

vapeur de charbon, et nous pouvons dire, dès à présent, que les opinions de ces deux auteurs ne sont vraies ni l'une ni l'autre.

Cependant, ils se sont adressés à l'expérimentation, et je vous ai cité leurs expériences pour vous montrer combien il était difficile d'arriver immédiatement à la solution des problèmes. Il ne suffit donc pas d'expérimenter, mais il faut faire de bonnes expériences, et suivre une méthode qui les dégage de leur cause d'erreur. Il faut de plus que les secours des connaissances physico-chimiques, indispensables pour analyser certaines questions, soient suffisamment développés pour que l'expérimentation soit lumineuse. Vous voyez donc combien la méthode expérimentale offre de difficultés. Aussi les sciences physiologique et médicale ne sauraient se constituer en un jour, et ce n'est que par des efforts successifs et persévérants qu'on arrivera à la connaissance de la vérité.

DEUXIÈME LEÇON

SOMMAIRE : Perforation du poumon dans les expériences sur l'asphyxie. — Caractère éventuel de cet accident. — Mécanisme de ces ruptures. — Recherche de l'agent toxique de la vapeur de charbon. — Ancienne théorie de la raréfaction de l'air. — Expériences et autopsie. — Études sur les gaz qui composent la vapeur de charbon. — Influence de la chaleur. — Expériences comparatives pour éliminer cette cause d'erreur. — Action de l'acide carbonique. — Absorption de ce gaz par la surface cutanée et sous-cutanée. — Expériences où ce gaz est absorbé par un seul poumon. — Hydrogène carboné. — Oxyde de carbone. — Couleur du sang dans l'empoisonnement par l'acide carbonique et par l'oxyde de carbone. — Expériences comparatives.

MESSIEURS,

Nous avons examiné les différentes phases historiques de l'étude de l'asphyxie par les vapeurs de charbon. Nous avons particulièrement insisté sur la période expérimentale, inaugurée par Portal et ses élèves. Avant de passer à l'exposé des expériences nouvelles, nous devons revenir sur quelques points intéressants des théories émises par les premiers expérimentateurs.

Portal et ses élèves, Troja et Carminati, comme je vous l'ai rapporté, avaient cherché à élucider la question de l'asphyxie par des expériences directes, mais ils étaient loin d'être toujours d'accord sur les résultats mêmes de ces expériences. C'est ce qui arrive toujours au commencement de l'étude d'une question scientifique quelconque. On est toujours obligé de tâtonner au début, et chaque

auteur émet d'abord les opinions les plus diverses et les plus controversées ; mais plus tard, à mesure que les expériences se perfectionnent et que les moyens d'études deviennent plus nombreux, les contradictions s'expliquent, les faits se réduisent et la solution du problème avance.

Troja avait observé des perforations, des ruptures du tissu du poumon, et il les avait attribuées à l'action de la vapeur même du charbon pénétrant dans cet organe.

Déjà dans notre première leçon d'introduction (voyez page 12), consacrée à une étude rapide du milieu intérieur, je vous ai fait connaître les opinions que les anciens avaient de la respiration : ils croyaient que l'air inspiré passait de la trachée dans les poumons et de là, par l'extrémité des bronches, pénétrait dans la veine pulmonaire, et enfin dans le ventricule gauche du cœur, et de là dans le système artériel. C'est par un mécanisme à peu près semblable que Troja semble vouloir expliquer la présence de l'air dans les artères et dans le cœur après la mort.

C'est en tenant compte des conditions diverses dans lesquelles les expériences ont lieu, que la critique expérimentale des faits, vous ai-je dit, doit être entreprise.

L'altération, la déchirure et la perforation des poumons peut se produire, ainsi que je vous l'ai dit, toutes les fois que l'asphyxie est lente et la respiration très-difficile : si elle est rapide et s'il y a eu intoxication sans gêne respiratoire, aucun de ces phénomènes ne se manifeste. Je désire vous donner la preuve de l'opinion que j'avance.

Nous ouvrons ici, devant vous, des animaux qui ont été asphyxiés rapidement, dans notre caisse, dans laquelle l'air circule incessamment, et vous constaterez facilement qu'il n'existe aucune rupture pulmonaire chez ces animaux ; mais voici un lapin dont l'asphyxie, faite dans d'autres conditions, a demandé une heure vingt minutes pour être complète : il présente de nombreuses ecchymoses dans le tissu pulmonaire. Ces faits seuls expliquent parfaitement les différences qui existent entre les observations de Portal et celles de Troja, puisque en effet, nous pouvons à volonté, en expérimentant sur des animaux, faire développer ces altérations du poumon ou les empêcher de se produire, et que nous pouvons arriver à rendre les ecchymoses assez considérables pour obtenir la rupture du poumon.

Cette cause de la mort, invoquée par Troja, est donc réelle, mais elle n'est pas spéciale à la mort par la vapeur du charbon, et en effet, cette altération peut survenir dans tous les cas où la respiration devient difficile et que des efforts pulmonaires violents sont produits. Voici, par exemple, un animal à qui nous avons coupé hier les pneumogastriques : la respiration est devenue très-anxieuse, diaphragmatique et saccadée un certain temps avant la mort ; aussi l'animal présente des ruptures du poumon identiques avec celles qu'aurait pu produire l'asphyxie lente par le charbon dans un air non renouvelé.

Quel est maintenant le mécanisme de ces phénomènes de rupture pulmonaire (1) ? Cette question fut autrefois

(1) Voyez à ce sujet Magendie, *Rapport sur un mémoire de M. Leroy (d'Étiolles) relatif à l'insufflation du poumon* (*Journal de Magendie*, t. IX, 1829, p. 97).

pour moi le sujet de diverses études, et voici à quels résultats je fus amené : la gêne de la respiration, quelle que soit d'ailleurs sa cause, détermine dans les poumons des lésions identiques qui sont l'expression d'un trouble respiratoire, soit que sa cause tienne à l'asphyxie par le charbon, soit qu'elle ait été produite par tout autre agent. J'ai étudié ces lésions particulièrement à la suite de la section du pneumogastrique chez les mammifères, et j'ai vu qu'elles sont d'autant plus grandes que les efforts de la respiration sont plus considérables, et qu'elles sont aussi d'autant plus faciles que les animaux sur lesquels on expérimente sont plus jeunes. Dans ce dernier cas les accidents arrivent très-vite et la mort est beaucoup plus prompte : cela se conçoit facilement, attendu que chez les jeunes animaux, les tissus pulmonaires sont plus friables, plus délicats, et offrent moins de résistance. On obtient en outre ces altérations plus facilement chez certains animaux que chez d'autres, plus facilement chez les lapins que chez les chiens. Chez les vieux chiens, par exemple, la lésion du poumon est quelquefois très-difficile à obtenir, souvent même impossible après la section des vagues. C'est dans ces circonstances que la réorganisation des nerfs coupés peut avoir lieu et que les animaux peuvent survivre.

Ce sont ces études qui m'ont conduit autrefois à donner un mécanisme nouveau de la mort par la section des vagues. Quelques auteurs avaient pensé qu'après la section des pneumogastriques, la paralysie des bronches retenait les sécrétions du poumon dans les voies respiratoires, et que la mort était causée uniquement par le défaut d'hématose résultant de l'accumulation des matières étrangères

dans les voies aériennes. J'ai montré que c'est par un autre mécanisme que s'opère la lésion du tissu pulmonaire ; et en effet, la section des vagues amène une sorte d'insensibilité pulmonaire, d'où il résulte que l'animal ne sait plus limiter ses efforts respiratoires à la capacité de ses poumons. Il fait des mouvements respiratoires exagérés qui distendent outre mesure le thorax et par suite le tissu pulmonaire qui ne peut quitter la plèvre. J'ai constaté directement que la capacité inspiratoire d'un lapin est beaucoup plus grande après la section des vagues qu'à l'état normal ; cette dilatation exagérée des poumons amène bientôt chez les mammifères, surtout s'ils sont jeunes, des ruptures qu'on peut voir à l'œil nu, et par suite des ecchymoses qui empêchent l'hématose de se produire et qui amènent alors la mort par asphyxie. — Mais la section elle-même des pneumogastriques peut aussi amener la mort par d'autres causes, car chez les oiseaux l'altération des poumons dont nous parlons n'a jamais lieu, et cependant la section des nerfs vagues est aussi une opération mortelle pour ces animaux. On a alors attribué la mort à la paralysie des organes digestifs.

Ces lésions pulmonaires sont donc consécutives à une gêne respiratoire, mais elles ne sont aucunement spécifiques de l'asphyxie par le charbon.

Pour revenir à notre sujet qui est l'asphyxie, nous constatons en définitive que les expérimentateurs dont je vous ai entretenu précédemment n'ont pas trouvé la véritable cause de cette mort et qu'ils l'ont attribuée à tort, soit à l'altération des poumons, soit à celle du système vasculaire qui lui était consécutive.

Troja reconnaît d'ailleurs des causes multiples, et il admet encore que la mort peut aussi dépendre des nerfs. L'expérience qu'il fit pour appuyer cette opinion est exacte par elle-même, comme expérience, mais l'interprétation qu'il en a faite est fautive. Voici ce qu'il dit de la perte de la sensibilité et de l'irritabilité à la suite de l'asphyxie par la vapeur du charbon : Si l'on prend, dit Troja, un animal asphyxié par le charbon, et si, par un moyen quelconque, on excite la moelle épinière, on n'a plus la moindre réaction : sa sensibilité est donc totalement perdue; mais si, au même moment, on vient à irriter le nerf sciatique, les convulsions se produisent dans les muscles du membre dont l'irritabilité est conservée.

Troja s'appuie même sur cette perte de sensibilité de la moelle pour combattre les idées de Portal touchant l'action de la vapeur de charbon sur le cœur, et il dit avec raison qu'il est très-difficile de séparer ce qui appartient aux nerfs de ce qui appartient à la respiration et à la circulation chez les animaux supérieurs, tandis que chez les animaux à sang froid, ces deux ordres de phénomènes peuvent être facilement isolés l'un de l'autre et séparés comme distincts. Prenez une grenouille, par exemple, dit-il, et coupez-lui la moelle épinière, le cœur ne cesse pas de battre; d'un autre côté, enlevez le cœur, et la grenouille n'a pas perdu la faculté de sauter et de se mouvoir.

Or, Troja ayant asphyxié une grenouille par le charbon remarqua que la moelle avait perdu son irritabilité, tandis que le cœur continuait à battre encore. D'où il conclut à l'action de la vapeur de charbon sur le système nerveux et, contrairement à Portal, à son absence d'influence sur le cœur.

Mais si les critiques de Troja s'appliquent bien aux expériences de Portal, il est juste de dire qu'il n'a pas été plus heureux que lui dans la découverte de la vraie cause de la mort dans l'asphyxie par la vapeur de charbon, quand il la rattache aux lésions nerveuses.

En résumé les anciens expérimentateurs n'ont pas connu les vraies lésions organiques qui causent la mort par le charbon. Leurs expériences n'étaient encore que des tâtonnements dans un sujet obscur qui a besoin de nouvelles connaissances afin de pouvoir être convenablement éclairé.

Mais il ne fallait pas, ainsi que nous l'avons dit en commençant, seulement chercher la raison de la mort dans les lésions organiques, il était nécessaire aussi de la chercher dans l'agent toxique qui l'a produite, c'est-à-dire dans la vapeur de charbon elle-même. Ce n'est que par la connaissance de ces deux ordres de causes, qui se trouvent en conflit, que le mécanisme de la mort pourra être bien compris.

On a reconnu en effet depuis longtemps qu'il existait dans la vapeur qui résulte de la combustion du charbon des propriétés toxiques et susceptibles de donner la mort. On s'est demandé naturellement quel était le produit qui pouvait se former dans ces conditions, ou en d'autres termes quelles modifications pouvait subir l'air par son passage sur du charbon incandescent. On a émis deux opinions principales pour expliquer ce phénomène, qui se rapportent l'une à une altération physique, l'autre à une altération chimique de l'air.

Quant à l'opinion qui touche à l'altération physique de

l'air, on a supposé que la combustion du charbon faisait perdre à l'air son élasticité et qu'il était raréfié. Cette opinion remonte à Erasistrate, et Galien la combat en disant que l'air, loin d'être raréfié, est au contraire plus dense ; mais de ces opinions, il n'y avait aucune preuve.

L'idée de la raréfaction de l'air s'est conservée cependant presque jusqu'à notre époque, et Priestley a cherché à la démontrer par une expérience exacte en elle-même, mais faussement interprétée. Priestley semblait avoir prouvé que l'air était raréfié quand le charbon brûle dans un espace limité : il avait en effet suspendu un morceau de charbon sous une cloche placée sur l'eau, et, ayant enflammé ce charbon au moyen d'une lentille, il vit l'air se raréfier et l'eau s'élever d'une certaine quantité dans l'intérieur de la cloche. Toutefois, Priestley aurait bien pu expliquer autrement la cause de cette raréfaction, car il avait vu dans cette combustion du charbon la formation d'une certaine proportion d'acide carbonique qui troublait l'eau de chaux.

Troja parle aussi de cette raréfaction de l'air, mais pour la combattre et pour dire que même si elle existait elle ne serait pas ici la cause véritable de la mort dans l'asphyxie par le charbon ; car, dit-il, si l'on fait cesser cette raréfaction, on devrait voir cesser en même temps les phénomènes qui en résulteraient. Or, ce n'est pas le cas, dit-il : à cet effet, il modifie la caisse exactement close dans laquelle il asphyxie ses animaux, et dans laquelle on pourrait admettre qu'il y a de l'air raréfié provenant de la combustion du charbon ; il perce la caisse d'un trou communiquant à l'extérieur, et si la raréfaction de l'air

s'était produite, dit-il, elle doit être annulée par l'arrivée de l'air du dehors. Eh bien, cependant, dans ce dernier cas, les animaux mouraient aussi facilement que dans le premier, bien qu'il soit impossible d'admettre ici une raréfaction de l'air.

Pour Troja, il y avait donc dans la combustion du charbon formation de gaz toxiques ou d'une mofette, comme on disait dans le temps, et c'est à cela qu'il attribue la cause de la mort.

Mais de quelle nature est le gaz qui se forme dans cet air vicié ? Troja ne pouvait le savoir, et il exécuta pour le découvrir des expériences que nous considérerions aujourd'hui comme absurdes. Il ne pouvait en effet en être autrement à cause de l'état peu avancé de la chimie sur les gaz, à l'époque où il faisait ses recherches.

Partant des expériences de Priestley, qui avait indiqué la formation d'un acide, l'acide carbonique, dans cette combustion du charbon, il se demande si ce n'est pas l'acidité de ce gaz, l'acidité de l'air qui produit la mort. Et il expérimente alors sur de l'air dans lequel il répand d'autres vapeurs acides, telles que des vapeurs d'acide chlorhydrique ; mais cet air ainsi vicié ne donne pas la mort aux animaux qui le respirent, d'où il conclut que ce n'est pas l'acidité de la mofette qui tue. Il essaye alors des gaz alcalins, tels que l'ammoniaque, même résultat, et cependant la vapeur de charbon tue ; il attribue finalement la propriété toxique de cette vapeur à un gaz méphitique survenu dans l'air et qui lui est inconnu.

Enfin Troja examine encore une opinion très-réputée, celle de savoir si les animaux asphyxiés ne meurent pas

par apoplexie, et il dit que dans ce cas le meilleur moyen curatif serait la saignée. Gardané, du reste, avait fait un mémoire spécial sur ce sujet; il combat la saignée et soutient que pour lui les animaux ne meurent pas par apoplexie.

Tel est rapidement l'historique expérimental de la question de l'asphyxie par le charbon, que nous pourrions diviser en trois périodes.

La première période, qui ne comprend que des observations plus ou moins empiriques, remonte à des temps très-éloignés. On a constaté des faits, on les a observés, on les a discutés, mais sans rien expliquer. Dans le courant du siècle dernier, on trouve diverses thèses soutenues à la Faculté de médecine de Paris, dans lesquelles on discute simplement la question de savoir si la vapeur de charbon est toxique ou non; les uns soutenant l'affirmative, les autres la négative. Mais ce sont encore là les restes des discussions scolastiques qui n'étaient que des subtilités sans preuves.

La seconde période va au delà des observations; on veut descendre dans l'organisme, y chercher la cause de la mort. On fait des autopsies cadavériques des individus asphyxiés par le charbon.

Enfin, dans la troisième période, on expérimente sur les animaux vivants.

Ce n'est qu'à partir de la fin du siècle dernier qu'on a commencé à faire des autopsies méthodiques. Nous ne saurions nous dispenser de rappeler à ce sujet le nom de Corvisart, alors professeur au Collège de France, et professeur de clinique à la Charité; c'est à lui qu'il faut faire remonter l'institution d'autopsies régulières et mé-

thodiques. C'est, comme on le sait, le fondateur de la clinique en France.

Ensuite, on a expérimenté sur des animaux vivants pour chercher à se rendre compte de la mort dans l'asphyxie qui nous occupe. Mais cette question n'a pas été résolue du premier coup, et elle ne pouvait l'être. En effet, il faut, pour arriver à cette explication, que toutes les sciences auxiliaires, dont le concours est indispensable à l'explication de ces phénomènes, soient elles-mêmes assez avancées pour pouvoir donner à cette étude un secours utile; elles ne l'étaient pas à cette époque, et l'on donnait le nom de mofettes à une foule de vapeurs les plus diverses, telles que le gaz provenant de la combustion du charbon, l'air impur provenant de la respiration, le gaz provenant de la combustion du soufre, l'air des fosses d'aisances, et enfin les parfums des fleurs. auxquels on attribuait certaines propriétés délétères spéciales étaient aussi compris sous cette même désignation.

Or, la chimie est une science toute nouvelle et qui ne date que de Lavoisier. Les progrès de la chimie d'une part, ceux de la physiologie d'autre part et ceux de l'anatomie, sont venus, par leur concours, permettre d'arriver maintenant à une explication certaine de ce genre de mort. Déjà aujourd'hui la solution est à peu près complète, et cela, comme vous le verrez, nous le devons surtout aux progrès de la chimie et de la physiologie.

La première condition nécessaire pour déterminer l'action d'une substance toxique, c'est de l'avoir isolée et de la connaître de façon à pouvoir toujours la retrouver avec ses caractères propres.

Pour comprendre l'asphyxie par la vapeur de charbon, il faut donc, avant tout, faire l'étude des produits principaux de la combustion du charbon, et examiner le rôle de chacun d'eux dans l'acte de l'asphyxie; il faut, en outre, tenir compte de l'action de la chaleur qui est dégagée dans cette combustion.

Nous éliminerons tout d'abord l'action que peut avoir la température produite par le fait même de la combustion, et dont le premier effet est d'échauffer l'air respiré: nous verrons que la part qui peut lui être affectée dans la mort par asphyxie est nulle; enfin nous étudierons, pris en eux-mêmes et isolément, les gaz résultant de la combustion du charbon, afin de bien observer ce qui revient à chacun d'eux dans la production des phénomènes toxiques.

Ces gaz sont au nombre de trois principaux:

En première ligne, nous citerons l'*acide carbonique*. Van Helmont l'avait déjà reconnu et désigné sous le nom de *gaz sylvestre*; le premier il a indiqué et constaté sa présence dans la combustion du charbon, en constatant qu'il est délétère et impropre à la respiration. Il a indiqué, de plus, que ce gaz est un produit constant de la fermentation vineuse.

Les deux autres gaz que nous aurons à étudier comme produits de la combustion du charbon sont l'*oxyde de carbone* et l'*hydrogène carboné*.

Si nous voulons faire l'histoire complète des phénomènes qui accompagnent l'asphyxie, afin d'arriver ensuite à l'explication réelle et raisonnée de la mort qui en est la conséquence, nous devons, ainsi que je vous l'ai déjà dit, procéder d'abord analytiquement, et passer suc-

cessivement en revue chacun des éléments produits dans cette combustion, afin de bien établir le rôle toxique de chacun d'eux. Mais la connaissance de ce précepte de la méthode expérimentale ne suffit pas, et cette étude nous serait encore impossible et les expériences irréalisables, si les progrès rapides de la chimie, depuis le commencement de ce siècle, et surtout les immortelles recherches de Priestley sur les gaz, de Lavoisier sur la combustion et la respiration, n'étaient venus nous mettre en état de comprendre les réactions multiples qui se passent dans l'acte de la combustion du charbon, d'isoler et d'examiner chacun des produits engendrés, et enfin d'en étudier l'action sur les êtres vivants. La physiologie, de son côté, devait aussi faire des progrès pour nous permettre d'isoler les différents organes, les différents éléments de nos tissus, afin de reconnaître ceux qui sont spécialement atteints dans cet empoisonnement.

Mais, ainsi que nous vous l'avons déjà annoncé, avant d'en arriver à ces études spéciales de l'action des gaz, nous allons examiner d'abord ce qui appartient à l'influence de la chaleur, et j'espère que quelques expériences décisives nous suffiront pour nous permettre d'éliminer ce premier agent, et pour vous montrer qu'il ne joue qu'un rôle bien secondaire et même nul dans l'asphyxie par le charbon, au moins dans les conditions les plus ordinaires où elle se présente.

Dans les premières expériences que j'ai répétées devant vous, nous faisons arriver les produits de la combustion directement du fourneau dans la petite chambre où sont renfermés nos animaux. Ils y étaient amenés au moyen

d'un entonnoir métallique placé au-dessus du foyer où s'effectuait la combustion et d'un tube de transport des gaz assez court, puisqu'il n'avait qu'environ 1 mètre 50 centimètres de longueur (voy. fig. 5).

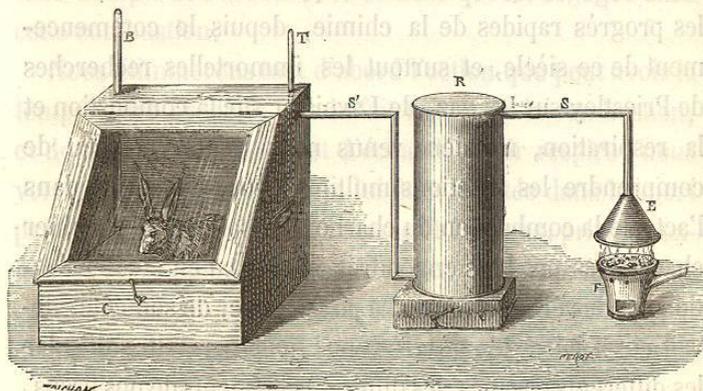


FIG. 5. — Appareil pour l'asphyxie expérimentale par les vapeurs de charbon.

C. Caisse vitrée pour mettre les animaux. — T. Thermomètre indiquant la température de l'intérieur de la caisse. — B. Tube communiquant avec l'intérieur de la caisse et plongeant jusqu'au fond. — F. Fourneau contenant du charbon de bois allumé pour dégager les gaz asphyxiants. — E. Entonnoir destiné à recueillir la vapeur de charbon et à la transmettre par les tubes S, S' jusque dans la caisse vitrée où est un lapin. — R. Tambour de zinc destiné à refroidir le gaz dégagé du fourneau avant sa pénétration dans la caisse à asphyxie.

Les gaz, en se dégageant du foyer, sont à une température très-élevée, et, étant introduits immédiatement dans la chambre, ils en élèvent rapidement la température et peuvent agir comme air chaud. Mais rien n'est plus facile que d'éliminer cette action de la chaleur; il suffira de faire refroidir les gaz de la combustion avant de les faire parvenir dans la chambre où sont les animaux. C'est ce que nous ferons dans un instant; et par la comparaison des animaux morts dans les mêmes gaz chauds

ou refroidis, nous saurons exactement ce qui doit être attribué à la température de l'air.

Je vous ai déjà dit que cette action est nulle. En effet, la chaleur, dira-t-on, n'est pas un agent toxique? Sans doute, dans les conditions ordinaires de la vie, lorsque cette chaleur est modérée; mais lorsqu'elle atteint un certain degré, elle peut causer la mort par elle-même avec des caractères spéciaux dont je vais vous entretenir quelques instants.

La chaleur seule peut quelquefois causer la mort. C'est ce que nous avons constaté dans des expériences déjà anciennes que nous avons faites ici même au Collège de France; mais la condition nécessaire pour que cette influence délétère se manifeste est que la température du milieu soit plus élevée que celle qui est propre à l'animal sur lequel on expérimente.

Un animal à sang chaud peut vivre dans une atmosphère dont la température est de beaucoup inférieure à celle de son propre corps. Dans les conditions ordinaires de notre atmosphère, nous vivons toujours dans un milieu inférieur à notre propre température; c'est dans la loi générale de notre existence, c'est l'état normal.

La température d'un animal à sang chaud est considérée comme fixe relativement aux variations de température du milieu cosmique ambiant. Cependant cela n'est pas absolu, et il y a des limites, assez étroites il est vrai, mais réelles, dans lesquelles oscille la température animale. Si un animal à sang chaud se trouve amené à vivre pendant assez longtemps dans un milieu très-refroidi, il finit par se mettre en équilibre de température avec l'exté-