement arrêtés et les rayons b et g à peine un peu. On



Introduction d'une ampoule de radium dans un tube de transport en plomb.

gland de soie électrisé, les fils de soie retombent instantanément, c'est-à-dire beaucoup plus vite que lorsque le gland est placé au-dessus des 30 mmgr. de bromure de radium contenus dans la capsule couverte par une feuille de mica. Les rayons a d'un mmgr. de radium produisent donc un effet électrique plus intense que

voit alors que le gland de soie conserve sa charge, comme s'il n'y avait pas de radium. Les rayons b et g d'une si faible quantité de radium le déchargent d'une manière presque inappréciable. Mais, en déplaçant la feuille de papier, même très légèrement, de manière qu'une très faible portion de la surface de la pellicule soit mise à nu,



Recherche de la radioactivité des eaux minérales (Méthode chimique).

le gland de soie se décharge immédiatement. » (Soddy.)

(b) *Rayons b.* — Ils sont formés par des corpuscules beaucoup plus petits que ceux des rayons a : ce sont des électrons, c'est-à-dire des atomes d'électricité séparés de toute matière (la masse de l'électron est la 1/1000^e partie de l'atome d'hydrogène, la plus petite particule connue) chargés d'électricité négative (et non plus positive), se mouvant à une vitesse bien plus grande que celles animant les particules a (ici, elle atteint 270 000 km-seconde et non plus quelques malheureux 20.000 km). Leur nature est analogue à celle des rayons cathodiques. Leur pouvoir de pénétrabilité est déjà plus considérable ; ils sont moins absorbables que les rayons a. Conventionnellement, on les divise en deux groupes : les b mous qui, proches parents des a, sont arrêtés par 2 mm d'aluminium, et les b durs, très voisins des g, qui ne le sont que par 7-8 mm. Les rayons b ne représentent qu'une faible partie du rayonnement total du radium (9 0/0).

Expériences de Soddy sur la pénétrabilité des rayons bet g. « Prenons une petite capsule contenant du radium et fermée par une mince feuille de mica pour que tous les rayons a soient arrêtés. Dans toutes les expériences faites à l'aide de cette capsule, seuls les rayons b et g pourront agir. Les sels appelés platino-cyanure brillent très vivement sous l'action des rayons b. En interposant un nombre croissant de minces feuilles de cuivre ou d'aluminium, la fluorescence s'affaiblit d'abord très rapidement, puis elle atteint une intensité qui diminue ensuite très peu par l'addition de nouvelles épaisseurs métalliques. Ceci est dû à ce que les rayons b ayant été totalement absorbés, il ne passe plus que les rayons g, relativement faibles

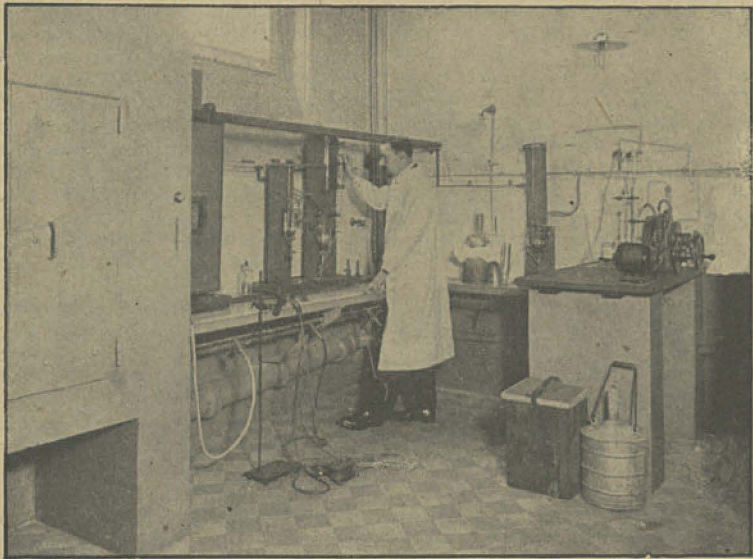
mais extraordinairement pénétrants. Ces rayons g sont toujours très peu intenses et peu importants ; leur principal intérêt tient à ce qu'ils sont de beaucoup les rayons les plus pénétrants actuellement connus. Si la capsule étant hermétiquement enfermée, dans une boîte d'acier de 1 centimètre d'épaisseur, on place sur le couvercle de cette boîte un cristal de platino-cyanure de baryum, on voit que ce cristal brille encore et qu'il s'éteint quand on l'éloigne du radium. Ce phénomène peut être encore observé à travers une pile de 12 pièces d'un franc ou de cinq centimes, tandis qu'au moyen d'un électroscope à feuilles d'or très sensible, on peut montrer que certains rayons sont encore capables de traverser une épaisseur de 30 centimètres de fer ou 15 centimètres de plomb. »

(c) *Rayons g.* — Ces rayons, qui ne forment que 1 0/0 du rayonnement total du radium, sont immatériels ; ils sont dus à un ébranlement de l'éther sous l'influence des chocs violents que lui infligent les rayons a et b lors de leur émission, tout comme prennent naissance les rayons X au niveau de l'anticathode subissant le « bombardement cathodique » émané de la cathode. Une comparaison familière fera mieux saisir la différence les séparant des rayons a et b ; jetez à terre une ampoule électrique pour la briser. Vous voyez voler dans l'espace des fragments de verre, les uns gros et relativement plus lents que les autres, très fins morceaux (rayons a et rayons b) ; mais en outre, vous entendez un bruit dû à l'explosion de l'ampoule où régnait le vide ; l'air a vibré sous le choc, sans qu'il y ait eu intervention de corpuscules matériels (rayons γ). Au point de vue de la charge électrique, les rayons g ne sont

ni chargés d'électricité positive, ni chargés d'électricité négative ; ils sont neutres. Ils voyagent avec une vitesse légèrement supérieure à celle des rayons b, et qui est sensiblement voisine de celle de la lumière (300.000 km-seconde). Enfin, ils sont très

(3) L'émanation.

C'est, avons-nous déjà dit, le gaz qu'engendre constamment le radium. Si on dissout du bromure de radium dans de l'eau, en vase clos, on constate que le radium voit sa radio-activité

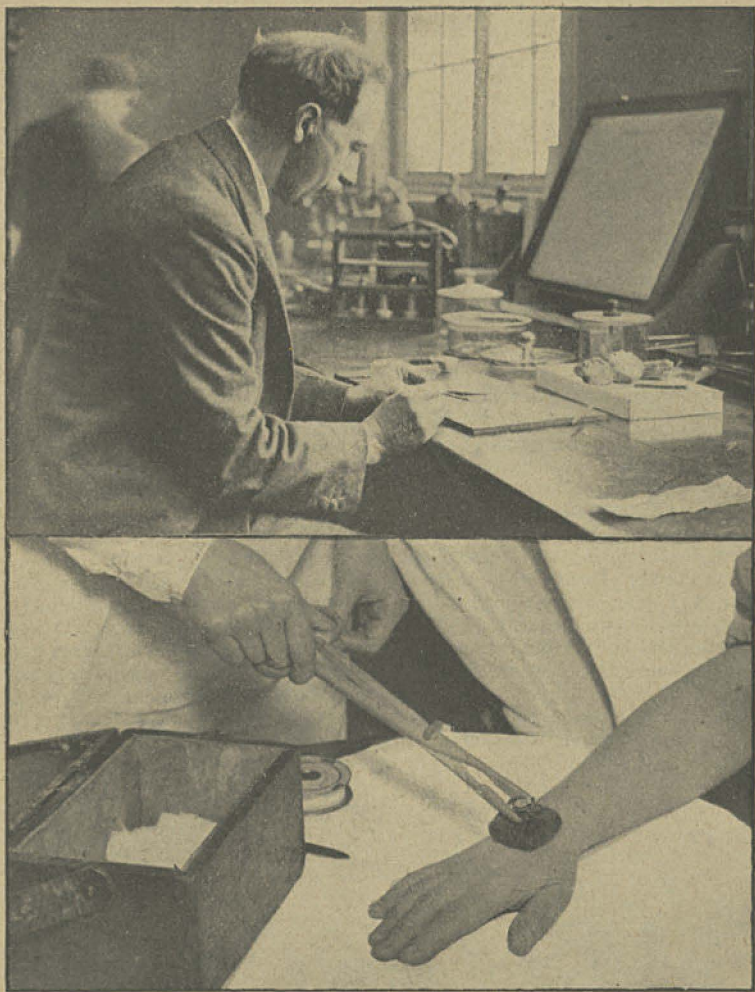


Salle de l'extraction de l'émanation de radium.

pénétrants (nous venons de dire qu'ils pouvaient traverser jusqu'à 30 cm. de plomb), bien plus que les plus pénétrants des rayons X.

On trouvera, au tableau IV, un résumé des différences séparant les trois sortes de rayonnement, a, b, et g, émanés du radium.

diminuer, tandis qu'il s'échappe dans l'air quelque chose de fortement radio-actif ; ce quelque chose, c'est l'émanation. C'est un vrai gaz, susceptible d'être condensé (c'est-à-dire d'être liquéfié sous forme d'un liquide verdâtre légèrement phosphorescent) ou volatilisé (il redevient gaz) dès qu'on des-



L'application du radium ne se fait pas sans de grandes précautions.

ceud au-dessous ou qu'on remonte au-dessus de la température de -150 degrés. Son poids atomique est de 222 (les 226 du radium, moins les 4 de l'atome d'hélium, puisque radium-hélium égale émanation). Elle fait partie des gaz rares (comme l'argon, l'hélium, le néon). Elle dégage trois fois plus d'énergie que le radium d'où elle dérive. (En une heure, 1 gramme de radium dégage 314,7 calories, mais après dissolution dans l'eau, c'est-à-dire après élimination de l'émanation, il n'en émet plus que 33 calories, alors que l'émanation dégage 100 calories par heure). « On comprendra peut-être facilement maintenant pourquoi la petitesse des quantités de matière mises en œuvre n'offre aucun obstacle à l'étude de la radioactivité. Une très petite balle suffit, malgré ses faibles dimensions, pour produire un terrible ravage, à cause de l'énergie cinétique avec laquelle elle a été lancée. Une petite torpille, grâce à l'énergie emprisonnée dans ses explosifs, peut couler un énorme vaisseau. Une quantité d'émanation dont le poids ne s'élève certainement pas à $5 \text{ } 10/1000^{\circ}$ de mmgr. dégage assez d'énergie pour produire des effets parfaitement visibles à un grand auditoire » (Soddy).

Mais alors, une objection va venir à l'esprit.

« Si le radium se détruit constamment, presque à la vitesse d'une $2/1000$ partie par an, comment se fait-il que, malgré cette démolition, sans arrêt, il puisse encore exister du radium? C'est que, tout comme l'émanation qui se renouvelle aussi vite qu'elle disparaît, il y a une régénération du radium compensant sa désintégration et maintenant sa quantité constante à travers les siècles. Cette régénération du radium vient de la transformation d'uranium en radium, la vie moyenne de l'uranium étant de 8.050.000.000 d'années, et celle du radium 2.500 ans seulement; aussi, si le radium était séparé de l'uranium dans la pechblende, il sera réduit de $1/2$ en 1700 années environ, tandis que s'il était resté dans le minerai avec son générateur, l'uranium, il ne serait réduit que dans 5.000.000.000 d'années... Par conséquent, ce qui caractérise le radium, c'est parce qu'il se transforme relativement très vite, alors que les éléments antérieurement connus, ou ne changent pas, ou se transforment si lentement que leur variation est demeurée imperceptible » (Soddy).

VII. — LA RADIUMTHÉRAPIE OU CURIETHÉRAPIE.

Il y a deux différences essentielles séparant la radio de la radiumthérapie : d'une part, l'énergie du radium étant absolument indépendante de notre action, on ne peut exercer la plus légère influence sur elle, soit en plus, soit en moins. Mais cet inconvénient est largement compensé par deux avantages marqués sur les rayons X : leur pouvoir de pénétration infiniment supérieur, et la possibilité d'introduire la source du rayonnement en plein tissu à traiter.

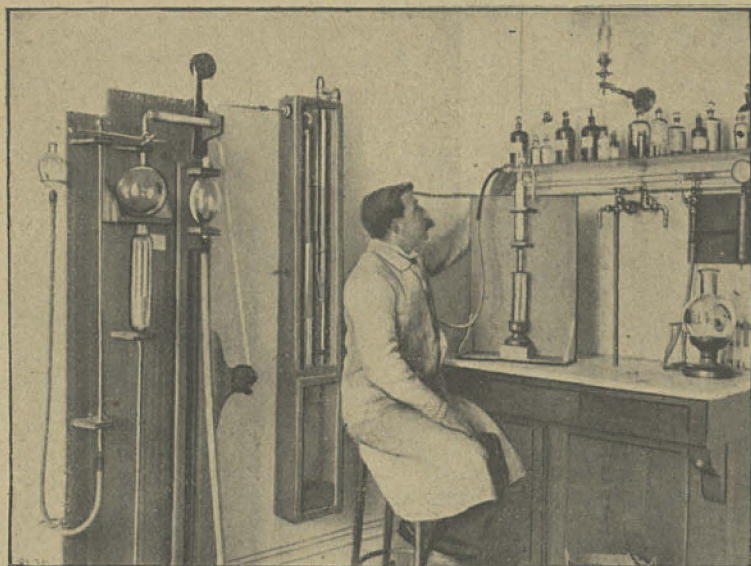
(1) Appareils employés.

a) *Appareils plats.* — Ils furent les premiers utilisés, dans le but d'avoir le plus grand rayonnement possible. La construction en était simple : à un manche était fixé un support plat sur lequel on collait des sels de radium grâce à un vernis spécial. Celui-ci fut plus tard remplacé par des *émaux radio-actifs* au silicate de radium (car la colle était décomposée par les rayonnements et s'effritait, d'où perte de produit radio-actif ; au contraire, les émaux sont à l'abri de cet inconvé-

nient et ils supportent une stérilisation facile et rapide à réaliser : ébullition passage à la flamme d'une lampe à alcool). Ces émaux sont fixés sur un support métallique, de 1-30 m² de dimensions, contenant 2-25 mmgr. de radium par cm², de forme variable (carrés, sphériques, convexes).

Ces appareils ne sont plus guère utilisés aujourd'hui que pour l'irradiation de la rate, car ils donnent un rayonnement total (a + b + c) et ils sont très coûteux (un appareil peut coûter jusqu'à 120.000 francs et il en faut une très grande variété).

b) *Tubes de Dominici.* — Ce sont de petits tubes de platine ou d'or, épais de 1 mm de 15 à 30 mm. de longueur contenant 5-25 mmgr. de radium. Si leur paroi n'a que 1/2 mm. d'épaisseur, ils sont pourvus de gaines supplémentaires d'or, de platine ou d'argent, d'épaisseur variant entre 1/2 mm. et 2/5 mm. Ainsi ne passe que le rayonnement *ultra-pénétrant*, seul capable de traverser tous les obstacles interposés. Ils sont munis d'un bouchon avec un anneau perforé pour permettre d'y passer le



Recherche de l'émanation de radium.

fil de soie ou de métal. Pour pouvoir diminuer leur volume, on n'utilise que des sels (sulfate de radium) concentrés (jusqu'à 90 ‰). Ces tubes peuvent être introduits directement dans les tissus ou glissés à travers une sonde dans un conduit naturel (œsophage) ou artificiel (bouche pratiquée par le chirurgien sur l'estomac).

(c) *Radiumpuncture*. — C'est une méthode consistant à introduire directement dans les tissus à traiter des aiguilles chargées de radium ou d'émanation. En multipliant ainsi les aiguilles implantées dans une tumeur (Dominici employait 4 - 6 aiguilles, Regaud, promoteur de la méthode, en utilise 30-40) « la dose totale du rayonnement est la même dans les

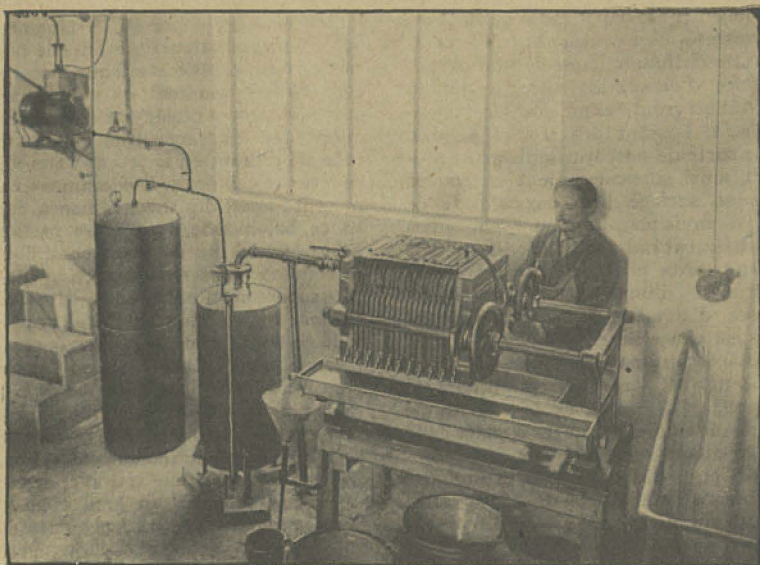
deux cas, mais, bien entendu, plus les foyers d'irradiation sont nombreux, moins la dose fournie par chacun d'eux est élevée. (Simone Laborde). » Théoriquement, on peut réaliser la radium-puncture de deux manières : 1) on introduit des aiguilles pleines, à la surface desquelles se trouve un dépôt radio-actif. En effet, en 1899, les Curie découvrirent que tout corps solide plongé dans l'atmosphère qui surmonte du radium placé en vase clos, acquiert des propriétés radio-actives (*radio-activité-induite*). « Ce dépôt radio-actif est dû à la désintégration du radium. De même que le radium ne peut exister sans produire continuellement de l'émanation, celle-ci, à son tour, ne peut exister sans produire con-

tinuellement le dépôt radio-actif. Dans une atmosphère contenant de l'émanation de radium, chaque seconde, deux atomes d'émanation sur un million se désintègrent, expulsant des particules α , laissant des résidus solides. Une sorte de perpétuelle neige se produit ainsi silencieusement et couvre chaque surface bien exposée de ce dépôt invisible, impondérable, mais intensément radio-actif. (Soddy.) Mais on ne tarda pas à abandonner cette méthode d'implantation dans les tissus d'aiguilles ainsi traitées, car elle est peu efficace : la charge radio-active est infime et la durée de rayonnement est très courte (quelques heures). Car, cette radio-activité ne dure que tant que l'objet est placé dans le voisinage immédiat du corps radio-actif, et il disparaît sous la moindre influence (frottement de l'objet ainsi traité au papier de verre). Actuellement, donc, on utilise surtout le deuxième procédé. On introduit des corps radio-actifs à l'intérieur d'aiguilles creuses. On peut les charger ou de radium ou d'émanation. On tend à préférer cette dernière au radium pour diverses raisons : si elle émet le même rayonnement, elle est plus commode à employer ; elle fournit une concentration considérable sous un volume très faible (possibilité de réduire le calibre des aiguilles et avantage économique, puisque, à efficacité analogue, elle demande beaucoup moins d'énergie radio-active) ; en répartissant les quantités d'émanation dans de nombreuses aiguilles, on multiplie à volonté les foyers d'irradiation, ce qui donne une irradiation uniforme, cause capitale de succès (voir radiothérapie) ; elle permet le traitement d'un grand nombre de personnes ; même à distance (dans les pays anglo-saxons, on expédie l'émanation par la poste pour

le traitement de personnes éloignées du centre producteur) ; enfin, elle permet la suppression d'un matériel encouru constamment en manipulant du radium (on a cité le cas d'une infirmière qui, par mégarde, perdit un tube de radium en le jetant dans une cuvette de cabinets). Evidemment, elle présente aussi des inconvénients, car, en ce bas-monde, rien n'est parfait. Elle nécessite un outillage compliqué et coûteux pour son extraction ainsi qu'un personnel entraîné (à l'Institut Pasteur du Radium de Paris, l'appareillage coûte dans les 7 à 800.000 frs.).

On obtient l'émanation en l'extrayant par le vide d'une solution de bromure de radium qu'on condense à la température de l'air liquide (— 183 degrés). Cette émanation condensée (il y en a bien le volume d'une tête d'épingle !) est recueillie dans un long tube de verre très fin que l'on fragmente ensuite en petits tubes de verre capillaires de 10-15 mm de longueur, que l'on scelle à la lampe à leurs deux extrémités. Ces petits tubes sont alors glissés dans la lumière d'aiguilles creuses de platine, analogues aux aiguilles pour injections sous-cutanées, et avec elles on larde la tumeur. Dernier inconvénient, enfin : sa perte d'énergie considérable (en 4 jours, la radio-activité n'est plus que la $1/2$ de ce qu'elle était au début de l'application ; après huit jours, le $1/4$; après douze jours, le $1/8$; après seize jours, le $1/16$ °).

On voit donc qu'on peut opposer au régime constant du radium le régime décroissant de l'émanation, notion capitale à connaître pour l'efficacité d'un traitement utilisant l'émanation (des tables spéciales indiquent d'ailleurs, à chaque instant, quel est l'état à ce moment de la radio-activité restante).



Filtres-presses pour la séparation des sels d'urane.

(2) La filtration.

On se rappelle la comparaison de Zimmern sur le pouvoir pénétrant des rayons. Supposons maintenant qu'entre la mitrailleuse et le mur recevant les balles, on interpose un autre mur. Il arrêtera les balles les moins rapides et ne laissera passer que celles de vitesse moyenne ou grande (rayons de moyenne et grande pénétration). Si on interpose encore un deuxième mur, il ne passera plus que les balles les plus rapides (rayons les plus durs). « La filtration n'a pas pour but d'augmenter l'intensité du rayonnement des appareils, qu'elle réduit au contraire considérablement, mais d'approprier la pénétration du rayonnement à l'é-

paisseur et à la densité des tissus qu'elle doit influencer. » (Fabre). En utilisant à propos les pouvoirs différents de pénétration des trois rayonnements du radium, on obtiendra des résultats différents, justifiant ainsi l'heureuse expression du P^r Deblet, appelant le rayonnement du radium des *caustiques électifs*. Puisque les rayons a sont arrêtés par quelques 1/10 de mm. d'aluminium, les b par quelques mm. et les g par quelques cm. seulement, en interposant entre la lésion à traiter et l'appareil producteur du rayonnement, des écrans de nature et d'épaisseur convenablement choisies, on modifiera à volonté la qualité et la quantité des rayons arrivant à la partie malade en visant tou-

jours le grand précepte déjà énoncé à propos de la radiothérapie : détruire au maximum la lésion sans léser les parties voisines. Vent-on que la région à traiter reçoive la totalité des radiations émises, on fera une application directe sans aucun filtre. En principe, on utilise les rayons peu pénétrants (a) pour traiter les lésions superficielles (filtration nulle ou minime) et les rayons très pénétrants (b durs et g) pour traiter les lésions profondes (une forte filtration aura arrêté les rayons a qui pourraient irriter la peau saine, et ne laissera passer que les rayons b durs et g, ou même rien que les g, qui fileront « comme lettre à la poste » dans la profondeur où se trouve le mal).

(a) *Rayonnement composite.* — Il est ainsi appelé puisqu'il utilise les trois sortes de rayons : a, b, et g. C'est ce qu'on réalise en employant les appareils à vernis dont nous avons parlé plus haut et les tubes nus (bare-tubes) de Janeway, méthode où l'on introduit directement dans une tumeur des tubes de verre sans aucune filtration, d'où ce nom de tubes « nus ». Actuellement, ce procédé est peu en faveur, car il est dangereux : l'absence complète de filtration laissant passer les rayons a et les b mous, très caustiques, on peut avoir des brûlures très sérieuses de la peau ou des tissus voisins (lésions des nerfs, hémorragies graves par ulcération de vaisseaux sanguins). En outre, la dose administrée est mal répartie, étant trop forte au début (d'où le danger des lésions plus haut mentionnées) et insuffisante ensuite, obligeant à un traitement long et pénible. Ne considérons donc que les appareils à vernis. On fait généralement des applications de courte durée, vu l'action surtout destructive (exemple classique de Becquerel qui ayant gardé quelques

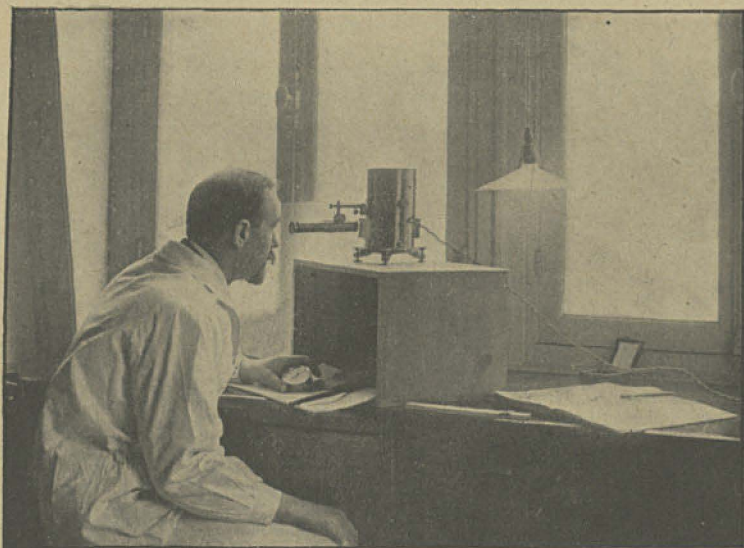
heures un tube de verre renfermant un sel radio-actif, dans la poche de son gilet ; vit se développer sur la poitrine une brûlure qui demanda plusieurs mois pour guérir). On conçoit donc que l'application du rayonnement mou soit réservée au traitement des lésions cutanées superficielles (et à l'irradiation de la rate, large surface à traiter), comme ulcère rongeur, eczéma... mais qu'elle ne sera pas de mise dans le traitement de lésions profondes où la peau saine arrêterait, pour son plus grand dommage, les rayons mous. Une exception apparente à cette restriction ; dans le radium puncture, ce sont surtout les rayons a qui agissent ; mais c'est qu'ils ont été introduits dans la profondeur des tissus et qu'ils ne peuvent arriver de là jusqu'à la peau saine pour la léser, puisque l'épaisseur de tissus où ils sont noyés suffit à les arrêter (les b les plus mous sont arrêtés par 10 mm. d'épaisseur).

(b) *Rayonnement ultra-pénétrant.* — Il emploie les rayons g les plus durs seulement, éliminant même les g moins durs et à plus forte raison les b durs. On pratique généralement une application de longue durée, visant non seulement à une action destructive plus grande que pour le rayonnement mou (qui détruit indifféremment les parties saines et les parties malades), d'où commodité plus grande d'emploi, mais aussi à une action évolutive (en outre de l'action de tuer les cellules malades, ce rayonnement ultra-pénétrant tendant à ramener vers la normale, vers l'état de santé, les parties qui avaient été tarées par le développement de la tumeur).

Comment réaliser cette filtration indispensable ? On enferme le sel de radium dans une enveloppe mé-

tallique (or, argent, et surtout platine iridié permettant de réaliser toutes les formes et épaisseurs voulues). Mais cette filtration n'est que *relative* (Regaud), et il faut généralement la compléter par une filtration sup-

vont léser la peau que nous croyions à l'abri! Aussi doit-on envelopper tout l'appareil avec une substance de faible densité qui suffira à les arrêter (papier de soie, liège, gaze). En somme, on voit qu'il y a trois couches de filtra-



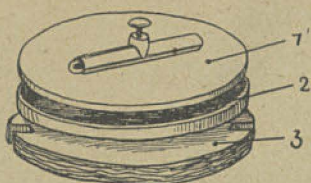
Mesure de la valeur des ampoules d'émanation de radium à l'électroscope. ■

plémentaire. Mais le seul fait d'introduire le tube de radium dans un petit étui métallique donne naissance à un *rayonnement secondaire*, se produisant au niveau même de la paroi externe du tube de platine et des étuis filtrés. Ce rayonnement secondaire est analogue aux rayons α par son faible pouvoir pénétrant; nous nous étions donc débarrassés, par une filtration appropriée, de ces maudits rayons α , et voilà qu'il en réapparaît d'autres qui

tion : la paroi de platine, l'étui métallique et la gaze ou le papier de soie.

(3) Durée d'application.

Il est aisé de comprendre qu'on obtiendra des résultats très différents suivant la durée d'application. Nous avons déjà parlé de ce fait à propos de la radiothérapie et n'y reviendrons plus. Si, *théoriquement*, on peut réaliser une même grandeur de radio-activité de



1 : Appareil à sels collés sur un disque de métal dont on ne voit que la face supposée à celle qui supporte le vernis radifère. Cette dernière est tournée du côté d'un boîtier de plomb creux 2, dans lequel sera disposé l'appareil radifère. 3 : Rondelles de papier formant l'écran destiné à laisser passer le rayonnement ultra-pénétrant tout en interceptant le rayonnement secondaire dont le boîtier de plomb devient la source par le passage du rayonnement ultra-pénétrant.

diverses manières (Ex. on peut dépenser 100 mmgr.h. ou 100 millicuries, ce qui revient au même, en appliquant 1 mmgr. de radium pendant 1.000 heures, ou 2 mmgr. pendant 50 heures, ou 50 pendant 2 heures) ; pratiquement, les effets obtenus seront bien loin d'être les mêmes.

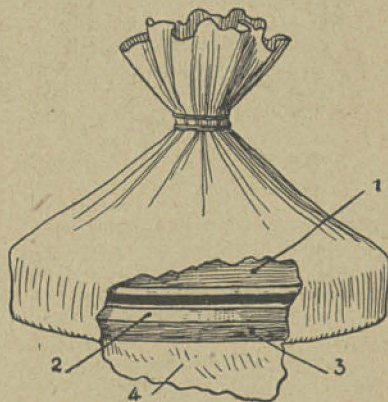
Quant à la question de la radiosensibilité, elle a été suffisamment traitée avec la radiothérapie pour qu'il soit utile d'en reparler.

(4) Effets biologiques du radium. Ses accidents.

Les effets biologiques du radium sont à envisager sur les microbes (suivant la dose, ils ralentissent ou favorisent le développement de cultures microbiennes : bacilles du charbon, du tétanos, de la tuberculose), sur les ferments (mêmes résultats), sur les toxines (poisons sécrétés par les microbes, même chose) ; l'émanation peut inactiver soit le venin de serpent, soit le sérum anti-venimeux de Cal-

mette, spécialement préparé pour neutraliser l'action du venin), sur les plantes (on avait d'abord pensé que le radium empêchait le développement des végétaux, mais on a vu ensuite qu'il avait un effet favorable sur la germination des graines, à dose faible ; à dose forte, comme toujours, son action est retardante. On a même préconisé l'emploi d'engrais radio-actifs), sur les tissus (soit une tumeur ; après une période de latence plus ou moins grande, pendant laquelle il ne semble rien se passer, si ce n'est la diminution de la douleur, apparaît la période de régression, où la tumeur diminue peu à peu jusqu'à disparaître complètement. Cette transformation se fait de la périphérie vers le centre, et est à la fois destructive, avec véritable dissolution, fonte des cellules malades, et évolutive, avec retour à la normale des cellules touchées par le processus morbide).

Accidents du radium. — Se voient



Le disque radifère 1, le boîtier de plomb qui l'engaine 2, l'écran de papier 3 sont placés dans une enveloppe de caoutchouc 4 dont on a déchiré une partie.

chez les travailleurs appelés à le manipuler constamment et chez certains malades par lui traités et qui, ne pouvant le tolérer, réagissent plus ou moins violemment (fièvre, nausées, fatigue, frissons). Le radium a une action néfaste sur la peau (*radiumdermite*), allant de la simple rougeur cutanée à l'ulcération profonde avec escarres, et sur le sang (anémie, destruction des globules rouges, abaissement de la tension artérielle).

(5) Le radium en médecine.

Un préjugé courant, dans le public, veut que radium égale cancer. Il n'en est rien ; s'il est vrai que, très souvent, le radium est utilisé pour lutter contre cette maladie, il n'en est pas moins vrai que les médecins l'utilisent aussi pour traiter bien d'autres affections bien diverses. Citons : la dépilation des régions trop velues, la décoloration des taches de vin, le traitement des cicatrices (le radium calme la douleur en libérant les filets nerveux englobés par le tissu cicatriciel et il agit au point de vue esthétique en assouplissant la cicatrice), le traitement des plaies atones, lentes à guérir (introduction de tubes radifères dans les trajets fistuleux ou lavage des plaies avec une solution de sérum physiologique radifère, par addition de bromure de radium ou d'émanation), le traitement des radiodermites, des névralgies, des arthrites aiguës.

Il nous reste maintenant à parler de la *radiumthérapie du cancer*. Il serait hors de portée de vouloir faire ici une description détaillée et technique des différentes indications, contre-indications, méthodes utilisées et résultats de l'application du radium contre le cancer, ou de discuter les mérites comparés du radium, des

rayons X et de l'opération chirurgicale, traitements que l'on tend souvent d'ailleurs à associer. (Ex. : dans certains cas de cancer de la langue, premier temps : ablation des ganglions malades du cou, sous anesthésie locale ; deuxième temps : radiumpuncture dans le cancer ; troisième temps : radiothérapie pour prévenir les récidives.) Nous nous bornerons à citer l'opinion de quelques éminents médecins connaissant bien cette question si délicate : « Le radium guérit au début, et améliore quand le bistouri est impuissant. (Jean Gagey). » « Les applications de radium amènent dans presque tous les cas l'arrêt des hémorragies, la régression, parfois même la disparition des fibromes. Je ne crois pas avoir jamais observé un seul échec complet mais j'ai vu, en revanche, des guérisons extraordinaires, soit par leur rapidité soit par leur perfection » (P^r J.-L. Faure). « C'est avec une véritable émotion scientifique que tout néophyte assiste à la régression des divers symptômes locaux et généraux. (Jacobs). » Mais, comme toujours, il faut rester dans un juste milieu et se garder d'un enthousiasme irréfléchi. « La radiumthérapie des cancers réalise incontestablement un progrès considérable, elle améliore les malades inopérables et permet de guérir certaines variétés de cancers. Mais gardons-nous de penser que le radium résout la question du cancer. Son action purement locale n'est nullement comparable aux vaccinations que nous obtenons pour d'autres maladies. La thérapeutique anti-cancéreuse de l'avenir sera sans doute quelque chose dont on peut à peine, à l'heure actuelle, entrevoir la possibilité. (P^r Delbet). » Et nous terminerons cette étude par les sages conseils du docteur Regaud

que nous prions instamment le lecteur de méditer, de retenir et... d'appliquer, le cas échéant, pour son plus grand bien.

« La manipulation, sans précautions spéciales, des tumeurs expose le malade à un danger certain de dissémination des germes ; aussi *le massage d'une tumeur, si fréquemment pratiqué par le malade, est très dangereux*. Il faut absolument *rejeter*, sauf certains cas particuliers, *les caustiques et optiques irritants* (nitrate d'argent, teinture d'iode), qui excitent les cancers. — *Les indications respectives de l'opération, du radium, des rayons X, ne peuvent faire actuellement l'objet de principes durables*, parce que, si la chirurgie du cancer paraît désormais bien réglée, il n'en est pas de même pour les deux autres méthodes, dont

les techniques et résultats sont en transformation continue. Seule, une personne compétente, disposant de tout l'outillage et le personnel nécessaire, peut entreprendre un traitement pareil. Si on fait un traitement partiel et non plus complet, on *aggrave* la maladie. *Il n'y a pas à l'heure actuelle de médication générale susceptible d'arrêter le développement d'un cancer vrai, encore moins de le faire rétrocéder d'une façon durable et de guérir*. Parmi les médications préconisées contre le cancer, il y en a d'inoffensives, des suspectes, des nuisibles : *La guerre aux charlatans de tout ordre qui exoltoient les cancéreux serait un bienfait pour les malades et les médecins.* (Regaud). »

TABLE DES MATIERES

PREMIÈRE PARTIE

LES RAYONS X

I) Leur origine, leur découverte, leurs propriétés	7
1) Production des rayons cathodiques	7
2) Nature des rayons cathodiques	8
3) Propriétés des rayons cathodiques	8
4) Découverte des rayons X.....	9
5) Propriétés des rayons X.....	9
II) Production des rayons X.....	12
1) Les sources d'énergie	12
2) Les ampoules radiogènes	15
III) Applications médicales des rayons X	22
1) Radioscopie	22
2) Radiographie	25
3) Examen radiologique des différents organes	27
a) Appareil respiratoire	27
b) Appareil circulatoire	32
c) Appareil digestif	32
d) Appareil urinaire	34
e) Squelette.....	35
f) Corps étrangers.....	35
IV) Radiothérapie	39
a) Action biologique des rayons X	39
Accidents qu'ils peuvent causer	41
b) Principes généraux de la radiothérapie	42
c) Différents procédés d'application	47
V) Modes d'application de la radiothérapie	48
a) Indications de la radiothérapie	48

DEUXIÈME PARTIE

LE RADIUM

I) Historique de la découverte	53
II) La radio-activité	55
1) Sa définition	55
2) Ses propriétés	56
3) Sa mesure	57
4) Son unité	58
5) Son rôle.....	59
6) Applications industrielles	60

III) L'actinium	64
IV) Terres rares et thorium.....	65
1) Terres rares	65
2) Thorium.....	66
V) L'uranium et sa série de désintégration radio-active	71
VI) Le radium	76
1) Extraction du radium	76
2) Les 3 rayonnements émis par le radium	77
a) Rayons a (alpha)	77
b) Rayons b (bêta)	80
c) Rayons g (gamma).....	80
3) L'émanation.....	81
VII) La radiumthérapie ou Curiethérapie	85
1) Appareils employés	85
a) Appareils plats	85
b) Tubes de Domicini	85
c) Radium-poncture	86
2) La filtration	87
a) Rayonnement composite	86
b) Rayonnement ultra-pénétrant	89
3) Durée d'application.....	90
4) Effets biologiques du radium et accidents	92
5) Le radium en médecine	93



VOUS POUVEZ LIRE CHAQUE S

DANS

Sciences et Voyages

DES ARTICLES DOCUMENTAIRES, TRÈS ILLUS
TOUJOURS INSTRUCTIFS, TOUJOURS INTÉRESS
ÉCRITS DANS UN STYLE FACILE À COMPRE

SUR

Les Découvertes des Savants

Les Voyages des Explorateurs

Les Merveilles de la Nature

Les Progrès de la Mécanique

La collection annuelle de *Sciences et Voyages* représente des gros volumes formant un total de plus de 1.000 pages de renseignements, ornées de milliers de photographies et croquis. Cette collection de *Sciences et Voyages* constitue une véritable encyclopédie scientifique qui correspond à 4.000 pages du format des livres ordinaires qui vous sont proposés à un prix très cher. Par sa forme attrayante, par la qualité de sa documentation, *Sciences et Voyages* est devenue une revue scientifique hebdomadaire la plus importante du monde comptant plus de 300.000 lecteurs. Il vous faudrait, en fait, moins, pour lire dans des livres difficiles à comprendre, ce que *Sciences et Voyages* vous apprend facilement en un volume pour un prix accessible à tous.

Abonnez-vous aujourd'hui même à **SCIENCES ET VOYAGES** car cette Revue vous est indispensable pour rester au courant du progrès scientifique et technique.

PRIX DE L'ABONNEMENT : UN AN, 40 FR. ; SIX MOIS, 25 FR.
:: UN NUMÉRO SPÉCIMEN : 85 CENTIMES FRANCS
ÉTRANGER : UN AN, 50 FRANCS ; SIX MOIS, 26 FR.

Bureaux : 3, rue de Rocroy, PARIS (Tél. TR 12.10)
Compte Chèques postaux : Paris 259-10