

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1. Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par [Eclydre](#).
2. Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :
 - la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - <https://cnum.cnam.fr>)
 - la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.
3. Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :
 - les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
4. Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)
5. L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.
6. Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Auteur collectif
Auteur(s)	Auteur collectif
Titre	Conférences du dimanche
Adresse	Paris : Librairie de l'enseignement technique : Cnam, 1920-1926
Collation	23 vol.
Nombre de volumes	23
Sujet(s)	Sciences et industrie
Notice complète	0
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?12KY48_2CC20
LISTE DES VOLUMES	
	Conférence faite le 11 janvier 1920 sur les métallurgies
	Conférence sur l'aviation faite le 18 janvier 1920
	Conférence sur les recherches et les inventions faite le 25 janvier 1920
	Conférence faite le 1er février 1920 sur l'évolution du matériel d'artillerie
	Conférence faite le 15 février 1920 sur les chars d'assaut : historique technique, historique tactique, vues d'avenir
	Conférence faite le 22 février 1920 sur le service géographique de l'armée pendant la guerre
	Conférence faite le 29 février 1920 sur la fabrication des poudres et explosifs
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	Conférence faite le 7 mars 1920 sur les radio-éléments et leurs applications
	Conférence faite le 14 mars 1920 sur la chimie de guerre : les gaz de combat
	Conférence faite le 21 mars 1920 sur le rôle du laboratoire d'usine
	Conférence sur les industries chimiques faite le 28 mars 1920
	Conférence faite le 16 janvier 1921 sur l'aide des colonies au relèvement de l'industrie nationale
	Conférence faite le 23 janvier 1921 sur les moteurs à combustion
	Conférence faite le 23 janvier 1921 sur les chemins de fer pendant et après la guerre
	Conférence faite le 30 janvier 1921 sur les richesses de l'Alsace et de la Lorraine
	Conférence faite le 13 février 1921 sur l'utilisation du combustible dans la métallurgie
	Conférence faite le 20 février 1921 sur la Roumanie nouvelle
	Conférence faite le 6 mars 1921 sur les banques d'émission et la guerre
	Conférence faite le 6 mars 1921 sur l'aluminium : emplois industriels du métal et de ses principaux alliages
	Conférence faite le 20 mars 1921 sur la valorisation du travail humain
	Conférence faite le 19 mars 1922 sur une mission au Canada
	Conférence faite le 2 avril 1922 sur l'état actuel de la télégraphie et de la téléphonie sans fil
	La structure de la matière et l'électricité [14 février 1926]

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Auteur collectif
Titre	Conférences du dimanche
Volume	Conférence faite le 7 mars 1920 sur les radio-éléments et leurs applications
Adresse	Paris : Librairie de l'enseignement technique, 1920
Collection	La science et l'industrie françaises pendant la guerre : leur rôle dans l'œuvre de renaissance économique de notre pays, 9 [8]
Collation	1 vol. (39 p.) ; 19 cm
Nombre de vues	44
Cote	CNAM-BIB 12 Ky 48 (8)
Sujet(s)	Guerre mondiale (1914-1918) -- France Guerre mondiale (1914-1918) -- Influence Isotopes radioactifs Isotopes radioactifs -- Applications industrielles -- France -- 1900-1945 Médecine nucléaire -- France -- 1900-1945
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	29/10/2026
Date de génération du PDF	29/10/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/091336651
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?12KY48.8

40
CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

LA SCIENCE ET L'INDUSTRIE FRANÇAISES PENDANT LA GUERRE
LEUR RÔLE DANS L'ŒUVRE DE RENAISSANCE ÉCONOMIQUE DE NOTRE PAYS

Conférence faite le 7 Mars 1920

SUR

LES RADIO-ÉLÉMENTS ET LEURS APPLICATIONS

PAR M^{me} CURIE

Professeur à la Sorbonne.



PARIS
LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
3 bis, rue Thénard (V°)

TOUS DROITS RÉSERVÉS

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

292, rue Saint-Martin, Paris (3°).

Le Conservatoire national des Arts et Métiers comprend :

1° Un **musée industriel** contenant des collections uniques d'appareils et de modèles dont le nombre s'élève à plus de 15 000 et parmi lesquels se trouvent des objets historiques de la plus haute importance.

2° Un **enseignement public et gratuit** pour l'application des sciences aux arts industriels et ne comprenant pas moins de 23 cours :

Géométrie appliquée aux arts. — Mécanique. — Machines. — Physique appliquée aux arts. — Électricité industrielle. — Métallurgie et travail des métaux. — Chimie générale dans ses rapports avec l'industrie. — Chimie agricole et analyse chimique. — Chimie industrielle. — Chimie appliquée aux industries des matières colorantes. — Chimie appliquée aux industries des chaux et ciments. — Filature et tissage. — Constructions civiles. — Art appliqué aux métiers. — Agriculture. — Économie industrielle et statistique. — Assurance et Prévoyance sociales. — Associations ouvrières. — Hygiène industrielle. — Économie sociale. — Droit commercial. — Géographie commerciale et industrielle. — Économie politique.

En outre, des conférences sur des sujets d'actualité sont faites dans le courant de l'année.

3° Un **enseignement pratique** donné dans la journée et qui constitue une préparation directe à l'industrie.

Cet enseignement porte actuellement sur les machines, la métallurgie, la mécanique, la physique, l'électricité industrielle, la filature et le tissage.

4° Une **bibliothèque** contenant une riche collection d'ouvrages relatifs aux sciences, aux arts, à l'agriculture et à l'industrie et renfermant environ 53 000 volumes ou cartes. C'est un centre de documentation pour les industriels, les commerçants, les ouvriers ; les étudiants, les élèves des grandes Écoles y trouvent aussi les ouvrages utiles à leurs études.

5° Un **laboratoire d'essais industriels** dont le but est de permettre aux Services de l'État, aux industriels, commerçants et particuliers de soumettre les produits bruts ou manufacturés de toute nature, les machines et les appareils, aux essais mécaniques, physiques, chimiques ou aux essais de machines susceptibles de les qualifier.

6° Un **musée de prévention des accidents du travail et d'hygiène industrielle** qui constitue une exposition permanente des appareils protecteurs et des dispositifs de sécurité et d'hygiène industrielle les plus pratiques et les plus perfectionnés.

7° Enfin un **laboratoire de recherches sur le travail professionnel** qui poursuit l'application, au monde économique, des méthodes de discipline et d'ordre de l'activité humaine. Le but à atteindre est le rendement social maximum ; les moyens sont dans l'organisation de l'outillage et de la main-d'œuvre, et, avant tout, de l'apprentissage.

LA SCIENCE ET L'INDUSTRIE FRANÇAISES
PENDANT LA GUERRE

LES RADIO-ÉLÉMENTS
ET LEURS APPLICATIONS



120 Ky 48(9)

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

Conférence faite le 7 Mars 1920

SUR

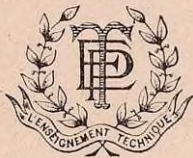
LES RADIO-ÉLÉMENTS

ET LEURS APPLICATIONS

PAR

Mme CURIE

Professeur à la Sorbonne.



LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

3 bis, rue Thénard, PARIS, V°

1920

TOUS DROITS RÉSERVÉS



Mesdames, Messieurs,

Introduction.

Depuis une vingtaine d'années que la découverte du radium a été faite, l'importance des propriétés de la matière que nous révèlent les radio-éléments, n'a cessé de grandir.

Nous allons définir d'abord ce que nous entendons par radio-éléments.

On peut en donner brièvement la définition suivante : ce sont des éléments qui, spontanément, sans aucune excitation extérieure, émettent des radiations particulières tout à fait comparables à celles qui sont produites dans une ampoule dite de Crookes, dans laquelle le gaz, réduit à une très faible pression, est traversé par un courant électrique de haute tension (50 000 volts par exemple).

Rappelons que les rayons émis dans ces ampoules sont de trois espèces : les rayons dits cathodiques ou négatifs, les rayons positifs et les rayons X, plus connus que les précédents, car ils sont les seuls dont les effets puissent être facilement observés en dehors de l'ampoule. Les rayons cathodiques sont des particules extrêmement ténues, nommées *électrons*, chargées négativement et proje-

tées par l'électrode négative du tube ou cathode, avec une grande vitesse qui peut être, par exemple, de l'ordre de la moitié de la vitesse de la lumière. La masse d'un électron n'est qu'une très petite fraction (moins d'un millième) de celle d'un atome d'hydrogène.

Les rayons positifs sont des particules très petites également mais ayant cependant les dimensions des atomes; chargées positivement, elles s'avancent vers la cathode, avec une vitesse très grande, mais moindre que celle des rayons cathodiques.

Enfin, les rayons X sont une radiation électromagnétique en tous points analogue à la lumière, mais d'une fréquence beaucoup plus grande, c'est-à-dire d'une longueur d'onde beaucoup plus petite (1 000 à 10 000 fois plus petite) que les longueurs d'ondes lumineuses. Ces rayons, émis à l'extérieur du tube, peuvent produire les images radiographiques du corps humain, que vous connaissez certainement tous et qui ont rendu des services considérables pendant la guerre.

Il est curieux de constater que c'est tout à fait de la même manière qu'est composé le rayonnement des corps radio-actifs. J'indiquerai brièvement l'origine de nos connaissances sur ces corps, c'est-à-dire l'origine de la découverte des radio-éléments.

Découverte de la radio-activité.

C'est en cherchant si les substances rendues fluorescentes par la lumière peuvent émettre des rayons X semblables à ceux produits dans un tube

de Crookes, que Henri Becquerel a observé pour la première fois, en 1896, que l'urane et ses composés émettent des rayons particuliers. Ces *rayons uraniques* possèdent certaines propriétés des rayons X; ils peuvent, comme ces derniers, impressionner une plaque photographique enveloppée de papier noir ou encore décharger un électroscope chargé.

Si, en effet, un électroscope bien construit possède une charge électrique, celle-ci peut, en général, se conserver pendant plusieurs heures et même plusieurs jours. Mais si l'on approche un composé d'urane, la décharge se produit lentement, montrant ainsi que l'air qui entoure l'électroscope n'est plus isolant, mais légèrement conducteur de l'électricité.

La conductibilité communiquée à l'air peut être plus ou moins grande, et l'on aperçoit immédiatement qu'elle donne un moyen de mesurer l'activité particulière de la substance qui en est cause. En effet, plus l'électroscope se décharge vite, plus nous dirons que la substance est active. En perfectionnant les procédés d'observation, on a pu obtenir des méthodes de mesures qui ont précisément servi à la découverte des radio-éléments."

Découverte de radio-éléments nouveaux.

Cette découverte a été amenée par des recherches que j'ai faites en 1898 pour constater s'il existe, en dehors des composés d'urane, d'autres corps qui possèdent les propriétés signalées en premier lieu par Henri Becquerel.

Utilisant le procédé de mesures électriques décrit ci-dessus, j'ai trouvé tout d'abord que les composés de thorium agissent de la même manière. Ensuite, examinant un certain nombre de corps, j'ai constaté que l'émission de rayons par les composés d'urane et de thorium est une propriété atomique des éléments uranium et thorium.

Continuant cette même étude sur des minéraux, j'ai pu constater que tous les minéraux d'urane et de thorium sont actifs, mais que certains d'entre eux le sont à un degré plus élevé que l'uranium ou le thorium. Cette observation m'a suggéré l'idée qu'il existait dans ces minéraux des éléments inconnus plus actifs que l'uranium et le thorium, et que ces éléments pourraient être séparés, par une méthode chimique appropriée basée sur l'activité. J'ai entrepris aussitôt, en commun avec Pierre Curie, la recherche de ces éléments nouveaux et les résultats ont été entièrement conformes aux prévisions. Conduits par des mesures de radio-activité, nous avons, en effet, réussi à caractériser dans les minéraux d'urane la présence d'éléments nouveaux : le *polonium* et le *radium*; la découverte de l'*actinium* a été faite un peu plus tard par M. Debierne. D'autres savants en recherchant des corps analogues en ont trouvé un certain nombre. Tous ces éléments actifs ont reçu le nom de *radio-éléments*, et la nouvelle propriété de la matière qu'ils possèdent en commun a été nommée *radio-activité*.

Cette méthode nouvelle d'analyse chimique basée sur la radio-activité, qui a servi à découvrir le radium ainsi que d'autres radio-éléments, est comparable dans une certaine mesure à l'analyse spec-

trale. Elle offre une très grande sensibilité et permet de déceler des traces minimales de matières radio-actives. Nous avons été amenés à constater que le radium se trouve dans les minéraux dans une proportion de quelques décigrammes au plus pour une tonne de minerai. On voit par là combien la concentration est faible et combien de temps et d'efforts il a fallu pour réaliser le travail de la séparation et de la purification. Ce travail a pourtant pu être achevé; nous avons réussi à préparer des sels purs de radium, ce qui a permis d'obtenir le spectre de cet élément et de déterminer son poids atomique 226. Une détermination semblable n'a pu être faite pour les autres radio-éléments, leur quantité étant trop faible.

Je ne puis insister plus longtemps sur les notions relatives à la découverte des radio-éléments et je passe à l'étude des rayons qu'ils émettent. Nous avons déjà vu que ces rayons sont comparables à ceux émis dans un tube de Crookes.

Rayonnement des corps radio-actifs.

Il existe dans le rayonnement des radio-éléments, trois groupes de rayons dont un consiste en particules portant une charge positive et animées d'une grande vitesse, un autre en particules chargées négativement, ayant également un mouvement rapide; un troisième groupe est une radiation électro-magnétique qui correspond aux rayons X.

Ces groupes sont désignés au moyen des trois premières lettres de l'alphabet grec : α , β et γ . Les

deux premiers groupes sont des radiations corpusculaires. Ils se distinguent par leur pénétration respective et par la manière dont ils se comportent dans un champ magnétique ou électrique.

Au point de vue de la pénétration, ils sont en général plus pénétrants que les groupes correspondants émis dans un tube de Crookes, mais, comparés entre eux, ils manifestent un pouvoir pénétrant, qui varie dans de larges limites. Les rayons α ne peuvent franchir que quelques centimètres dans l'air et ne traversent guère de feuilles métalliques d'épaisseur supérieure à un dixième de millimètre. Les rayons β sont plus pénétrants, ils peuvent traverser quelques millimètres de matière peu dense, comme l'aluminium. Quant aux rayons γ , ils sont les plus pénétrants de tous; ils se propagent à grande distance dans l'air et peuvent traverser, sous plusieurs centimètres d'épaisseur, des matières denses telles que le plomb ou le fer; ils peuvent facilement traverser le corps humain.

Si l'on examine les trois groupes de rayons dans un champ magnétique, on constate que celui-ci produit une séparation. Les deux groupes de rayons corpusculaires sont déviés dans un champ magnétique en sens opposé l'un de l'autre, tandis que le groupe de rayons γ n'est pas dévié, ces rayons n'étant pas chargés.

Nous avons vu que la propriété la plus importante des rayons, consiste dans ce fait qu'ils rendent l'air conducteur. Cette conductibilité est utilisée pour la mesure du rayonnement.

La conductibilité provoquée par les rayons est en tous points analogue à celle que l'on observe

dans les électrolytes, elle est due à une *ionisation*. Lorsque le gaz est frappé par le rayonnement, une molécule quelconque de ce gaz se trouve séparée en deux fragments ou deux *ions* chargés; de la molécule se détache un électron à charge négative et le restant de la molécule forme un ion positif. Les deux ions ainsi obtenus se déplacent dans un champ électrique, et ce mouvement constitue le passage du courant électrique dans le gaz ionisé.

Ainsi l'ionisation représente la libération d'une certaine quantité d'électricité par les rayons dans un certain volume de gaz. Cette électricité, recueillie sur un appareil électrométrique, mesure l'énergie du rayonnement. Dans le rayonnement du radium, l'énergie du rayonnement α est particulièrement grande par rapport à celle des deux autres groupes de rayons; elle constitue plus des neuf dixièmes du total, tandis que le restant de l'énergie se partage entre les rayons β et les rayons γ . Il a été trouvé qu'un seul rayon α est capable de produire l'ionisation d'environ 200 000 molécules de gaz; la quantité d'électricité ainsi libérée est assez grande pour donner une impulsion visible à un appareil électrométrique. On peut donc pour chaque particule, obtenir une déviation de l'électromètre, laquelle, enregistrée, permet de compter les particules émises par une certaine source pendant un certain temps. On voit immédiatement l'importance d'une telle technique.

On peut également obtenir une reproduction de la trajectoire des rayons α et cela par le procédé suivant : quand une particule α ionise le gaz sur

son passage, elle produit environ 200 000 ions disposés le long de son trajet. Ces ions sont donc extrêmement rapprochés les uns des autres; ils forment une sorte de colonne de centres chargés très serrés les uns contre les autres. Si cette expérience est faite dans de la vapeur d'eau sursaturée, chaque ion récolte un peu d'eau de manière à former une gouttelette; on obtient ainsi une file de gouttelettes juxtaposées sur quelques centimètres de longueur, et si l'on éclaire fortement ces gouttelettes, on peut les photographier. La trajectoire des rayons α , ainsi matérialisée, se présente sous la forme d'un trait rectiligne et continu, s'arrêtant brusquement quand l'énergie du rayon a été épuisée.

Si l'on fait la même expérience avec les rayons β , dont l'énergie est bien moindre, on ne trouve pas de trajectoire aussi bien définie; le nombre d'ions étant plus petit, les gouttelettes ne sont pas aussi serrées; de plus la trajectoire n'est pas rectiligne. La particule β n'a pas assez d'énergie pour pouvoir se déplacer au travers des molécules d'air à la manière d'un projectile qui chemine en ligne droite, sans souci des obstacles.

Quand on emploie les rayons γ ou les rayons X, on constate que l'ionisation qu'ils produisent est due à l'émission par eux de rayons secondaires du genre β ; on est amené à penser que les rayons de nature électro-magnétique, en frappant le gaz, en font sortir des rayons corpusculaires négatifs dont les trajectoires photographiées sont absolument semblables à celles que donnent les rayons β .

L'ionisation de l'air atmosphérique par les rayons est directement liée aux phénomènes météorolo-

giques tels que l'électrisation de l'atmosphère, la formation des nuages, des orages, etc. On sait, en effet, actuellement, que les radio-éléments sont, en petite quantité, très répandus dans l'atmosphère et dans la croûte terrestre. Si le radium n'est extrait que de minerais d'urane, on trouve néanmoins des traces de radium dans toutes les roches superficielles, et divers produits qui se dégagent du radium se trouvent dans l'atmosphère. Grâce à cette dissémination du radium, l'air atmosphérique contient toujours des ions provenant de rayons qui traversent l'atmosphère. Les charges électriques ainsi produites jouent, ainsi qu'on l'a montré, un rôle important dans l'électrisation du sol et des nuages. Les phénomènes météorologiques se rattachent donc étroitement à la présence de radio-éléments dans la croûte terrestre.

Nous pouvons signaler divers autres effets des rayons émis par les radio-éléments. Nous avons déjà vu comment les effets photographiques des rayons ont été utilisés par Henri Becquerel pour la découverte des rayons uraniques.

Tous les trois groupes de rayons sont susceptibles d'impressionner les plaques photographiques. Ils ne sont cependant pas utilisés pour la radiographie comme les rayons X, car les matières radioactives ne sont pas disponibles en quantité suffisante pour être utilisées de cette manière. De plus, la nature des rayons ne se prête pas à cet usage aussi bien que celle des rayons X; ces derniers peuvent facilement être obtenus avec une fréquence déterminée, favorable à l'obtention de bonnes images; des rayons semblables ne se trouvent pas

en proportion suffisante dans le rayonnement du radium.

Les substances radio-actives produisent des effets lumineux; les rayons α , β , γ , comme les rayons des tubes de Crookes, excitent la phosphorescence ou la fluorescence dans les corps qui peuvent aussi être excités par la lumière. Le platinocyanure de baryum donne une belle fluorescence verte. Le sulfure de zinc est particulièrement sensible aux rayons α , sous l'action desquels il donne une belle luminosité verdâtre qui persiste après l'action des rayons.

Si l'on examine à la loupe la luminosité produite par les rayons α , on constate qu'elle se résout en points lumineux qui apparaissent successivement comme des éclairs brillants sur le fond de l'écran, de telle manière que le phénomène présente l'aspect d'un ciel fourmillant d'étoiles fugitives, nommées *scintillations*.

Ce phénomène a reçu une application importante; il a été prouvé que chaque rayon α produit une scintillation; une particule possède suffisamment d'énergie pour produire cet effet isolé sur l'écran. Par conséquent, autant il y a de scintillations, autant il y a de rayons reçus par l'écran. Ceci nous donne un moyen de compter les rayons α , moyen qui donne le même résultat que la méthode électrométrique. La numération des rayons α a conduit à des résultats d'une grande importance en ce qui concerne la nature de ces rayons.

Les rayons α , β , γ produisent divers effets chimiques, parmi lesquels on peut citer des effets de coloration. Les rayons colorent le verre, la porcelaine, les émaux; cette coloration se produit en

violet ou en brun suivant la nature des substances, elle correspond à une certaine altération chimique. On peut citer d'autres effets chimiques dont quelques-uns très importants; ainsi les rayons sont capables de décomposer l'eau en oxygène et hydrogène, avec formation de mélange tonnant. Une solution de radium dégage donc constamment des gaz, et ce dégagement est utilisé pour faciliter la séparation de « l'émanation de radium », dont il sera question dans la suite de cet exposé.

Les corps radio-actifs donnent lieu à un dégagement de chaleur. On peut constater qu'un radio-élément à grande puissance, tel que le radium, est une source constante de chaleur. L'expérience consiste à protéger une ampoule de radium contre la déperdition calorifique, à l'isoler au point de vue thermique, ce qu'on peut réaliser en la plaçant dans un vase à double paroi, avec le vide fait entre les deux parois, et en garnissant l'orifice du vase avec du coton. Si un thermomètre a été placé au voisinage de l'ampoule, on verra ce thermomètre monter et atteindre une température qui pourra être supérieure de plusieurs degrés à celle du milieu ambiant. Le dégagement de chaleur est principalement lié aux rayons α . On a reconnu qu'il joue un rôle important dans l'équilibre thermique du globe terrestre.

Nous avons vu, en effet, que les substances radio-actives telles que le radium sont en petites quantités disséminées dans toute la croûte terrestre; ces quantités peuvent être dosées par des méthodes électrométriques. On peut reconnaître ainsi que le dégagement de chaleur qui doit être

attribué à ces matières est considérable. Des mesures calorimétriques ont établi que le radium dégage une quantité de chaleur suffisante pour faire fondre en une heure plus que son poids de glace; cette quantité de chaleur, en valeur numérique, est égale à 135 calories par gramme de radium et par heure. On peut donc calculer la chaleur que dégage le radium dans la croûte terrestre. D'autre part, on connaît la chaleur rayonnée par la terre vers l'espace, laquelle se déduit de l'augmentation de la température du sol avec la profondeur et de la conductibilité thermique des roches superficielles. On trouve, en comparant les deux nombres, que les radio-éléments répandus dans la croûte terrestre, sont en quantité bien plus que suffisante pour compenser la perte de chaleur par rayonnement, à tel point que la quantité de chaleur dégagée est plus élevée que celle perdue par la terre.

On croyait jusqu'à présent que la terre se refroidit constamment, depuis l'époque de sa solidification. L'étude des radio-éléments nous apprend, au contraire, que non seulement il n'est pas certain que la terre se refroidisse, mais qu'il est même possible qu'elle soit dans un état de réchauffement, et cela change nos opinions sur l'évolution du globe terrestre.

Passons maintenant aux effets physiologiques du rayonnement; les trois groupes de rayons agissent sur les tissus végétaux et animaux. Les rayons produisent une altération, laquelle, prolongée, a un effet destructif, mais on observe aussi, à des doses très faibles, des effets stimulants.

Les tissus de la même nature que la peau sont particulièrement sensibles à l'action des rayons, ainsi que les tissus en voie de formation rapide ; les tissus jeunes en train de se développer sont également très impressionnables. C'est cette action sélective des rayons sur les tissus qui a servi de base à la plus importante des applications des radio-éléments qui est la thérapie sur laquelle j'aurai à revenir.

Nature des rayons.

Les groupes de rayons positifs et de rayons négatifs peuvent être étudiés, en utilisant l'action des champs magnétique et électrique. Par cette voie, il est possible d'obtenir la mesure de la vitesse des rayons et du rapport de la charge qu'ils transportent à la masse qu'ils possèdent. Ces mesures ont donné des renseignements importants ; elles ont prouvé que les rayons β sont des *électrons*, c'est-à-dire des particules dont la masse est environ 1 800 fois plus petite que celle d'un atome d'hydrogène.

Ces particules extrêmement petites que Crookes avait jadis désignées sous le nom de *matière radiante*, entrent dans la composition des atomes en tant qu'élément d'électricité négative, le plus petit qui existe et qui ne peut subir de subdivision.

Quant aux particules α , la valeur du rapport de leur charge à leur masse, prouve qu'elles doivent être considérées comme des atomes de gaz hélium,

portant une charge double de celle d'un électron. L'hélium est un gaz rare dont la présence a été reconnue par l'analyse spectrale dans la région périphérique du soleil, et qui, ensuite, a été découvert dans certains minéraux sur la terre. C'est un gaz très léger, ses molécules sont composées d'un atome qui n'a que quatre fois le poids d'un atome d'hydrogène. C'est ce même gaz qu'on retrouve dans les rayons α et ceci nous prouve que des atomes de gaz hélium sont constamment émis par les corps radio-actifs.

L'identité des rayons α avec l'hélium a été démontrée par des expériences directes, car il est possible de faire dans un récipient un vide complet, d'y recueillir des rayons α et de s'assurer ensuite qu'une très petite quantité d'hélium se trouve dans le récipient qui primitivement était vide. L'hélium est facilement identifié par son spectre qui contient une belle raie brillante. Par conséquent, on peut considérer comme prouvé que les rayons α sont des atomes d'hélium lancés avec une très grande vitesse.

Les rayons α et β transportent des charges électriques et ces charges peuvent être mesurées. Nous avons vu, d'autre part, qu'on peut compter les rayons α en quantité suffisante pour mesurer le volume d'hélium ainsi produit. Ces opérations nous donnent le moyen de déterminer des constantes de signification générale et d'importance considérable. Ainsi, par exemple, ayant compté un certain nombre de rayons α , ayant ensuite mesuré le volume d'hélium correspondant, on peut savoir combien il y a de molécules dans un volume de gaz déter-

miné. C'est là un renseignement d'ordre moléculaire extrêmement important qui permet de calculer le nombre de molécules dans une molécule-gramme de gaz quelconque. On trouve ainsi qu'une molécule-gramme de gaz d'hydrogène (c'est-à-dire 2 grammes d'hydrogène), contient un nombre de molécules d'hydrogène d'environ 6×10^{23} et il en est de même pour la molécule-gramme de tout autre gaz. La connaissance de ce nombre conduit à une valeur de la masse des atomes, parce que si l'on sait combien il y a d'atomes dans une molécule-gramme, on en déduit immédiatement la masse de chacun d'entre eux. Le résultat numérique est entièrement conforme à celui que donnent les méthodes qui ne sont pas basées sur la radio-activité, et ceci nous montre la confiance qu'on peut avoir dans les méthodes expérimentales utilisées pour l'étude des rayons.

Les radio-éléments et leur nombre.

Parmi les éléments chimiques connus avant la découverte de la radio-activité, l'uranium et le thorium seuls sont des radio-éléments et se trouvent dans leurs minerais en proportion importante. Les premiers radio-éléments nouveaux découverts par leurs propriétés radio-actives ont été le polonium et le radium, puis l'actinium, — plus tard encore le mésothorium, le radiothorium, l'ionium, etc. Tous ces corps se trouvent dans les minerais en très faible proportion; parmi eux, seul le radium a été isolé, préparé à l'état de sel pur, et son

poids atomique a été déterminé. Ces résultats ont servi à établir solidement la théorie d'après laquelle tous les radio-éléments sont des éléments chimiques distincts. En raison de la faible concentration du radium dans les minerais, l'isolement de ce corps a demandé un travail de plusieurs années. En revanche, l'activité du radium à l'état de sel pur est plus d'un million de fois plus grande que celle de l'uranium, et c'est pour cela que ce corps produit des effets si importants.

L'étude attentive des corps qui ont été tout d'abord préparés, a conduit à admettre qu'il en existe encore un grand nombre d'autres qui ne sont pas stables, qui n'ont qu'une vie éphémère. Voici la description de phénomènes extrêmement importants observés dans cet ordre d'idées.

Il a été trouvé que le radium produit un gaz radio-actif qui a reçu le nom d'*Émanation du radium*; cette émanation se dégage du radium et se répand dans son voisinage.

Dans ces conditions, si l'on aspire l'air au voisinage du radium, cet air contient l'émanation, laquelle possède toutes les propriétés des corps radio-actifs; elle émet un rayonnement, qui ionise l'air et qui excite dans le sulfure de zinc une belle phosphorescence. Ce gaz radio-actif n'est pas stable, il n'est pas durable comme le radium. Si l'on en mesure l'activité, on constate qu'elle diminue d'une manière très régulière, à peu près de moitié dans chaque période de quatre jours. La diminution a donc lieu suivant une progression géométrique, ou encore suivant une loi exponentielle, l'intensité du rayonnement pouvant être

exprimée en fonction du temps par une formule exponentielle. Chaque diminution de moitié se produit en un temps toujours le même, qui a reçu le nom de *période* caractéristique de la substance. Il existe deux autres émanations, celles du thorium et de l'actinium, encore plus fugitives que celle du radium. Chacune est constamment dégagée par la substance qui lui donne naissance.

Quand les émanations sont introduites dans des vases qui servent à les recueillir, on s'aperçoit qu'elles produisent elles-mêmes quelque chose qui leur survit. Chacune d'elles abandonne sur la paroi du récipient une espèce d'enduit invisible qui se comporte comme un corps radio-actif; tout se passe comme si une substance radio-active restait accrochée à la paroi du vase, quand on vient de chasser au moyen d'un courant d'air l'émanation qui y était contenue. Ces *dépôts actifs* des émanations disparaissent suivant une loi propre à chacun d'eux; le dépôt actif de l'émanation du radium disparaît en quelques heures, tandis que celui de l'émanation du thorium persiste pendant plusieurs jours.

Tous les phénomènes de ce genre peuvent être expliqués par une théorie générale qui s'appelle la *théorie des transformations radio-actives*. Cette théorie nous apprend que parmi les radio-éléments aucun n'est stable, que tous se transforment, même ceux qui nous paraissent fixes, parce que leur transformation est lente. Ainsi nous dirons que le radium se transforme en émanation, laquelle, à son tour, se transforme en dépôt actif.

Il nous restera à préciser en quoi consiste la transformation considérée. Nous dirons tout de suite que c'est une transformation atomique, car nous savons que la radio-activité est un phénomène essentiellement atomique. C'est cette hypothèse qui a conduit à la découverte de radio-éléments nouveaux; c'est à l'aide de cette hypothèse qu'a été découvert le radium.

D'autre part nous avons vu que les rayons α émis par le radium sont des atomes d'hélium projetés avec une charge positive. Ces atomes ne peuvent provenir que d'une transformation des atomes de radium. Quand un atome d'hélium se détache d'un atome de radium, ce dernier est nécessairement modifié, son poids atomique est diminué de 4 unités, et nous obtenons un atome d'émanation du radium.

Par conséquent, nous pouvons écrire en quelque sorte une formule de réaction chimique d'après laquelle le radium se transforme en émanation et en hélium.

Si l'on prend en considération le dégagement de chaleur auquel le radium donne lieu constamment au cours du temps, on voit que le dégagement d'énergie ainsi progressivement accumulé prend une valeur considérable. On connaît, d'ailleurs, approximativement la période du radium; on sait que ce corps diminue de moitié en 1 600 ans environ, on peut donc calculer combien il dégagera de chaleur pendant toute sa vie. Le dégagement d'énergie ainsi calculé est si élevé, qu'il ne saurait s'expliquer par une réaction chimique ordinaire, il est, au contraire, facilement expliqué par une

transformation atomique, et c'est ce que nous admettons, dès maintenant, avec une certitude absolue.

Ainsi chaque substance radio-active possède une période qui caractérise sa transformation. Mais celle-ci ne porte pas sur tous les atomes en même temps, car, s'il en était ainsi, la substance se modifierait progressivement et ne serait jamais pareille à elle-même. Or, quand le radium se transforme, il reste toujours du radium, seulement il y en a de moins en moins; certains atomes se transforment en faisant explosion à un moment donné; cette explosion produit deux fragments dont l'un, la particule α , est projeté dans un sens, tandis que l'atome résidu est projeté en sens inverse. Ainsi le nombre d'atomes de radium est diminué d'une unité, et l'évolution se poursuit, jusqu'à ce que tous les atomes soient transformés.

De la même manière l'émanation se transforme en rayons α et en dépôt actif qui se compose lui-même de plusieurs substances successives.

Des transformations entièrement analogues ont lieu pour l'uranium et le thorium.

Ainsi un procédé très général de transformation atomique consiste dans l'émission d'une particule α , alors que le résidu atomique est projeté en sens inverse.

Un deuxième procédé consiste dans l'émission d'un rayon β ou électron. Cette transformation n'entraîne pas de variation de poids atomique; cependant l'atome résiduel est tout à fait différent de l'atome primitif.

Toute substance radio-active a une période de

transformation déterminée, souvent nous pouvons séparer la substance et déterminer sa période d'après la décroissance du rayonnement. Dans d'autres cas où la substance décroît très lentement, ainsi que cela a lieu pour le radium, on détermine la période par la numération des particules α . Sachant combien il y a d'atomes dans chaque gramme de la substance, et combien de particules ont été émises pendant une seconde, c'est-à-dire combien d'atomes ont été transformés, on connaît la fraction d'atomes transformés pendant une seconde et on peut calculer le temps nécessaire pour la transformation de la moitié des atomes; c'est ainsi que la période du radium a été évaluée à 1600 ans.

Puisque les radio-éléments se transforment, on peut considérer qu'ils constituent des familles dont les termes sont reliés les uns aux autres par des liens de filiation ou de parenté. En général, un radio-élément donne naissance à un seul élément dérivé, avec émission d'un rayon α ou β ; dans certains cas exceptionnels, il existe deux modes de transformation pour le même atome.

Les familles qu'il y a lieu d'envisager, sont celles qui dérivent respectivement des éléments suivants considérés comme têtes de série :

l'uranium,
le radium,
l'actinium,
le thorium.

Mais il a été établi que la famille du radium se rattache à celle de l'uranium, et que le radium est

constamment produit au détriment de l'uranium, en passant par un certain nombre de radio-éléments intermédiaires.

En effet, la période du radium n'étant que de 1600 ans, on peut penser que ce corps aurait depuis longtemps disparu dans les minéraux si ceux-ci ne contenaient pas une source de production. C'est en partant de cette idée qu'on a réussi à établir que le radium est un descendant de l'uranium, et à vérifier la production du radium à partir de son parent direct, l'ionium. Cette démonstration n'a pu être faite que grâce aux méthodes de mesures d'extrême sensibilité dont nous disposons pour le dosage du radium.

Ainsi, la famille du radium se trouve réunie avec celle de l'uranium, en une famille unique ayant pour tête de série l'uranium.

La famille de l'actinium se rattache aussi à celle de l'uranium d'une manière qui n'est pas encore exactement connue. L'actinium est une substance qui décroît lentement. Le radium et l'actinium se trouvent dans les minéraux en quantité proportionnelle à celle de l'urane, et c'est une indication de filiation extrêmement sérieuse. En effet, si une substance primaire qui se transforme très lentement en produit une autre à transformation plus rapide, cette deuxième substance s'accumule jusqu'à ce que sa destruction compense sa production. Il s'établit alors un équilibre radio-actif, qui correspond à un rapport constant entre les quantités des deux substances.

Ainsi, quel que soit le minerai que l'on puisse traiter, on n'y trouvera jamais plus de radium que



ce qui correspond à la proportion d'environ 0,35 gramme de radium par tonne d'uranium.

Quand on examine l'évolution du radium qui a été extrait de son minerai, on constate que ce corps se trouve d'abord tout seul comme élément séparé; ensuite peu à peu il développe l'émanation du radium qui généralement reste occluse dans le sel. Celle-ci forme à son tour le dépôt actif, de sorte que le radium, tel que nous le connaissons, n'est plus un corps simple, mais bien un corps complexe, en raison de la présence de dérivés qui l'accompagnent toujours, et dont le rayonnement s'ajoute au sien. Parmi ces dérivés, il en est dont la formation est très lente et l'on trouve parmi eux le polonium; il a été prouvé que ce corps est un dérivé du radium qui a pu s'accumuler dans les minéraux.

On peut calculer le poids atomique du dernier terme de la transformation en comptant combien de rayons α ont été émis lors des transformations successives, et de combien a été diminué le poids atomique de l'élément primaire. On arrive ainsi à conclure que c'est le plomb qui est le dernier terme de la transformation du radium, et cette supposition semble bien conforme à l'expérience.

Ainsi l'uranium, le radium, l'actinium et leurs dérivés forment une seule et même famille ayant comme tête de série l'uranium, élément radio-actif très stable, dont la période évaluée par la numération des rayons α est d'environ 5 milliards d'années. Le thorium dont la période est encore plus longue, constitue la tête de série d'une deuxième famille de radio-éléments qui n'a pas de relation connue avec la précédente.

La famille du thorium comprend une émanation gazeuse, le dépôt actif de celle-ci et, en outre, plusieurs radio-éléments intermédiaires entre le thorium et l'émanation; le plus important d'entre eux est le mésothorium dont la période est environ sept ans et qui est utilisé, comme le radium, pour les applications médicales.

Nous arrivons ainsi à un nombre total d'une trentaine environ de radio-éléments dont quelques-uns ont une vie longue tandis que d'autres sont tout à fait éphémères. On peut placer ces éléments dans la table de classification périodique.

Le radium, par exemple, occupe, dans cette table, la dernière place de la colonne des métaux alcalino-terreux, dont il possède les propriétés chimiques.

Il a été prouvé d'ailleurs que les radio-éléments forment des groupes, dont tous les termes ont des propriétés chimiques extrêmement voisines. Au lieu de les classer séparément, on les classe donc en 40 groupes, de manière à réunir ensemble ceux qui ont les propriétés d'un même élément chimique; chacun de ces groupes occupe une seule place dans la table de classification des éléments. Cette disposition est tout à fait rationnelle et a conduit, en particulier, à la notion importante d'*isotopie*. On nomme isotopes les éléments qui ont exactement les mêmes propriétés chimiques, bien qu'ils puissent différer par leur poids atomique. Le mésothorium, par exemple, est un isotope du radium; ces corps sont si voisins au point de vue chimique qu'ils ne peuvent être séparés quand ils ont été extraits ensemble d'un même minéral contenant à la fois du thorium et de l'urane. Cependant, après

une centaine d'années, la proportion du mésothorium dans le mélange sera devenue négligeable, car ce corps diminue de moitié en sept ans environ, tandis que la vie du radium est beaucoup plus longue.

Nous avons vu que le plomb est le dernier produit de la transformation du radium. Toutefois, la théorie des transformations radio-actives prévoit non pas une, mais deux espèces de plomb, d'origine radio-active, provenant l'une des minerais d'urane, l'autre de ceux de thorium; tous les deux sont des isotopes du plomb ordinaire extrait de la galène, mais ils en diffèrent par leur poids atomique.

On arrive donc à cette conclusion, qu'un élément de poids atomique déterminé n'est pas nécessairement simple. Si les éléments inactifs proviennent d'évolutions analogues aux transformations radio-actives, le poids atomique de certains corps considérés jusqu'ici comme simples, peut n'être qu'un poids atomique moyen correspondant à un mélange d'isotopes; on peut même penser que c'est pour cela que les nombres atomiques ne sont pas des nombres entiers. Plusieurs savants ont défendu la théorie de l'unité de la matière, d'après laquelle tous les éléments chimiques sont formés à partir d'un élément primordial. Il y a lieu de penser que les atomes sont composés d'hydrogène et d'hélium, car l'atome d'hydrogène est le plus petit que nous connaissions, et, d'autre part, l'émission d'atomes d'hélium dans les transformations radio-actives rend très probable le rôle de ces atomes comme éléments de la structure atomique. Dans cette théorie, les

poids atomiques devraient être entiers. En réalité, plusieurs d'entre eux sont très voisins de nombres entiers, mais certains autres présentent des écarts notables. Ces écarts peuvent s'expliquer, si les éléments considérés sont des mélanges d'isotopes, et la confirmation de cette hypothèse a été récemment obtenue pour le néon et pour le chlore. Nous sommes donc en possession de renseignements importants sur la structure des atomes. Chacun d'entre eux serait constitué par un noyau central composé d'atomes d'hydrogène et d'hélium et entouré d'une distribution d'électrons. Il y a lieu de penser que ces électrons forment des anneaux, et l'ensemble est comparable à un système planétaire.

Application des radio-éléments.

Les propriétés des radio-éléments ont reçu des applications variées dont plusieurs sont relatives à des problèmes assez particuliers sur lesquels je n'insisterai pas. Ainsi dans l'étude de l'électricité atmosphérique, on emploie volontiers des prises de potentiel ou des sondes garnies de matière radio-active, remplaçant les appareils à écoulement d'eau ou à flamme.

Les deux applications les plus importantes sont : la préparation de peintures lumineuses et la thérapie basée sur l'emploi des corps radio-actifs.

Les peintures lumineuses utilisent la propriété que possèdent les rayons d'exciter la fluorescence.

Ces peintures sont faites, généralement, en incorporant de petites quantités de radium ou de méso-

thorium au sulfure de zinc convenablement préparé. La substance ainsi obtenue présente une luminosité spontanée qui ne dépend pas d'un éclairage préalable, comme celle d'un corps phosphorescent après insolation. On peut obtenir une belle luminosité verdâtre, dont l'intensité dépend de la teneur en substance radio-active. Le prix des radio-éléments étant fort élevé, cette teneur est généralement faible, et le pouvoir éclairant est très modéré. En revanche, ces plages faiblement lumineuses restent longtemps inaltérées, tandis que les mélanges lumineux à teneur en radium relativement forte s'altèrent peu à peu sous l'action du rayonnement.

L'expérience a montré que les repères lumineux de faible intensité à base de radio-élément peuvent être facilement vus dans l'obscurité et sont susceptibles de rendre de nombreux services. Le mélange lumineux a été tout d'abord utilisé pour les aiguilles, les chiffres et divisions des montres; ces montres lumineuses ont été particulièrement répandues pendant la guerre.

D'une manière générale, les peintures lumineuses ont reçu pendant la guerre, une extension considérable, pour améliorer les appareils de mesures utilisés aux armées et dans la marine, comportant des graduations, des chiffres, des divisions qu'il s'agissait de rendre visibles dans l'obscurité. On a préconisé aussi des applications telles que l'emploi de plages de signalement à l'arrière des voitures pour éviter les rencontres, disposition de repères dans les tranchées pour indiquer les directions, etc.

Bien que l'utilisation militaire ait considérable-

ment diminué, des applications semblables sont évidemment possibles en temps de paix; en particulier, l'éclairage de passages sombres, dans les mines, ou autres endroits où il est difficile d'allumer la lumière, signalement de boutons de sonnette, des serrures; inscription sur des indicateurs de direction, inscription de noms de rues, etc. Il y a là une extension naturelle qui ne peut manquer de s'accroître et qui n'est limitée que par le prix de revient. Si celui-ci était très abordable, l'utilisation deviendrait considérable, car elle offre beaucoup d'agrément et une extrême commodité.

Je n'insisterai pas davantage sur ces applications, évidemment très faciles à apprécier, et je passe à la thérapie, dont l'importance sociale est beaucoup plus considérable.

La thérapie utilise les effets physiologiques des rayons. Puisque le rayonnement des corps radio-actifs a une grande puissance, il était naturel d'essayer sa valeur curative, car on ne néglige jamais une chance nouvelle pour soulager la souffrance humaine. Dès les premiers essais, les résultats obtenus dans certains cas ont été encourageants; et bientôt il a été établi que les rayons du radium permettent de guérir un certain nombre d'affections, plus particulièrement diverses maladies de la peau, les ulcères superficiels, les lupus, les taches de lie de vin, les granulations des paupières, etc.

D'autres applications médicales plus difficiles ont demandé plus de temps pour que les résultats paraissent sûrs et définitifs. Ainsi on obtient de bons résultats dans le traitement des arthrites et

de certaines névrites. Pendant la guerre la radium-thérapie a été appliquée au traitement des cicatrices vicieuses et des plaies atones dont la cicatrisation a été, dans bien des cas, facilitée par l'intervention des rayons.

Mais le résultat le plus important consiste dans le nombre de plus en plus grand des cancers profonds traités par cette méthode. Cette application particulièrement difficile n'a pu se développer que lentement, mais il n'est plus douteux que le radium nous offre un moyen très puissant pour lutter contre le cancer.

Il existe deux procédés d'utilisation médicale pour les radio-éléments. L'un d'eux consiste à faire agir les rayons pénétrants, ou rayons γ , issus d'une petite ampoule qui contient la matière radio-active. Cette ampoule peut être placée à distance du tissu malade, mais elle peut aussi être introduite à l'intérieur de ce tissu. A ce point de vue, l'application du radium offre des facilités qu'on n'obtient pas avec les rayons X dont l'emploi médical est très analogue à celui des rayons du radium.

Au lieu de centraliser l'émission de rayons, on peut répandre l'activité dans tout l'organisme en utilisant les radio-éléments en injections, lavages, bains ou inhalations. On peut, pour cela, employer par exemple, l'émanation du radium mélangée à l'air ou dissoute dans de l'eau; on emploie aussi des substances solides qu'on injecte en petite quantité dans l'organisme. Cette méthode permet d'utiliser l'énergie des rayons α , bien plus considérable que celle des rayons γ .

La méthode de traitement par les rayons γ peut

utiliser indifféremment des ampoules qui contiennent du radium ou du mésothorium; le seul inconvénient du mésothorium tient à sa durée de vie qui est beaucoup moins grande que celle du radium et c'est pour cette raison que le radium est préféré.

Il est désirable d'obtenir l'irradiation aussi uniforme que possible des tissus. Dans ce but, on peut diviser la source et employer un grand nombre de centres radio-actifs. Pour la même raison, on ne conserve que les rayons les plus pénétrants, et l'on arrête les autres par une méthode de filtrage au travers de gaines métalliques convenablement choisies.

L'application ne peut être faite au hasard, elle doit se conformer à une technique bien étudiée, et c'est ainsi seulement que l'on peut obtenir de bons résultats.

Il est, en particulier, nécessaire de connaître l'intensité du rayonnement; pour doser celui-ci, nous disposons de méthodes électrométriques excellentes.

D'une manière générale, le radium est une substance que l'on pèse bien rarement. Il est préférable d'en déterminer la quantité par une mesure électrométrique, de sorte que dans les laboratoires de radio-activité, l'électromètre remplace la balance. Nous mesurons à l'électromètre le rayonnement du radium et nous le comparons à une unité connue. Pour rendre les mesures tout à fait comparables, on a établi un Étalon international de radium auquel on compare des étalons secondaires destinés aux différents pays. Ces étalons contiennent généralement une vingtaine de milligrammes de sel de radium. On compare ensuite à ces étalons les

quantités de radium qu'il s'agit de mesurer, et ces mesures sont faites généralement par des Services de mesures officiels. Un Service de mesures de ce genre existe à l'Institut du radium.

Le mésothorium se mesure de la même manière, mais comme jamais on n'a pu en peser une quantité déterminée, on en fait le dosage par comparaison avec le radium.

Quand il s'agit d'utiliser des sources multiples, l'emploi du radium n'est pas toujours très facile, car on ne peut disposer que d'ampoules à teneur déterminée. De plus, cette division du radium et son introduction dans les tissus n'est pas sans inconvénient ni sans danger pour la substance.

Pour ces raisons, l'emploi du radium a été remplacé dans les grands centres de thérapie par l'emploi de l'émanation du radium.

Il a été prouvé que les rayons γ ne proviennent pas du radium lui-même, mais de son dépôt actif qui est produit par l'émanation. Nous pouvons donc utiliser celle-ci à condition de l'extraire et de l'enfermer dans une ou plusieurs ampoules qui seront employées pour le traitement. Il convient de doser ces ampoules en les comparant à une certaine quantité de radium; telle ampoule d'émanation émet précisément le même rayonnement γ que telle quantité de radium. La quantité d'émanation qui se trouve en équilibre avec un gramme de radium a reçu au Congrès de Bruxelles le nom de Curie; cette unité étant grande, on emploie couramment comme unité le millicurie. Une dose courante consiste à employer des ampoules de 20 millicuries chacune et de laisser détruire quelques

millicuries pendant une application. Pour faciliter la technique, on établit des feuilles d'application spéciales conformes à la loi de destruction de l'émanation, laquelle n'est pas très simple pour des personnes qui n'en ont pas l'habitude. Ces feuilles permettent de voir très facilement, sans calcul, quelle quantité d'émanation a été utilisée dans un traitement.

Pour retirer des avantages d'une telle organisation, on doit la rendre tout à fait méthodique. Les extractions d'émanation sont faites à intervalles réguliers par des techniciens habiles; ensuite les médecins chargés des traitements prennent possession des ampoules, les distribuent dans les services correspondants et en étudient les effets.

Des instituts spéciaux se sont fondés dans différents pays pour centraliser la radiumthérapie. On peut citer plusieurs instituts de ce genre en Angleterre et en Amérique. En France, nous n'avons pas de tel institut. Pendant la guerre j'ai été amenée à installer à l'Institut du radium un service d'émanation pour les hôpitaux militaires, pour assurer le traitement des soldats blessés et malades. Ce service, créé il y a plusieurs années, a continué à fonctionner après la guerre, parce qu'il a été reconnu indispensable; il se transforme peu à peu en une section de radiumthérapie sous la direction de M. le professeur D^r Regaud. Il est à espérer que bientôt nous aurons en France un service de radiumthérapie digne de notre pays et de sa capitale.

L'utilité des Services centraux est particulièrement grande à ce point de vue que seuls ils sont

capables de recueillir et de centraliser une documentation suffisante. On peut y recueillir et classer un nombre suffisant d'observations, pour permettre une étude judicieuse de questions d'une importance capitale comme la guérison du cancer.

Peu de renseignements précis peuvent être donnés sur le deuxième mode de thérapie qui consiste à utiliser le rayonnement α répandu dans l'organisme. On peut employer, à cet effet, des injections de sel de radium, en petites quantités, ce qui entraîne évidemment la perte de cette substance. On peut aussi utiliser l'injection d'un des dérivés du thorium, nommé thorium X; cette substance dont la vie est assez limitée est fabriquée à partir du mésothorium.

On emploie aussi différents modes d'injection d'eau active et d'inhalation de gaz actif. Ces eaux et gaz peuvent être obtenus à partir du radium dont ils contiennent l'émanation. L'eau activée par cette émanation nous est d'ailleurs offerte par la nature; il existe bien des sources qui dégagent des eaux et des gaz naturels qui contiennent de l'émanation de radium et quelquefois même de petites quantités de radium.

Les eaux et gaz chargés d'émanation proviennent vraisemblablement de couches éloignées du sol, où se trouvent des minerais de radium dont l'émanation est entraînée au passage des eaux.

L'efficacité curative de certaines sources thermales a été fréquemment attribuée à leur teneur en émanation du radium. L'étude de ces sources est une question d'avenir, et il ne serait guère possible d'énoncer dès à présent des conclusions précises à ce sujet. Il semble cependant que l'on ait obtenu

quelques résultats encourageants, plus particulièrement dans le traitement des arthrites.

Industrie des radio-éléments.

Les substances radio-actives s'obtiennent à partir des minerais d'urane et de thorium.

La fabrication industrielle a été appliquée jusqu'à présent au radium et au mésothorium, tandis que l'émanation du radium est préparée dans des laboratoires. La fabrication du radium a utilisé divers minerais d'urane : la pechblende de Bohême, la carnotite d'Amérique, l'autunite du Portugal. Cette dernière est surtout employée actuellement, car le transport en est relativement facile. La fabrication du radium a débuté en France, et c'est la France qui a fourni d'abord le radium aux pays étrangers. Mais, plus tard, l'industrie du radium s'est développée dans d'autres pays, en particulier en Amérique.

La quantité de radium fabriqué jusqu'ici peut probablement être évaluée à une cinquantaine de grammes.

Le mésothorium se fabrique à partir de la monazite, qui est un minerai que l'on traite pour en extraire le thorium et le cérium pour les manchons à incandescence; la préparation est difficile et le rendement n'est pas élevé.

Pour extraire le radium ou le mésothorium, on procède exactement comme si on voulait extraire le baryum contenu dans un minerai, c'est-à-dire, en principe, on cherche à dissoudre le minerai, à

précipiter le baryum à l'état de sulfate, à recueillir ensuite un certain nombre de kilos de sulfate et à le soumettre à une cristallisation fractionnée après l'avoir transformé en bromure. Les radio-éléments cherchés se concentrent dans les cristaux les moins solubles.

Récemment on a pu entrevoir la possibilité de traiter certains autres produits naturels. Les eaux et les gaz naturels contiennent quelquefois beaucoup d'émanation du radium. Celle-ci est en général, produite dans les laboratoires à l'aide de radium, mais cette préparation pourrait être remplacée en partie par l'emploi de l'émanation des sources naturelles, après purification convenable. Il existe, par exemple, en Italie une source qui dégage 250 mètres cubes d'eau et 30 millicuries d'émanation par jour. Dans d'autres cas on constate un dégagement d'émanation qui atteint une centaine de millicuries par jour, ce qui est tout à fait utilisable au point de vue médical, à condition de séparer l'émanation du grand volume d'eau ou gaz auquel elle est mélangée.

L'exploitation des sources n'a pas encore été établie, mais se fera avec le temps, et certainement on utilisera dans chaque pays toutes les ressources naturelles. Il est tout à fait important de connaître ces ressources, en ce qui concerne les minerais, les eaux et les dégagements gazeux.

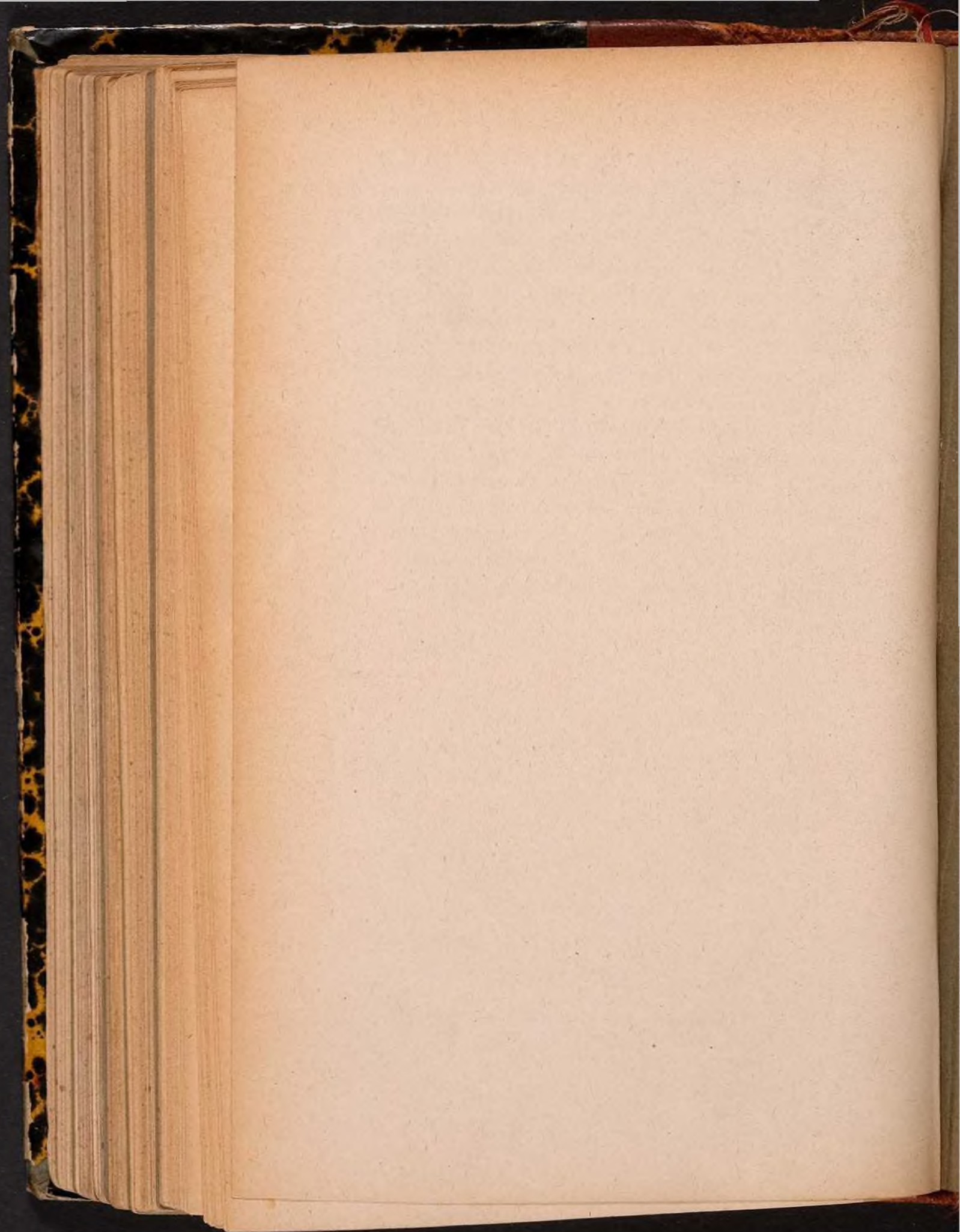
Les minerais radio-actifs peuvent être reconnus grâce aux radiographies qu'ils produisent par leurs propres rayons; sur un fragment de minerai on reconnaît ainsi les parties actives et la gangue qui n'impressionne pas la plaque sensible. L'activité

des minerais, des eaux et des gaz peut aussi être étudiée par la méthode électrométrique.

L'utilisation des ressources nationales en radio-éléments est grandement facilitée par la création d'instituts centraux nationaux, dans lesquels on doit prévoir un laboratoire industriel destiné à traiter d'assez grandes quantités de substances, — et une section de radiumthérapie composée des éléments nécessaires pour servir de modèle et pour assurer l'enseignement.

L'existence d'un tel institut national est désirable dans chaque pays. J'espère que tel sera le rôle de l'Institut du radium qui possède déjà quelques-uns des éléments nécessaires et qui, développé et complété, pourra rendre des services de plus en plus importants à la science pure, à l'enseignement, à l'industrie des radio-éléments et à la lutte contre la souffrance humaine.





EN VENTE
A LA LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
3 bis, rue Thénard, Paris.

LA SCIENCE ET L'INDUSTRIE FRANÇAISES PENDANT LA GUERRE

*Leur rôle dans l'œuvre de renaissance économique
de notre pays*

CONFÉRENCES PUBLIQUES DU DIMANCHE

*faites au Conservatoire National des Arts et Métiers
(ANNÉE 1920)*

1. — **Les Métallurgies.** — M. LÉON GUILLET, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers et à l'École centrale des Arts et Manufactures. 1 fr. 50
2. — **L'Aviation.** — M. R. SOREAU, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Vice-Président de l'Aéro-Club de France. 1 fr. »
3. — **Les recherches scientifiques et industrielles et les Inventions.** — M. MAURAIN, Professeur suppléant au Conservatoire national des Arts et Métiers. 2 fr. »
4. — **L'évolution du matériel d'artillerie.** — M. le L-Colonel RIMAILHO. 2 fr. 50
5. — **La fabrication du matériel d'artillerie.** — M. CHARPY, Membre de l'Institut. (en impression)
6. — **Les Chars d'assaut. — Historique technique. Historique tactique. Vues d'avenir.** — M. le Général ESTIENNE. 2 fr. 50
7. — **Le Service géographique de l'armée pendant la guerre.** — M. le Général BOURGEOIS, Membre de l'Institut, Directeur honoraire du Service géographique de l'armée. 2 fr. 50
8. — **De la fabrication des poudres et explosifs.** — M. LHEURE, Ancien Directeur du Service des poudres. 2 fr. »
9. — **Les radio-éléments et leurs applications.** — M^{me} CURIE, Professeur à la Sorbonne. 1 fr. 50
10. — **La chimie de guerre. Les gaz de combat.** — M. MOUREU, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France. 1 fr. 50
11. — **Le rôle du laboratoire d'usine.** — M. LÉON GUILLET, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers et à l'École Centrale des Arts et Manufactures. 1 fr. 50
12. — **Les industries chimiques.** — M. FLEURENT, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers. 1 fr. 50

Chaque conférence est éditée séparément en brochure format in-8 couronne (11,5×18).

S'adresser à la Librairie de l'Enseignement technique, 3 bis, rue Thénard, Paris, 5^e, qui en fera l'envoi sur demande accompagnée du montant.

ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

Fondateur : M. LÉON EYROLLES, O. S. I.

Ingénieur, Directeur de l'École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie

En vente à la Librairie de l'Enseignement technique, 3 bis, rue Thénard, Paris (5^e).

ORGANISATION ADMINISTRATIVE ET INDUSTRIELLE

- Cours de Commerce industriel, par HOUAST. 2 vol. 20 fr.
Cours de Comptabilité commerciale appliquée aux entreprises, par JAYOT. 15 fr.
L'Industrie des Travaux publics, par DUFOUR. 3 fr. 50
Cours d'Organisation générale d'une entreprise de Travaux publics, par FOU-LAIN. 15 fr.
Cours de finance et Comptabilité dans l'Industrie, par JULHET. 30 fr.
Les Entreprises Industrielles, fondation et direction, par André LIESSE. 3 fr. 50
Cours de Droit commercial et introduction à la pratique des affaires, par MASSÉ. 12 fr. 50
Le chèque postal, par Félix POUJON. 10 fr.
Clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs, par GEORGIN. 12 fr. 50

BÉTON ARMÉ

- par le Lieutenant-Colonel ESPITALIER.
Précis pour le calcul des ouvrages en béton armé. 8 fr.
Cours de Béton armé. *Livre I*: Procédés généraux de construction. 18 fr.
Livre II: Applications. 22 fr.

BÂTIMENTS.

ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS

- Construction et Installation des Bâti-ments agricoles, par le Lieutenant-Colonel ESPITALIER et PRÉVOT. 20 fr.
Construction des Usines et Établissements industriels, par le Lieutenant-Colonel ESPITALIER. 25 fr.

MÉCANIQUE ET MACHINES AUTOMOBILE. AVIATION

- Cours de Résistance des matériaux appliquée aux machines, par Georges BAYLE. 30 fr.
Cours de Moteurs à gaz, par LACON. 3 vol. 30 fr.
Cours d'Aviation. *Appareils d'aviation et propulseurs*, par le Lieutenant-Colonel ESPITALIER. 10 fr.
Les Moteurs d'aéronautique, par MARCOTTE (en impression).
Cours d'Automobiles, par RIDET. *Livre I*: Moteurs. 20 fr. *Livre II*: Voitures. 20 fr.

ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

- Installations à haute tension, par PARRAF. 25 fr.
Construction de Machines électriques, par CASTANIER. 2 vol. et 1 atlas. 40 fr.
Cours de traction électrique : *Livre I*: Systèmes de traction. Matériel roulant. Moteurs. Equipements, par René MARTIN, avec atlas. 65 fr.
Livre II: Voie électrique et *Livre III*: Mouvements des trains sur les voies ferrées, par JANIN (en réimpression).

- Cours de Mesures électriques, par Eug. VIGNERON. *Livre I*: Essais de labora-toires. 25 fr.
Livre II: Essais de Machines (en impres-sion).

- Cours d'éclairage élect., par RUAT. 8 fr.

MÉTALLURGIE.

CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

- Cours de métallurgie, par le Général GAGES. *Livre I*: La Fonte. *Livre II*: Elaboration des fers et des aciers. *Livre III*: Travail du fer et de l'acier. *Livre IV*: Essais mécaniques des fers et des aciers. *Livre V*: Métallurgie des alliages métalliques et des métaux autres que le fer. Les 5 vol. 100 fr.
Standardisation, par le G^l GAGES. 25 fr.
HYDRAULIQUE ET FORCES HYDRAULIQUES
Barrages, par BONNET. 30 fr. — Epura-tion des eaux et assainissement, par DIENERT. 20 fr. — Moteurs hydrauliques, par MILANDRE. 20 fr. — Aména-gement des Cours d'eau en vue de la production de l'énergie électrique, par LÉVY SALVADOR. 22 fr. 50
Formation, entretien et aménagement des cours d'eau, par le même. 15 fr.

TRAVAUX MARITIMES

- Cours de Travaux maritimes, par BÉNÉZET. 3 vol. 60 fr.

CHEMINS DE FER

- Chemins de fer à crémaillère, funiculaires et transports aériens, par LÉVY LAN-BERT. 8 fr.
Notice sur les enclosures, par M. R. ALLEGRET. 5 fr.

DROIT. LÉGISLATION

- Législation du travail et prévoyance sociale, par MASSÉ et BOVIER-LA-PIERRE. 20 fr.
Législation du travail et notion de légis-lation ouvrière et industrielle, par BER-THIOT. 35 fr.
Notions élémentaires de Droit civil, par Ch. GEORGIN. 25 fr.

DIVERS

- Cours de Meunerie, par MILANDRE. 12 fr.
Cours de Travaux publics aux Colonies, par HARDEL. 6 fr.
Les Murs de soutènement, par Ch. AU-BRY. 10 fr.
Règlement du 8 janvier 1916, du Ministère des Travaux publics, pour le Calcul et les épreuves des ponts métalliques, par MATHIEU. 3 fr.
Vocabulaire technique français-allemand, par DEMOLLIENS. 4 fr. 50
Pour devenir Ingénieur, par le Lieute-nant-Colonel ESPITALIER. 3 fr.
Évolution des Industries qui transforment les produits agricoles, par L. LIM-DET. 3 fr. 50
Formulaire mathématique et tech-nique. 3 fr. 50

Majoration temporaire de 20% sur les prix marqués. — Pour plus de détails, consulter le catalogue général envoyé franco sur demande.