



HAL
open science

Effet de la température sur l'ionisation d'un gaz

J.H. Clo

► **To cite this version:**

J.H. Clo. Effet de la température sur l'ionisation d'un gaz. Radium (Paris), 1911, 8 (3), pp.108-112.
10.1051/radium:0191100803010801 . jpa-00242457

HAL Id: jpa-00242457

<https://hal.science/jpa-00242457>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Effet de la température sur l'ionisation d'un gaz

Par J. H. CLO

[Université de Chicago. — Laboratoire de Physique].

Dans ce travail on s'est proposé de rechercher s'il est possible de modifier l'énergie cinétique de la molécule de façon à ébranler la stabilité de l'atome. On a choisi l'ionisation des gaz comme type de phénomène impliquant la séparation de l'électron de l'atome, fonction par conséquent de la stabilité de l'atome.

Les expériences faites antérieurement sur ces phénomènes peuvent se diviser en trois classes, à savoir celles sur l'ionisation des gaz, celles sur l'effet photoélectrique par la lumière ultraviolette et celles sur l'émission d'électrons par les substances radioactives.

H. L. Bronson² a montré qu'en chauffant des sels de radium dans des conditions qui éliminent les transformations radioactives, volatilisation des produits, etc., l'ionisation d'un gaz par les rayons γ est indépendante de la température du radium. On admet généralement que l'intensité des rayons γ et par suite leur pouvoir ionisant dépend du nombre d'électrons émis par seconde par le radium. Il semblerait donc que le nombre d'électrons émis par seconde ne soit pas modifié par la température. Les expériences de Bronson s'étendaient sur une échelle de température allant de -180° C à $+1600^{\circ}$ C et n'accusaient pas pratiquement de variation supérieure à 1 pour 100.

Millikan et Winchester³, Ladenburg⁴ et d'autres physiciens ont montré que l'expulsion d'électrons négatifs par les métaux sous l'influence de la lumière ultraviolette est indépendante de la température du métal. Millikan et Winchester ont étudié différents métaux pour des températures allant jusqu'à 350° C. Ladenburg a fait des expériences avec le platine, l'or et l'iridium pour des températures variant entre 20° C et 860° . Ses résultats relativement au platine n'accusent pas un écart à la moyenne supérieur à 5,5

pour 100. Pour l'or et l'iridium ses résultats sont encore meilleurs.

L'effet de la température sur l'ionisation d'un gaz a fait l'objet de recherches de J. Perrin⁵, Mc Clung³, A. Gallarotti⁴, Herweg⁵, et Crowther⁶. A l'exception de Perrin, ces physiciens n'ont trouvé aucune variation systématique de l'ionisation. Perrin mesurait l'ionisation produite dans l'air par les rayons Röntgen. En tenant compte de la variation de l'ionisation avec la densité, il a trouvé que l'ionisation était proportionnelle à la température absolue. Mc Clung a étudié ce phénomène avec beaucoup de soin en utilisant les rayons Röntgen comme agent ionisant. Il a étudié l'ionisation dans l'air, l'hydrogène et le gaz carbonique, à pression constante et à densité constante. La méthode qu'il a employée lui permettait de tenir compte de la variation du pouvoir ionisant des rayons. Pour l'air à pression constante et pour des températures croissantes jusqu'à 272° C, il a trouvé que l'ionisation restait constante à moins d'environ 6,5 pour 100 par rapport à la valeur moyenne. A densité constante jusqu'à 201° C, la variation n'était pas plus grande. Pour l'hydrogène à densité constante, les résultats de ce physicien n'accusent pas une variation supérieure à environ 15 pour 100 jusqu'à 226° et pour le gaz carbonique une variation supérieure à 4,9 pour 100 jusque vers la même température. Gallarotti a recherché l'effet de la température sur l'ionisation de l'air aux basses températures. Avec les rayons X ses résultats montrent que l'ionisation reste

1. Voir M. DE BROGLIE, *C. R.*, **448** (1909) 1517.

2. BRONSON. *Proc. Roy. Soc.*, **78** (1906-1907) 494.

3. MILLIKAN et WINCHESTER. *Phil. Mag.*, **14** (1907) 188.

4. LADENBURG. *Verh. d. Deutsch. Phys. Gesell.*, **9** (1907) 165.

1. Voir les travaux de MM. EHRENFEST et MILLIKAN. — EHRENFEST. *Le Radium*, **7** (1910) 374 et 349; MILLIKAN *Le Radium*, **7** (1910) 25, 109 et 545.

2. PERRIN. *Ann. de Chim. et Phys.*, **41** (1897) 496.

3. MC CLUNG. *Phil. Mag.*, **7** (1904) 81.

4. GALLAROTTI. *Atti Della R. Accad. dei Lincei*, **16** (1907) 297.

5. HERWEG. *Ann. d. Phys.*, **49** (1906) 555.

6. CROWTHER. *Proc. Roy. Soc.*, **82** (1909) 551.

constante à moins de 2,5 pour 100 par rapport à la moyenne pour des températures allant jusqu'à -187°C . Avec le radium, il a obtenu des mesures de l'ionisation à -10° , -60° et -197°C , qui ne s'écartent pas de la moyenne de plus de 1,2 pour 100.

Ces résultats montrent que le phénomène ne varie pas avec la température comme on aurait pu s'y attendre d'après les résultats de Perrin sur l'ionisation des gaz. Ils montrent qu'aux températures considérées, le nombre d'électrons par seconde qui se séparent de l'atome ne varie pas de plus d'environ 10 pour 100 dans le cas des solides et 5 pour 100 dans le cas des gaz.

La théorie cinétique permet de conclure que la variation de la stabilité de l'atome avec la température doit être très légère et peut-être même au delà des limites de détermination expérimentale. Quoique les résultats mentionnés plus haut soient d'accord avec cette conclusion, ils n'apportent aucun éclaircissement dans la question de savoir si une variation plus faible a lieu.

Dans le présent travail, on a essayé : 1^o de réduire les erreurs d'observation dans le but de déterminer des variations plus faibles que celles qui auraient été trouvées dans les expériences précédentes ; 2^o d'expérimenter à des températures plus élevées que celles qui ont été employées dans les expériences antérieures sur l'ionisation des gaz.

On a expérimenté sur les gaz pour les différentes raisons suivantes : 1^o d'après la théorie cinétique la structure moléculaire d'un gaz est plus simple que celle des solides et des liquides ; 2^o l'application des concepts fondamentaux de la théorie cinétique a été faite d'une façon plus rigoureuse dans le cas des gaz que dans celui des solides ou des liquides ; 3^o les résultats antérieurs sur les gaz ne sont pas aussi précis que certains résultats sur les solides, et les expériences n'ont pas été faites à des températures aussi élevées que celles qu'on peut atteindre.

Exposé de l'expérience.

Les observations consistaient à mesurer le courant d'ionisation, dans un gaz contenu dans un récipient

fermé, par la vitesse de décharge d'un électromètre. On a fait un essai de mesure de l'ionisation à pression constante, mais eu égard aux variations et aux perturbations dues au changement de densité, on a abandonné cette méthode et toutes les observations ont été faites avec le gaz à densité constante. L'air et l'hydrogène ont été les seuls gaz étudiés. Le radium servait d'agent ionisant. Dans toutes les observations rapportées ici, les rayons γ étaient la seule radiation pénétrant dans la chambre d'ionisation. On mesurait le courant avec un électromètre à quadrants du type Dolezalek, disposé pour une sensibilité de 150 à 200 divisions de l'échelle par volt à une distance de 150 centimètres. Avec cette sensibilité le spot se déplaçait d'un millimètre en un temps variant de 0,1 à 0,2 seconde, vitesse qui variait dans les différentes séries d'observations. Il n'y a pas eu d'observations dans lesquelles l'image lumineuse ne se déplaçait d'au moins 400 divisions de l'échelle. Les températures étaient mesurées au moyen d'un manomètre à gaz, dont la sensibilité minima était d'environ un demi-millimètre par degré.

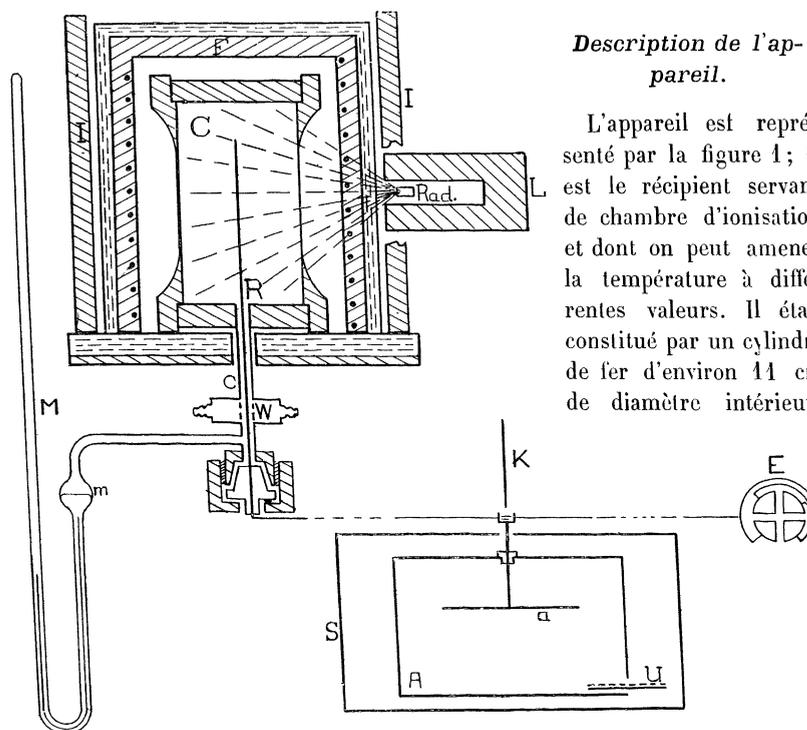


Fig. 1.

Description de l'appareil.

L'appareil est représenté par la figure 1 ; C est le récipient servant de chambre d'ionisation et dont on peut amener la température à différentes valeurs. Il était constitué par un cylindre de fer d'environ 11 cm de diamètre intérieur,

dont on avait réduit l'épaisseur de la paroi à un millimètre ou deux, sauf aux extrémités. Le côté de la paroi destiné à être traversé par les rayons était plus fortement aminci. Les bases constituées par des plaques épaisses de fer étaient brasées à la paroi de manière à former une chambre cylindrique d'environ 18 centimètres de hauteur.

Le tube c conduit vers le bas au manomètre. Il est

entouré par une enveloppe d'eau W. Ce tube supporte la tige R d'environ 2 millimètres de diamètre, au moyen du bouchon d'ambre et du chapeau dont la pression maintient le bouchon dans sa position. Cette tige R constitue une électrode. Le bouchon d'ambre a donné un isolement satisfaisant pendant la durée de l'expérience.

Le récipient C reposait sur de l'amiante et un plateau de fer. Il était entouré par le four électrique F; ce four avait lui même une enveloppe d'amiante et le tout était à l'intérieur d'une boîte en fer I dont les parois avaient environ 2 millimètres d'épaisseur.

Le manomètre M était constitué par un tube capillaire gradué. On le nettoyait soigneusement et on le remplissait plusieurs fois avec de l'air sec avant de s'en servir. Pour la commodité du dispositif et de la réduction des lectures à des degrés de température absolue, on avait soufflé dans le tube une boule *m*, qui servait de réservoir pour le mercure; par ce moyen cette colonne de mercure conservait très approximativement une hauteur constante. La colonne entière d'air était entourée d'une enveloppe d'eau (qui n'est pas représentée sur la figure) afin de régler et de déterminer sa température.

A est une chambre auxiliaire. C'est une boîte métallique qui supporte un plateau *a* isolé de la boîte au moyen d'un bouchon d'ambre. A l'extrémité de la tige qui supporte le plateau se trouve un petit godet de mercure qui, avec la tige K, constitue le dispositif de mise à terre du système. La partie isolée comprend la tige R, le plateau *a*, une paire de quadrants de l'électromètre et les fils de connexion. Un plateau U recouvert d'une couche d'uranium est destiné à ioniser l'air dans A. Une enveloppe métallique S protège A. E est l'électromètre.

Le radium était placé dans un tube de plomb L, dans une position telle que toutes les parties de la chambre d'ionisation fussent exposées aux rayons γ . Son activité était suffisante pour donner dans cette position une vitesse de déplacement mesurable de l'électromètre au travers d'une épaisseur de plomb de 5 cm.

L'électromètre et les fils de connexion étaient entourés de conducteurs à terre, pour éviter les fuites et les perturbations électrostatiques.

Comme source de potentiel, on employait de petites batteries de piles. Il était nécessaire que ce potentiel fût parfaitement constant. En laissant les éléments fraîchement faits se décharger au potentiel qui restait constant le plus longtemps, et en les utilisant dans ces conditions, on a trouvé qu'ils convenaient très suffisamment.

Méthode d'observation; causes d'erreur.

Pour faire les mesures, on opérait de la façon sui-

vante : on remplissait plusieurs fois successivement, avec le gaz, le récipient C, en y faisant le vide et en faisant passer ce gaz sur des substances desséchantes. On notait alors la température du gaz et la pression barométrique. Après avoir lu le manomètre à une pression barométrique connue et pour une température déterminée du gaz dans le manomètre, on le reliait à la chambre C. On recommençait ces lectures. Les valeurs obtenues dans ces conditions déterminées fournissaient les constantes d'une formule de réduction qui donnait la température absolue en fonction des lectures au manomètre et de la température de l'air dans le manomètre.

L'aiguille de l'électromètre était chargée à un potentiel qui devait donner la sensibilité désirée, en même temps que réduire au minimum les erreurs dues à la variation de ce potentiel. Le fil de quartz de suspension de l'aiguille était rendu conducteur par une couche d'une solution de chlorure de zinc. Malgré qu'il fût nécessaire de tremper le fil dans cette solution toutes les semaines ou toutes les deux semaines, on a trouvé que cette méthode était plus satisfaisante qu'aucune autre.

Le potentiel du système était maintenu à zéro, pendant qu'on portait C à un potentiel positif ou négatif. Ce potentiel était ordinairement d'environ 500 volts, valeur bien supérieure à celle correspondant au courant de saturation. A était maintenu à un potentiel de signe contraire à celui de C, et suffisant pour donner le courant de saturation dû à la présence de l'oxyde d'uranium dans A.

Pour faire une mesure, on enlevait le radium du voisinage de C, l'uranium de sa position en U et on isolait le système en soulevant la tige K. Dans les conditions ordinaires, les faibles fuites devaient se contre-balancer, et il ne devait pas y avoir de déviation de l'électromètre. Si une charge provenait de C, on introduisait suffisamment à l'intérieur de A le plateau d'uranium, pour que A fournisse au système isolé une charge de signe contraire. En réglant la position du plateau U, on pouvait maintenir indéfiniment à zéro le potentiel du système isolé. On mettait alors le radium en place et on déterminait la vitesse du mouvement de l'aiguille de l'électromètre.

Par temps convenable, on n'a pas rencontré de difficultés provenant de perturbations électrostatiques. Il était toutefois nécessaire de se servir de la compensation pour la fuite d'isolement. On s'assurait toujours de l'isolement en maintenant le système au potentiel zéro, pendant un temps de beaucoup supérieur à celui que nécessitait une mesure. On considérait que l'absence de variations dues à des perturbations était suffisamment démontrée quand on obtenait à température constante des lectures s'accordant dans la limite des erreurs affectant la mesure d'une vitesse de déviation.

La première difficulté qui s'est présentée était analogue à la perturbation mentionnée plus haut, relative probablement à un changement de densité. On a trouvé que lorsque la température du gaz changeait, sauf quand ce changement avait lieu très lentement l'ionisation n'était pas constante et variait irrégulièrement. Puisqu'il n'y avait pas de variation quand la température restait presque constante, on a pensé qu'elle était due à quelque effet de convection dans le gaz, et on l'éliminait par un chauffage lent et soigneux, ou en faisant les observations à des températures constantes.

On a rencontré une seconde difficulté dans le fait de l'émission d'ions par les électrodes métalliques chauffées. On n'a pas pu éliminer complètement ce phénomène dans l'appareil employé pour ces recherches. On l'a cependant atténué en partie. On a trouvé que cette fuite par la chauffe¹ commence ordinairement vers 550° C environ, mais, par un chauffage prolongé et répété à des températures supérieures à cette valeur, la température à laquelle la fuite commençait à apparaître était reculée à environ 450° C. Au-dessus de cette température elle avait toujours lieu. C'est pour obvier à cet effet qu'on a introduit dans l'appareil la chambre auxiliaire A.

Pour mesurer l'ionisation dans ces conditions, on portait d'abord la température de la chambre C à une valeur aussi constante que possible. Le radium étant écarté, on modifiait la position du plateau d'oxyde d'urane jusqu'à ce que le système isolé demeurât au potentiel zéro pendant un temps au moins sept fois plus grand que celui nécessaire pour une lecture. Le radium était alors remis en place; on faisait la lecture et on s'assurait de nouveau de la compensation. Si celle-ci était suffisamment troublée pour affecter la mesure d'une erreur de plus de 0,1 pour 100, on rejetait l'observation.

Comme on sait, on atteint bientôt une température à laquelle cette fuite s'accroît très rapidement avec l'élévation de température. A 650° C environ, il devenait impossible de maintenir la température assez constante pour pouvoir compenser la fuite pendant un temps suffisant à la mesure de l'ionisation.

A des températures supérieures à 600° C le passage du gaz au travers de la chambre d'ionisation commençait à introduire une autre cause d'erreur. Ce fait seul était suffisant à limiter la série d'observations à des températures voisines de cette valeur.

Discussion des mesures. Résultats.

Les résultats de quelques-unes de ces observations sont indiqués dans les tableaux (page 112). La valeur de l'ionisation du gaz, représentée par la vitesse de

1. RICHARDSON, *Cambridge Phil. Soc. Proc.*, **41** (1902) 287.

déplacement de l'aiguille de l'électromètre, est exprimée en millimètres par seconde. On ne peut pas comparer la valeur de l'ionisation dans l'un quelconque de ces tableaux avec celle d'un autre tableau, la sensibilité de l'électromètre n'étant pas la même pour les différentes séries, même dans le cas d'un même gaz.

Les tableaux I, II et III sont relatifs à l'air. Les tableaux IV et V se rapportent à l'hydrogène. Les tableaux I, II et IV représentent seulement des mesures individuelles. Il n'a pas été possible d'expérimenter avec l'hydrogène à des températures aussi élevées que celles atteintes avec l'air parce que les effets de convection étaient dans ce cas beaucoup plus grands que dans l'air, et aussi parce que le récipient C n'était pas imperméable à l'hydrogène à une pression aussi élevée que dans le cas de l'air.

Comme on peut le voir sur ces tableaux, les mesures individuelles pour l'air sont constantes à moins d'environ 0,25 pour cent de la moyenne pour des températures atteignant environ 500° C. Pour l'hydrogène, le tableau IV témoigne à peu près de la même uniformité, mais les lectures n'ont été faites que jusqu'à environ 425° C. Quoique les mesures individuelles du tableau III ne soient pas si constantes, la moyenne des lectures à chaque température n'accuse un écart à la moyenne que d'environ 0,5 pour 100 jusque vers 615° C. Dans cette série, les mesures à la température la plus élevée sont susceptibles d'une légère correction relativement au passage de l'air au travers du récipient. Cette correction ou bien la difficulté de maintenir la température suffisamment constante expliquerait l'irrégularité des lectures à cette température.

En général les lectures s'accordent aussi bien que celles faites dans les mêmes conditions et en même temps sur le gaz à la température du laboratoire. Il en résulte que les mesures s'accordent aussi étroitement que la méthode d'observation pouvait le permettre, en supposant qu'il n'y ait aucune variation du tout.

Dans les tableaux I', II', III', IV' et V', on a comparé la valeur moyenne pour une échelle de température de 100° avec la moyenne obtenue pour un même écart de température à d'autres températures. Il faut remarquer que pour les températures plus élevées, la valeur moyenne est légèrement plus basse. Cela tient sans doute à la difficulté de maintenir la température suffisamment constante ou de la faire varier assez lentement pour éviter les perturbations dues aux courants de convection dans le gaz.

Résumé.

On a fait varier la température de la valeur de celle du laboratoire à celle d'environ 615° C. La température

I		II		III			IV		V		
Température.	Mesures.	Température.	Mesures.	Température.	Mesures.	Moyenne.	Température.	Mesures.	Température.	Mesures.	Moyenne.
22°	7,95	20°	7,77	21°	5,66	....	40°	6,55	13°	6,59	....
....	7,95	....	7,77	....	5,68	....	....	6,59	....	6,59	....
....	7,90	....	7,78	....	5,65	5,67	....	....	....	6,57	6,58
....	7,92	28	7,77	....	5,68	....	....	....	....	6,59	....
25	7,95	42	7,78	....	....	....	107	6,38	....	....	....
67	3	....	5	....	....	....	....	....	58	6,59	6,57
77	3	59	8	....	....	....	....	....	....	5	....
197	1	81	7	....	....	....	....	....	....	....	....
....	0	94	7	....	5,65	....	416	8	144	5	....
200	2	106	5	596°	6	5,66	....	....	....	8	8
....	3	197	8	....	66	....	....	....	....	5	....
270	0	228	5	....	5	....	....	....	217	7	....
285	2	251	7	442	4	5,64	....	....	....	5	6,55
298	0	275	8	....	3	....	198	8	....	7	....
509	2	302	5	....	....	....	....	....	....	9	....
518	1	511	8	....	....	....	....	....	....	....	....
526	2	525	5	486	5,72	....	....	....	314	5	....
554	2	552	9	....	5,67	5,69	566	7	....	7	....
567	0	559	7	....	7	....	....	....	....	7	6,57
438	2	598	5	515	2	....	....	....	....	7	....
467	1	424	8	....	9	5,66	402	7	545	7	6,58
475	1	441	8	....	7	....	....	7	....	9	....
491	4	466	5	....	....	....	....	7	....	....	....
....	....	497	3	615	5,47	....	....	....	415	6,45	....
....	....	515	7,62	....	5,80	5,65	429	6,55	....	6,27	6,55
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	6,27	....
Moyenne.				I'	II'	III'	IV'	V'			
De	0° à 100°	....	....	7,924	7,770	5,667	6,575	6,580	6,580	6,565	6,580
	100° à 200°	....	....	7,915	7,766	....	....	6,580	....	6,562	6,562
	200° à 500°	....	....	7,185	....	....	....	....	....	6,570	6,570
	500° à 400°	....	....	7,914	7,765	5,665	6,57	....	....	6,555	6,554
	400° à 500°	....	....	7,920	7,765	5,660	6,565	....	....	....	....
	500° à 600°	....	....	....	....	5,660	....	....	....	....	....

absolue et par conséquent l'énergie cinétique moyenne des molécules était accrue jusqu'à avoir trois fois sa valeur à la température du laboratoire. D'après la théorie cinétique on peut montrer qu'environ un pour 100 des molécules ont une énergie moyenne probable de quatre fois cette valeur moyenne. Il en résulte que l'énergie d'agitation de un pour 100 des molécules était probablement douze fois environ l'énergie moyenne correspondant à la température ambiante.

Les mesures ont été faites à peu près 500°C au-dessus de la température à laquelle les électrons commencent à être émis par les métaux chauffés. On a opéré à la fois avec de l'hydrogène et de l'air, ce dernier gaz fournissant un mélange désirable de gaz de poids moléculaires différents.

Les lectures individuelles étaient en général constantes à moins de 0,2 pour 100 de la moyenne. Dans les tableaux I', II', III' qui donnent les mesures

moyennes pour l'air, la plus grande variation est un peu supérieure à 0,1 pour 100.

L'ionisation de l'air par les rayons γ du radium est par conséquent indépendante de la température du gaz à moins de 0,2 pour 100 jusqu'à environ 600°C. Pour l'hydrogène on a montré la même indépendance pour des températures atteignant environ 450°C.

Une variation de plus de 200 pour 100 dans la température absolue d'un gaz n'affecte pas la stabilité de l'atome suffisamment pour changer l'ionisation de plus de 0,1 pour 100.

En terminant, l'auteur tient à exprimer ses remerciements pour leur assistance et leur encouragement au professeur Michelson et au personnel du laboratoire de physique Ryersen, et en particulier au professeur Millikan sur l'instigation duquel ces recherches ont été entreprises.

[Manuscrit reçu le 15 janvier 1911].

[Traduit de l'anglais par Gaston DAXNE].