Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 61 (1940-1941)

Heft: 254

Artikel: Contribution à l'étude de l'action biologique de l'air ionisé. Part 2, Observations de divers tests biologiques sur des animaux vivant dans des atmosphères différemment ionisées, en intensité et en signe

Autor: Joyet, Gustave / Mercier, Pierre

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-272984

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN DE LA SOCIETE VAUDOISE DES SCIENCES NATURELLES
Vol. 61 1940 N° 254

Contribution à l'étude de l'action biologique de l'air ionisé

Deuxième partie [1].

Observations de divers tests biologiques sur des animaux vivant dans des atmosphères différemment ionisées, en intensité et en signe.

PAR

GUSTAVE JOYET et PIERRE MERCIER

SOMMAIRE. — 12. MESURES NOUVELLES DES DENSITÉS IONIQUES. PETITS ET GROS IONS. — 13. SUJETS ET TESTS BIOLOGIQUES OBSERVÉS. — 14. EFFET DE L'AIR IONISÉ SUR LA TEMPÉRATURE. — 15. SENSIBILITÉ DES ANIMAUX A L'AIR IONISÉ. EXPÉRIENCE DES « CAGES COMMUNICANTES ». — 16. EFFET DE L'AIR IONISÉ SUR LA VITESSE DE SÉDIMENTATION DES HÉMATIES. — 17. ACTION SUR LE TAUX D'HÉMOGLOBINE. — 18. EFFET DE L'AIR IONISÉ SUR L'ACCROISSEMENT PONDÉRAL. — 19. ACTION DE L'AIR IONISÉ SUR LE DÉVELOPPEMENT DES TUMEURS GREFFÉES DE CANCER. — 20. POIDS RELATIFS DE QUELQUES ORGANES. — 21. PREMIÈRES CONCLUSIONS.

RÉSUMÉ

Utilisant une installation d'essais biologiques décrite antérieurement où des animaux peuvent être soumis en permanence à des atmosphères différant par l'intensité et le signe de l'ionisation, on met en évidence deux faits positifs: d'une part une « sensibilité » des animaux à l'intensité de l'ionisation — les animaux marquant

[1] Cf. Première partie, P. MERCIER et G. JOYET, *Arch. de Phys. Biol.*, XIII, 1936, N°s 3-4, p. 220. Nous nous excusons auprès du lecteur de ce que la maladie de l'un de nous, puis les circonstances politiques, aient retardé de plusieurs années la publication de cette seconde partie.

Nous exprimons notre gratitude à M. le prof A. Perrier d'une part, qui a mis fréquemment à notre disposition les moyens techniques de son Institut, à M. Rittener chef mécanicien d'autre part qui a consacré une part de ses loisirs à construire nos appareils les plus délicats.

M. le Dr J. Regamey a effectué sur nos animaux les greffes de Cancer et les prises de sang de sédimentation. Nous l'en remercions.

une préférence pour une atmosphère surionisée —, d'autre part un accroissement pondéral plus rapide (jusqu'à 10 %) dans une atmosphère unipolaire négative en ions légers.

L'intensité ou le signe de l'ionisation n'ont pas d'action sur la température, sur les valeurs permanentes de la vitesse de sédimentation des hématies et du taux d'hémoglobine du sang, ni ne préparent un « terrain » de l'animal qui retarderait ou accélèrerait le développement en volume ou en poids des greffes de cancer. On n'observe pas non plus de développement pondéral anormal de la rate, du cœur et des testicules.

***

Dans la première partie de cette étude — qui en était plus particulièrement la partie physique — nous avons décrit un dispositif expérimental comportant des courants d'air lents et permanents où l'ionisation variait en intensité et en signe, et destiné à recevoir des petits animaux sur lesquels des observations biologiques devaient être faites. Nous apportons dans cette seconde partie, les résultats des premiers tests biologiques observés sur les sujets qui ont vécu d'une façon continue, durant plusieurs mois, dans ces différentes atmosphères. Mais avant de passer à cet examen, nous devons auparavant, d'une part, compléter les indications que nous avions données sur les densités ioniques de nos courants d'air par les résultats de mesures nouvelles, effectuées avec des méthodes différentes et indiquer d'autre part quelques modifications qui ont été apportées à notre installation.

12. Mesures nouvelles des densités ioniques. Petits et gros ions.

Pour pouvoir effectuer le contrôle des densités ioniques indifféremment en l'absence ou en présence des animaux qui chargent l'air d'humidité et de vapeurs organiques, nous avons été conduits, après des tâtonnements assez longs, à construire un troisième dispositif de mesure où les isolants sont soigneusement protégés. Ce troisième dispositif — qui n'est toujours qu'une application de la méthode dite du « courant gazeux » — permet le dénombrement non seulement des ions légers, mais encore des ions lourds. Les recherches effectuées pour le mettre au point nous ont conduits à une étude critique [1] de la

[1] L'un de nous publiera ailleurs cette étude qui sortirait du cadre du présent travail.

méthode du courant gazeux d'où il ressort que celle-ci, dans ses différentes réalisations, peut comporter des erreurs systématiques importantes. Notre premier dispositif de mesure (§ 7 [1]), en particulier, n'a pas échappé à ces erreurs: des essais combinés nous ont montré que l'armature intérieure 2, figure 3, ne captait pas seulement les ions légers situés à l'intérieur du cylindre *1* — comme le calcul de la densité le supposait — mais

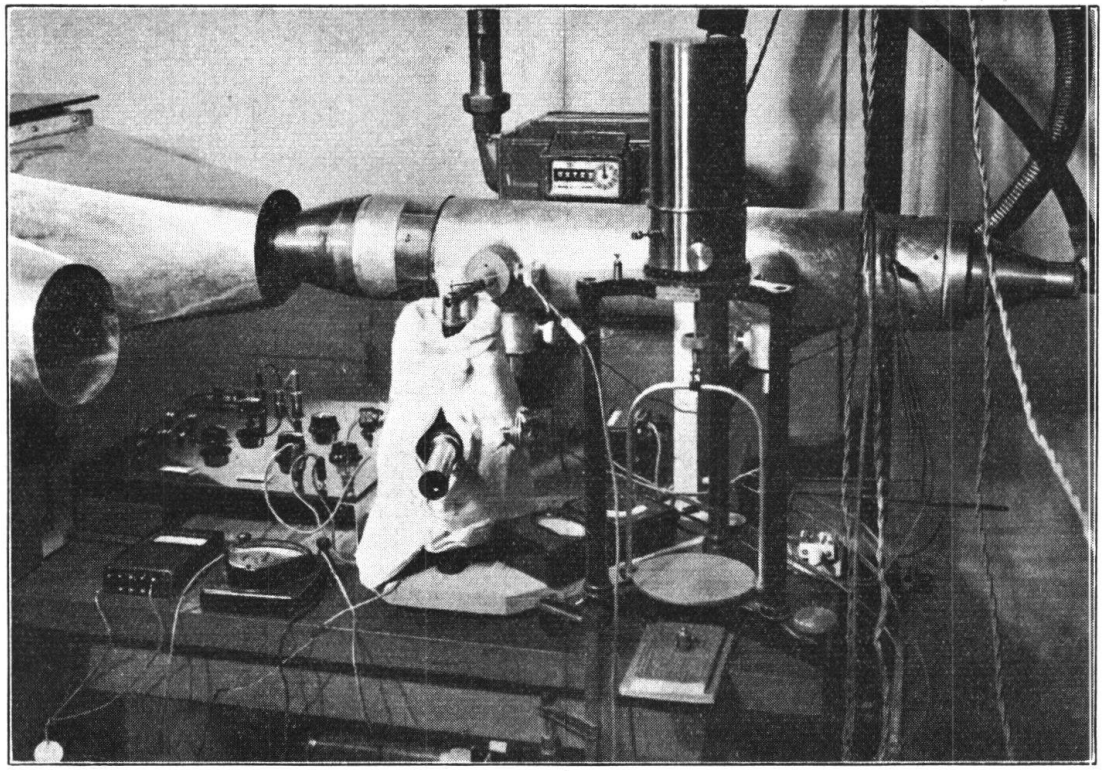

FIG. 11. — *Troisième dispositif de mesure des densités ioniques (G Joyet), pour la mesure des ions lourds et des ions légers.* Champs électriques parasites supprimés. Courant ionique compensé par un quartz piézo-électrique.

qu'elle attirait encore des ions situés hors de ce cylindre, par l'action du champ électrique parasite qui s'établissait entre l'ergot et les pièces à la terre situées hors du cylindre. C'est dire que les croisées de fils placées aux deux extrémités de ce cylindre n'annulaient pas ce champ parasite extérieur comme nous l'avions supposé.

Il résulte de ceci que le volume d'air dont les ions étaient captés au cours d'une mesure était beaucoup plus considérable que celui que nous avions évalué en ne considérant que le débit au travers du condensateur. Il a suivi de là une estimation

fortement erronée par excès des densités, l'erreur étant surtout élevée pour les grandes densités de plusieurs milliers d'ions par centimètre cube.

Le troisième dispositif de mesure, mis au point par l'un de nous, figure 11, est complètement blindé et dépourvu de tout champ électrique extérieur. Il forme un bloc cylindrique de 70 cm de longueur et de 12 cm de diamètre qui contient

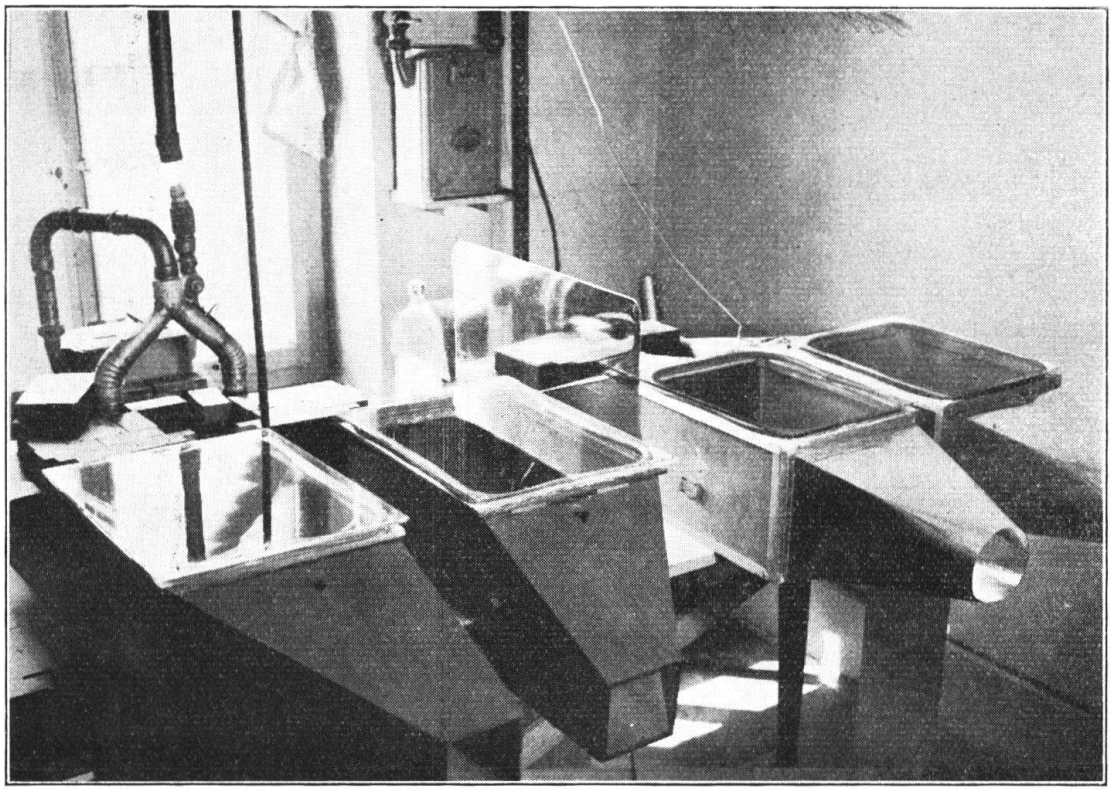

FIG. 12. — *Nouvelle installation de courants d'air différemment ionisés.* A gauche, les atmosphères normale et surionisée ; à droite, les atmosphères unipolaires positive et négative

un long cylindre métallique isolé relié à l'électromètre. Deux cylindres concentriques, extérieur et intérieur au premier, peuvent être chargés de 1 à 400 V. Ils repoussent sur le cylindre isolé les petits ou les gros ions. Les champs extérieurs sont supprimés, d'une part par une série d'anneaux circulaires portés à des potentiels décroissants et placés à l'amont du condensateur cylindrique, d'autre part par une grille à brins fins que porte le cylindre isolé, et enfin par le blindage extérieur.

Au cours d'une mesure, le système isolé reste constamment au potentiel zéro, le courant ionique positif ou négatif étant

compensé par les charges développées par la traction ou la détente d'une lame de quartz piézo-électrique chargée ou déchargée par des poids étalonnés. Un compteur à gaz, placé à l'aval du condensateur de mesure, indique le volume d'air qui passe pendant que l'on tend ou détend progressivement le quartz d'un nombre déterminé de grammes. L'air analysé est capté immédiatement derrière la grille aval de chaque cage d'animaux. L'aspiration s'effectue par une trompe à eau ou mieux, par une soufflante-aspirante à moteur électrique adossé.

Après une première série d'observations biologiques que nous relatons plus loin, nous avons transformé et amélioré l'installation en plaçant un compteur à gaz en permanence en amont des chambres d'ionisation de chaque paire de cages pour permettre un réglage et une mesure plus précis des débits d'air; les chambres de séparation des ions ont été agrandies (distance des grilles 44 cm) et leurs extrémités pyramidales de bois remplacées par des troncs de cône d'aluminium en contact métallique avec les grilles de séparation. La figure 12 montre cette installation modifiée.

La mesure des densités ioniques avec le troisième dispositif de mesure nous réservait quelques surprises; non seulement les densités des petits ions étaient plus faibles en raison de la cause d'erreur signalée plus haut, mais la mesure des gros ions nous a montré que chaque cage en contenait plusieurs milliers par centimètre cube, et des deux signes, alors que nous pensions les avoir éliminés de nos atmosphères par les tampons filtrants placés dans les canalisations d'amenée. La séparation des petits ions, par contre, s'effectuait normalement, et nous avons pu tracer de nouvelles courbes de séparation analogues à celles données dans la première partie de cette étude (fig. 6 et 7). Les résultats de ces mesures sont donnés dans les tableaux ci-dessous.

Dans les *atmosphères unipolaires*, on remarquera la bonne séparation des *ions légers*; si ceux-ci sont en densité faible, il faut cependant observer que la mesure indique une limite inférieure de la densité exacte, une partie des ions se déposant probablement à l'entrée du tube métallique de 60 mm de diamètre par lequel on aspire les ions au travers d'un orifice pratiqué dans la grille métallique aval. Ce sont les lignes de force du champ électrique séparateur qui aboutissent à l'entrée de ce tube qui entraînent et détournent des ions de leur voie normale en les empêchant de parvenir au condensateur de mesure. De telles erreurs sont inévitables lorsqu'on effectue des mesures en présence d'un champ électrique. On ne peut d'autre

Atmosphères « unipolaires ».

Atmosphère	Vitesse d'air cm/sec	Tension de séparation par chambre V	Distance des grilles cm	Champ V/cm	Ions légers par cm³	Ions lourds par cm³	Ions totaux par cm³	Signe des ions	Observations
Négative (ancienne installation)	1,5	78	26	3,0	0 2500 à 6000	0 (?) 500 à 4000	0 (?) 6000 à 7000	+ —	Sans animaux
Positive (installation modifiée)	1,2	149	44	3,4	1500 à 2000 à 2500 0	0 à 1000 6000 à 8000 à 10000	1500 à 2000 à 2500 6000 à 8000 à 10000	+ —	Sans animaux
					1500 à 2000 à 2500 0	1000 à 2000 7000 à 8500 à 10500	2500 à 3000 à 3500 7000 à 8500 10500	+ —	Avec animaux
Négative (installation modifiée)	1,2	95	44	2,2	0 700 à 1500	2000 à 2500 5500 à 6000 à 7000	2000 à 2500 6500 à 7000 à 7500	+ —	Avec animaux

part pas tenir compte des mesures effectuées au delà et à une certaine distance de la grille aval, cette grille elle-même captant, comme nous l'avons mesuré, le tiers environ des ions légers. Les *ions lourds* ne sont pas séparés par le champ électrique en raison de leur faible mobilité. Ils se trouvent en densités aussi élevées, ou même plus élevées que celles des ions légers. On remarquera enfin la forte prédominance des

ions lourds négatifs. Comme l'air peut être considéré comme débarrassé de ses ions [1] à son arrivée dans les chambres d'ionisation, on peut conclure que les ions lourds ont le temps de se reformer durant le trajet de l'air ionisé allant de ces chambres au condensateur de mesure. Or, ce temps est de 24-25 sec dans la première installation et de 52-55 sec dans l'installation modifiée (avec un débit de 1 l/sec par cage). Les observations montrent que les densités croissent avec ce temps, pour les ions lourds positifs ou négatifs, les ions lourds négatifs se formant plus rapidement que les positifs. Ce dernier fait est peut-être dû à la grande électro-affinité de la vapeur d'eau et de l'oxygène pour l'électron [2].

Il résulte de ces mesures que nos atmosphères à « ions séparés » sont bien unipolaires relativement aux ions légers, mais qu'elles ne le sont plus si l'on considère les ions lourds. Quant à la charge totale, elle est négative avec une prédominance d'environ 5000 ions totaux négatifs dans les deux atmosphères positive et négative. Il faudra tenir compte de cette ambiguité dans l'interprétation des résultats biologiques.

Dans les *atmosphères bipolaires*, on trouve aussi passablement de gros ions, avec une prédominance des gros ions négatifs dans l'atmosphère artificiellement surionisée. La charge totale est nulle dans les deux atmosphères. Telles quelles, les deux atmosphères réalisent bien la surionisation et l'atmosphère normale en ions légers que nous désirions.

La sensibilité du troisième dispositif de mesure n'était pas suffisante pour que nous puissions effectuer des mesures dans la cinquième cage aux « ions rares », mais la sous-ionisation de celle-ci n'en est pas moins certaine.

En résumé, le dessein d'obtenir une installation où l'ionisation de l'air en ions légers varie en intensité et en signe n'a été qu'imparfaitement réalisé par suite de la présence des ions lourds révélée par ces dernières mesures. Pourtant, dans les atmosphères bipolaires, comme ce sont essentiellement les densités en ions légers qui varient de 1 à 10 et 100 fois environ d'une atmosphère à l'autre, il semble que c'est au rôle de la densité de ces ions-là que se rapporteront les phénomènes biologiques observés, les ions lourds variant dans une mesure

[1] Nous avons vérifié séparément que les tampons de gaze d'épaisseur suffisante absorbent entièrement les ions légers et la majeure partie des ions lourds.

[2] Il y aurait lieu, semble-t-il, de faire une étude physique spéciale, avec une technique plus précise, sur la vitesse de formation et la constitution des ions lourds dans l'air.

bien moindre [1]. Dans les atmosphères unipolaires, les ions lourds positifs, et respectivement négatifs, ont des densités de même ordre de grandeur dans les deux atmosphères; il en est de même pour la charge totale négative (de 4500 à 5500 ions/cm³); dès lors, ce sera le signe des ions légers ou la charge totale négative qui interviendront biologiquement lorsqu'on passera d'une atmosphère à l'autre et aux témoins.

Les mesures effectuées sur l'atmosphère positive montrent que la présence ou l'absence des animaux ne modifient pas nettement la répartition des densités.

Atmosphères « bipolaires ».

Atmosphère	Vitesse d'air cm/sec	Température	Humidité relative	Ions légers par cm³	Ions lourds par cm³	Ions totaux par cm³	Signe des ions	Observations
Bipolaire surionisée *1 mg. Ra*	1,2	19° C	63 %	8000 à 9000	0 à 1000	8000 à 9000	+	Avec animaux
				4500	3500 à 4500	8000 à 9000	—	
Bipolaire normale	1,2	24° C	67 à 74 %	200 à 600	3000 à 6000	3500 à 7000	+	Avec animaux
				200 à 600	2000 à 6000	3000 à 7000	—	

13. Sujets et tests biologiques observés.

L'air ionisé n'ayant pas sur les animaux des effets macroscopiques évidents et son mode d'action n'étant pas encore démontré dans une expérience précise de chimie-physique par exemple, nous avons dû, pour prospecter le terrain, opérer des examens de tests multiples et très généraux, sur un nombre suffisant de sujets. Nous avons généralement utilisé des jeunes souris blanches mâles non sélectionnées et bien mé-

[1] Les variations de quelques milliers d'ions observées dans les densités en ions lourds lors des mesures sont attribuables aux poussières plus ou moins denses soulevées par l'activité variable des animaux. Sur un très grand nombre de mesures, ces fluctuations s'établiraient autour d'une moyenne fixe.

langées de l'élevage du Centre anticancéreux romand. On en peut grouper aisément trois douzaines (deux douzaines dans les chambres à ions séparés plus restreintes de l'ancienne installation) dans chacune des atmosphères où elles vivent d'une manière tout à fait normale [1].

Les différents tests ont été observés le matin, lorsque les animaux sont à jeun depuis la veille. Ces tests sont:

la *température rectale,*
la *vitesse de sédimentation des hématies,*
le *taux d'hémoglobine du sang,*
l'*accroissement pondéral,*
les *poids relatifs* de quelques *organes,* testicules, cœur, rate,
l'évolution en volume et en poids des *greffes de cancer* portées par des animaux greffés,

enfin, une série d'expériences dites des « *cages communicantes* » ont été instaurées pour tenter de mettre en évidence une *sensibilité* de l'animal aux différents types d'ionisations: positive ou négative, surionisée ou normale.

Un premier examen montre que les animaux supportent *toutes* les atmosphères, malgré les différences considérables de leurs ionisations et sans en être apparemment incommodés. Ils mangent, dorment et croissent normalement au cours des mois durant lesquels ils sont soumis à ce régime et durant lesquels ils sont régulièrement observés. Pendant les dix premiers jours, le seul phénomène apparent est un état anormal du pelage des animaux soumis à l'atmosphère positive. Les poils sont hérissés et collés par touffes comme après de fortes sueurs. Mais la même observation sera faite par intermittence, et pourtant dans une mesure moindre, sur les animaux des atmosphères bipolaires sur-ionisée et sous-ionisée.

Remarquons qu'aucun de nos tests biologiques ne coïncide avec ceux observés sur l'homme par Dessauer et ses collaborateurs avec des ions également différents des nôtres. P. Happel (2) a mesuré sur l'homme la pression sanguine, la fréquence du pouls et de la respiration, quelques réactions psycho-physiques, la consommation d'oxygène et noté des effets généraux tels que fatigue, malaise, vertige ou leurs contraires. J. Strasburger et P. Happel (3) ont complété ces expériences par des essais nombreux sur des malades.

[1] Elles reçoivent une fois par jour du pain à satiété imbibé d'eau et parfois de lait, et une portion pesée (proportionnelle au nombre de sujets) de graine d'avoine et de blé ; deux fois par semaine un peu de salade.

Tchijevsky et ses collaborateurs, qui ont commencé leurs travaux en 1919 déjà, ont observé non seulement la plupart des tests indiqués ci-dessus, mais encore un grand nombre d'autres tels que la chronaxie, les échanges gazeux dans la respiration, le pH et la viscosité du sang, la formule sanguine, etc. (23, p. 32). Dans la majeure partie des cas, ils signalent une modification par l'air ionisé du test observé.

***

L'observation de la vitesse de sédimentation — qui nécessite la section d'un court tronçon de la queue — étant faite sur les animaux dont on mesure simultanément l'accroissement pondéral, il était indiqué de chercher, dans une expérience préliminaire, l'influence de cette opération sur le poids des animaux. Cette épreuve a été effectuée sur quatre groupes de 19 à 22 jeunes souris mâles ayant 16 gr. en moyenne au moment des prises de sang. Le résultat est que ces prises de sang (de 15 mm^3) diminuent un peu le taux d'accroissement pondéral pendant quelques jours. La perte de poids, relativement aux témoins, atteint 6 % 2 à 3 jours après la prise de sang. Les animaux ont retrouvé leur poids normal par rapport aux témoins deux semaines après l'opération.

Nous avons également cherché à mettre en évidence l'effet de la prise de sang de sédimentation sur la température en opérant sur trois groupes d'une vingtaine d'animaux. Cette prise ne modifie pas sensiblement la température moyenne des groupes. Nous avons mesuré sur deux groupes une élévation moyenne de 0°5 C de 0 à 1 jour après la prise de sang. Cette élévation est de l'ordre de grandeur des fluctuations de la température moyenne que l'on observe d'un jour à l'autre sur un même groupe d'individus. Dix jours après la prise de sang, la température est redevenue tout à fait normale.

La prise de sang de sédimentation des globules rouges n'apporte donc qu'une perturbation insignifiante à l'état général de la souris, et cette perturbation est effacée au bout d'une quinzaine de jours.

Dans l'analyse qui suit des résultats des différents tests observés sur les animaux soumis à l'ionisation artificielle, nous séparerons chaque fois les expériences en deux groupes. Le premier groupe, qui comportera les expériences effectuées sur les animaux exposés aux deux atmosphères unipolaires et leurs témoins, mettra en évidence *l'effet de signe* des ions légers. Le second groupe, formé des atmosphères

bipolaires sous-ionisée, normale, surionisée et de leurs témoins, mettra en évidence *l'effet d'intensité* de l'ionisation bipolaire en ions légers.

14. Effet de l'air ionisé sur la température.

La température rectale est mesurée à l'aide d'un thermomètre à couple thermo-électrique (4), l'animal étant sorti de sa cage et immobilisé pendant une minute environ. Pour obtenir des résultats significatifs, il est indispensable de prendre quelques précautions: éviter l'agitation des animaux qui élève leur température et noter la température ambiante des cages dont celle-ci dépend; de 15 à 25° C la température rectale des souris croît de $^1/_{10}$° C en moyenne par degré centigrade de température ambiante (5). C'est en tenant compte de cette loi, dans les tableaux qui suivent, que nous avons ramené à une température ambiante commune les observations issues de cages dont les températures différaient parfois de quelques degrés.

Effet de l'air ionisé sur la température.
(1re expérience).

	Charge de l'air	Nombre d'animaux	Températures moyennes: AVANT la mise en cage	APRÈS la mise en cage: Quelques heures	3 à 4 jours	8 jours	Moyenne	Elévation moyenne °C
Effet de signe	Atmosphère positive	20	35,7	35,9	36,5	36,6	36,3	0,6
	Atmosphère négative	20	35,0	35,9	36,2	36,8	36,3	1,3
Effet de l'intensité de l'ionisation	Atmosphère surionisée bipolaire	30	35,7	36,5	37,0	37,0	36,9	1,1
	Atmosphère normale	30	36,2	37,6	—	—	37,6	1,4
	Atmosphère sous-ionisée	30	36,3	37,2	—	—	37,2	0,9
	Témoins	30	35,4	—	37,1	37,3	37,2	1,8

Températures moyennes, ramenées à 25° C de température ambiante.

Dans une première expérience, dont le tableau ci-dessus rend compte, la température rectale est mesurée immédiatement avant l'introduction des animaux dans les différentes atmosphères ionisées, puis, quelques heures après, et enfin 3 à 4 jours et 8 jours après leur exposition continue aux atmosphères artificielles.

L'examen de ce tableau montre tout d'abord que toutes les valeurs indiquées sont des valeurs *normales*; ce sont couramment les valeurs moyennes que l'on trouve lorsqu'on mesure les températures de groupes différents d'animaux placés dans des conditions analogues. Pour toutes les atmosphères y compris les témoins, il y a une augmentation systématique de température après la mise en cage due sans doute au fait que les premières températures avaient été abaissées par des conditions passagères peu favorables aux animaux (récipients de verre avec fond de paille). En ce qui concerne « l'effet de signe », il n'y a pas de différence notable entre les ions légers positifs et négatifs, sinon une augmentation de température en moyenne deux fois plus forte pour les ions négatifs. Mais cette augmentation se retrouve dans l'atmosphère normale et chez les témoins. Elle n'est donc pas significative. Dans le groupe d'atmosphères à ionisation bipolaire, on ne réussit pas non plus à mettre en évidence un effet systématique, soit que l'on compare les températures mêmes entre elles, soit que l'on compare leurs élévations respectives. Si l'on compare encore l'ensemble des températures du groupe « unipolaire » à celles du groupe « bipolaire », on remarque que les secondes sont toujours un peu plus élevées à une même époque que les premières. On pourrait attribuer cela à la présence de la charge totale négative présente dans le premier groupe, absente du second; mais l'expérience suivante n'a pas confirmé ce résultat.

Dans cette seconde expérience, deux groupes de souris se trouvent depuis plusieurs semaines dans les deux cages unipolaires dépourvues d'ionisation artificielle (Radium enlevé)[1] lorsqu'on mesure leur température. On rétablit ensuite l'ionisation sans toucher aux animaux et l'on effectue les mêmes séries de mesures que précédemment. Cette manière de procéder évite les perturbations que peut entraîner un changement de cage. Les résultats sont les suivants:

[1] Leur ionisation est alors celle de «l'atmosphère normale».

Effet de l'air ionisé unipolaire sur la température.
(2me expérience.)

	Atm. négative	Atm. positive
Nombre d'animaux	19	19
Température normale moyenne avant l'ionisation artificielle	36,0	36,1
Température moyenne 5 h. après l'établissement de l'ionisation	36,5	36,1
Trois jours après	36,2 [1]	35,7 [1]
Neuf jours après	36,6	36,6

Températures ramenées à 23°5 C de température ambiante.

L'atmosphère négative provoque de nouveau une augmentation immédiate d'un demi-degré de la température, mais cette augmentation est de l'ordre de grandeur des fluctuations observées. Elle n'est donc pas certaine. Quant à la diminution de température due à la charge négative totale des deux atmosphères, on voit qu'elle ne se confirme pas, le phénomène ayant plutôt ici le sens inverse d'une augmentation de température.

15. Sensibilité des animaux a l'air ionisé. Expérience des « cages communicantes ».

Cette expérience a pour but de montrer si un animal est à même de percevoir une différence d'intensité ou de signe de l'ionisation de l'air entre deux atmosphères électriquement différentes. Il s'agit de savoir si l'ionisation est vraiment — comme on l'a souvent prétendu sans en apporter une preuve expérimentale — l'un des facteurs de la « sensibilité au temps ». Si des densités ioniques bipolaires différentes ou des prédominances de l'un ou l'autre des ions positifs ou négatifs sont susceptibles d'entraîner les sentiments de bien-être ou de malaise, de fraîcheur ou de fatigue que l'on a souvent signalés, il semble, que les animaux qui les éprouveront choisiront pour leur lieu d'installation l'atmosphère qui leur est le plus favorable si on leur donne la possibilité de le faire.

Nous avons pour cela établi une communication (sous la forme d'un tube de verre de 3,6 cm de diamètre placé à l'aval)

[1] Les souris étant à jeun depuis l'avant-veille, ces températures doivent être un peu abaissées et ne sont par là comparables qu'entre elles.

entre les deux cages unipolaires d'une part et les deux cages normale et surionisée d'autre part. Dans chaque paire de cages, les animaux peuvent ainsi passer librement d'une atmosphère à l'autre et s'installer dans celle qui leur convient le mieux. Les vitesses d'air, températures et humidité de l'air [1] sont les mêmes dans chaque couple de cages qui sont donc deux à deux physiquement identiques à l'ionisation près. Il en est sensiblement de même pour la disposition des cages dans la salle et relativement à l'éclairement. Si des dissymé-

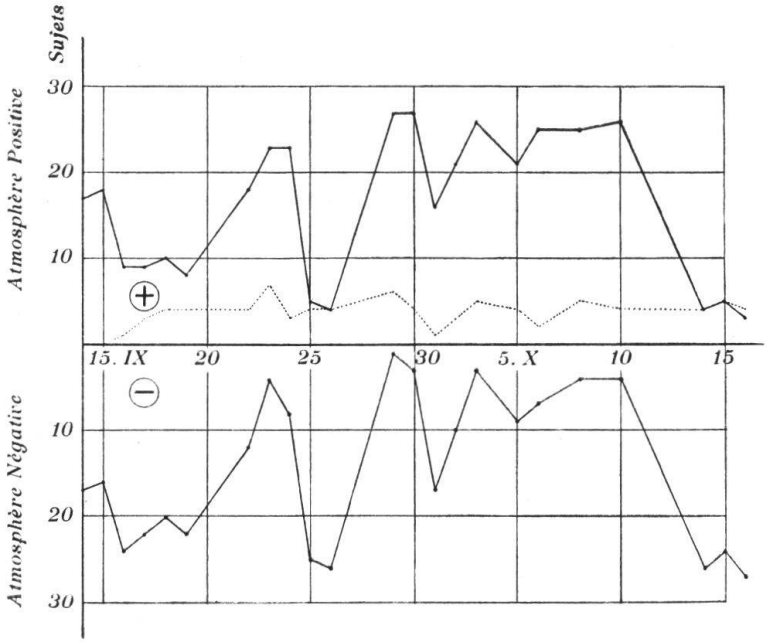

FIG. 13. — *Sensibilité au signe des ions légers*, Répartition des animaux dans les cages unipolaires positive et négative mises en communication.

tries inconnues subsistaient, l'interversion de la polarité des ions passant dans les cages unipolaires (par l'inversion du signe des champs électriques) ou le déplacement du Radium d'une chambre d'ionisation à l'autre dans le groupe de cages bipolaires permettraient d'en marquer l'influence.

Des animaux étant répartis en nombres égaux dans chacune des cages au début de l'expérience, on observe, au cours du temps, comment ils se répartissent dans les différentes cages en les dénombrant le matin quand ils sont encore endormis.

Groupe unipolaire. 17 souris mâles adultes provenant directement de l'élevage sont placées dans chacune des cages au

[1] La température et l'humidité ne commencent à différer d'une cage à l'autre que lorsque les animaux s'y répartissent en nombres inégaux.

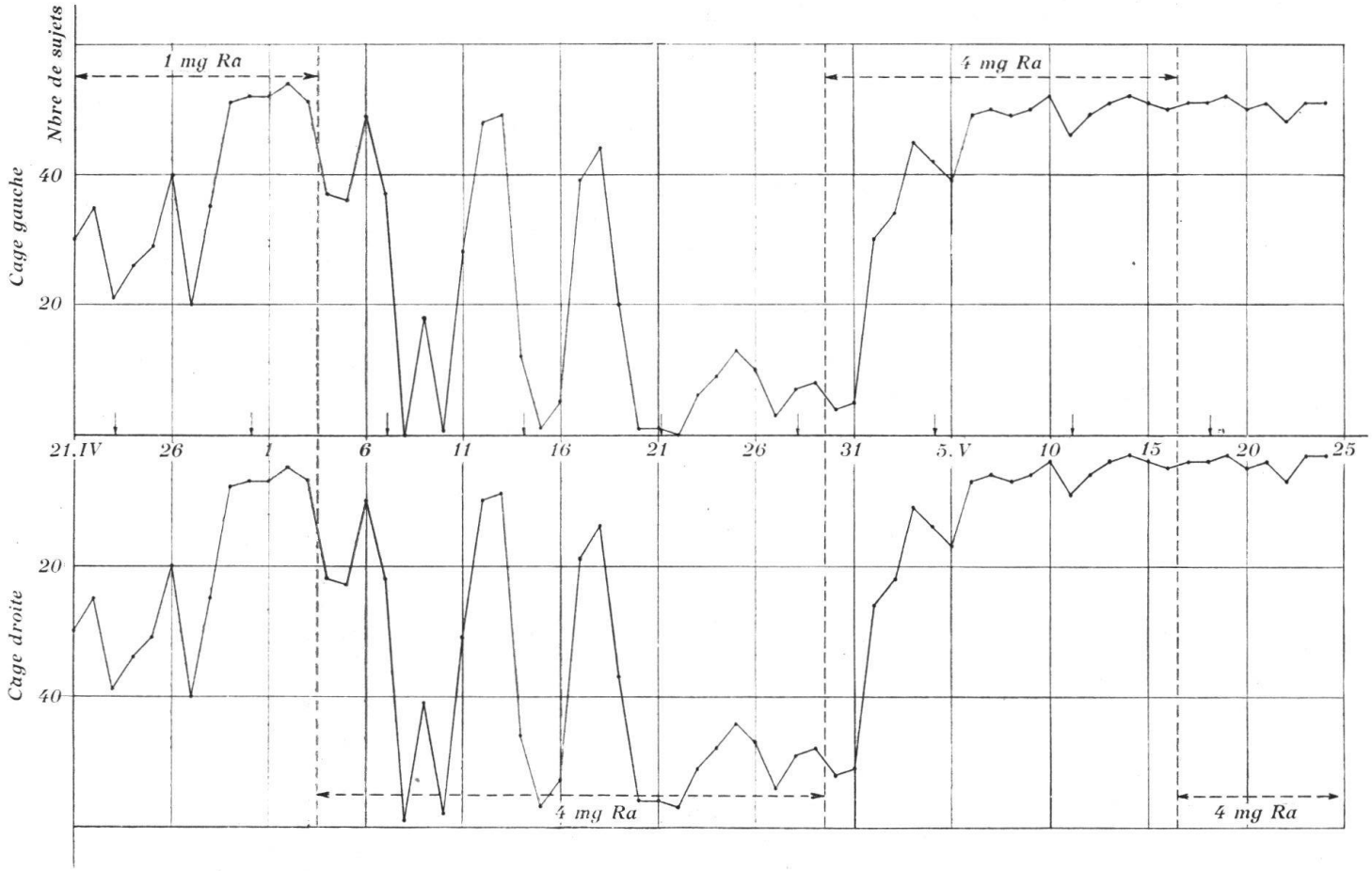

FIG. 14. — *Sensibilité à l'intensité de l'ionisation bipolaire.* 1re expérience. Répartition des animaux dans les cages «normale» et «surionisée», mises en communication. (Les flèches verticales indiquent les nettoyages des cages).

début de l'expérience. La figure 13 montre leur répartition au cours du temps. Elles s'installent en prédominance dans la cage négative durant les cinq premiers jours, puis font une incursion dans la cage positive, reviennent à la cage négative, puis au bout d'une quinzaine paraissent s'installer définitivement dans la cage positive; mais, après une dizaine de jours, elles reviennent encore à la cage négative. Au total, après un mois d'expérience, elles ne marquent pas de préférence pour l'une ou l'autre des atmosphères. (La ligne en pointillé indique le nombre d'animaux restés dans le tube de communication.)

On peut conclure de cette expérience qu'aux densités ioniques indiquées (qui ne sont qu'un peu plus fortes que celles que l'on rencontre habituellement dans l'atmosphère), *les animaux ne présentent pas de sensibilité au signe des ions légers.*

Groupe bipolaire. Au début de la première expérience, les cages normale et surionisée ont les teneurs en ions indiquées au § 12. Puis, au cours de l'expérience, pour obtenir une surionisation plus forte, on remplace le tube ionisant de 1 mg de Radium, par plusieurs tubes ayant au total 4 mg, pour produire l'atmosphère surionisée. La teneur en ions de cette atmosphère est alors la suivante:

	Positifs	Négatifs
Ions légers	7000	4500
Ions lourds	2- 3000	4500- 5500
Ions totaux	9-10000	9000-10000

par cm^3.

1re expérience. La fig. 14 en rend compte. Après 7 jours d'hésitations, les 60 souris mâles adultes mises en expérience s'installent pour la plupart dans la cage de gauche qui est surionisée (1 mg Ra). Après 5 jours d'observation durant lesquels la situation reste inchangée, on retire le Radium de la chambre d'ionisation de gauche, et l'on surionise l'atmosphère de droite avec 4 mg de Ra, ceci sans toucher aux animaux. Ceux-ci se mettent alors à émigrer en partie de la cage de gauche, puis à hésiter assez longtemps entre les deux atmosphères, sans jamais rester plus de 2 à 3 jours dans l'atmosphère normale. Au bout de 16 jours d'hésitations, ils finissent par se fixer derechef dans l'atmosphère surionisée où on les observe de nouveau une dizaine de jours. On change alors les 4 mg de Radium de chambre d'ionisation, changement suivi

3 jours plus tard par l'émigration des animaux qui s'installent ainsi pour la troisième fois dans l'air surionisé. Mais, après un intervalle de temps assez long, un nouveau transfert de l'agent ionisant n'est plus suivi par la migration des souris. Cet unique échec est dû soit au fait que les animaux,

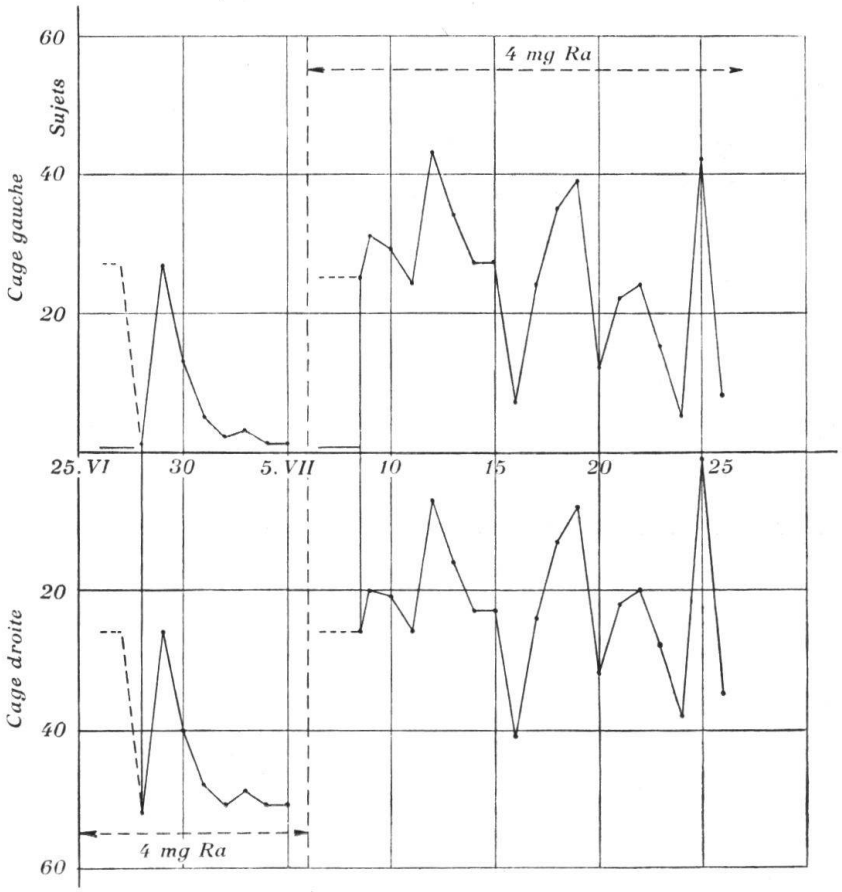

FIG. 15. — *Sensibilité à l'intensité de l'ionisation bipolaire.* 2e et 3e expériences.

alors très bien installés dans la cage de gauche, ne vont à peu près plus dans la cage de droite et ne peuvent donc plus percevoir la différence des deux atmosphères, soit que la sensibilité à l'air ionisé étant faible, la disparition de la surionisation ne les inquiète pas assez pour rompre un long attachement à leur habitat.

2me et 3me expériences. Dans celles-ci, on procède un peu différemment en prenant au début de chaque expérience de nouveaux animaux provenant de l'élevage. Ce sont 53 jeunes souris femelles de 2 mois dans la 2me expérience, et dans la 3me 51 souris femelles comprenant une dizaine d'adultes et des sujets très jeunes de 4 à 6 semaines. Les animaux sont

de nouveau répartis également dans les deux cages, mais la communication reste fermée pendant les deux premiers jours. (Les cages sont naturellement soigneusement nettoyées et aérées entre deux expériences et la surionisation permutée.) Dans la deuxième expérience, les animaux choisissent et s'installent de nouveau au bout de trois jours dans l'air surionisé (fig. 15). Dans la 3me expérience, contrairement à ce qui se produit d'ordinaire, aucun choix définitif ne s'effectue; la mortalité est grande (8 sujets), et les animaux restent nerveux et effrayés jusqu'à la fin de l'expérience. Cela tient peut-être à la trop grande jeunesse de la plupart d'entre eux.

En résumé, dans six épreuves successives, les animaux se sont installés quatre fois dans l'air surionisé, une fois ils n'ont choisi aucune atmosphère et une fois ils n'ont pas suivi le changement d'ionisation pour les raisons probables que nous avons indiquées. Pour évaluer le rôle du hasard dans nos résultats, on peut assimiler une telle expérience à 5 parties successives du jeu de pile ou face dont 4 seraient favorables et 1 défavorable. On sait que la probabilité pour que le hasard amène un tel événement est:

$$\frac{5!}{1!\,(5-1)!} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{5}{32}$$

c'est-à-dire que la loi suivant laquelle les animaux marqueraient une préférence pour l'air surionisé serait établie par nos expériences avec une probabilité de

$$\left(1 - \frac{5}{32}\right) = \frac{27}{32}\,.$$

***

Si cette préférence se confirmait, on n'en pourrait cependant pas conclure d'emblée à une action des *ions* de l'air sur l'organisme. Car l'air ionisé ne contient pas que des ions, mais encore des corps chimiques en très faible concentration engendrés simultanément par le processus d'ionisation (Meyer und Schweidler (6). L'air ionisé diffère un peu chimiquement de l'air non ionisé, et cette différence croît avec l'intensité de l'ionisation. Dans notre cas, l'ionisation, comme son action chimique sur l'air, sont dues en majeure partie aux rayons β, les rayons γ n'ionisant que faiblement sur un petit parcours, et les rayons α étant entièrement arrêtés par les parois du

tube de verre qui contient la préparation de Radium. Or, l'action chimique des rayons β sur l'air est si faible, qu'elle est impossible ordinairement à analyser par voie chimique (un faisceau intense de rayons de LENARD — électrons — en tombant sur de l'oxygène, produit pourtant suffisamment d'ozone pour qu'on puisse le déceler par son spectre d'absorption). C'est en considérant divers travaux relatifs à l'action chimique des trois rayonnements α, β, et γ sur différents corps gazeux ou liquides que l'on se rendra compte de l'importance des réactions dues aux β et γ dans l'air.

Selon WOURZEL (7, 8), les rayons α décomposent la vapeur d'eau, l'anhydride carbonique, le gaz ammoniac et forment de l'ozone à partir de l'oxygène. Si l'on forme le rapport $\frac{M}{N}$ entre le nombre de molécules décomposées ou engendrées et le nombre de paires d'ions produits par l'ionisation, on trouve un nombre généralement différent de 1, mais l'ordre de grandeur de M et de N est pourtant le même. KRÜGER et UTESCH (9, 10) forment de l'ozone en dirigeant par une fenêtre de Lenard un faisceau cathodique sur de l'oxygène. Ils trouvent pour le rapport $\frac{M}{N}$ une valeur un peu élevée de 10 à 40.

Dans les conclusions de son ouvrage, LIND (11) observe, d'une part, que dans la majorité des cas le rapport $\frac{M}{N}$ varie de 1 à 20, et que d'autre part la valeur de ce rapport est la même pour une réaction donnée, que les ions soient produits par des rayons α, β ou γ. En cherchant l'action chimique des rayons β et γ du radium sur quelques vapeurs, ERRERA et HENRI (12) trouvent, en particulier, que dans un mélange de benzène et d'air ou d'oxygène, il se forme du phénol, et que le nombre de molécules formées est au moins 60 fois supérieur au nombre d'ions produits.

Suivant ces divers travaux, il semble que dans l'air il puisse apparaître les réactions suivantes:

$3\,O_2 \rightarrow 2\,O_3$ formation d'ozone

$2\,H_2O \rightarrow 2\,H_2 + O_2$ dissociation de la vapeur d'eau

$N_2 + O_2 \rightarrow NO + O_3 + NO_2 + N_2O$ formation d'oxyde azotique, de bioxyde et de protoxyde d'azote,

et enfin,

$2\,NH_3 \rightarrow N_2 + 3\,H_2$ décomposition de l'ammoniaque si l'air contient de l'ammoniaque dû à la présence d'animaux par exemple.

Les gaz nouveaux que la surionisation ferait apparaître seraient donc essentiellement l'*ozone*, puis de l'*oxyde azotique*, du *bioxyde* et du *protoxyde d'azote*. On néglige l'hydrogène puisque l'air en contient déjà normalement (0,01 % en volume; valeur indiquée par MÖRIKOFER (13) dans une étude sur la composition de l'air et son rôle biologique).

On peut donc estimer que le nombre de molécules formées ou dissociées est de 1 à 100 fois supérieur au nombre de paires d'ions présents au moment de la réaction. Ce renseignement peut nous permettre d'évaluer l'ordre de grandeur de la concentration avec laquelle les gaz étrangers pourront apparaître dans les atmosphères surionisées.

Avec 4 mg de Ra, on mesure 9 à 10 000 paires d'ions à la hauteur de la grille aval, c'est-à-dire 58 secondes après leur formation. Si l'on tient compte de la recombinaison, en adoptant un coefficient de recombinaison $\alpha = 1{,}58.10^{-6}$, on peut calculer la densité ionique initiale n_0 dans la chambre d'ionisation en fonction de la densité n à l'époque t.

$$n_0 = \frac{n}{1 - n\alpha t}$$

soit 50 à 120 000 paires d'ions/cm³ pour 4 mg de Ra.

Un cm³ d'air pourra donc contenir de 5.10^4 à 12.10^6 molécules étrangères, soit, en tenant compte de la valeur du nombre d'Avogadro, à une dilution de

$$5.\,10^4 \quad \text{à} \quad 12.\,10^6 \cdot \frac{22{,}4.\,10^3 \cdot \frac{760}{710}}{6{,}1.\,10^{23}} \cong 10^{-15} \quad \text{à} \quad 10^{-13}.$$

***

En conclusion, les animaux marquent une préférence pour l'air surionisé, sans que l'on puisse dire si cette préférence décèle une action des ions sur l'organisme ou une action de l'ozone ou de quelques composés de l'azote et de l'oxygène en très faible concentration.

16. Effet de l'air ionisé sur la vitesse de sédimentation des hématies.

L'étude physico-chimique du milieu sanguin montre que le sang possède certains caractères d'une solution colloïdale compliquée contenant des sels très divers de nature et de dimensions, ainsi que des cristalloïdes. Dans ce milieu, on peut considérer les globules rouges comme de très gros micelles en suspension. L'agitation thermique des molécules du plasma se transmet à ceux-ci sous la forme du mouvement brownien, ce qui les amène à se rencontrer, puis à s'agglutiner. Le processus d'agglutination serait indéfini et conduirait à former des édifices d'hématies de plus en plus grands s'il n'était limité par la charge électrique que portent les hématies. Höber a en effet montré que les hématies possèdent une charge électrique négative considérable. Cette charge est conditionnée par l'existence de charges électriques de signe contraire ou de même signe réparties sur différents éléments du plasma, les protéines en particulier (P. H. Rossier (14). Lorsqu'une hématie, animée de son énergie de translation, se dirigera vers un édifice en formation, elle subira de la part de celui-ci une répulsion électrostatique newtonienne proportionnelle à sa charge propre et à la charge totale de l'édifice, formée elle-même par la somme des charges des hématies déjà captées. L'édifice croissant, il arrivera un moment où la répulsion sera suffisante pour annuler l'énergie de translation. L'édifice cesse alors de croître et tombe avec une vitesse constante dans le plasma, sollicité par sa pesanteur diminuée de la poussée d'Archimède. Cette vitesse de chute dépend donc en particulier de la charge électrique des hématies; A. Collaud a montré quantitativement comment elle en dépend et de quels autres éléments (viscosité, densité du plasma, etc.) elle est encore fonction.

Si, comme le prétend Tchijevsky (16, 17), dans sa théorie de l'électro-échange pulmonaire, le sang était capable de retenir par induction les charges de l'un ou l'autre des ions de l'air durant son passage dans les alvéoles pulmonaires, on pourrait s'attendre à observer des variations de l'équilibre physico-chimique du sang, et par suite de sa vitesse de sédimentation, lorsque les densités ioniques de l'air respiré varient. C'est pour répondre à cette question que nous avons effectué cette épreuve.

La vitesse de sédimentation est mesurée simultanément (le

même jour le tiers ou le quart de chaque cage dans le groupe «unipolaire» ou «bipolaire») sur tous les animaux exposés depuis 5 à 6 mois aux différentes atmosphères et qui ont alors atteint leur taille adulte. La microméthode utilisée, qui fut mise au point par l'un de nous, est décrite ailleurs (18). Utilisant les résultats de ce travail pour comparer les sédimentations des différents groupes d'animaux, nous avons tracé les courbes de fréquence des hauteurs libres du plasma dans chaque groupe, au bout de 1 hre, 2 hres, etc., 24 hres, en portant en abscisse le *logarithme* de la hauteur libre du plasma. On obtient ainsi, chaque fois que le groupe d'animaux est bien homogène, une courbe de fréquence symétrique se superposant d'une manière satisfaisante à une courbe en cloche de *Gauss* d'équation :

$$y = \frac{k}{\sqrt{\pi}} e^{-k^2x^2}$$

Les courbes de fréquences sont tracées pratiquement en choisissant sur l'abscisse un intervalle (égal ici à 0,1) entre les ordonnées, sur lesquelles on reporte la fréquence des observations comprises dans chaque intervalle considéré ; on interpole ensuite les valeurs des ordonnées en ajoutant à la moitié de chaque ordonnée le quart des deux ordonnées voisines (I. Curie (19). D'une courbe de fréquence à l'autre, les courbes théoriques qui approchent le mieux les courbes expérimentales ont des valeurs de k comprises entre 4,5 et 7 [1]. Ce sont donc des valeurs un peu plus faibles (précision un peu moindre) que celles que l'on trouve avec un plus grand nombre d'observations (7 à 8 pour 192 obs. 18).

L'abscisse des courbes de fréquence porte, en dehors de l'échelle logarithmique linéaire, quelques valeurs correspondantes des hauteurs plasmatiques en $^1/_{10}$e de mm. Pour chaque courbe de fréquence, on trouve la *valeur la plus fréquente* en divisant en deux parties égales par une verticale l'aire délimitée par la courbe et l'abscisse, ceci à l'aide de mesures planimétriques (on laisse parfois de côté l'aire irrégulière d'extrême droite correspondant visiblement à quelques individus anormaux). Analysons, dans chaque groupe d'atmosphères, la signification de ces courbes de fréquence de sédimentations.

[1] Les témoins du groupe « bipolaire » contenant un certain nombre d'animaux ($^1/_3$ environ) apparemment en mauvais état ou ayant mal résisté à une greffe de cancer ultérieure, ont seuls une courbe de fréquence qui diffère beaucoup de la courbe théorique et dont la valeur de k (plus faible) n'a plus guère de signification.

Effet du signe des ions légers. Les figures 16 et 17 montrent une bonne coïncidence dans la région centrale des vitesses de chute pour la première heure et pour la moyenne des deux premières heures, pour les deux atmosphères unipolaires et les témoins. La figure 18 des hauteurs plasmatiques au bout de 24 hres semble montrer un déplacement

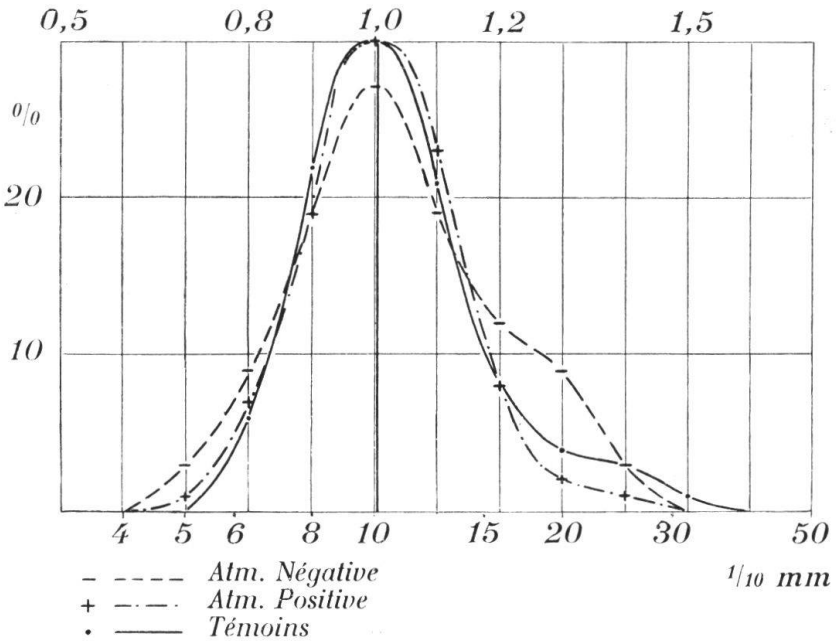

FIG. 16. — *Effet du signe des ions légers sur la sédimentation des hématies.* Courbes de fréquence de la hauteur de chute au bout d'une heure.

des maxima dans le sens d'une augmentation des hauteurs plasmatiques pour les deux atmosphères unipolaires relativement aux témoins. On pourrait attribuer ce déplacement à la charge totale négative de ces deux atmosphères. Mais si l'on compare l'écart entre les valeurs les plus fréquentes à l'erreur à craindre sur ces valeurs, évalué par la formule

$$E = \sqrt{\frac{\Sigma e^2}{n(n-1)}} = \frac{1}{\sqrt{2k}}\sqrt{\frac{1}{n-1}}$$

on constate que cet écart est à peu près de même grandeur que l'erreur à craindre qui varie de $0{,}02_4$ à $0{,}03_2$ pour les trois groupes. Le phénomène n'est donc pas réel. Le tracé complet des courbes de chute les plus fréquentes (figure 19) issues (par passage aux antilogarithmes) des valeurs les plus fréquentes des courbes de fréquence après 1, 2, 12 et 24 hres

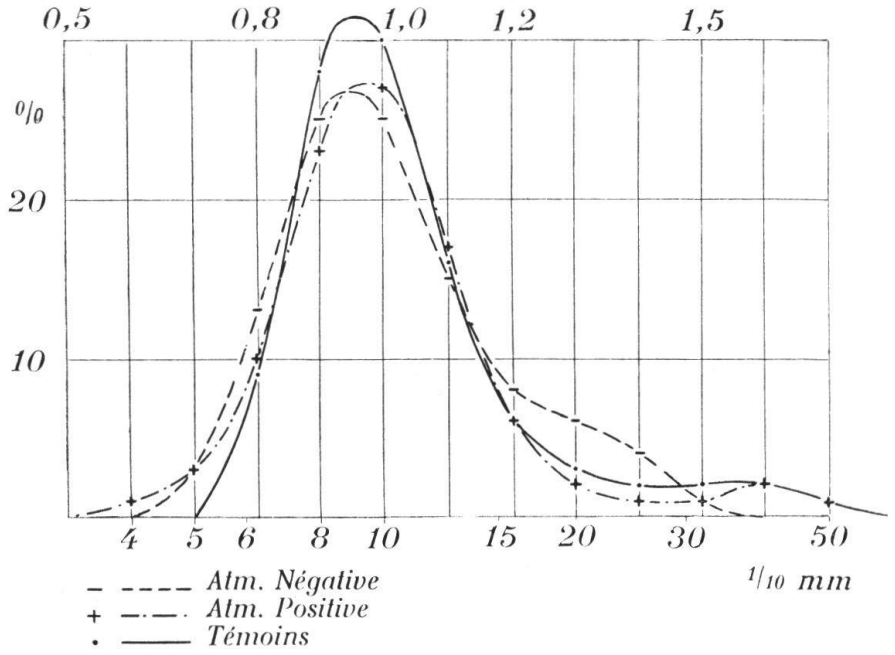

FIG. 17. — *Effet du signe des ions légers sur la sédimentation des hématies.* Courbes de fréquence des vitesses de chute moyennes durant les deux premières heures.

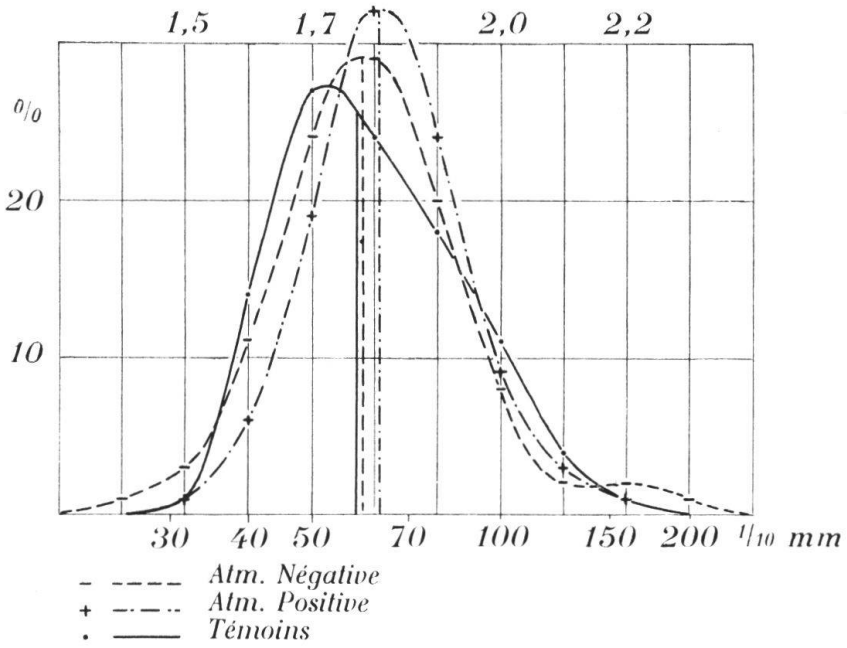

FIG. 18. — *Effet du signe des ions légers sur la sédimentation des hématies.* Courbes de fréquence de la hauteur de chute au bout de 24 heures.

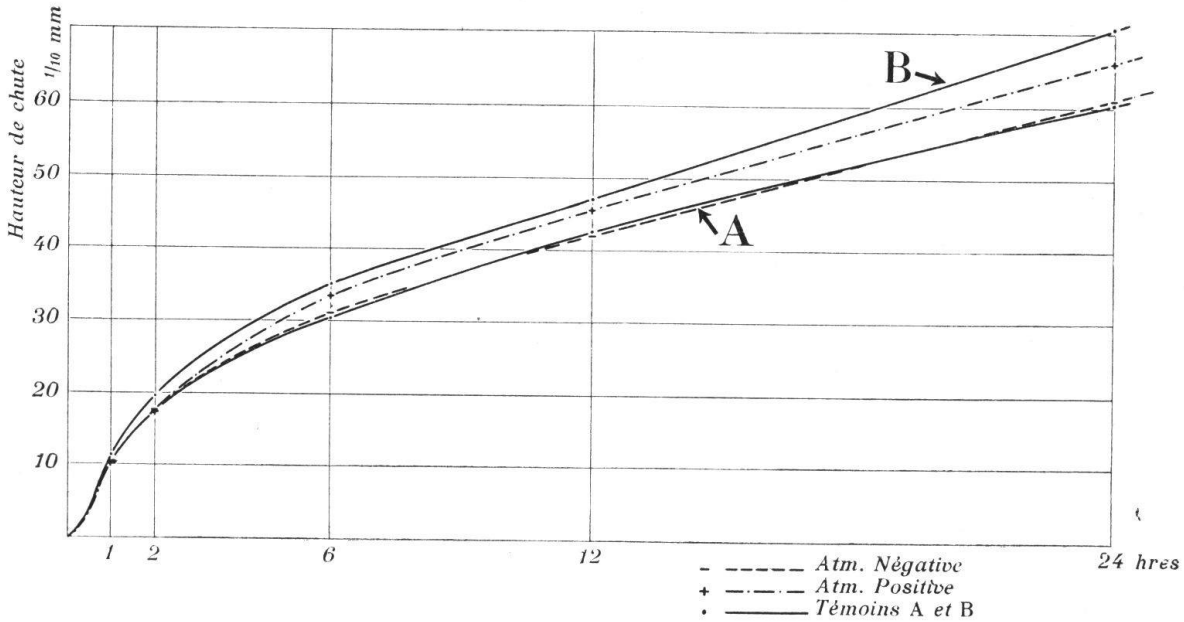

FIG. 19. — *Effet du signe des ions légers sur la sédimentation des hématies.* Courbes de sédimentation les plus fréquentes.

de chute, montre également que les sédimentations dans les atmosphères unipolaires ne diffèrent pas de celles des témoins A et B des deux groupes «unipolaire» et «bipolaire». Ni le signe des ions légers, ni la charge totale négative ne jouent de rôle.

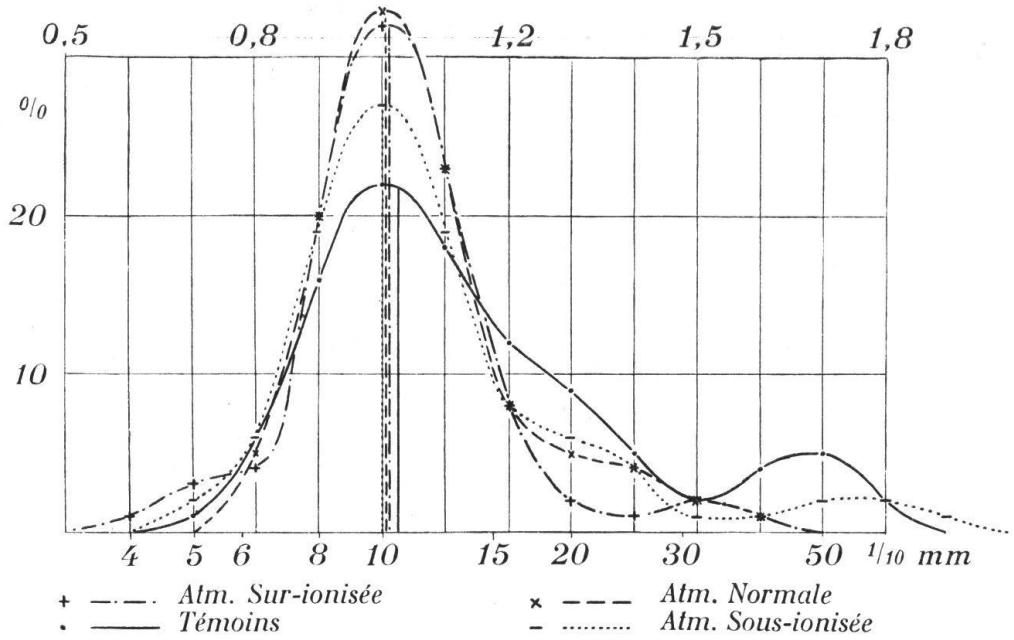

FIG. 20. — *Effet de l'intensité de l'ionisation bipolaire sur la sédimentation des hématies.* Courbes de fréquence de la hauteur de chute au bout d'une heure.

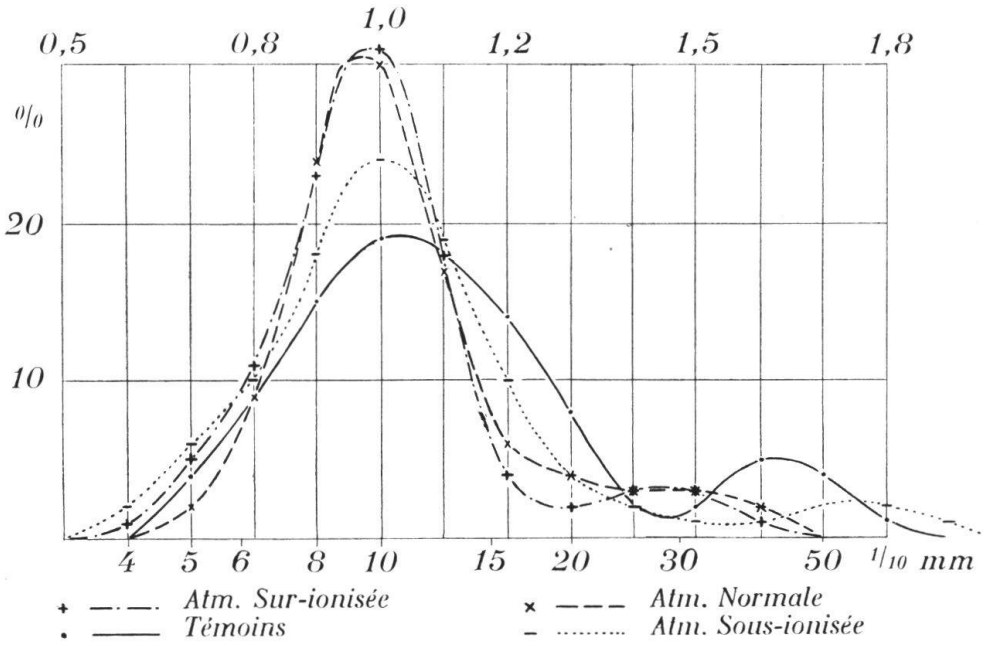

Fig. 21. — *Effet de l'intensité de l'ionisation bipolaire sur la sédimentation des hématies.* Courbes de fréquence des vitesses de chute moyennes durant les deux premières heures.

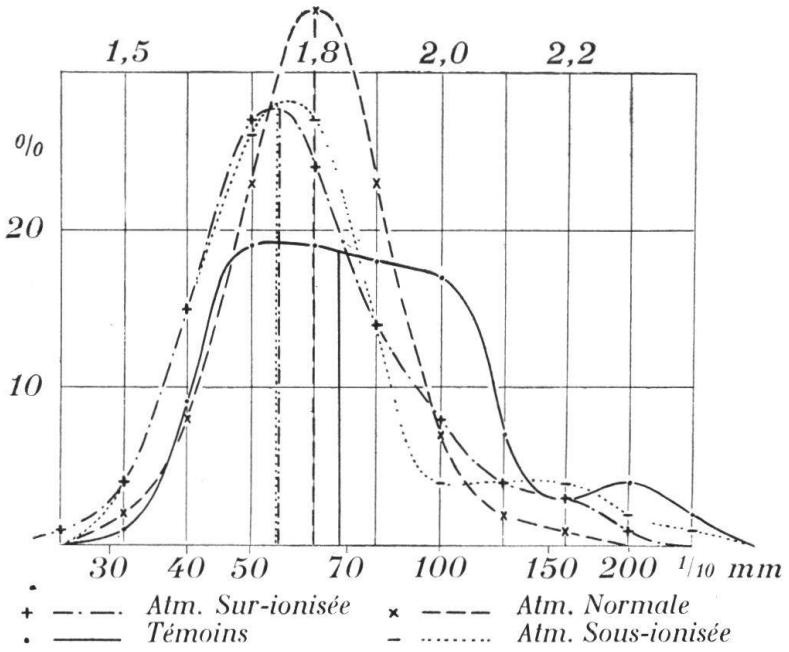

Fig. 22. — *Effet de l'intensité de l'ionisation bipolaire sur la sédimentation des hématies.* Courbes de fréquence de la hauteur de chute au bout de 24 heures.

Effet d'intensité de l'ionisation bipolaire. Les figures 20, 21, 22 et 23 qui sont les correspondantes des précédentes, montrent que les variations des densités de l'ionisation bipolaire ne modifient pas les sédimentations. Si l'on excepte — pour la raison déjà indiquée — le groupe de témoins sur les figures 21 et 22, les écarts maxima entre les valeurs les plus fréquentes sont toujours de l'ordre de grandeur de l'er-

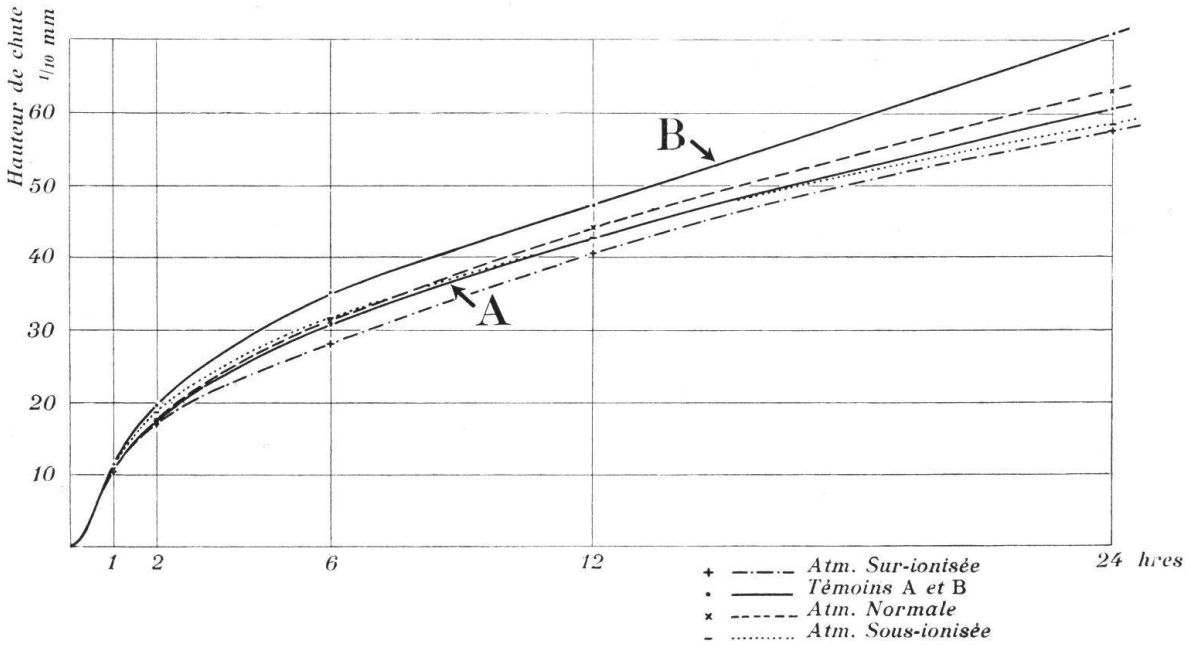

FIG. 23. — *Effet de l'intensité de l'ionisation bipolaire sur la sédimentation des hématies.* Courbes de sédimentation les plus fréquentes.

reur à craindre ou inférieurs à celle-ci. La figure 22, pour la chute de 24 hres, où l'atmosphère normale se détache nettement des atmosphères sous-ionisées et surionisées semble faire exception. Mais si l'on superpose à cette figure la courbe de fréquence «témoins» de la figure 18 dont la valeur la plus fréquente se trouve à l'abscisse 1,77, on observe alors que les écarts des autres courbes, autour de celle-ci, redeviennent normaux. Les courbes de chute les plus fréquentes de la figure 23 confirment ces observations.

Les différents groupes d'animaux examinés comportaient chacun de 22 à 33 sujets.

En résumé, ni le signe des ions légers, ni la charge totale négative, ni les variations d'intensité de l'ionisation bipolaire ne modifient la sédimentation des hématies, lorsque les animaux sont soumis depuis plusieurs mois à l'action de ces différentes ionisations. Naturellement il s'agit ici de la

recherche d'une modification *permanente* qui ne préjuge rien sur un déplacement transitoire qui pourrait peut-être se produire au moment de l'entrée en jeu des différentes ionisations et que nous n'avons pas encore recherché.

17. Action sur le taux d'hémoglobine.

A. Westergren (20) a montré que l'on pouvait déduire du phénomène de la sédimentation des hématies une estimation de la teneur en hémoglobine du sang en comparant les

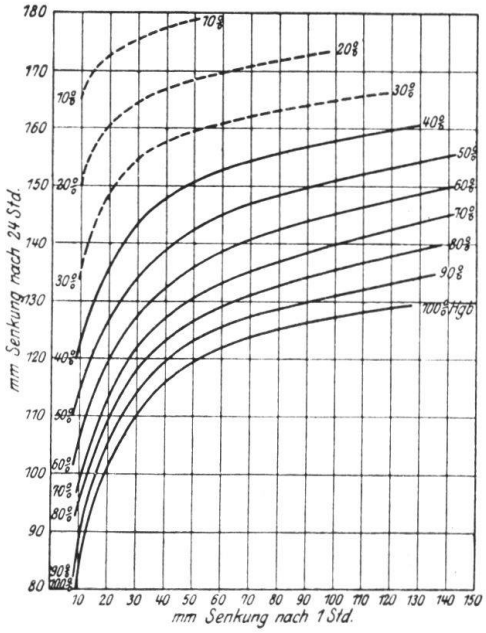

Fig. 24. — *Influence du taux d'hémoglobine sur la sédimentation selon A. Westergren.*

lectures de la première et de la 24e heure. Si l'on reporte, dans un système de coordonnées, en abscisse la lecture d'une heure et en ordonnée celle de 24 heures, les points représentatifs des sangs examinés se trouveront, dans le plan, sur une série de courbes dont chacune correspondra à un taux déterminé d'hémoglobine (figure 24).

Cette observation nous a permis de nous dispenser d'effectuer une mesure séparée du taux d'hémoglobine de chaque sujet. Utilisant les sédimentations précédentes, nous avons reporté, dans le graphique de la figure 25, les points représentant chacune des sédimentations effectuées sur le groupe unipolaire et ses témoins. Si l'on considère les points appartenant à chacune des atmosphères, on observe qu'ils sont assez bien mélangés avec les autres, n'occupant pas de situa-

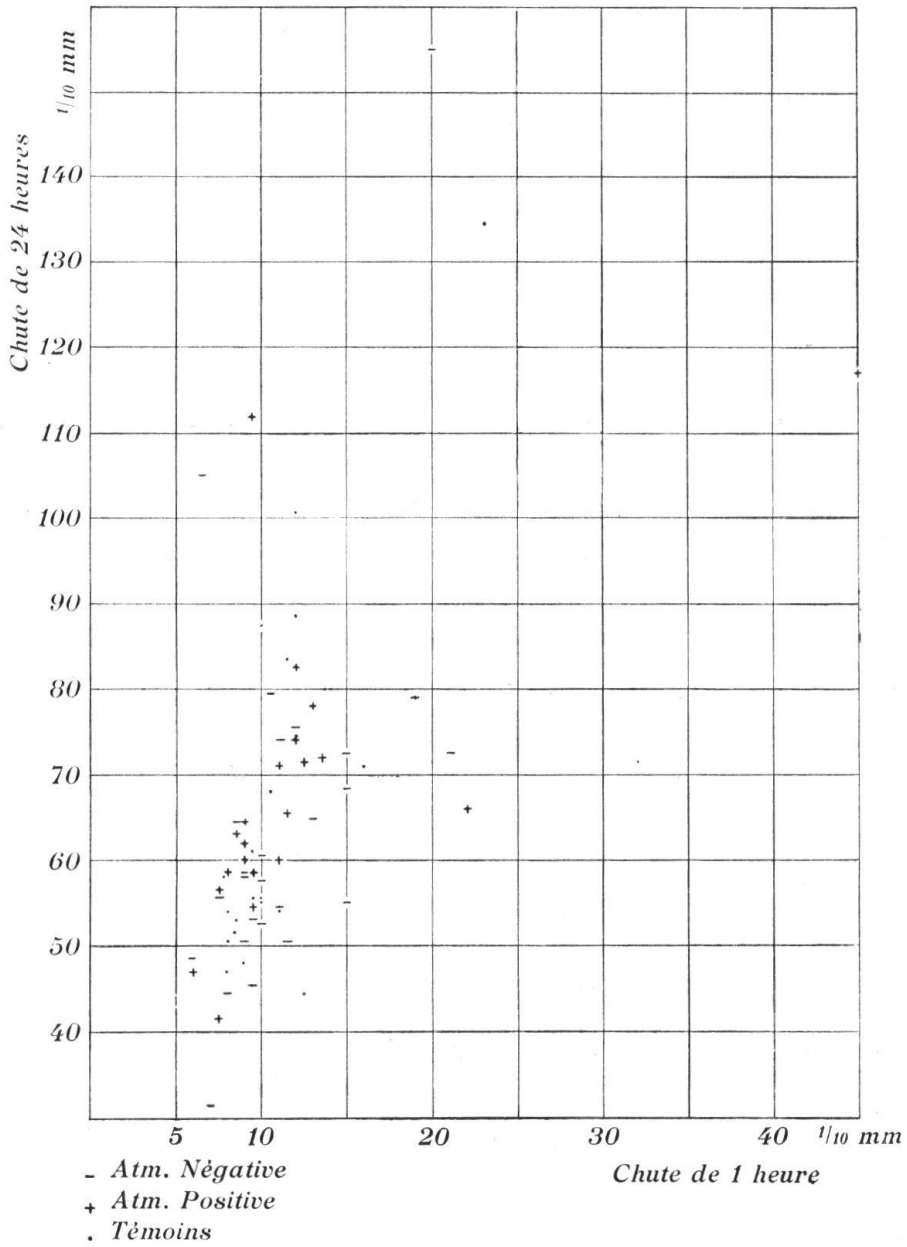

FIG. 25. — *Diagramme des sédimentations des animaux exposés aux atmosphères unipolaires.* Hauteur du plasma de 24 heures en fonction de celle d'une heure.

tion privilégiée dans le plan par rapport à ceux-ci. On ne peut pas, pour une atmosphère donnée, tracer une courbe — analogue à l'une de celles de la figure 24 — qui se distinguerait de celle des autres atmosphères et correspondrait à un taux d'hémoglobine particulier. Le tracé des points représentatifs des sédimentations du groupe bipolaire donne des résultats identiques. Il faut en conclure que nos différentes atmosphères n'ont pas modifié d'une manière permanente la teneur en hémoglobine du sang.

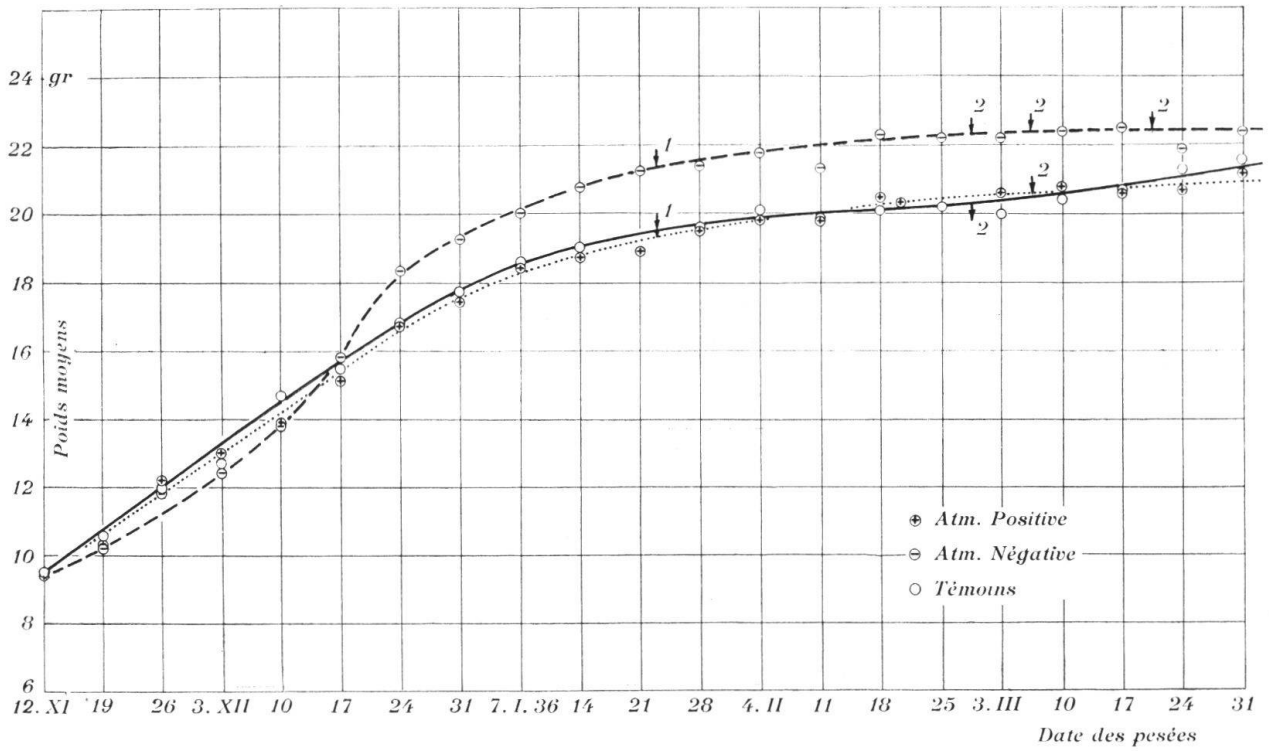

FIG. 26. — *Accroissement pondéral dans les atmosphères unipolaires.* 1re expérience.

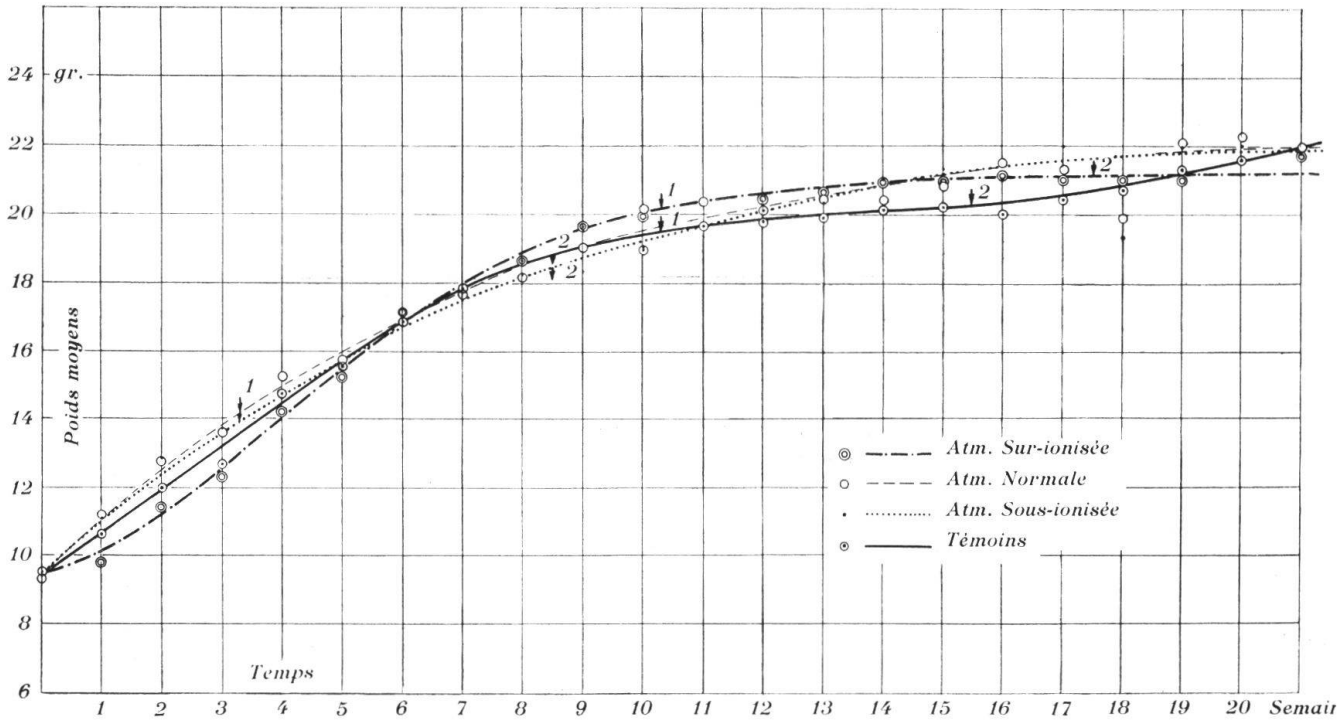

FIG. 27. — *Accroissement pondéral dans les atmosphères bipolaires.* 1re expérience.

1 = purge. 2 = prise de sang.

18. Effet de l'air ionisé sur l'accroissement pondéral.

Trois douzaines (deux douzaines dans les deux cages unipolaires de la première expérience) de jeunes souris mâles de 1 à 2 mois d'âge, issues du même élevage, sont placées simultanément dans chacune de nos atmosphères et mélangées de telle façon que le poids moyen de départ soit le même pour chaque cage; 9,5 gr. pour la première expérience, 9,0 et 10,0 gr. pour la seconde. Elles sont nourries comme il a été indiqué précédemment et pesées chaque semaine à jeun dans les mêmes conditions, pour établir le poids moyen de l'animal par cage.

Les figures 26 à 29 donnent les résultats des deux séries d'expériences effectuées dans les deux groupes unipolaire et bipolaire. Pour en faciliter la lecture, les courbes d'accroissement sont tracées « au travers » des points expérimentaux [1].

Les figures 27 et 29 qui concernent les deux expériences du groupe bipolaire montrent toutes deux qu'on ne peut mettre en évidence une action systématique de l'intensité de l'ionisation bipolaire sur l'accroissement pondéral. La réponse négative est nette pour les deux expériences.

Il n'en va pas de même dans le groupe unipolaire, figures 26 et 28, où la courbe de l'atmosphère négative, dans les deux expériences, se détache au bout de quelques semaines de ses deux voisines (témoins et atm. positive) pour ne les rejoindre que 3 à 4 mois plus tard, lorsque les animaux ont atteint leur poids d'adultes. Pendant toute une période de leur croissance, les animaux soumis aux ions légers négatifs sont donc plus lourds que les témoins ou les animaux soumis aux ions légers positifs. L'écart atteint 2 gr. soit le 10 % du poids moyen dans la première expérience où l'ionisation a été la plus forte (2500-6000 ions légers/cm^3), 1,5 gr. dans la deuxième expérience (700 à 1500 ions/cm^3). Cet écart est le double ou le triple de l'*erreur à craindre* sur le poids moyen qui est de 0,5 à 0,8 gr. Comme il convient d'être très prudent dans l'interprétation de courbes expérimentales semblables, nous dirons que cet écart peut être considéré comme *très probablement* systématique et dû à la différence de signe des petits ions (la charge totale des deux atmosphères unipolaires n'a pas d'effet, puisque la courbe de l'atmosphère positive ne

[1] L'administration d'un purgatif et vermifuge — marquée d'une flèche verticale dans les figures — a provoqué chaque fois une chute brusque et passagère du poids dont nous n'avons pas tenu compte dans le tracé des courbes.

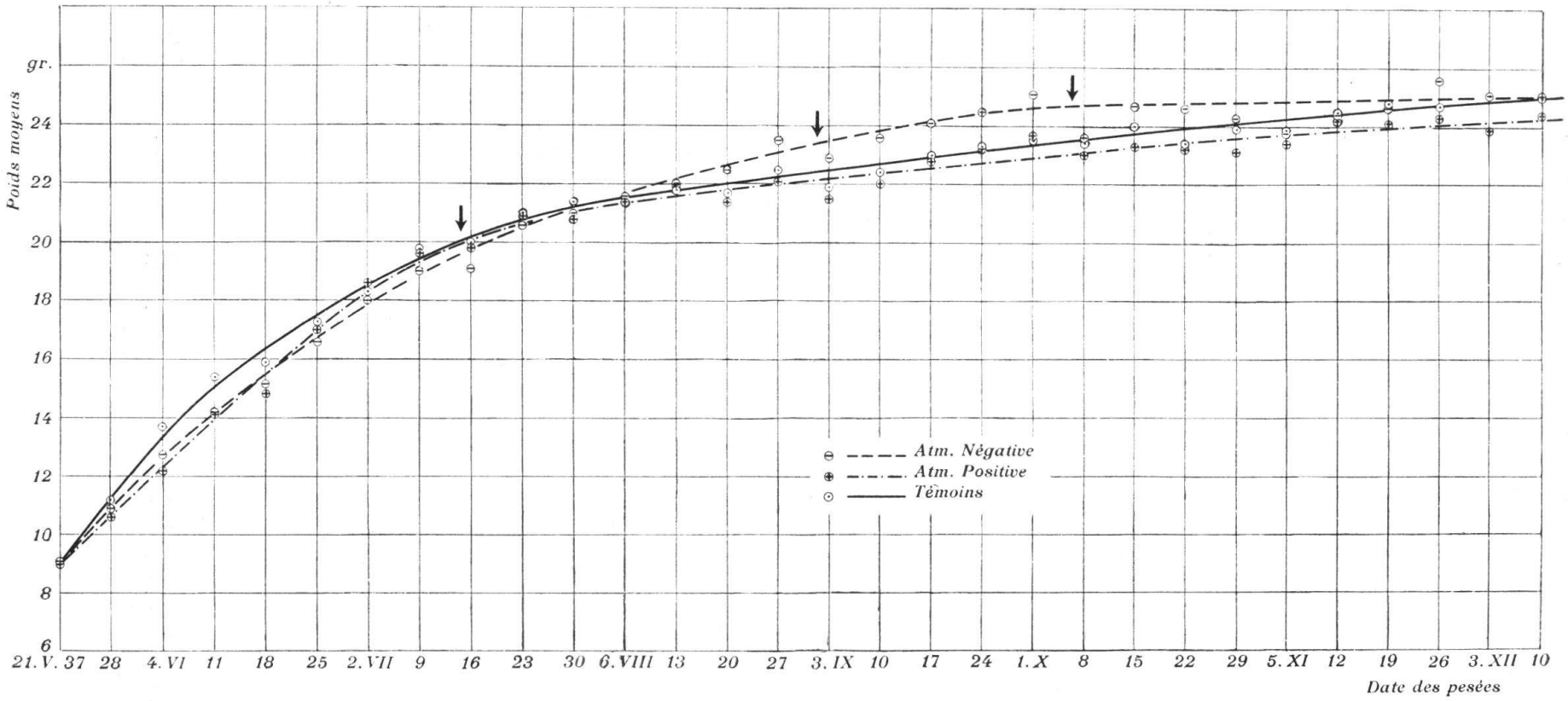

FIG. 28. — *Accroissemenl pondéral dans les atmosphères unipolaires.* 2e expérience. Les flèches verticales indiquent l'administration d'un vermifuge.

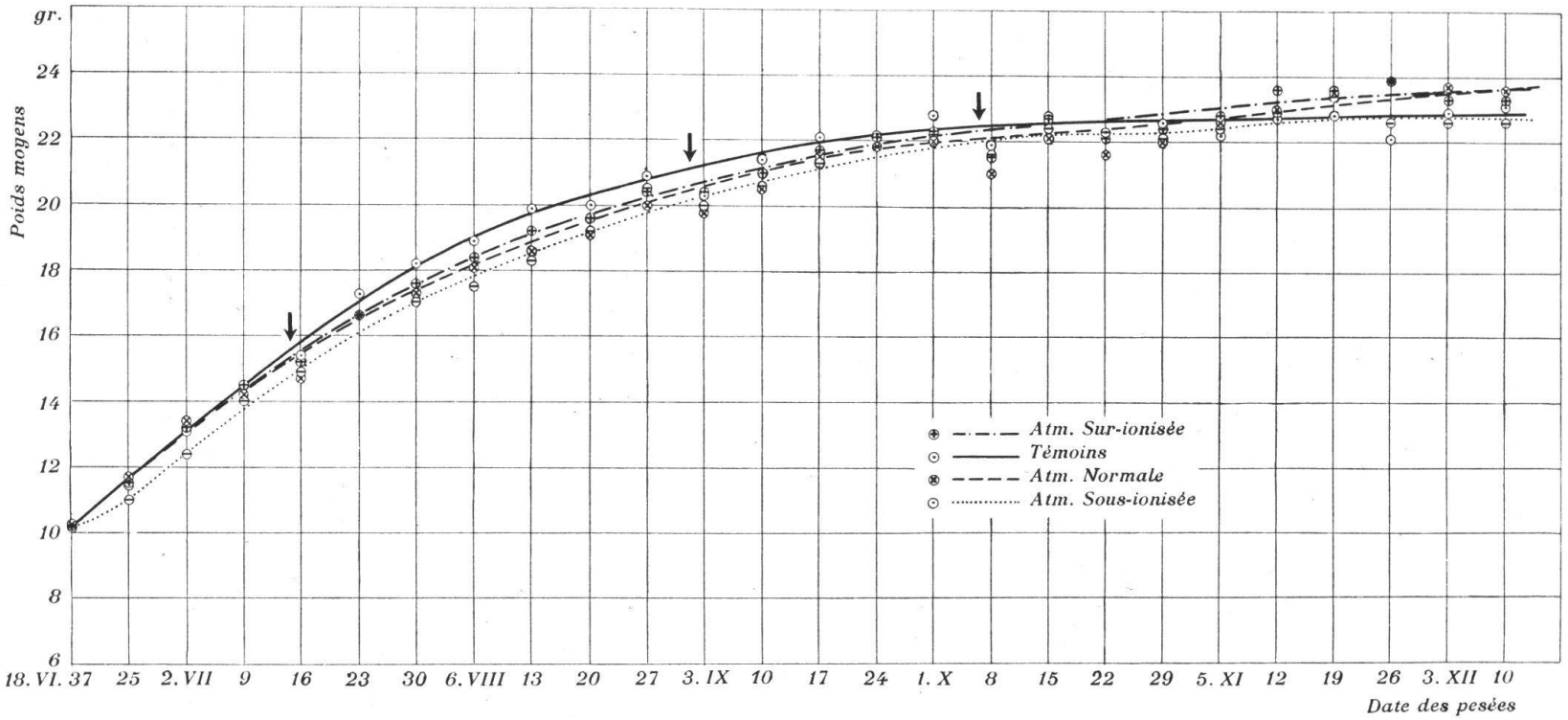

FIG. 29. — *Accroissement pondéral dans les atmosphères bipolaires.* 2e expérience. Les flèches verticales indiquent l'administration d'un vermifuge.

se sépare pas des témoins). Il n'existe à notre connaissance qu'une seule expérience qui confirme cette action des ions négatifs sur l'accroissement pondéral; c'est celle qui fut effectuée en 1931 par A. L. Tchijevsky sur des poussins, dans des conditions expérimentales qui ne nous sont pas connues. Tchijevsky donne une courbe de poids où l'écart atteint plus de 20 % par rapport aux témoins (16).

19. Action de l'air ionisé sur le développement des tumeurs greffées de cancer.

A la fin de l'expérience précédente, les souris mâles adultes subissent simultanément une greffe de cancer épithélial (adénocarcinome de la mamelle, souche Caspari) dont on observe le développement, les animaux restant dans leurs atmosphères respectives.

Le développement en volume des tumeurs est apprécié en assimilant grossièrement leur forme à celle d'un ellipsoïde de révolution autour de son grand axe. Deux dimensions principales a et b (le petit et le grand axe) sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse. Le volume d'une tumeur est alors donné par la formule

$$k \cdot \frac{\pi}{6} a^2 b$$

k étant un facteur correctif qui tient compte du fait que les tumeurs ne sont pas des ellipsoïdes parfaits. Naturellement, une telle méthode n'est pas applicable à la comparaison de *volumes individuels*, mais seulement des *volumes moyens* de *groupes* suffisamment grands de tumeurs, où les accidents fortuits de forme s'éliminent par la loi des grands nombres.

Pour fixer la valeur de k, nous avons tout d'abord déterminé la densité d'un groupe de tumeurs (extraites des animaux 25 jours après la greffe) par la méthode du flacon. Pour 17 tumeurs, les densités ont varié de 1,02 à 1,07 avec une valeur moyenne de

$$1{,}04 \pm 0{,}01$$

Cette valeur étant admise, comme densité des tumeurs greffées, nous l'avons comparée à celle obtenue par une détermination de densité sur 260 tumeurs (de 28 jours) où le volume était déterminé par la formule ci-dessus et le poids par pesées directes de la tumeur extraite. Il en est résulté la valeur moyenne $\frac{1{,}12_6}{k}$ de laquelle on tire

$$k = 1{,}08 \pm 0{,}03$$

en l'égalant à la précédente. Des comparaisons de densités moyennes de groupes nous ont montré que la formule que nour proposons donne le volume moyen d'une trentaine de tumeurs à $\pm$ 10 % près. Ce résultat est équivalent à celui obtenu par N. Dobrovolskaïa - Zavadskaïa et I. Nekhorocheff

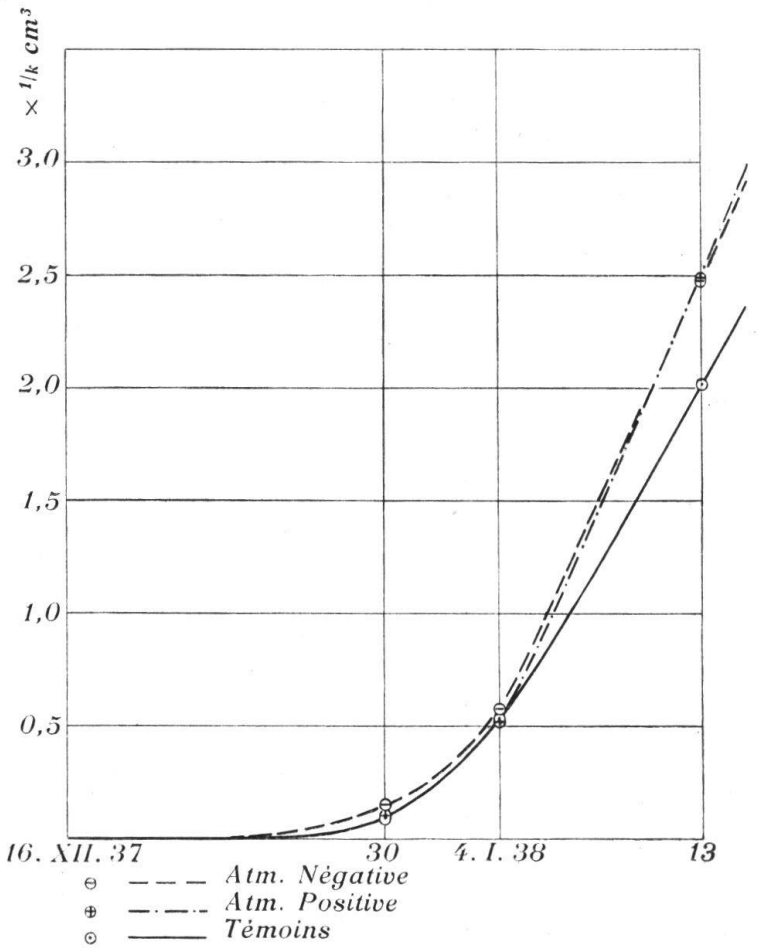

Fig. 30. — *Accroissement en volume des tumeurs greffées dans les atmosphères unipolaires.*

(21) qui mesurent le volume par le produit de trois dimensions de la tumeur (méthode de Schrek).

Les figures 30 et 31 donnent les courbes d'accroissement dans nos deux groupes d'atmosphères. Dans la figure 30, l'écart entre les deux courbes unipolaires et les témoins est trop faible pour qu'il puisse être attribué à la charge totale négative (voir les autres témoins). Dans la figure 31, comme l'accroissement en atmosphère normale était nettement plus intense que dans les autres atmosphères, nous avons répété l'expérience et la figure 32 en donne le nouveau résultat. On voit immédiatement que l'accroissement exceptionnel en atmosphère normale qui eût été tout à fait irrationnel, ne se

BIBLIOTHEK der E. T. H.
ZÜRICH

confirme pas. Il était donc fortuit. Dans l'ensemble, les différentes atmosphères n'ont donc pas d'action sur l'accroissement des tumeurs greffées, et les divers « terrains » qui pourraient avoir été préparés chez les animaux par leur croissance préalable dans ces atmosphères ne les rendent pas capables de lutter plus ou moins contre le développement des greffes.

Cette conclusion est confirmée par la pesée des tumeurs extraites des animaux à la fin de l'expérience. Nous donnons dans les tableaux ci-dessous les poids moyens des tumeurs et les valeurs moyennes de ces poids relativement au poids total de l'animal avec sa tumeur.

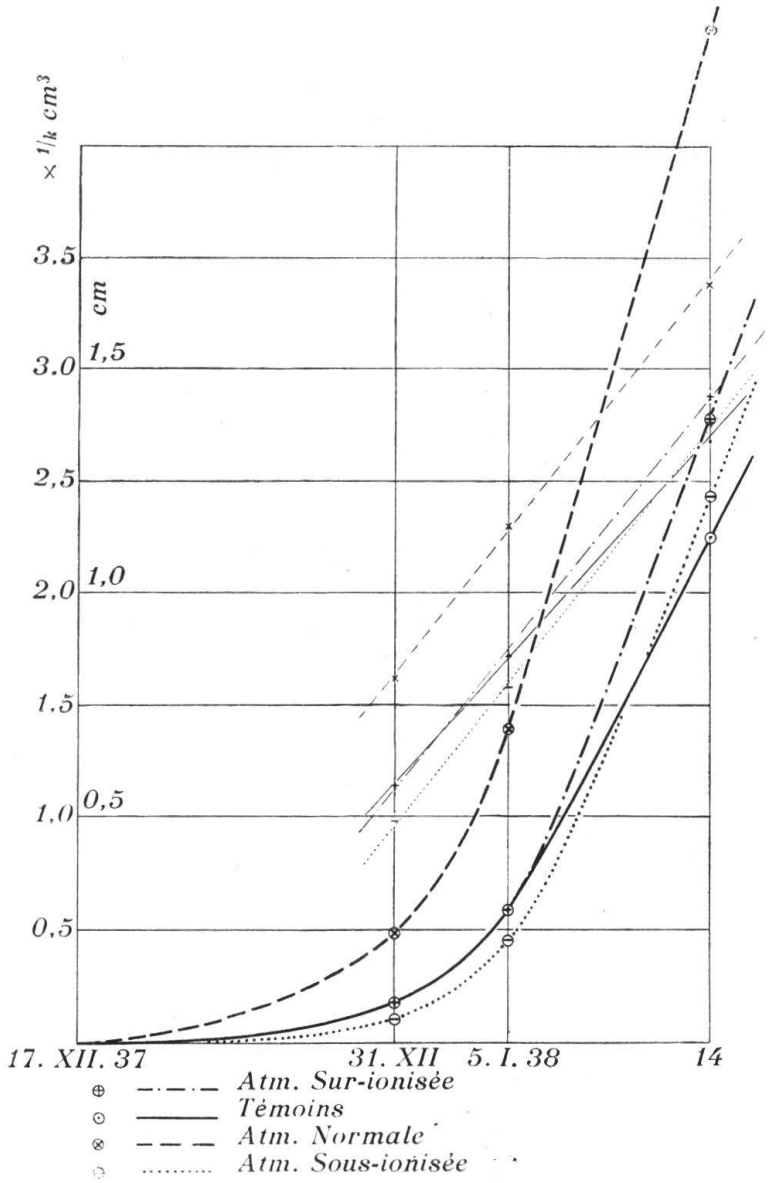

FIG. 31. — *Accroissement en volume des tumeurs greffées dans les atmosphères bipolaires à densités variables.* 1re expérience. En traits fins, la racine cubique du volume, «diamètre moyen».

	GROUPE BIPOLAIRE			GROUPE BIPOLAIRE (1re expérience)			
	Atmosphère positive	Atmosphère négative	Témoins	Atmosphère surionisée	Atmosphère normale	Atmosphère sous-ionisée	Témoins
Nombre d'animaux	18	23	23	29	28	24	23
Poids moyen des tumeurs gr.	2,7	2,6	2,5	2,9	4,7	2,7	2,8
Poids relatif des tumeurs	9,7 %	9,4 %	9,3 %	10,8 %	16,7 %	11,1 %	11,4 %

Les poids moyens des tumeurs sont affectés d'une erreur à craindre de 0,3 à 0,6 gr. et leurs poids relatifs d'une erreur à craindre de 2 % environ.

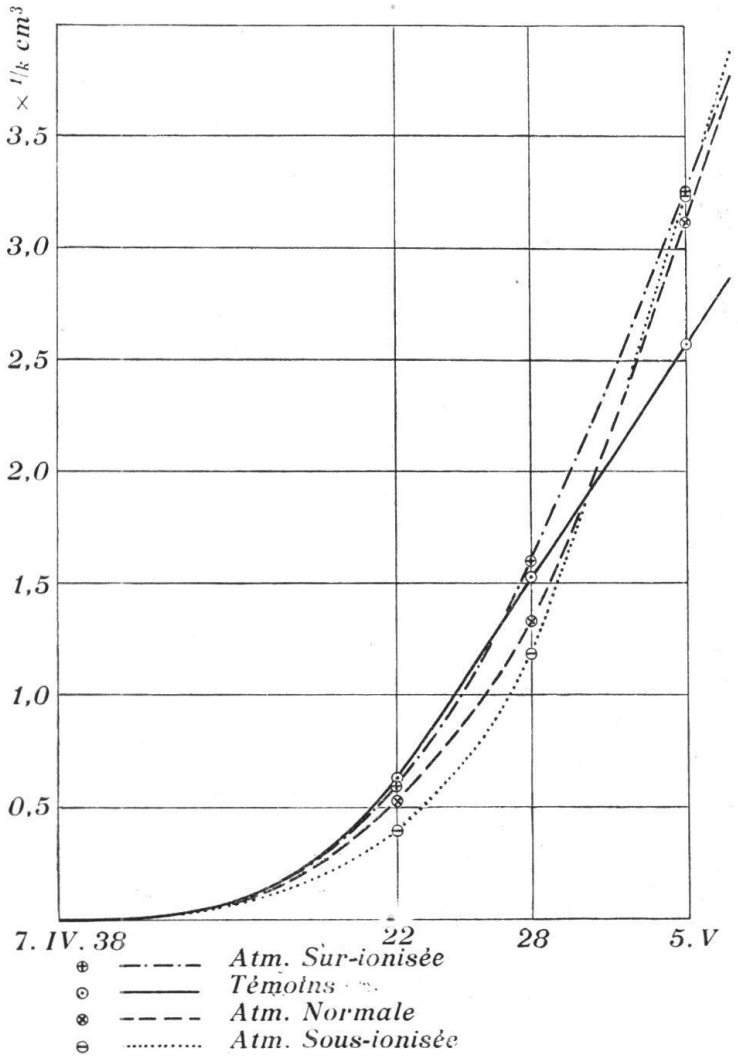

FIG. 32. — *Accroissement en volume des tumeurs greffées dans les atmosphères bipolaires à densités variables.* 2e expérience.

Excepté pour les valeurs de l'atmosphère normale de la première expérience, dont l'écart fortuit ne se confirme pas dans la deuxième, tous les poids moyens et les poids relatifs d'une même expérience sont les mêmes aux erreurs à craindre près

GROUPE BIPOLAIRE (2e expérience)

	Atmosphère surionisée	Atmosphère normale	Atmosphère sous-ionisée	Témoins
Nombre d'animaux	24	28	28	27
Poids moyen des tumeurs, gr.	3,9	3,4	3,9	3,0
Poids relatif des tumeurs	17,2 %	15,4 %	16,5 %	14,7

L'air ionisé, unipolaire ou bipolaire, n'affecte pas le développement des greffes de cancer ni ne prépare un « terrain » de l'animal qui soit propre à accélérer ou retarder leur croissance.

***

Mentionnons en passant une loi déjà signalée (Mayneord, Schrek, Dobrovolskaïa et Nekhorocheff) (21) que nos nombreuses mensurations de tumeurs nous ont permis de vérifier à nouveau avec précision.

Si l'on reporte graphiquement, en fonction du temps, au lieu du volume d'une tumeur la racine cubique de celui-ci,

$$\sqrt[3]{k\,\frac{\pi}{6}\,a^2b}$$

c'est-à-dire une grandeur homogène à une longueur qu'on peut appeler « diamètre moyen », on obtient une représentation graphique linéaire de l'accroissement du groupe de tumeurs. La figure 31 (traits fins) en donne l'illustration; la loi se vérifie avec la même précision pour les courbes correspondantes des figures 30 et 32 dans la région du développement que nous avons plus particulièrement examinée (3e et 4e semaines après la greffe). La *pente* de la droite d'accroissement du diamètre moyen a peu varié d'un groupe à l'autre: 0,55 à 0,66 mm par jour pour la première expérience avec une moyenne de 0,61; 0,41 à 0,51 mm par jour pour la seconde expérience avec une moyenne de 0,48 (la différence — de la première à la deuxième expérience — est sans doute due à la différence d'âge des tumeurs sur lesquelles les greffes ont été prises). On

pourrait par cette pente caractériser l'*activité* d'un groupe de greffes [1].

20. Poids relatifs de quelques organes.

Pour extraire une tumeur greffée, on sacrifie les animaux qui ont ainsi séjourné près d'une demi-année dans les atmosphères artificielles. Il était alors facile à l'autopsie d'effectuer simultanément la pesée de quelques organes aisément isolables et de les rapporter au poids moyen de l'animal sans tumeur. Nous avons pesé le *cœur* dont G. Schorer (22) aurait observé la dilatation chez un sujet humain soumis à l'action d'ions artificiels positifs, la *rate* qui nous paraissait anormalement développée dans les expériences préliminaires, les *testicules* enfin dont on sait que la spermatogénèse est très sensible aux caractères du milieu ambiant.

Les résultats de ces pesées sont contenus dans le tableau suivant:

		Cœur		Testicules		Rate	
Atmosphères	Nombre de sujets [2]	Poids moyen Gr.	Poids relatif %	Poids moyen Gr.	Poids relatif %	Poids moyen Gr.	Poids relatif %
Témoins A	21	0,16	0,66	0,18	0,73	0,36	1,48
Atm. positive	15	0,14	0,60	0,17	0,70	0,40	1,69
Atm. négative	21	0,16	0,62	0,17	0,67	0,39	1,53
Atm. surionisée	29	0,16	0,68	0,16	0,69	0,44	1,88
Témoins B	21	0,18	0,80	0,14	0,65	0,36	1,65
Atm. normale	28	0,16	0,67	0,15	0,65	0,42	1,80
Atm. sous-ionisée	22	0,16	0,73	0,15	0,68	0,42	1,90
Valeurs moyennes des 7 groupes		0,16	0,68	0,16	0,68	0,40	1,70

[1] Il n'est pas possible de trouver une signification simple à la loi d'accroissement linéaire du diamètre moyen. Une hypothèse qui vient d'emblée à l'esprit est de supposer une prolifération cellulaire de même intensité en chaque point et à n'importe quel âge de la tumeur. L'accroissement dV en un temps dt du volume V à un instant t quelconque serait alors proportionnel à V et à dt ; on aurait

$$dV = V\,dt$$

d'où,

$$\text{Log } V = \alpha t + C$$

V serait donc une fonction exponentielle du temps, c'est-à-dire que l'on devrait trouver une droite en reportant dans un système de coordonnées le logarithme du volume en fonction du temps. En fait, ce n'est pas le cas. On trouve toujours une courbe à pente légèrement décroissante dont la concavité est tournée vers l'axe des temps. Tout se passe comme si l'activité moyenne de la tumeur diminuait avec son âge.

[2] Le nombre parfois réduit de sujets présents dans cette expérience est dû au fait que quelques individus dans chaque série sont morts au cours de

Dans le groupe unipolaire, le poids moyen des *cœurs* de l'atmosphère positive est plus faible, mais l'écart ne dépasse pas celui des témoins A et B entre eux. Les poids relatifs des cœurs des deux atmosphères unipolaires sont très faibles, mais l'écart par rapport aux témoins A est inférieur à celui des deux témoins entre eux. Dans le groupe bipolaire, toutes les valeurs sont comprises entre celles des témoins A et B. Conclusion, pas d'effet sur le développement pondéral.

Pour les *testicules*, toutes les valeurs des deux groupes unipolaire et bipolaire sont comprises entre celles des témoins. Il n'y a donc pas d'action.

En ce qui concerne la *rate*, dans le groupe bipolaire, les poids moyens ou relatifs ne s'ordonnent pas systématiquement en valeurs croissantes ou décroissantes en fonction de l'intensité décroissante des densités ioniques qui est l'ordre dans lequel les atmosphères se succèdent sur le tableau. Les témoins et l'atmosphère normale qui sont à peu près équivalentes ioniquement indiquent les grandes différences de poids moyens ou relatifs qui peuvent se présenter fortuitement entre deux séries de pesées. Dans le groupe unipolaire, les différences sont trop faibles pour qu'elles puissent être retenues.

La croissance des animaux dans nos atmosphères n'a donc pas modifié le développement pondéral des trois organes examinés, le cœur, la rate et les testicules.

21. Premières conclusions.

L'air ionisé bipolaire, surionisé ou sous-ionisé, agissant en permanence sur des sujets soumis à son action, ne modifie pas leur accroissement pondéral, ni le poids de quelques organes: la rate, le cœur et les testicules; il ne déplace pas d'une manière permanente ou transitoire la température animale; il ne modifie pas non plus les valeurs permanentes de la vitesse de sédimentation des hématies et du taux d'hémoglobine du sang.

Les animaux paraissent être sensibles à l'intensité de l'ionisation bipolaire et marquer une préférence pour l'air surionisé, sans que l'on puisse encore dire si cette préférence est le signe d'une sensibilité de l'organisme aux ions proprement dits ou aux corps chimiques en faible concentration (10^{-13} à 10^{-15}) O_3, NO, NO_2, N_2O, engendrés simultanément par le processus d'ionisation.

la croissance et quelques autres n'ont pas supporté la greffe de Cancer ou sont morts des suites de celle-ci quelques jours avant que l'on sacrifie l'ensemble des animaux. Ce sont là des faits accidentels qui se produisent dans une mesure analogue dans d'autres expériences.

L'air surionisé ou sous-ionisé bipolaire, et l'air ionisé unipolaire, où des ions légers positifs ou négatifs prédominent, n'ont aucune action sur le développement en volume ou en poids des greffes de cancer, ni ne préparent un « terrain » de l'animal qui soit propre à accélérer ou retarder leur croissance.

Les animaux ne présentent pas de sensibilité au signe des ions légers.

L'air ionisé unipolaire, où des ions légers positifs ou négatifs prédominent, agissant en permanence, ne modifie pas d'une manière durable la vitesse de sédimentation des hématies, le taux d'hémoglobine ou le poids de quelques organes: rate, cœur et testicules; il n'a pas non plus d'effet transitoire ou permanent sur la température animale.

Enfin, l'air ionisé unipolaire négatif, où les ions légers négatifs prédominent, a une action très probable sur l'accroissement pondéral pendant toute une période de la croissance, l'écart atteignant jusqu'à + 10 % relativement aux témoins.

***

Les faits que nous venons de résumer, qui résultent d'un nombre très élevé de mesures, ne nous permettent cependant pas encore de tirer des conclusions définitives sur l'action biologique de l'air ionisé. Cette action existe probablement, comme le montrent les deux faits positifs que nous avons relevés: sensibilité à l'air surionisé et accroissement pondéral plus rapide en atmosphère négative. Mais, l'absence d'action sur des tests aussi généraux que la température et la sédimentation, le fait que les animaux se développent d'une façon tout à fait normale dans un air très sous-ionisé, semblent montrer que cette action est faible. Il est même possible que les animaux à respiration aérienne puissent se passer d'ions aériens, et qu'ils possèdent en eux-mêmes des mécanismes compensateurs suffisants pour cela. Nous ne pensons donc pas, comme l'affirme Tchijevsky (23, p. 38), que le rôle de l'ionisation naturelle, où les ions apparaissent avec une concentration normale de 10^{-16} à 10^{-17} au milieu des molécules d'air, soit très grand. Du moins faudrait-il le montrer dans une expérience précise pour oser l'affirmer.

On pourra objecter à nos expériences qu'elles ont été effectuées avec des densités ioniques peu élevées — beaucoup plus faibles que celles qui se présentent dans les expériences de Dessauer et de Tchijevsky — mais ces densités, voisines de celles qui apparaissent dans l'atmosphère (ou seulement dix fois plus grandes ou dix fois plus faibles que celles-ci, nous

renseignent précisément sur le rôle de l'air ionisé dans des conditions naturelles.

Avant de conclure, il faut pousser plus loin l'expérimentation, la faire porter sur d'autres tests biologiques: le métabolisme de base, la pression sanguine, les fréquences du pouls et de la respiration, la spermatogénèse, par exemple, qui nous permettront de préciser le mode d'action des ions de l'atmosphère.

Centre anticancéreux romand,
Service des recherches expérimentales.

Bibliographie.

1. P. Mercier et G. Joyet, *Arch. de Phys. Biol.* XIII, 1936, Nos 3-4, p. 220.
2. P. Happel dans F. Dessauer, Zehn Jahre Forschung auf dem physikalisch-medizinischen Grenzgebiet, Leipzig, 1931, p. 111.
3. J. Strasburger et P. Happel dans F. Dessauer, *id.* p. 160.
4. P. Mercier et G. Joyet, *Arch. de Phys. Biol.* XII, 1935, No 1, p. 5.
5. P. Mercier et A. Ugo, *Arch. de Phys. Biol.* XII, 1935, No 1, p. 9.
6. St. Meyer und E. Schweidler, Radioaktivität, Leipzig, 1927, IV, 11, p. 231.
7. E. Wourzel, *Le J. de Phys. et le Radium,* XI, 1919, p. 289.
8. E. Wourzel, *Le J. de Phys. et le Radium,* I, 1920, p. 77.
9. F. Krüger, *Phys. Zeitschr.* XIII, 1912, p. 1040.
10. F. Krüger, et O. Utesch, *Ann. de Phys. 78,* 1925, p. 113.
11. S. C. Lind, The chemical effects of alpha particles and electrons, New-York, 1928.
12. J. Errera et V. Henri, *Le J. de Phys. et Le Radium,* VII, 1926, p. 225.
13. W. Mörikofer, *Schw. Med. Jahrbuch,* 1931, p. LXX.
14. P. H. Rossier, *Arch. de Phys. Biol.* V, No 3, p. 222.
15. A. Collaud, *Bioch. Ztschr. 165,* 1925, p. 431.
16. A. L. Tchijevsky: Cf. M. Piéry, Traité de Climatologie, T. 1, p. 661.
17. L. L. Vassiliey et A. L. Tchijevsky, *Rev. de Path. Comp. et d'Hygiène générale,* juillet et août 1934.
18. G. Joyet, *Arch. de Phys. Biol.* (Sous presse.)
19. I. Curie, Thèse, Paris (Masson), 1925.
20. A. Westergren, *Ergebnisse d. Inneren Med. und Kinderheilkunde, 26,* 1924, p. 577.
21. N. Dobrovolskaïa - Zavadskaïa et I. Nekhorocheff, *C. R. de la Soc. de Biol., 130,* 1939, p. 697.
22. G. Schorer, *Schw. Med. Woch.* No 18, 1931, p. 417.
23. A. L. Tchijevsky, *Acta Medica Scandinavica,* Suppl. L. XXXVII, Helsingfors, 1938.

(Travail présenté en séance du 4 décembre 1940.)