

## CHAPITRE II.

### L'ESSOUFFLEMENT

Un temps de course. — Les exercices qui essoufflent ; le trot et le galop ; le travail en montant. — Loi de l'essoufflement.

Le besoin de respirer ; conditions dans lesquelles il augmente et diminue. — L'acide carbonique ; sa production augmente avec l'activité des muscles ; elle diminue avec le repos. — Le sommeil de la marmotte.

Explication de la loi de l'essoufflement. — Pourquoi on s'essouffle en courant. — Pourquoi le cheval *galope avec ses poumons*. — Pourquoi les exercices des jambes essoufflent plus que les exercices des bras. — Le *coefficient* d'essoufflement. — Le cheval qui *sort de ses allures*.

L'essoufflement est une auto-intoxication par l'acide carbonique. — Analogie avec l'asphyxie. — Impossibilité de lutter contre l'essoufflement.

Vous êtes-vous jamais trouvé en vue d'une gare avec la crainte de manquer le train ? Vous avez 500 mètres à faire, et la montre impitoyable vous dit : encore deux minutes ! Il faudrait courir, et, depuis de longues années, vous êtes habitué à l'allure modérée d'un homme qui se sert de ses jambes quand il se promène et de voitures quand il est pressé. Mais vous tenez à partir, et, prenant votre courage à deux mains, vous vous lancez à toute vitesse.

Les jambes sont solides et vous n'en souffrez pas en courant. Pourtant, au bout de quelques secondes, un malaise singulier vous envahit. La respiration s'embarrasse ; il semble qu'un poids vous oppresse, qu'une barre vous traverse la poitrine. Les mouvements respiratoires deviennent saccadés, irréguliers. A chaque pas, le malaise augmente et se généralise. A présent, les tempes battent avec violence, une chaleur insupportable vous monte au cerveau, un cercle de fer vous étreint le front. L'instant d'après, les oreilles bourdonnent, la vue se trouble et vous n'avez plus qu'un sentiment confus des objets devant lesquels vous passez et des gens qui se retournent pour regarder votre figure pâle et bouleversée.

Enfin vous voilà rendu. Au moment où le train siffle, vous

tombez anéanti sur les coussins de votre compartiment. Là, malgré la satisfaction d'être arrivé et le soulagement d'être assis, votre malaise persiste. Pendant plusieurs minutes encore, *l'air vous manque* et les mouvements précipités de votre poitrine vous font ressembler à un homme en proie à un violent accès d'asthme.

Cela s'appelle « *être essoufflé* ».

Il est rare qu'on songe à s'étonner d'un fait observé chaque jour, et il semble naturel à tout le monde qu'on soit essoufflé quand on vient de courir. Pourtant, si on y réfléchit, il y a dans le fait de l'essoufflement, pendant la course, quelque chose qui devrait nous surprendre : quand on court, ce sont les jambes qui travaillent, et c'est le poumon qui se fatigue.

## I.

On ne trouve nulle part l'exposé méthodique et l'explication rationnelle de *l'essoufflement*. Cette forme de la fatigue n'a été jusqu'à présent l'objet d'aucune monographie ; elle n'est décrite dans aucun des grands dictionnaires de médecine, dans aucun traité de physiologie.

Il n'y a pourtant pas de fait plus banal et plus fréquemment observé que l'essoufflement ; il n'y en a pas de plus intéressant au point de vue des résultats hygiéniques et thérapeutiques du travail musculaire.

*L'essoufflement* est un malaise qui se produit au cours d'un exercice violent ou d'un travail musculaire intense, et qui se caractérise par un besoin exagéré de respirer, et par un trouble profond dans le fonctionnement des organes respiratoires. — Cet état n'est qu'une forme particulière de la dyspnée et présente le tableau général des accidents dus à l'insuffisance de l'hématose. Mais il diffère des troubles respiratoires qu'on peut observer dans les maladies, par certains signes particuliers que nous aurons à signaler, et surtout par les conditions dans lesquelles il se produit et par le mécanisme de sa production.

Si nous cherchons à établir dans quelles conditions l'essoufflement se produit pendant le travail, nous serons frappés d'abord de ce fait que certains exercices, certains mouvements, semblent avoir le privilège d'influencer plus promptement que d'autres les fonctions respiratoires.

Dans certains actes musculaires, la fatigue prend la forme de l'essoufflement, et la gêne respiratoire force le sujet à interrompre le travail bien avant que les muscles ne soient fatigués. Un homme qui court ou qui monte rapidement un escalier est obligé de s'arrêter, non pour reposer ses jambes, mais pour *souffler*.

Pour d'autres exercices, au contraire, les muscles se fatiguent et refusent de continuer le travail, bien avant que l'essoufflement se produise. L'acte de grimper à l'échelle par la force des poignets, l'acte de soulever des haltères, de tenir des poids à bout de bras, sont autant de mouvements qui fatiguent promptement les membres avant d'amener des troubles très accentués dans les fonctions respiratoires. Quand on se sent obligé d'interrompre ces exercices, ce n'est pas que le souffle manque, c'est que la force musculaire est épuisée.

Chez les animaux, on a remarqué aussi que certaines allures, certaines formes du travail produisent plus particulièrement l'essoufflement, tandis que d'autres amènent plutôt la fatigue des membres.

« Le cheval, — disent les entraîneurs, — trotte avec ses jambes et galope avec ses poumons. » — Cette phrase, exprime bien, dans son image humoristique, l'importance de l'allure dans la production de l'essoufflement. Pourquoi un cheval s'essouffle-t-il plus au galop qu'au trot? La première idée qui vient à l'esprit, c'est d'attribuer à la vitesse plus grande l'essoufflement plus prompt. Mais il ne faut pas confondre l'*allure* et le *train*. L'allure du galop n'est pas incompatible avec un train très ralenti. On peut raccourcir le galop d'un cheval jusqu'à le forcer à rester en arrière d'un autre cheval qui trotte. On a même cité des animaux assez bien dressés, assez bien *mis*, suivant l'expression du manège, pour aller au galop aussi lentement qu'au pas. Or, aussi raccourci que soit le galop, il essouffle un cheval plus promptement que le trot à vitesse égale.

L'essoufflement ne se produit donc pas dans les mêmes conditions que la fatigue musculaire locale, et certains exercices semblent avoir le privilège d'influencer la respiration.

Quand on cherche à trouver l'explication de ce fait, il est naturel de se demander d'abord si les exercices qui essoufflent n'ont pas une influence directe sur les organes qui exécutent les mouvements respiratoires, s'ils n'exigent pas, par exemple, l'entrée en jeu des muscles de la poitrine et du dos, dont les contractions

pourraient gêner l'action des côtes. Mais au premier coup d'œil, cette hypothèse est écartée, car les exercices qui essoufflent le plus, chez l'homme, ne sont pas ceux qui exigent le travail des membres supérieurs et, par conséquent, le concours direct des muscles de la poitrine. La course, le saut, l'ascension d'une pente escarpée, sont, de tous les exercices connus, ceux qui amènent le plus promptement l'essoufflement, et ils s'exécutent avec les membres inférieurs, dont les muscles ne s'attachent pas plus haut que le bassin et n'ont pas d'action directe sur le thorax.

Selon nous, il est impossible d'expliquer la tendance de tel ou tel exercice musculaire à produire l'essoufflement, si l'on se base seulement sur les particularités de mouvement et d'attitude que ces exercices nécessitent.

Certains auteurs, qui ont parlé incidemment de l'essoufflement, semblent attribuer cette forme de la fatigue au mécanisme même des exercices qui essoufflent et à la gêne directe que produisent ces exercices sur les mouvements respiratoires.

« L'essoufflement pendant la course, dit Michel Lévy, tient à ce « que le coureur, impuissant à faire les *inspirations* profondes et « prolongées dont il a besoin pour la succession des efforts, « cherche à y suppléer par la fréquence des mouvements respi- « ratoires, afin de fixer autant que possible sa colonne vertébrale « et sa poitrine. » (Michel Lévy, *Traité d'hygiène*.)

Nous citons cette opinion pour montrer combien, en général, les auteurs qui ont écrit sur l'exercice musculaire s'en sont rapportés à des déductions qui leur paraissent rationnelles, plutôt qu'à l'observation directe des faits. En effet, l'opinion de Michel Lévy est basée sur une erreur d'observation que chacun peut contrôler sur lui-même, si un temps de course d'une minute ou deux ne lui fait pas peur. Chez l'homme qui court, ce n'est pas l'*inspiration* qui est difficile, c'est l'*expiration*. On n'éprouve, dans cet exercice, aucune difficulté à faire entrer l'air dans la poitrine : c'est au contraire la sortie de l'air qui est difficile, incomplète. D'après des observations prises sur nous-même et sur un ami qui a bien voulu se prêter à cette étude, l'inspiration est libre, facile, profonde et trois fois plus longue que l'expiration. Celle-ci, au contraire, est brève, insuffisante, laisse l'impression d'un besoin non satisfait.

De plus, le rythme très particulier de la respiration, chez un homme qui court, n'est pas dû au mécanisme de la course, car il se retrouve dans tous les exercices qui essoufflent, quelle que

soit leur forme, et, en outre, il persiste toujours longtemps après que l'exercice a cessé. On ne peut donc pas dire que cette forme de la respiration tient à des contractions musculaires ou à des attitudes forcées, puisqu'elle s'observe même alors que tous les muscles ont été mis dans le relâchement et que le corps est revenu à l'attitude du repos.

Le dérèglement de la respiration, dans tous les exercices qui essoufflent, n'est pas la cause première de la dyspnée; il en est, au contraire, le résultat. L'explication de l'essoufflement basée sur la gêne mécanique des mouvements respiratoires est loin de pouvoir s'appliquer à tous les exercices qui essoufflent et à toutes les circonstances de l'essoufflement.

Si l'on cherche une condition qui soit commune à tous les exercices, à tous les actes musculaires réputés capables d'amener rapidement des troubles de la respiration, on est frappé de voir que tous nécessitent une très grande dépense de force pour un temps très court. — C'est là, selon nous, la condition essentielle de l'essoufflement.

Il y a d'autres conditions qui favorisent la production de la gêne respiratoire au cours d'un exercice, soit en suspendant momentanément la respiration, comme on le voit dans le phénomène *de l'effort*, soit en forçant les muscles thoraciques à s'associer à un exercice qui les détourne de leur rôle respirateur. Mais ces conditions n'ont qu'un résultat passager et ne contribuent que pour une faible part à l'essoufflement. Les causes capables de gêner mécaniquement la respiration interviennent comme facteurs accessoires, comme complication capable de hâter et d'aggraver l'essoufflement; mais elles ne peuvent amener par elles-mêmes une gêne prolongée et persistante de la respiration, si elles ne sont pas associées à des actes musculaires nécessitant une grande somme de travail.

Pour s'en convaincre, il suffit d'imiter expérimentalement ce qui se passe dans certains actes musculaires qui amènent la suspension de la respiration.

Si l'on fait une profonde inspiration, et qu'après avoir fermé la glotte, on soumette l'air introduit dans la poitrine à une compression vigoureuse en contractant les muscles expirateurs, on se trouve dans toutes les conditions physiologiques de *l'effort*. La face injectée de sang, les veines du cou saillantes, les côtes fortement soulevées, le thorax immobile dans la position d'inspiration forcée donnent le tableau complet des phénomènes présentés

par l'homme qui soulève de terre un fardeau pour le charger sur ses épaules. Mais il y manque le fardeau et la dépense de force musculaire qu'il nécessite. Aussi, malgré la suspension complète de la respiration, l'essoufflement ne se produit-il pas à la suite d'un très grand nombre d'efforts simulés, tandis qu'il se produit toujours à la suite d'un très petit nombre d'efforts réels, accompagnés de travail musculaire intense.

Ce qui essouffle dans l'acte de l'effort, c'est la quantité de travail effectué et non l'attitude particulière que ce travail nécessite et l'interruption momentanée de la respiration qui en résulte. C'est faute d'avoir analysé ces deux éléments d'un acte complexe que plusieurs auteurs ont attribué l'essoufflement produit par certains exercices à la suspension momentanée de la respiration pendant l'acte de l'effort. La suspension, même complète, de la respiration ne peut pas, à elle seule, produire les phénomènes qu'on observe chez les personnes essoufflées. Elle produit l'angoisse respiratoire, et celle-ci se prolonge tant que dure la cessation de la fonction; mais, aussitôt que les mouvements redeviennent libres, le malaise cesse et la respiration reprend instantanément son rythme régulier.

L'essoufflement, au contraire, se prolonge longtemps après que l'exercice a cessé, ce qui prouve que sa cause est plus profonde et plus durable que ne saurait l'être un arrêt momentané de la fonction respiratoire.

Si on passe en revue tous les exercices qui semblent avoir pour spécialité d'amener l'essoufflement, et qu'on les soumette à une analyse attentive, on trouve constamment la confirmation de cette loi qui rattache une grande gêne respiratoire ressentie à une grande quantité de force dépensée en peu de temps.

Analysons un acte des plus simples, le fait de monter un escalier. Aucun travail n'essouffle plus rapidement que celui-là, mais aucun ne demande une plus grande dépense de force.

Supposons qu'on monte, à une allure modérée, deux étages par minute, de façon à employer deux minutes pour monter quatre étages dont la hauteur peut être évaluée à 20 mètres. Une personne pesant 75 kilogrammes aura ainsi en deux minutes élevé le poids de son corps à 20 mètres et fait par conséquent un travail de  $75 \times 20$ , soit 1.500 kilogrammètres.

Si on veut réduire à un travail d'une autre forme le total de force dépensée en montant l'escalier, on est étonné de voir, — s'il s'agit de soulever des poids, — qu'il faudrait, pour avoir l'équiva-

lent de l'ascension d'un quatrième étage, prendre par terre successivement trente poids de 100 livres chacun, et les placer sur une table haute d'un mètre, et cela dans l'espace de deux minutes.

Il est évident pour tout le monde que le travail sous cette forme constituerait un exercice très violent, mais le fait de gravir quatre étages est un travail tellement usuel qu'on ne songe pas à remarquer quelle dépense de force il demande. Il en est de même de tous les actes par lesquels le corps s'élève : la marche dans une côte, l'ascension d'une montagne. Dans tous ces cas, le corps humain, poids considérable, a été déplacé en hauteur suivant un plan plus ou moins incliné, et ce déplacement a exigé une grande dépense de force.

Même conclusion si on étudie ce qui se passe chez un homme qui court.

A chaque foulée de course, il y a un instant où les deux pieds abandonnent le sol à la fois et où le corps plane en quelque sorte dans l'espace sans être soutenu par l'appui des jambes et en vertu seulement de la poussée musculaire qui l'a détaché de terre. Cette poussée, qui représente un travail énorme, se renouvelle trois ou quatre fois par seconde. Pendant la marche au contraire, le corps est supporté par l'un des pieds et n'abandonne jamais le sol. — Ces détails montrent clairement la grande différence de travail représentée par l'allure de la marche comparée à celle de la course.

Remarquons que, dans la course, l'essoufflement est dû moins à la vitesse de la progression qu'au mode de locomotion, à la manière dont le corps se déplace. La vitesse dans le mouvement ne suffit pas pour amener l'essoufflement quand elle n'est pas combinée avec l'intensité de l'effort musculaire. Aussi ne faut-il pas s'en rapporter à la vitesse d'un exercice pour préjuger le degré d'essoufflement qu'il doit produire.

On peut, ainsi que nous l'avons dit, ralentir le galop d'un cheval, de manière à le rendre moins rapide que le trot allongé, et pourtant on observe toujours que l'animal s'essouffle beaucoup plus en galopant qu'en trottant. C'est que le galop du cheval est une allure plus *haute* que le trot, ainsi que l'ont mis en lumière les expériences de M. Marey. Le cheval qui galope élève son corps à une plus grande hauteur du sol que le cheval qui trotte, et fait, par conséquent, une plus grande quantité de travail mécanique. C'est à cause de cette différence dans la quantité de force dépensée

que le trot à vitesse égale, essouffle toujours moins l'animal que le galop.

Il serait facile d'accumuler des exemples. Ceux que nous avons cités suffisent pour démontrer que la véritable condition de l'essoufflement, celle sans laquelle la gêne respiratoire ne se produit pas d'une manière durable, c'est la grande dépense de force nécessitée par l'exercice en un temps très court.

Toute différence individuelle étant écartée, on peut dire que .

*Dans tout exercice musculaire, l'intensité de l'essoufflement est en raison directe de la quantité de force dépensée en un temps donné.*

L'essoufflement est un effet général, une *résultante*. Il est l'effet de la totalité du travail exécuté par l'ensemble des muscles qui concourent à un exercice.

La fatigue musculaire, au contraire, est un effet local. Elle est proportionnée à la part de travail qui revient individuellement à chaque muscle dans l'exécution d'un exercice.

Une quantité de travail trop faible pour amener l'essoufflement pourra amener la fatigue si l'effort est supporté par un petit nombre de muscles ou par des groupes musculaires très faibles. Si, au contraire, l'exercice est divisé entre un très grand nombre de muscles, ou exécuté par des masses musculaires puissantes, la part de travail effectuée par chaque faisceau contractile pourra être trop faible pour amener la fatigue locale, tandis que la somme représentée par le travail de chacun d'eux pourra être suffisante pour amener l'essoufflement.

L'essoufflement est la forme générale de la fatigue. Quand on veut obtenir de l'exercice musculaire ses *effets généraux*, il faut rechercher les exercices qui essoufflent, et ne pas s'en tenir à ceux qui fatiguent. Ces derniers produisent surtout des effets locaux.

Enfin, dans le *dosage* des exercices du corps, on peut considérer l'essoufflement comme une sorte de mesure physiologique indiquant plus sûrement que la fatigue musculaire l'intensité du travail auquel a été soumis l'organisme. Quand l'essoufflement ne s'est pas produit, on peut dire que l'exercice est modéré, ou du moins qu'il a été pris, — si l'on peut s'exprimer ainsi, — *à dose fractionnée*. Toutes les fois, au contraire, que la gêne respiratoire se produit promptement, on peut affirmer qu'il a été fait une grande quantité de travail en peu de temps, et par conséquent que l'exercice a été pris à *haute dose*.



Certains exercices qui, au premier abord, paraissent modérés, seront jugés exercices violents, comme ils méritent de l'être, si on les soumet au critérium que nous indiquons.

C'est ainsi qu'une fillette qui saute à la corde se trouve faire un exercice en réalité plus violent qu'un batelier qui rame ou un gymnasiarque qui exécute des tours de trapèze.

Ainsi, pour nous résumer, si certains exercices essoufflent plus que d'autres, ce résultat ne tient pas aux mouvements spéciaux ou aux attitudes particulières qu'ils comportent. La promptitude de l'essoufflement n'est pas due à la contraction de certains muscles, au déplacement de certains leviers osseux, à la gêne mécanique subie par certains organes pendant l'exercice : elle est due à la dépense excessive de force que l'exercice nécessite.

Il était important d'établir clairement les conditions dans lesquelles l'essoufflement se produit, car de ces conditions nous allons déduire la cause première de l'essoufflement.

## II.

Quand un homme essoufflé cherche à s'étudier lui-même et à analyser les sensations tumultueuses qu'il éprouve, il est très embarrassé pour caractériser exactement son malaise et pour le localiser d'une manière précise dans tel ou tel point du corps. Une impression, pourtant, domine toutes les autres et les résume pour lui assez nettement : c'est le sentiment d'un besoin exagéré de respirer qu'il ne parvient pas à satisfaire.

L'exagération du besoin de respirer est le caractère fondamental de l'essoufflement.

En quoi consiste le besoin de respirer ? dans quelles conditions se produit-il, et pourquoi l'augmentation du travail des muscles amène-t-elle l'exagération de ce besoin ? Telles sont les questions à résoudre pour saisir le lien qui rattache l'essoufflement à l'exercice musculaire qui le produit.

Le besoin de respirer est une sorte de régulateur de la fonction respiratoire. C'est une sensation qui pousse l'individu à augmenter plus ou moins la fréquence et l'ampleur des mouvements du poumon, suivant l'urgence plus ou moins grande qu'il y a pour l'organisme à *hématoser* le sang, c'est-à-dire à rendre au sang vei-

neux ses qualités de sang artériel, en remplaçant l'excès d'acide carbonique qu'il renferme par de l'oxygène emprunté à l'air atmosphérique.

Ni la faim, ni la soif, ni aucun des autres besoins naturels ne produisent dans l'organisme une perturbation aussi prompte que le besoin de respirer, quand il n'est pas satisfait. C'est qu'aucun autre besoin n'est lié d'une façon aussi intime à la sauvegarde de l'organisme.

La respiration, en effet, a pour but de nous défendre contre un danger très pressant, en éliminant du sang l'acide carbonique, véritable poison dont l'accumulation dans l'économie peut, en quelques minutes, amener la mort.

L'acide carbonique est un produit de désassimilation, résultant des combustions vitales. Il se forme d'une façon incessante dans l'organisme, pendant tout le temps que s'entretient la chaleur animale, c'est-à-dire pendant toute la vie. Si l'organisme n'en subit habituellement aucun mauvais effet, c'est qu'il s'élimine sans cesse par le poulmon.

L'organisme ne peut supporter sans dommage qu'une dose déterminée d'acide carbonique. Quand cette dose est dépassée, un malaise se produit aussitôt. Ce malaise, qui s'appelle gêne respiratoire, besoin de respirer, *dyspnée*, est un avertissement qui nous met en garde contre l'accumulation dans le sang, de la substance toxique.

La présence de l'acide carbonique en excès dans le sang est le point de départ de la sensation qui nous pousse instinctivement, et même quelquefois en dépit de notre volonté, à activer le jeu de l'appareil respiratoire.

Toutes les circonstances qui font varier en plus ou en moins la quantité d'acide carbonique contenue dans le sang font varier, dans le même sens, l'intensité du besoin de respirer et la fréquence des mouvements respiratoires. — signe par lequel ce besoin se manifeste extérieurement.

Toutes les fois que l'organisme fabrique moins d'acide carbonique qu'à l'état normal, le besoin de respirer diminue et les mouvements respiratoires se ralentissent. C'est ce qu'on observe pendant le sommeil. Un homme endormi produit moins d'acide carbonique qu'un homme éveillé; aussi sa respiration est-elle moins fréquente.

C'est surtout dans le sommeil des animaux hybernants qu'on a pu observer la corrélation très intime qui existe entre la dimi-

nution de l'acide carbonique dans l'économie et l'atténuation du besoin de respirer.

D'après les curieuses expériences de Regnault, la production d'acide carbonique chez la marmotte en état de sommeil hybernal est trente fois moindre qu'à l'état de veille. Aussi observe-t-on une diminution surprenante du besoin de respirer chez l'animal en état d'hybernation. On constate, en revanche, qu'au réveil, la production d'acide carbonique augmente brusquement et que, du même coup, les exigences de la respiration reprennent aussitôt toute leur intensité.

Une marmotte engourdie par le sommeil hybernal fut placée sous une cloche de verre de très petite dimension, et les bords de la cloche furent scellés avec du ciment à la table sur laquelle l'appareil était placé. De cette façon, l'air extérieur ne pouvait arriver sous la cloche, et la respiration de l'animal était réduite à la très petite quantité d'air contenue dans sa prison. Tant que dura son sommeil, la respiration s'alimenta suffisamment, et l'animal put vivre pendant plusieurs jours avec cette dose presque infinitésimale d'oxygène, sans donner aucun signe de malaise. Un jour, par un choc violent imprimé à la cloche, on éveilla la marmotte. A peine sorti de son sommeil, l'animal manifesta, par son agitation et les mouvements désordonnés de sa poitrine, une grande gêne respiratoire et mourut asphyxié en quelques minutes. La dose d'air qui lui suffisait à entretenir sa vie avant d'être réveillée ne lui suffisait plus une fois sorti de son sommeil hybernal. Le réveil avait brusquement augmenté l'activité de l'organisme, rendu plus considérable la production d'acide carbonique, et la saturation du sang par ce gaz avait augmenté les exigences de la respiration que la trop petite quantité d'air de la cloche ne pouvait plus satisfaire.

Si le besoin de respirer diminue quand la proportion d'acide carbonique contenue dans le sang est plus faible qu'à l'état normal, il augmente, au contraire, toutes les fois que ce gaz tend à devenir plus abondant. Si l'acide carbonique tend à s'accumuler à haute dose, le besoin de respirer prend les caractères de la dyspnée intense, de l'angoisse, et provoque des mouvements respiratoires d'une énergie et d'une fréquence de plus en plus grandes.

Quand on injecte de l'acide carbonique dans les veines d'un chien, sa respiration s'accélère, devient oppressée, anxieuse; l'animal manifeste une gêne respiratoire de plus en plus grande. Si on continue l'injection sans aucun temps d'arrêt, les symptômes s'ag-

gravent continuellement et l'animal finit par succomber avec les phénomènes de l'asphyxie. Aucune expérience ne peut infirmer la valeur de celle-ci. Elle prouve d'une manière péremptoire que le besoin de respirer s'exagère quand l'acide carbonique est en excès dans le sang, et non pas seulement, — ainsi qu'on l'a soutenu, — quand la quantité d'oxygène est insuffisante. En effet, dans l'exemple que nous citons, le chien ayant les voies respiratoires libres, rien ne peut empêcher l'oxygène de l'air d'arriver à ses poumons en quantité normale; pourtant l'essoufflement se produit, et les accidents d'asphyxie peuvent devenir mortels.

Le besoin de respirer se produit donc avec une intensité proportionnelle à la quantité d'acide carbonique accumulée dans le sang.

Plusieurs causes, chez l'homme, peuvent amener l'accumulation de l'acide carbonique dans l'économie. Il peut y être introduit du dehors par les voies respiratoires, et on observe alors des accidents semblables à ceux que nous venons de signaler chez le chien en expérience. C'est ainsi que les émanations d'une cuve de vendange en fermentation produisent la mort par asphyxie.

Les mêmes accidents peuvent se produire quand l'acide carbonique, au lieu d'être introduit du dehors dans l'organisme, y est simplement retenu par un obstacle quelconque qui diminue le pouvoir éliminateur du poumon. C'est ainsi qu'un enfant qui meurt du croup succombe asphyxié par l'acide carbonique que ses voies respiratoires obstruées ne peuvent éliminer en quantité suffisante.

Enfin, il y a une troisième cause d'accumulation d'acide carbonique dans le sang : l'accumulation peut avoir lieu par excès de production, et c'est ce qui arrive pendant l'exercice violent.

C'est une vérité démontrée en physiologie qu'un animal produit d'autant plus d'acide carbonique qu'il exerce davantage son activité musculaire. Les travaux de M. Sanson ont prouvé que, chez les grands animaux, tels que le cheval et le bœuf, la quantité d'acide carbonique rendue par la respiration est doublée et même triplée quand on les soumet à un violent travail, tel que la course (A. Sanson, *la Respiration des grands animaux*).

On a constaté cette production plus grande d'acide carbonique pendant le travail chez tous les animaux, même chez les insectes.

Une ruche d'abeilles renferme vingt-sept fois plus d'acide carbonique quand l'essaim travaille que lorsqu'il se repose.

Enfin, chez l'homme, on recueille par la respiration pour un temps donné :

- 0gr,35 d'acide carbonique pendant le sommeil;
- 0gr,60 . . . . . dans l'attitude assise;
- 1gr,63 . . . . . pendant la course.

Outre le surcroît d'acide carbonique exhalé par la respiration, on constate aussi une augmentation dans la quantité de ce gaz que la peau élimine pendant le travail. De plus, malgré l'augmentation de l'acide carbonique rendu par toutes les voies, l'organisme en reste encore imprégné pendant un certain temps après la cessation de l'exercice. Si l'on tue un animal après un exercice forcé, on trouve que ses muscles renferment beaucoup plus d'acide carbonique qu'à l'état normal et que le sang des artères est devenu noirâtre et semblable par sa composition chimique à du sang veineux.

Ainsi, quand un homme se livre au travail musculaire, il se produit dans tout son organisme un surcroît d'acide carbonique. L'homme qui exécute un exercice très violent est menacé d'asphyxie aussi bien qu'un animal auquel on injecte de l'acide carbonique dans les veines. Dans les deux cas la cause des troubles respiratoires est la même : c'est un empoisonnement du sang par la même substance toxique ; seulement, chez l'homme essoufflé par le travail musculaire, le poison n'a pas été introduit du dehors, il s'est formé dans l'organisme même. C'est un produit de désassimilation qui s'est accumulé à trop forte dose dans l'économie.

La présence, dans le sang, de l'acide carbonique en excès amène le sentiment de dyspnée. La dyspnée, ou augmentation du besoin de respirer, produit, par effet réflexe, une augmentation de l'effort respiratoire. Une lutte s'engage entre le gaz toxique et les organes éliminateurs qui ont pour mission de l'expulser de l'organisme. Pendant un temps plus ou moins long, suivant l'aptitude respiratoire du sujet, le surcroît d'action du poumon compense l'excès de production de l'acide carbonique, et le malaise est supportable. Mais si le travail augmente, la production finit par dépasser le pouvoir éliminateur des organes ; les cellules pulmonaires ne peuvent plus suffire à débiter tout l'acide carbonique que le sang leur apporte, et ce gaz s'accumule. Si à

ce moment le travail est interrompu, la production du gaz toxique retombe au chiffre normal, celui que l'organisme contenait en excès s'élimine, et le malaise se dissipe. Si, au contraire, l'exercice violent se continue sans aucun temps d'arrêt, l'acide carbonique finit par s'accumuler à haute dose et peut arriver à produire des accidents graves, et même la mort par asphyxie.

Telle est la corrélation très étroite qui existe entre la quantité de travail exécutée par les muscles, la quantité d'acide carbonique produite dans l'organisme, et l'intensité de la gêne respiratoire ressentie par le sujet. Le travail musculaire augmente l'acide carbonique du sang, et l'excès de ce gaz amène l'augmentation du besoin de respirer.

Ainsi s'explique cette loi qui résulte de l'observation des faits et que nous énoncions tout à l'heure :

*L'intensité de l'essoufflement pendant un exercice est en proportion directe de la dépense de force que cet exercice nécessite en un temps donné.*

L'essoufflement a pour cause une sorte d'empoisonnement de l'organisme par un de ses propres produits de désassimilation, une *auto-intoxication* par l'acide carbonique. L'augmentation excessive du besoin de respirer et l'exagération des mouvements respiratoires qu'on observe chez l'homme essoufflé par l'exercice musculaire viennent de l'imminence du danger d'intoxication et de l'effort que fait l'organisme pour éliminer promptement le poison.

### III.

Si on passe en revue toutes les circonstances dans lesquelles se produit l'essoufflement, on verra que notre théorie peut en donner une explication satisfaisante.

Pour que l'essoufflement se produise, il faut que beaucoup de travail soit fait en peu de temps, que l'exercice soit pris pour ainsi dire à *dose massive*, parce qu'il faut que l'augmentation de l'acide carbonique soit assez rapide pour amener l'accumulation excessive de ce gaz et la saturation du sang.

Si l'exercice ne fait, par exemple, que doubler la production de l'acide carbonique, l'essoufflement n'aura pas lieu, puisque l'élimination de ce gaz, d'après les recherches de M. Sanson,