Nº d'ordre: 8

# **THÈSES**

présentées

# A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

Pour obtenir Le titre de Docteur de l'Université de Lille

« Mention Sciences »

Gabriel LANIEZ

Docteur en médecine Licencié ès-sciences Lauréat de l'Académie de Médecine et de la Société de Biologie

### 1º THÈSE

# Les Fondements Physiques et Physiologiques du Métabolisme de Base

### 2me THÈSE

Propositions données par 4 Faculté Soutenues le 11 Juillet 1932, devant la Commission d'écamens

# La Régularisation Chimique de la respiration Propriétés électriques des Colloïdes

Président : M. MAIGE.

( MM. Dubois

Examinateurs

Pariselle

Polonovski

LILLE Imprimerie Nouvelliste-Dépêche 77, Rue Nationale

Nº d'ordre: 8

# **THÈSES**

présentées

# A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

Pour obtenir

Le titre de Docteur de l'Université de Lille « Mention Sciences »

par

### Gabriel LANIEZ

Docteur en médecine Licencié ès-sciences

Lauréat de l'Académie de Médecine et de la Société de Biologie

### 1re THÈSE

# Les Fondements Physiques et Physiologiques du Métabolisme de Base

### 2me THÈSE

Propositions données par la Faculté Soutenues le 11 Juillet 1932, devant la Commission d'examens

# La Régularisation Chimique de la respiration Propriétés électriques des Colloïdes

Président : M. Maige.

Eraminateurs

MM. Dubois

D .....

LILLE Imprimerie Nouvelliste-Dépêche 77, Rue Nationale

1932

## UNIVERSITÉ DE LILLE

## FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen: MAIGE, Botanique générale et appliquée.

Assesseur: Malaquin, Zoologie générale et appliquée.

Doyen honoraire: DAMIEN.

Professeurs honoraires: Hallez, Damien, Chatelet, Barrois, Bruhat, Pauthenier, Fosse, Pascal, Paillot, Beghin.

Professeurs	GAMBIER CHAZY PELABON PARISELLE BERTRAND LERICHE DEHORNE PRUVOST JOUNIAUX CHAUDRON	Physique et électricité industrielles. Mathématiques générales. Calcul différentiel et intégral. Chimie générale. Chimie physique et organique. Paléobotanique. Géologie générale et géographie physique. Histologie comparée et Biologie maritime. Géologie et Minéralogie. Chimie analytique. Chimie appliquée à l'Industrie et à l'Agriculture. Physique générale. RIET Mécanique des Fluides. Mécanique Rationnelle et Calcul des probabilités.
Projesseurs	Dolle	Hydrogéologie.
sans chaire	GALLISSOT	Mathématiques générales.
Maîtres de conférences et chargés de cours	DUPARQUE MAZET DUBREIL CAU LAMBREY BOGROS ROUELLE QUINET	Géologie. Mathématiques. Mathématiques. Physique. Radiotélégraphie. Physique, Mécanique, Physique et Electricité industrielles. Maître de Conférences adjoint de Physique générale.

Secrétaire : ETLICHER.

Chargé du Secrétariat de la Faculté des Sciences : BONNART.

Secrétaires honoraires : Guillet, Lebrun.

## A Monsieur le Professeur MAIGE Doyen de la Faculté des Sciences

J'ai trouvé auprès de vous, Monsièur le Doyen, avec l'appui le plus ferme, le réconfort le plus délicat au cours de travaux longs et parfois pénibles. Le stimulant de votre haute autorité et la bienveillance toute particulière dont vous m'avez honoré, vous assurent en retour, Monsieur le Doyen, de mon respectueux et inébranlable attachement.

# A Monsieur le Professeur DUBOIS Doyen de la Faculté de Médecine

Votre exemple d'inlassable activité et le souvenir du scrupule scientifique apporté à la discussion de ma thèse de médecine, déjà lointaine, m'ont montré, Monsieur le Doyen, le chemin à suivre et j'ai puisé dans l'amour de la précision et de la méthode que vous m'avez enseigné les fondements mêmes de ce modeste travail.

# A Monsieur le Professeur PARISELLE Professeur de Chimie Physique et Organique a la Faculté des Sciences

J'ai suivi, cher Maître, avec un intérét toujours soutenu votre enseignement si clair, si précis, et si étendu. Le bénéfice intellectuel que j'en ai tiré, l'initiation scientifique que j'y ai trouvée m'invitent à une reconnaissance qu'il m'est aussi agréable de ressentir que d'exprimer.

# A MONSIEUR LE PROFESSEUR POLONOVSKI Professeur de Chimie Biologique a la Faculté de Médecine

### Mon cher Maître,

Vous avez présidé à la naissance de ces modestes travaux, vous avez guidé des pas hésitants, votre patronage intellectuel, votre haute science et votre habileté m'ont évité bien des embûches.

Veuillez trouver ici l'expression d'une reconnaissance et d'un attachement qui pour mal s'exprimer, sans doute, n'en sont que plus profondément sentis.

- « Qui veut être compris doit être clair, « et la première des conditions pour être « clair, c'est de préciser avec soin le sens « et la valeur des mots dont il est fait
- usage surtout dans la partie fondamenu tale du discours ».

Jules Auglain, in « Vaccination contre la tuberculose humaine ».

### AVANT-PROPOS

Dans cette brève introduction, nous voudrions montrer à la fois et notre point de départ et le but poursuivi.

Il y a cinq ans, lorsque, pour notre propre édification, nous avons entrepris l'étude du métabolisme de base, nous avons été vivement frappé de l'incohérence des théories fondamentales et du chaos des faits inexpliqués. C'est à y penser chaque jour, à pétrir, à modeler la masse informe de contradictions que nous avons vu surgir peu à peu à nos yeux un ensemble plein d'affinités dans la clarté de l'évidence. Nous n'avons plus songé dès lors qu'à rassembler nos travaux, à fondre entre elles les oppositions et les concordances, à définir et tirer de l'ombre ennemie les fondements mêmes du métabolisme de base. Cette ambition fut-elle trop haute? Nous avons en tous cas conçu ce dessein dans un esprit impartial, loin de toute vaine querelle d'auteur, respectueux des faits acquis et désireux seulement de la simple vérité.

## PRÉLIMINAIRES

Nous jetons ici quelques simples lignes pour rappeler des notions fondamentales et situer d'emblée le débat.

On appelle *métabolisme de base* la dépense calorifique minima de l'organisme homéotherme.

Nous étudierons à la fois et ce minimum de dépense et les conditions de son existence.

On appelle point de neutralité thermique une valeur singulière de la température ambiante pour laquelle l'homéotherme ne présente aucune réaction physiologique de réchauffement ou de refroidissement. Nous nous attacherons spécialement à l'étude de ce point qui possède une importance capitale trop méconnue.

On entend par loi des surfaces la nécessité qui serait imposée à l'homéotherme de régler sa production calorifique d'après la seule étendue de sa surface. Cette loi, telle qu'elle a été entendue jusqu'ici, s'énonce : une même unité de surface corporelle rayonne toujours une même quantité de calories par unité de temps. Beaucoup trop schématique, cette affirmation est controuvée par les faits. Nous avons en conséquence tenté une plus large interprétation des phénomènes et essayé de découvrir les causes des discordances entre l'observation et la réalité. Pour cela, reprenant la question à son principe, nous avons esquissé une synthèse nouvelle qui rend compte, nous semble-t-il, de tous les faits acquis et permet d'en soupçonner quelques autres.

# PREMIÈRE PARTIE

# LA LOI DES SURFACES CHEZ LES HOMÉOTHERMES

#### CHAPITRE PREMIER

# CRITIQUE DE LA LOI DES SURFACES CHEZ LES HOMÉOTHERMES

L'embarras est très grand pour qui veut aujourd'hui préciser la notion de métabolisme de base, ses nécessités fondamentales, sa signification. Après tant de travaux, et peut-être à cause d'eux, l'impression qui se dégage de cet immense effort est celui de la fragilité, de l'incertitude des conclusions comme des principes. Ici, comme souvent en science, l'ouvrier s'est mis trop tôt à l'œuvre sans avoir suivi le plan constructeur.

De là vient l'inadéquation des faits à l'idée, la fausse interprétation ou le rejet brutal de conséquences pourtant sûre et logiques.

Dans l'étude qui va suivre, nous ne mettrons nullement en doute les résultats positifs. Nous admettrons comme invariables et acquis les travaux de Bénédict, de du Bois, de Talbot, de Carpenter, de toute l'école américaine et nous regarderons comme définitifs ceux de Lefèvre et ceux aussi de l'école allemande de Magnus Lévy. Notre critique ne portera pas là. Elle remontera à l'origine et, tout en reconnaissant l'intuition géniale de Richet et de Rubner, s'attaquera à la base même de la doctrine.

Nous verrons alors si l'édifice doit être renversé, consolidé, ou élargi. Nous espérons faire œuvre plus constructrice que destructrice.

La loi des surfaces, nous l'avons vu, postule une proportionnalité des calories rayonnées par l'organisme à l'étendue de
la surface. Il semblerait donc que tous les auteurs puissent être
d'accord pour rapporter dans les calculs les calories à cette
même unité physique. Il n'en est rien. L'un propose une référence au mètre carré de surface corporelle, l'autre au kilogramme
du poids du corps. A la vérité, le choix importerait bien peu,
si les résultats obtenus par ces moyens étaient de même ordre
et en quelque sorte homologues. Mais il n'en est rien et, loin de
s'appuyer, ces méthodes s'opposent et s'affrontent. La fameuse
loi de concordance des calories et de la surface est mise en doute,
battue en brèche. L'étalon de comparaison se dérobe. Toute
base scientifique échappe. L'expérience montre en effet que les
variations calorifiques par mètre carré et par heure sont trop
importantes pour que le mètre carré-heure serve d'unité logique.

Tout le problème est là : Oui ou non, les calories éliminées par un organisme homéotherme sont-elles proportionnelles à la surface de celui-ci ? De la réponse sortira le rejet ou l'acceptation de la loi des surfaces. C'est ce point que nous voudrions étudier minutieusement, a priori, en dehors de toute idée préconçue, comme l'on traite un problème algébrique pur. Nous placerons pour cela, par la pensée, un système physique idéal, mais bien défini, dans les conditions habituelles du fonctionnement physiologique de l'organisme homéotherme et nous verrons à quelles conséquences nous conduit l'étude rationnelle de ce fonctionnement.

Pour situer le problème et en préciser les données, faisons avant tout un bref inventaire des opinions en cours sur la loi des surfaces. Les uns, avec Bénédict et Lefèvre, lui dénient toute valeur nettement et sans réticence, tandis que d'autres, avec Rubner et Lapicque, lui accordent au contraire une grande importance en biologie générale, sous réserves toutefois d'une application plus restreinte à l'homme. Beaucoup pensent enfin que le seul critère réel de la dépense de fonds serait la masse

active de l'individu. Mais cette masse elle-même n'est pas clairement indiquée. Elle serait ainsi constituée, tantôt par l'azote organique total, tantôt par les lipides, tantôt enfin par l'azote nucléinique.

Certains pensent, par ailleurs, qu'il serait parfois bon de rapporter les calories au poids tout en laissant au flair du biologiste l'arbitraire de cette application. D'autres enfin, plus sages, songent qu'il est particulièrement commode de se servir du rapport tout empirique des calories émises à la surface, car cet empirisme pratique permet des déductions intéressantes. Ils se refusent toutefois à voir dans ce mode de référence autre chose qu'un système commode de calcul. Ils estiment en outre que la faiblesse des variations de ce rapport n'est que de hasard et conditionnée par de pures coïncidences algébriques. L'exposé des antinomies serait incomplet s'il se bornait à ces divergences d'opinion. Il est des écueils plus grands dus à des confusions de langage, à des définitions incorrectes et qui tiennent d'un véritable babélisme scientifique. Une science claire réclame un langage clair, des définitions précises. Or, deux termes sont implicitement confondus chaque jour: neutralité thermique et neutralité physique.

A vrai dire, cette seconde expression n'apparaît nulle part avec une telle netteté sous aucune plume. Elle est cependant partout incluse dans les discussions. Elle les fausse toutes. Nous le montrerons plus loin. De là découlent d'incontestables erreurs de méthode et beaucoup d'auteurs cherchent en vain une proportionnalité entre calories et surfaces en des circonstances expérimentales, où il est a priori impossible de la trouver, ou estiment irrationnel et inexplicable de la rencontrer lors même qu'elle est nécessaire et logique.

Au milieu de cette confusion est apparu, par bonheur, un travail de classement vraiment rationnel. C'est l'œuvre critique particulièrement remarquable de Terroine. Cet auteur a entrepris l'examen rigoureux des opinions émises et a réussi finalement à mettre hors de question plusieurs points essentiels, plus techniques toutefois que doctrinaires. Nous suivrons un chemin si bien tracé, désireux d'aller, si possible, plus avant encore.

Nous critiquerons la doctrine à sa base même, écartant tout postulat, toute habitude de penser préétablie, faisant enfin table rase de tout ce que nous savons. C'est la méthode cartésienne. Nous tâcherons de nous y tenir en toute rigueur.

Le point capital et névralgique des discussions en cours est, nous l'avons vu, la validité de la loi des surfaces. L'opinion absolument courante et tout à fait générale veut que cette loi se ramène finalement à un rapport constant et unique entre les calories rayonnées C et la surface corporelle S, ce qui s'exprime algébriquement par l'expression C/S — Cte. Hors de cette constance, ce serait la faillite totale de la loi.

Il est bien certain que, réduite à cet énoncé, la loi des surfaces est en opposition fréquente avec les résultats d'expérience. Il faut se souvenir toutefois, non de la lettre de la loi, mais de l'esprit qui l'a conçue. Prenons garde, en effet, qu'elle n'était dans l'esprit de ses auteurs qu'une réplique biologique de la loi physique de Newton sur le refroidissement des solides. Une assimilation compréhensible se fit spontanément entre ces lois et c'est dans un but de simplification trop grande que Richet et Rubner amputèrent l'énoncé de Newton de la partie qui a trait à la température ambiante. De plus, emportés par la similitude, ils négligèrent d'établir, avant tout, les discriminations nécessaires. Ce point est absolument capital et de l'établissement des bases logiques de la loi part tout l'ensemble de notre étude. Voyons donc ce qui rapproche et éloigne l'organisme homéotherme du simple corps physique qui se refroidit.

L'organisme est bien un corps physique porté à une certaine température, il perd bien sa chaleur en raison de l'étendue de sa surface, il la perd en outre plus ou moins suivant la température ambiante mais, c'est ici le point capital : l'organisme est un corps physique qui crée constamment de la chaleur. La production continue de chaleur par l'organisme est la différence capitale qui existe entre celui-ci et un simple solide qui se refroidit. La négligence de ce facteur essentiel, la production autonome de chaleur fausse tous les raisonnements et leurs conclusions.

En nous appuyant sur ce « fait nouveau », nous allons exposer

rapidement l'histoire de la question et développer ensuite avec plus de clarté l'énoncé du problème.

Lorsque Rubner et Richet affirmèrent successivement que les différences de radiation calorifique entre les individus de taille différente étaient en accord avec la loi de Newton, ils firent un rapprochement d'idées génial et synthétique qui, malgré son apparente justesse, devait recevoir le choc d'innombrables critiques. Regnault et Reiset avaient tout d'abord établi que la consommation d'oxygène par unité de poids est inversement proportionnelle à la taille. Richet et Rubner en développant cette idée, affirmèrent que ce fait était dû à ce que la surface correspondant à une même masse organique est plus grande chez un sujet de petite taille que chez un sujet de grande taille. En première approximation, leurs expériences leur montraient en effet que les organismes vivants rayonnaient assez proportionnellement à leur surface. Cet énoncé se rapprochait de celui de la loi de Newton. Un pas et l'assimilation était faite. Or, quel est l'énoncé de la loi de Newton. Il dit que « le rayonnement calorifique d'un solide est proportionnel à sa surface et à la différence entre sa température propre et la température ambiante ».

Les physiologistes crurent pouvoir tout à la fois limiter leurs vérifications à la première partie de l'énoncé et assimiler les organismes vivants aux solides simples. La contradiction était à la base des raisonnements et, dès le début, surgirent des divergences. Le premier tableau publié par Henriot et Richet souligne déjà de gros écarts dans l'excrétion du CO2 par unité de surface et par heure. Les valeurs trouvées vont en effet de 1 gr. de CO2 chez le pigeon à 1,7 chez l'homme. L'écart est donc de 70 %. Les recherches poursuivies ultérieurement furent aussi discordantes et les travaux de Laulanié et d'Erwin Voit fournissent des quantités de calories par mètre carré-24 heures allant de 850 chez le lapin à 1.800 chez le cheval, puis de 948 chez le cheval à 1.188 chez la souris. Ces divergences sont considérables. Elles semblaient toutefois imputables, partie aux différences de nature des divers animaux étudiés, partie à l'imperfection des mesures de surface chez ces mêmes animaux.

Les études entreprises chez des sujets de même espèce fournirent à cet égard des résultats moins critiquables dans leur essence et plus facilement comparables. Toutefois, les écarts persistaient. Ils étaient encore, suivant les auteurs, de 29 % (Rubner), de 50 % (Slowtzoff), de 30 % (Franck et Voit). Enfin, les travaux de Bénédict sur l'homme soulignèrent des variations de 80 % chez les enfants et de 40 % chez l'adulte. Les divergences sont donc aussi grandes entre individus de même espèce qu'entre individus d'espèces différentes. On comprend dès lors qu'en présence de ces faits. Bénédict soit tenté de rejeter entièrement la loi des surfaces. Il ne veut voir désormais comme cause profonde de la dépense « qu'un ensemble de caractères facilement mesurables; poids, taille, âge, sexe » (Terroine). D'autre part, Du Bois constate les mêmes écarts et tout en se référant à la surface, il récuse implicitement la loi de Richet, « puisqu'il établit des tableaux de comparaison suivant l'âge et le sexe » (Terroine).

Il est donc bien certain, désormais, que les physiologistes placés devant des faits aussi discordants, s'accordent sur le fond pour refuser à la loi des surfaces toute signification purement physique et ne veulent plus voir en elle que l'expression cachée et lointaine de l'activité de la masse organique. Nous allons tenter de réviser ce jugement, d'expliquer les anomalies apparentes en rendant à la loi des surfaces un sens plus large et plus complet. C'est ici que nous donnerons tous nos soins aux définitions, sachant que l'erreur de langage mène souvent à l'erreur de fait. Pour éviter toute confusion, nous dirons donc que par loi des surfaces nous entendrons celle de Newton, à savoir :

1º La thermolyse est proportionnelle à la surface.

2º La thermolyse est proportionnelle à l'écart entre la température du corps étudié et la température du milieu ambiant.

Les physiologistes ont en effet, nous l'avons vu, implicitement limité l'acception de cette loi à son premier alinéa. Peut-être nous sera-t-il possible de la réhabiliter ou de la corriger en la prenant dans son entier.

Nous ferons l'étude de cette loi et de ses conséquences, a priori,

en dehors de toutes les données acquises, en soumettant idéalement un solide quelconque aux lois mêmes de thermogénèse et de régulation thermique qui s'imposent à l'organisme homéotherme. Nous verrons si les faits prévisibles s'accordent ou non avec les faits d'expérience.

En sens inverse, nous rechercherons si un homéotherme, avec ses réactions physiologiques, peut obéir physiquement, au moins pour partie, aux variations de la température extérieure. Nous verrons en dernière analyse s'il est possible de grouper et d'unifier les résultats expérimentaux, de les expliquer et même de les prévoir, et dans quels cas, enfin, il est logique ou non de rechercher une constance du rapport des calories émises à la surface émettrice.

Avant d'aborder le corps même de notre étude, nous poserons une question préjudicielle. La dépense de fonds ou métabolisme de base est-elle bien équivalente au rayonnement thermique qui lui correspond? Autrement dit, peut-on substituer à l'étude de l'énergie minima totale, l'étude du rayonnement thermique? Voyons pour cela ce que représente l'énergie minima. Elle est égale à la somme des réactions cellulaires irréductibles et du fonctionnement mécanique minimum de l'organisme. réactions cellulaires se soldent par un ensemble exothermique. Quant aux dépenses mécaniques, elles sont ici réduites au seul jeu cardio-respiratoire et semblent échapper aux mesures calorimétriques directes. En réalité, une partie de ce travail mécanique se retrouve sous forme de chaleur grâce aux résistances qui s'opposent au cours du sang dans les vaisseaux. La calorimétrie directe mesure donc à la fois la chaleur due aux réactions chimiques et le travail mécanique partiellement transformé en chaleur. Une faible partie de l'énergie mécanique ne se retrouve pas sous forme calorifique. C'est l'énergie du fonctionnement respiratoire. Quant à l'énergie totale, elle est évidemment en rapport avec la consommation d'oxygène. La quantité d'oxygène utilisée mesure donc l'énergie totale calorifique et mécanique. A la vérité, cette dernière fraction est très faible et la dépense énergétique totale sera assez voisine de la dépense calorifique seule. Il semble donc que l'on puisse

assimiler pratiquement ces deux termes : dépense de fonds et thermogénèse. La question que nous nous poserons est donc la suivante : la dépense de fonds est-elle ou non proportionnelle à la surface ? Comme cette dépense est sensiblement égale à la thermogénèse, résoudre la première question c'est résoudre la seconde : la thermogénèse est-elle proportionnelle à la surface ? Nous confondrons volontairement ces deux questions. La thermogénèse se mesurera en définitive comme la dépense de fonds, par la quantité d'oxygène utilisé par les réactions organiques.

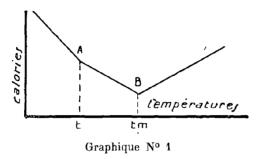
Tous les auteurs ont d'ailleurs agi de même, sans faire au préalable la discrimination nécessaire. L'accord implicite est donc unanime. Seule d'ailleurs la thermogénèse présente un véritable intérêt. Nous étudierons ses rapports avec la surface corporelle, ses variations, son déterminisme.

# Étude d'un système autothermique, isothermique et autorégulateur

Soit donc, un solide de forme quelconque, mais que nous supposerons sphérique pour fixer les idées. Plaçons à l'intérieur de cette sphère une certaine quantité de matière qui brûlera constamment sous l'influence d'un courant d'oxygène et se maintiendra cependant constante en quantité et qualité, grâce à un renouvellement automatique quelconque. Imposons à ce système une condition fondamentale : l'obligation de rester à une température interne fixe t, quelle que soit la température extérieure. Supposons enfin que notre solide possède une régulation automatique qui active ou ralentisse les combustions internes et diminue ou augmente le rayonnement suivant que la température de la sphère tend à baisser ou à augmenter. Notons toutefois que, dans ce dernier cas, le système de réfrigération fonctionnera grâce à une partie de l'énergie fournie par la combustion centrale, ce qui accroîtra celle-ci ipso facto. Notre système est donc autonome : il se réchauffe ou se refroidit à ses propres dépens. Il est, de plus, parfaitement défini. Etudions à présent l'action du milieu extérieur sur ce système.

Au contact de la température ambiante, notre sphère rayonne de la chaleur. Soit  $\mathfrak{t}_1$  la température extérieure à un moment donné. Celle-ci obéit à la seule condition  $\mathfrak{t}_1 < \mathfrak{t}$ . Le système devant rester à la température fixe  $\mathfrak{t}$  se met de lui-même en équilibre thermique avec le milieu. Sa perte calorifique est exactement compensée par son gain. Si  $\mathfrak{t}_1$  diminue, le rayonnement de la sphère augmente, le système perd de la chaleur et tend à se refroidir. Aussitôt la régulation thermique fonctionne et les combustions croissent. Si, au contraire, la température extérieure croît, la perte calorifique décroît. Dans ces conditions, si le système continue de produire la même quantité de chaleur, sa température tend à s'élever sans cesse. L'auto-régulation doit donc intervenir. Elle diminue les combustions jusqu'à ce que la température de la sphère soit revenue à son point fixe imposé  $\mathfrak{t}$ .

, Étudions en détail le mécanisme intime de cette régulation, L'exigence fondamentale que nous avons formulée est la constance de la température t de la sphère. Supposons que la température extérieure croisse au delà de la température primitive t<sub>1</sub> il s'ensuit physiquement que la perte calorifique diminue de q calories. Pour que la sphère conserve sa température fixe t, il existe deux solutions : ou diminuer la production calorifique d'une même quantité q calories, ou ne réduire cette production calorifique que d'une quantité q' < q, tout en faisant croître en même temps le rayonnement. Inversement, si la température extérieure baisse au-dessous de t<sub>1</sub>, la perte croît de q<sub>1</sub> calories et le même raisonnement montre que les combustions doivent croître de q calories ou de  $q_1 < q_1$  si le rayonnement diminue simultanément. Ainsi, à tout abaissement de la température ambiante t<sub>1</sub> correspond un accroissement des combustions, à tout accroissement de la température ambiante une diminution des combustions. Cette diminution a-t-elle une limite? Si nous élevons sans cesse la température ambiante au-dessus de sa valeur primitive t<sub>1</sub>, la perte de calories diminue sans cesse, les combustions se réduisent et, à la limite, quand t<sub>1</sub> = t les combustions s'annulent. Or, ceci nous éloigne des conditions biologiques. Force nous est de conclure que les combustions du système atteindront un minimum pour une certaine température tm. Nous pouvons représenter ce phénomène par la courbe suivante :



Si la température ambiante croît, la courbe descend de A en B. B représente un minimum absolu pour une certaine température  $t_m$ . Nous ignorons jusqu'ici ce que devient la courbe au delà de B. Notre système subit donc une nouvelle obligation : les combustions ne pourront jamais s'annuler, ni descendre en dessous d'un minimum déterminé. Ce point essentiel étant acquis cherchons quels sont les caractères de ce minimum et son déterminisme. La réponse est aisée, car ce minimum doit obéir à la loi supérieure d'isothermie qui le domine. Nous dirons donc que la combustion minima sera déterminée par la quantité de chaleur nécessaire à l'isothermie du système dans des conditions extérieures particulières. Étudions maintenant ces conditions ellesmêmes.

Soit t<sub>m</sub> une température ambiante qui réalise l'isothermie du système pour le minimum de combustions. Si la température ambiante s'élève, il s'ensuit nécessairement une augmentation de la température de la sphère par diminution de la perte calorifique. Cette conséquence étant opposée à la loi d'isothermie, il faudra combattre cette surchauste par un accroissement du rayonnement. Or, celui-ci exige un travail mécanique demandé lui-même par transformation d'énergie au système calorifique interne. L'ensemble se solde donc par un accroissement des

combustions et le point minimum de ces combustions est dépassé. Si la température ambiante baisse au-dessous de  $t_m$ , la régulation accroît les combustions et le point du minimum est encore dépassé. Nous voyons donc que, pour une certaine température ambiante  $t_m$ , le minimum de combustion donc le minimum de rayonnement est atteint. Si nous prenons des températures ambiantes quelconques supérieures ou inférieures à  $t_m$ , les combustions croissent invariablement. Nous pouvons donc compléter notre courbe. Elle croîtra pour toute température supérieure à  $t_m$ . Le point B représente désormais un minimum relatif. La courbe est entièrement définie. Il existe donc une température ambiante  $t_m$  et une seule, pour laqueile on rencontrera un minimum de rayonnement et un minimum de combustion. Nous appellerons  $t_m$ : temperature singulière du système.

Ainsi, l'autoproduction de chaleur, associée à l'isothermie, nous force à admettre :

- 1º L'existence d'un minimum de combustion;
- 2º L'existence d'une et d'une seule température ambiante correspondant à ce minimum.

Nous avons jusqu'ici considéré une même sphère de dimension fixe et fait seulement varier la température ambiante. Nous allons désormais rechercher ce que devient notre système placé à la température singulière t<sub>m</sub> et présentant des combustions minima, quand son rayon et sa surface croissent. Plus précisément, nous étudierons les rapports des calories émises à la surface émettrice. Si l'émission calorifique reste à son minimum, comme la masse totale du système augmente, la température moyenne de cette masse baisse et le rayonnement par unité de surface diminue lui aussi. Il semble donc qu'au point minimum de rayonnement, l'accroissement de la surface n'entraîne pas un accroissement de l'émission calorifique globale et que, par suite, il n'existe aucun rapport entre ces deux accroissements. Cette conclusion est inexacte. Il faut en effet considérer que notre solide croissant forme un tout constamment homogène et que, si la surface croît, son poids croît aussi et de même la masse comburante. La température de la sphère, qui tendait à

baisser par accroissement de la surface, croît à nouveau par augmentation de la masse comburante et, suivant les conditions posées, revient à son niveau primitif obligatoire. Ceci est vrai si la température extérieure reste fixe. Donc, dans un milieu de température  $t_{\rm m}$  constante, la sphère agrandie reprend, si elle l'a un instant perdue, la température fixe t obligatoire. Le rayonnement par unité de surface semble bien rester ce qu'il était auparavant, puisque les températures intérieures et extérieures n'ont pas varié.

Ce raisonnement semble juste et en accord avec la loi des surfaces, telle que nous l'avons définie :  $\frac{C}{S(t-t_m)}=K$ . De plus t et  $t_m$  restant constants, cette loi paraît se réduire alors au simple rapport des calories à la surface C/S=K'.

Cette simplification est vraie pour des solides quelconques de tailles différentes, étudiés pour de mêmes variations de température. Mais nous sommes en présence ici de systèmes doués de réaction. Obéissent-ils à ces lois simples ? Sont-ils assimilables à ces corps inertes ?

Analysons les faits.

Si nous prenons deux sphères a et b de taille différente (la plus petite étant a, la plus grande b), de même température intérieure t, placées dans un même milieu de température  $t_{\mathbf{a}}$ , si de plus  $t_{\mathbf{a}}$  est égale à la température  $t_{\mathbf{ma}}$  correspondant au minimum de combustions de la sphère a, par définition les combustions de a seront minima. Pour b, nous ne pourrons préjuger en aucune façon de l'intensité de ces combustions. Quoi qu'il en soit, il nous faut noter ici que ces sphères de température interne t, placées dans un milieu de température  $t_{\mathbf{ma}}$  ne perdent pas leur chaleur comme un solide inerte. Si ce dernier est à l'instant i à la température  $\mathbf{T}$ , il est à l'instant suivant  $\mathbf{i}$  + di à la température  $\mathbf{T}$  dT. Pour nos sphères, au contraire. l'émission calorifique reste constante dans le temps. Dans le cas du solide inerte en effet, la formule :

$$C = K S (t-t_{ma})$$

possède un élément variable et décroissant avec le temps. C'est  $t + t_{ma}$  où t diminue sans cesse jusqu'à  $t_{ma}$ . A la limite, la chaleur

éliminée C finit donc par s'annuler. Dans le cas de nos systèmes, au contraire, et dans les hypothèses envisagées, l'écart (t— $t_{\rm ma}$ ) reste constant à cause du réchauffement propre des sphères. L'élimination des calories C reste alors invariable. Il nous reste à savoir si ces calories sont ou non proportionnelles aux surfaces de rayonnement.

Poursuivons le raisonnement. Si nos deux sphères a et b étaient des solides doués seulement d'une température constante t, comme la différence entre cette température et la température extérieure  $t_{ma}$  est la même pour les deux, il s'ensuivrait d'après la formule ci-dessus que le rapport C S serait constant entre elles. Mais si ces sphères sont en outre régies par l'ensemble de lois que nous avons imposées à notre système : isothermie, minimum de combustion, autorégulation, les conclusions sont sans doute différentes et rien ne nous prouve que persiste entre elles la constance du rapport C/S.

Une question se pose en effet. La température ambiante t<sub>ma</sub>, qui correspond au minimum de combustion pour la sphère a correspond-elle aussi au minimum de combustion de b?

Si la température  $t_{ma}$  ne correspond pas au minimum de combustion pour b, alors les rayonnements des deux sphères ne sont plus comparables entre eux, car le premier est un rayonnement minimum et le second un autre rayonnement minimum, différent du premier, mais accru de dépenses de réaction. La comparaison des rayonnements par unité de surface entre deux sphères placées dans un même milieu de même température n'est donc pas rationnelle. Elle ne peut se faire valablement qu'aux points thermiques singuliers propres à chaque sphère  $t_{ma}$  pour a et  $t_{mb}$  pour b en dehors de toute dépense réactionnelle. Sans préjuger en aucune façon des positions respectives de  $t_{ma}$  et  $t_{mb}$ , le comparaisons logiques se traduiront par les relations suivantes :

$$\frac{C_1}{S_1}$$
 = K (t-t<sub>ma</sub>) et  $\frac{C_2}{S_2}$  = K (t-t<sub>mb</sub>)

L'examen de ces formules semble montrer au premier abord qu'il n'existe pas de constance de rayonnement par unité de surface pour deux sphères inégales possédant le système de régulation defini plus haut, même étudiées à leurs points singuliers respectifs  $t_{ma}$   $t_{mb}$ 

Poussons cependant plus loin l'analyse et voyons à quelles conditions le rapport C/S pourrait être constant à ces mêmes points singuliers.

Reprenons le problème à l'origine.

Etudions tout d'abord les relations de la surface S et du volume V d'une sphère croissante quelconque. Elles sont données par la formule :

$$\frac{S}{V} = \frac{3}{r}$$

r étant le rayon de la sphère.

Cette relation simple montre que la surface qui correspond à l'unité de volume varie en sens inverse du rayon.

Si la surface croît et devient S', le volume devient V' et le rayon r', on a : S' = nS, avec n > 1, d'où :

$$r' = \left(\frac{n S}{4 \pi}\right)^{1/2}$$
d'autre part, 
$$\frac{S'}{V'} = \frac{n S}{4/3 \pi r'^3} = \frac{3 n r^2}{r'^3}$$
en remplaçant r' par sa valeur, il vient :

$$\frac{S'}{V'} = \frac{3}{r}$$
 .  $n^{-1/2} \text{ d'où } \frac{S'}{V'} = \frac{S}{V}$  .  $n^{-1/2} \text{ et } \frac{S'}{V'} < \frac{S}{V}$ 

Comme n > I la surface correspondant à l'unité de volume est plus petite pour la grande sphère que pour la petite sphère. La surface décroît donc par unité de volume quand le solide croît. Inversement, le volume de la sphère croît par unité de surface quand la sphère croît.

Appelons maintenant coefficient calorifique  $\gamma$  la quantité de calories dégagées par unité de masse active m comburée dans l'unité de temps, soit  $\gamma = C/m$ . C étant la quantité de calories dégagées dans l'unité de temps.

Si la sphère croît, la masse active croît comme le volume. Nous savons qu'alors le volume croît par unité de surface. Si, par ailleurs, le coefficient y reste constant, nous en concluons qu'une même surface reçoit désormais une quantité de chaleur plus élevée qu'auparavant. On peut donner une démonstration de ce fait. Si y est constant, on a :

$$y \doteq \frac{C}{m} = \frac{C'}{m'}$$

où C' et m' représentent les calories par unité de temps et la masse de la sphère agrandie. La masse active croissant ici comme le volume, on peut encore écrire :  $\gamma = \frac{C}{V} = \frac{C'}{V'}$ 

$$Y = \frac{C}{V} = \frac{C'}{V'}$$

En remplaçant V' par sa valeur, il vient : 
$$\frac{C'}{S'} = \frac{C}{S} \quad . \quad n^{-1/2} \quad avec \ n > I \ et \frac{C'}{S'} > \frac{C}{S}$$

ce qui montre hien que si y reste constant et si n croît, la chaleur correspondant à l'unité de surface croît quand la sphère croît. Il s'ensuit que si nous restons dans un milieu à température fixe, la sphère qui croît s'échauffe. Pour maintenir l'isothermie du système, il faut donc que le coefficient calorifique y diminue.

Il est cependant un autre moyen de conserver l'isothermie du système quand ce système croît en dimension, c'est d'abaisser la température ambiante t sans toucher au coefficient y. Nous pouvons en définitive respecter l'isothermie soit en abaissant y, soit en abaissant ta, soit en abaissant ces deux variables à la fois dans des proportions qui restent à déterminer.

Supposons que le coefficient calorifique y diminue seul. Ceci revient à abaisser l'intensité des combustions par unité de masse active et à diminuer la chaleur produite. Cet abaissement, toujours possible en théorie, n'est réalisable en pratique que si les combustions de la sphère agrandie ne sont pas déjà minima, c'est-à-dire si la température ambiante t<sub>a</sub> ne constitue pas pour la nouvelle sphère une température singulière t<sub>m</sub>.

Voyons quelles éventualités sont possibles. Si ta est la température ambiante à laquelle nous opérons et si t<sub>m1</sub> est la température singulière de la sphère primitive, quand la sphère croîtra, la nouvelle température singulière t<sub>m2</sub> de la sphère agrandie pourra être égale, supérieure ou inférieure à la température ambiante  $t_a$ . Dans la première hypothèse, si  $t_a = t_{m2}$ , les combustions de la nouvelle sphère sont par définition minima. Il devient alors impossible d'abaisser  $\gamma$ . Si, au contraire,  $t_{\bf a} \lesssim t_{\rm m2}$  la nouvelle température singulière  $t_{\bf m2}$  diffère de la température ambiante, les combustions sont alors éloignées de leur minimum et on peut abaisser  $\gamma$ . Mais, jusqu'ici, nous ignorons tout d'abord si les températures singulières sont ou non variables avec les volumes et dans la première hypothèse quel est leur mode de relation avec la température ambiante constante. Rien ne nous autorise donc a priori à user avec sécurité de cet abaissement de  $\gamma$  pour réaliser l'isothermie de la sphère croissante.

Il nous reste en deuxième hypothèse à utiliser les variations de la température ambiante ta pour maintenir l'isothermie. Si, en effet, le coefficient y reste invariable, on pourra réaliser l'isothermie en abaissant suffisamment ta pour permettre l'écoulement de l'excès de chaleur produite. Toutefois, nous ne sommes renseignés en rien sur les valeurs inférieures que doit atteindre ta selon les variations du volume de la sphère. Nous ne savons de plus nullement si les nouvelles valeurs de ta seront ou non des températures singulières en dehors desquelles il n'est pas de rapport logique entre C et S. En résumé, si notre système croît, nous ignorons le moyen de respecter à la fois son isothermie et son minimum de combustion, et de nous placer avec sécurité aux points singuliers où les comparaisons entre calories sont valables. Nous ne pouvons donc, jusqu'à présent, faire aucune réponse à la question : les calories émises par notre système croissant peuvent-elles être proportionnelles à la surface?

Nous aboutissons de tous côtés à une impasse et le problème semble insoluble, ou tout au moins sans solution pratique, retournons-le. Posons comme première hypothèse fondamentale la constance du rayonnement de l'unité de surface, soit C/S=K et étudions quelles sont alors les conditions auxquelles doivent se soumettre  $t_m$  et  $\gamma.$ 

La chaleur rayonnée est par hypothèse C = KS où K = Cte. Cette chaleur croît avec la surface. C'est la thermolyse. Nous prendrons une sphère de rayon croissant et nous comparerons entre elles les diverses grandeurs de la thermolyse engendrées par l'accroissement de la surface aux températures singulières

correspondantes. De cette façon, nous ne retiendrons que les combustions minima successives correspondant à chaque nouvelle surface et à chaque température singulière. Nous éliminerons de la sorte les réactions thermiques imprévisibles en dehors des températures singulières. Les accroissements calorifiques ne seront dus alors qu'à des accroissements de volume et de masse active et nous pourrons valablement rechercher les rapports qui dans ces conditions lient la thermolyse à la surface. Faisons donc varier la surface de la sphère et voyons ce qu'il advient dans ces hypothèses. Si la surface croît et devient S' — nS avec n > 1, alors les calories C' sont données par la formule :

$$C' = KnS$$

et l'accroissement calorifique correspondant sera:

$$C' - C = K S (n-I)$$

d'autre part, on sait que pour la sphère :

$$\frac{V}{S} = \frac{r}{3} \text{ où r désigne le rayon}$$

$$V' = \frac{n S r'}{3}$$

on en tire

l'accroisement du volume est donc :

$$V' - V = \frac{\text{n S r'}}{3} - \frac{\text{S r}}{3}$$

$$V' - V = \frac{\text{S}}{3} (\text{nr'} - \text{r})$$

La masse active croissant ici comme le volume, il s'ensuit que l'accroissement de cette masse active est proportionnel à l'accroissement du volume, soit :

$$m' - m = \frac{S}{3} (nr' - r)$$

La chalcur produite par l'accroissement de volume est alors donnée par l'expression S/3 (n r' — r)  $\alpha$   $\gamma$ , où  $\alpha$  représente la fraction de masse active comburée dans l'unité de temps. Comme nous sommes toujours dans des conditions d'isothermie parfaite,

il existe un équilibre mobile constant entre la chaleur engendrée et la chaleur lysée. Ceci s'écrit:

accroissement génétique = accroissement lytique ce qui se traduit par la relation :

$$\frac{S}{3} (n r' - r) \alpha \gamma = K S (n - I)$$

d'où nous tirons une valeur de  $\gamma$  en fonction de n et des rayons initial r et final r'.

$$\gamma = \frac{3 \text{ K}}{\alpha} \cdot \frac{n - I}{n \text{ r'} - r}$$

D'autre part, de la relation S' = n S, nous tirons la valeur de n en fonction de r et r':

$$n = \left(\frac{r'}{r}\right)^2$$

d'où une nouvelle valeur de y en fonction de r et r'

$$\gamma = K_1 - \frac{r'^2 - r^2}{r'^3 - r^3}$$

ou encore:

$$\gamma = K_1 - \frac{r' + r}{r'^2 + r r' + r^2}$$

Étudions les variations de y.

La dérivé y' est:

$$\gamma' = - \frac{r'^2 + 2 r r'}{(r'^2 + r r' + r^2)^2}$$

Elle est certainement toujours négative.

Son étude montre d'abord que la fonction est continue et qu'elle passe par un maximum ou un minimum pour les valeurs suivantes de r'

$$\begin{array}{rcl}
 r' &= 0 \\
 r' &= -2 r
 \end{array}$$

Ces deux valeurs sont irréelles. La fonction est donc dans les limites de son expression physique, réelle, continue et toujours croissante ou décroissante.

Examinons ce dernier point. Soit  $\epsilon$  l'accroissement de r', le numérateur de la fonction  $\gamma$  croît de  $\epsilon$ . Quant au dénominateur, il croît de :

$$\epsilon^2 + 2\epsilon r' + \epsilon r$$

L'accroissement du dénominateur sera supérieur, égal ou inférieur à celui du numérateur, suivant que

Si ɛ≥1, on conclue que le dénominateur de y croît plus que le numérateur. Dans ces deux cas, y décroît.

Si  $\varepsilon < 1$  on a toujours

$$2 r' + r > 1 - \epsilon$$

ici encore y diminue.

On voit donc que, dans tous les cas, y varie d'une façon continue et en sens inverse du rayon de la sphère.

Le coefficient calorifique décroît donc quand les dimensions du système croissent. Notons que nous avons supposé pour cela toute absence de réaction thermique aux points singuliers successifs t<sub>m</sub>, l'isothermie parfaite et aussi la constance du rapport C/S. Nous voyons en sens inverse que l'isothermie, l'absence de réaction thermique aux points singuliers et la constance du rayonnement calorifique par unité de surface sont respectées quand le coefficient y présente des variations inverses à celles des dimensions du solide. La loi de Newton qui s'est révélée en première analyse incapable à définir notre système doit donc tenir compte d'un nouveau facteur : le coefficient calorifique y. Ce facteur contribue à régler la production calorifique au même titre que la surface.

La loi doit finalement se modifier par l'introduction du facteur y et se compléter comme suit :

$$\frac{C}{S \cdot \gamma \cdot (t - t_a)} = K$$

 $\frac{c}{S_{\gamma}(t-t_{a})}=K$  le rapport C/S prend désormais la valeur suivante :

$$\frac{C}{S} = K (t-t_a) \gamma$$

Il est maintenant plus simple de savoir à quelles conditions ce rapport sera constant. Ceci aura lieu si le produit (t-ta) y est constant lui aussi, soit:

$$(t-t_a) \gamma = \mu \qquad \mu = C^{te}$$

Ainsi, le coefficient calorifique y varie inversement aux différences de température t—t<sub>a</sub>, Pour préciser, si les dimensions du solide croissent, le coefficient calorifique y doit décroître et le terme t—t<sub>a</sub> croître. Cette dernière variation n'aura évidemment lieu que si la température ambiante  $t_a$  s'abaisse. Donc  $\gamma$  et  $t_a$  décroîtront ensemble quand le solide croîtra. Nous pouvons d'ailleurs établir directement les relations qui unissent les dimensions de notre système à la température ambiante. Hemplaçons en effet  $\gamma$  par sa valeur dans l'équation de Newton modifiée. Nous savons que :

$$\gamma = \frac{C}{m}$$
 ou encore  $\gamma = K \frac{C}{V}$ 

il vient, tous calculs faits:

$$\frac{V}{S(t-t_{B})} = K'$$
or nous savons que 
$$\frac{V}{S} = \frac{r}{3}$$

l'équation devient donc finalement:

$$\frac{r}{t-t_a} = K'$$

L'introduction du coefficient y permet donc d'établir une relation simple et directe entre les dimensions du solide et la température ambiante. Cette proportionnalité montre que, si la température interne t reste fixe, la température ambiante la doit s'abaisser quand le rayon croît, pour que la loi de Newton modifiée s'applique en toute rigueur.

Ainsi, et pour nous résumer, quand notre système isothermique, autothermique et autorégulateur accroît ses dimensions, le coefficient calorifique doit décroître et la température extérieure s'abaisser.

Le problème est donc résolu et les conditions nécessaires à la constance du rapport C/S aux points singuliers successifs  $t_m$  quand le système croît sont :

- 1º L'abaissement du coefficient calorifique /.
- 2º L'abaissement des points singuliers t<sub>m</sub>.

Les conclusions sont évidemment inverses si les dimensions du système décroissent.

Si maintenant nous faisons croître notre solide à des températures non singulières, qu'arrive-t-il? Alors, la régulation thermique joue de façon à conserver à l'ensemble la tempéraure t. De toute façon, comme nous l'avons vu, l'émission calorifique C'

croît d'une quantité impossible à déterminer a priori. Cette émission C' est bien fonction de la surface et de la différence (t—t<sub>a</sub>), mais elle est encore sous la dépendance de la réaction de thermogénèse propre au système, troisième facteur impossible à préciser. Ici, la thermogénèse commande la thermolyse. La loi ne s'applique plus sous une forme simple en dehors des minima de rayonnement déterminés par les températures singulières correspondantes.

Un autre point mérite encore quelque éclaireissement. Comment s'opère le réchauffement de la sphère qui croît ? Quel en est le mécanisme intime ? Faisons plusieurs observations. Il faut tout d'abord séparer très nettement dans l'esprit l'une de l'autre la masse combustible qui n'est qu'une réserve susceptible d'être brûlée et la masse actuellement brûlée ou comburante. La masse combustible est, d'autre part, tout à fait assimilable à la masse active physiologique. Celle-ci n'est qu'une réserve parfaitement utilisable mais qui n'est jamais attaquée dans sa totalité à l'instant considéré. La partie de cette masse qui brûle actuellement constitue ce que nous appellerons la masse comburante. Or, cette masse comburante dégage, par unité de temps et unité de poids y1 calories pour produire les C1 calories dégagées par la sphère primitive et y2 calories pour produire les C2 calories dégagées par la sphère agrandie. Les masses comburantes étant respectivement p<sub>1</sub> et p<sub>2</sub> grammes, on aura :

$$C_1 = p_1 \gamma_1$$
 et  $C_2 = p_2 \gamma_2$ 

Comme, d'autre part, nous avons dans ces conditions, aux températures singulières :

$$\frac{C_1}{S_1} = \frac{C_2}{S_2} = K \text{ nous en tirons} : \frac{p_1 \ \gamma_1}{S_1} = \frac{p_2 \ \gamma_2}{S_2} = K$$
 et aussi :

$$\frac{p_1}{S_1} = K \gamma_1 \quad \text{et} \quad \frac{p_2}{S_2} = K \gamma_2$$

Il s'ensuit donc que les quantités de matière comburante p<sub>1</sub> et p<sub>2</sub> ne sont proportionnelles ni aux calories émises, ni à la surface. Il est facile de se rendre compte qu'il en est de même de la masse combustible. En effet, les surfaces croissent comme les carrés, et les poids et volumes comme les cubes. D'autre part,

la masse combustible varie comme le volume, donc comme les cubes. Or, le rapport des volumes aux surfaces, bien que parfaitement déterminé, n'est pas constant. On peut donc affirmer que l'accroissement de la masse combustible n'est pas proportionnel à l'accroissement de la surface. Comme, par ailleurs, les calories varient dans les cas envisagés comme la surface, on peut en conclure que la masse combustible n'est pas et ne peut pas être proportionnelle aux calories éliminées et inversement.

Quelle que soit donc la réalité cachée sous le terme de masse active des physiologistes, que ce soit la masse combustible ou la masse comburante, dans aucun cas cette masse n'est et ne peut être proportionnelle à la surface.

Les définitions préalables et l'établissement des notions de masse combustible et de masse comburante nous ont donc permis d'éviter une erreur sérieuse et montré qu'il est vain de vouloir rechercher une constance quelconque du rapport de la masse active combustible ou comburante à la chaleur produite et inversement de rapporter ces calories à l'une de ces deux masses

Nous voici désormais arrivés à un ensemble de conclusions importantes visant les modalités de fonctionnement d'un système auto-isothermique et auto-régulateur.

- 1º Il existe pour un solide autothermique, isothermique et autorégulateur un minimum de combustion.
- $2^{\circ}$  Ce minimum est atteint pour une et une seule température ambiante  $t_m$ , dite température singulière.
- 3º Ce minimum est en outre déterminé par ce que nous avons appelé le coefficient calorifique γ qui mesure les calories produites par unité de poids et de temps.
- $4^{\rm o}$  Les variations de dimensions du système sont inverses de celles des températures singulières  $t_{\rm m}$ . Quand les dimensions croissent,  $t_{\rm m}$  décroît et inversement, quand elles décroissent,  $t_{\rm m}$  croît.
- $5^{o}$  En conséquence, il existe pour chaque volume du système un point singulier  $t_{m}$  caractéristique de ce système.
  - 6º Les variations de dimensions du système sont inverses

à celles du coefficient  $\gamma$ . Quand le solide croît,  $\gamma$  décroît et inversement, quand le solide décroît,  $\gamma$  croît.

 $7^{\rm o}$  Le coefficient  $\gamma$  et la température singulière  $t_{\rm m}$  varient tous deux dans le même sens et inversement aux variations des dimensions du système.

 $8^{\rm o}$  Aux points singuliers respectifs et pour des valeurs déterminées de  $\gamma$ , les variations des calories lysées sont proportionnelles aux variations des surfaces engendrées. Le rapport C/S est alors constant.

9º En aucun cas, les calories lysées ne sont proportionnelles à la masse comburante ou à la masse combustible.

#### CHAPITRE II

# DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME PARFAIT AUTO-ISOTHERMIQUE ET AUTO-RÉGULATEUR

Voilà donc le bilan de nos conclusions. Arrivés à ce point, il serait utile de vérifier à quelles conditions ces résultats ont été obtenus. Implicites ou explicites, voici ces conditions :

- 1º Il faut que la perte calorifique soit sensiblement la même en tous points de la surface.
- 2º Il faut que la régulation thermique reste parfaite lors du développement successif des surfaces.
- 3º Il faut que cette régulation parfaite joue pour toutes les variations de la surface, si minimes soient-elles.

La première condition est de simple bon sens.

Pour la deuxième, elle demande quelque éclaircissement. Elle semble en effet paradoxale. Il paraît bien, de prime abord, que la régulation thermique n'ait pas à jouer aux divers points singuliers où nous nous sommes placés. Ces températures singulières éliminent, nous l'avons vu, toute réaction thermique et la régulation semble ne pas intervenir. En réalité, cette régulation joue constamment. Voici pourquoi. Supposons que nous fassions croître notre sphère, qu'advient-il ? Dans ce cas, nous le savons, la constance du rapport C/S n'est obtenue que si nous abaissons graduellement la température ambiante. Mais cela ne suffit pas. La possibilité de réactions thermiques nous empêche de descendre au dessous des températures singulières t<sub>m</sub>. Alors, intervient l'action du coefficient y. Ce dernier, dont nous avons vu l'influence in abstracto dans les calculs, représente très exactement le jeu de la régulation thermique. La régulation intervient donc contre toute apparence même aux divers points singuliers successifs caractéristiques d'une sphère croissante

et s'établit dans toute série de sphères croissantes ou décroissantes. Son action impose à chacune d'elles le coefficient  $\gamma$  optimum.

Quant à la troisième condition, elle découle de l'existence de la deuxième et n'est aussi que de simple logique.

Nous avons donc établi la nécessité d'un système régulateur parfait, unissant la perte calorifique aux combustions internes et tel, que si cette perte augmente, les combustions croissent et inversement. Dans ces conditions strictes, la loi des surfaces s'applique au point minimum de rayonnement pour un système régulateur parfait. Mais supposons que la régulation soit impaitaite. Dans ce cas, le coefficient y n'obéit plus exactement aux relations qui le régissent à l'état parfait. Il n'agit plus en exacte concordance avec les variations de la sphère et de la température ambiante, singulière ou non. Il est alors possible que le système s'échauffe ou se refroidisse sans règle bien précise. Dans ce cas, la condition d'isothermie n'est plus respectée. Le minimum de combustion et de rayonnement sera donc marqué de façon imprécise et les combustions seront en decà ou au delà de lui sans qu'on en puisse rien affirmer. En conséquence, il peut se faire qu'une température singulière t<sub>m</sub>, qui correspondrait théoriquement au minimum de combustions d'un système parfait, corresponde réellement à une valeur inadéquate du coefficient y dans un système imparfait. Dans ce cas, les combustions ne seront pas minima. Il n'y aura pas alors de proportion simple entre la perte de calories et la surface, mais un rapport indéterminé entre la perte de calories, la surface et la température ambiante.

#### CHAPITRE III

# DE DEUX ERREURS : NEUTRALITÉ THERMIQUE PHYSIQUE ET ABSENCE D'ACTION DE LA SURFACE AU POINT SINGULIER

Notre étude abstraite *a priori* est terminée. Nous nous sommes uniquement servi des données de l'analyse et nous avons atteint des conclusions importantes. Nous allons voir si ces conclusions théoriques rejoignent ou non les faits d'expérience. Sans doute aideront-elles à comprendre et pénétrer un sujet aussi complexe que confus. Transposons donc cet acquis à la physiologie animale. Les analogies s'imposent.

Notre sphère représente la masse totale du corps humain. Le combustible est le symbole des matériaux chimiques utilisables, la masse active des physiologistes. Le minimum de combustion du système représente le minimum calorifique des organismes homéothermes. La fixité de la température interne est bien aussi le propre des homéothermes. De même, la régulation thermique précise que nous avons imposée au système. Les conclusions que nous avons tirées s'appliquent donc logiquement aux organismes vivants homéothermes. Il reste à voir si elles s'accordent avec les données de l'expérience. Peut-être fourniront-elles alors l'explication d'antinomies aussi nombreuses qu'apparemment irréductibles.

Le terrain est désormais bien net et le débat éclairé. Avant d'aller plus avant, signalons pour la détruire une erreur absolument classique qui fausse tous les essais d'interprétation. Nous pouvons désormais l'attaquer avec aisance. A vrai dire, cette erreur est rarement explicite. On la trouve cependant implicite ou non, mais réelle à la base de bien des raisonnements. La voici. Elle consiste à assimiler un corps vivant à un solide inerte possédant une chaleur d'emprunt sans source calorifique propre. Telle est la cause la plus certaine des confusions commises.

L'organisme ne peut en effet, en aucun cas, être assimilé à un solide quelconque, car il possède une source propre de calories sans cesse renouvelées. De là vient que la loi de Newton appliquée à l'homéotherme s'écarte des faits, ne les explique pas et même les enténèbre.

L'organisme homéotherme est entièrement comparable à notre système. Il possède une source propre de chaleur. Il suffit alors, pour comprendre les faits, de se reporter à notre exposé.

Une autre confusion découle de la première et l'accompagne partout. Elle a été créée par l'expression de « neutralité thermique » de Lefévre. Cette expression était évidemment bien précise dans l'esprit de son auteur. Ses travaux en portent témoignage. Elle a étrangement dévié depuis. L'assimilation de l'organisme à un simple solide est encore ici la source de cette erreur. Pour un corps physique, en effet, la température de neutralité thermique est la température du milieu ambiant pour laquelle ce corps ne perd ni ne gagne de chaleur. Cette température est précisément égale à celle du solide. Dans ce cas. l'échange thermique entre le corps et le milieu est nul. Solide et milieu restent à une température invariable. Cette expression, transportée en physiologie, tend à faire croire qu'il existe pour tout corps vivant un point de véritable repos thermique où tout rayonnement serait supprimé. Cette assertion n'est pas une simple opinion personnelle. Nous la trouvons, en effet, développée et précisée par un écrivain autorisé. « Il est certain, » dit-il, que justement dans les conditions d'examen du méta-» holisme basal, c'est-à-dire à la neutralité thermique, la surface » corporelle ne doit jouer aucun rôle puisqu'il est supposé que » le sujet ne perd pas de chaleur par son tégument » (Stévenin).

Personne n'a si nettement précisé l'erreur commune sur laquelle repose toute la conception classique du métabolisme basal. Félicitons-nous de ce qu'une telle opinion ait été aussi clairement exprimée. Il sera plus aisé de la combattre. Il est facile de démontrer que cette affirmation, bien que classique, est inexacte. En effet, si les combustions se poursuivaient sans qu'il y ait perte de chaleur, la température du corps croîtrait indéfiniment, ce qui n'est pas. Il ne peut s'agir pour l'homéotherme que d'un

point de rayonnement minimum ou point singulier défini plus haut. L'expression de « neutralité thermique », physiologiquement exacte, doit être écartée pour l'erreur de conception physique qu'elle crée et remplacée par celle très exacte de rayonnement minimum.

Les conditions multiples nécessaires au fonctionnement parfait de notre sphère expliquent bien la difficulté rencontrée pour justifier la loi des surfaces prise à son sens restreint chez les organismes homéothermes. D'une part, en effet, le ravonnement spécifique par unité de surface n'est pas identique à lui-même sur toute l'étendue du corps humain. Les expériences de Bénéd'et ont bien marqué d'assez grandes différences entre le rayonnement des diverses parties du corps. D'autre part, la régulation thermique vitale n'est pas toujours aussi parfaite que nous l'avons supposé en théorie. Magne a pu qualifier avec juste raison « d'homéothermes dégénérés » ces sujets qui réagissent peu ou pas aux variations de la température ambiante. Il est bien évident que, devant ces deux mécanismes imparfaits, une variation faible de la surface d'un sujet qui maigrit ou grossit ne peut pas entraîner de variations appréciables de son métabolisme minimum.

Pour qu'une variation de surface fasse sentir son influence, il faut qu'elle soit assez importante, c'est-à-dire qu'elle corresponde à des variations de taille très nettes. Dans ce cas, même en dehors du point de rayonnement minimum si souvent négligé, l'influence de la surface se reconnaît encore partiellement. Ceci explique l'opinion des physiologistes qui reconnaissent bien à la loi des surfaces une signification profonde et générale en accord avec l'évolution des espèces. Pour eux, l'influence de la surface sur la thermogénèse ne se fait sentir qu'à travers la suite des espèces et entre des sujets de taille très différente. C'est bien aussi notre conclusion basée sur le raisonnement. Arrivés à ce point, nous pouvons confronter les résultats de notre étude, l'opinion actuellement en cours chez les physiologistes et les données de l'expérience.

Terroine a parfaitement résumé le sentiment classique actuer en écrivant :

- « Pour que soit admis un rapport de cause à effet entre la » thermogénèse et la thermolyse, la plupart des physiologistes » ont estimé que deux faits devaient être établis :
- » 1º Dans toutes les circonstances qui obligent l'organisme
  » à dépenser pour maintenir sa température constante, la loi
  » des surfaces doit s'observer, elle doit donc être exacte pour
  » toute température extérieure, inférieure à celle de la neutralité
  » thermique.
- » 2º Lorsque sont réalisées des conditions telles que l'orga» nisme n'a pas à effectuer de dépenses spéciales pour le maintien
  » de sa température cas des poïkilothermes et cas des homéo» thermes à la neutralité thermique la loi des surfaces n'a plus
  » aucune raison d'être ».

Cet énoncé résume bien la question.

Le même auteur a d'ailleurs parfaitement précisé et développé sa pensée en ajoutant : « Rubner a incontestablement fourni » aux adversaires de la loi des surfaces leur plus solide argument : » deux cobayes de taille différente placés dans un milieu à 30° — » température de neutralité thermique pour cet animal — présentent une dépense dont l'intensité est parfaitement proportionnelle à la surface du corps. Lapicque a récemment étendu » cette observation à des animaux d'espèces différentes : homme, » chien, cobaye, pigeon, bengali. Ces divers homéothermes » n'ont pas le même point de neutralité thermique, mais à ce » point minimum de leur dépense, la grandeur de la production » calorique est, dans tous les cas, de 7 à 8 calories par dmq. » Il semble, de prime abord, qu'en présence de tels faits » s'impose la négation complète du sens original de la loi des » surfaces ».

L'argumentation apparaît solide et bien développée. Elle est toutefois spécieuse et appuyée sur des contradictions plus apparentes que réelles. Elle a le grand avantage de synthétiser l'incohérence actuelle des faits, l'opposition des thèses et de faire ressortir l'absence tôtale d'une doctrine qui puisse expliquer des antinomies expérimentales très réelles.

Il est exact que si l'on considère l'organisme vivant comme un solide quelconque purement physique, l'argumentation ci-dessus prend une valeur absolue. Il devient alors impossible de relier les faits entre eux et les discussions infinies se perdent dans l'incohérence.

Prenons la première condition de Terroine et analysons-là. Nous lisons : « Dans toutes les circonstances qui obligent l'orga-» nisme à dépenser pour maintenir sa température constante, » la loi des surfaces doit s'observer, etc... » C'est le nœud même de la guestion. Mais remarquons bien que cette spécification des circonstances « qui obligent l'organisme à dépenser » comporte, ipso facto, dans l'esprit de l'auteur, la possibilité de plusieurs ou d'au moins une circonstance où l'organisme ne dépensera pas. Cette circonstance hypothétique, c'est pour bien des physiologistes celle de la neutralité thermique, Dans ce cas, nous l'avons montré par des textes, il est courant d'admettre que l'organisme ne ferait aucune dépense. Nous retrouvons donc implicite, mais formelle, la pensée clairement exprimée par Stévenin. Nous avons montré combien cette assertion était inexacte. Elle provient, répétons-le, d'une confusion de langage entre neutralité thermique physique et neutralité thermique physiologique. En réalité, l'organisme dépense à tout instant. Il est à lui-même sa propre source de calories et, redisons-le, c'est la négligence de ce fait fondamental qui a entraîné toutes les erreurs de doctrine. Mais, continuons la critique de la première condition de Terroine. L'auteur ajoute : « Elle (la loi des surfaces) » doit donc être exacte pour toute température extérieure, » inférieure à celle de la neutralité thermique ». Nous avons montré qu'il n'en était rien et n'en pouvait rien être. Il nous suffit de nous reporter à notre étude liminaire. Nous y avons en effet prouvé qu'en dehors de la neutralité thermique physiologique, la loi des surfaces, sous sa forme simple C/S = Ctene peut jamais s'observer. L'expérience confirme la théorie qui l'explique à son tour.

Remarquons en passant que les physiologistes ont fait un étrange abus de la loi de Newton. Pour cux, en effet, cette loi se ramène uniquement à la constance du rapport C/S, tandis qu'ils

négligent, nous l'avons vu, toute référence aux écarts entre les températures internes et ambiantes. L'excès de simplification mathématique a compliqué le problème. Il eût été plus sage de poser différemment la question et de rechercher dans quels cas une telle constance de ce quotient pouvait s'obtenir. C'est ainsi, d'ailleurs, que nous-même avons abordé le problème. C'est ainsi seulement que nous avons pu lui trouver une solution.

La deuxième proposition de Terroine nous dit : « Lorsque sont » réalisées des conditions telles que l'organisme n'a pas à effectuer » de dépenses spéciales pour le maintien de sa température — » cas des poïkilothermes et cas des homéothermes à la neutralité » thermique — la loi des surfaces n'a plus aucune raison d'être ».

Nous relèverons une contradiction, d'ordre secondaire du reste, avec les termes de la première condition. Le fait que l'organisme « n'effectue pas de dépenses spéciales au point de neutralité thermique » amène à conclure que cet organisme présente des dépenses même à ce point, mais « plus restreintes ». On en conclue qu'il perd effectivement de la chaleur, même à cette température. Ceci s'oppose directement aux termes que nous avons discutés plus haut.

Quant à l'opinion qu'à ce point de neutralité thermique « la loi des surfaces n'a plus aucune raison d'être », il suffit, pour la combattre, de se reporter à notre étude. Nous avons vu, en effet, que, précisément à cette température de neutralité thermique, température singulière de notre système, les variations de la surface faisaient le plus nettement sentir leur action sur la thermogénèse. Ces variations de la surface amènent une variation inverse des températures singulières et des coefficients calorifiques et c'est exactement à ces points singuliers que les variations des calories et des surfaces sont parfaitement proportionnelles. Ceci explique entièrement les expériences de Rubner et Lapicque.

Cette brève réfutation ne nous suffit toutefois pas. La seconde condition de Terroine constitue une opinion tellement classique aujourd'hui qu'il nous faut y revenir avec quelques détails.

Terroine, en effet, rassemble sa pensée dans ces lignes : « Si la » loi des surfaces a réellement la signification qu'on lui a accordée,

e elle devrait disparaître lorsque l'organisme ne consomme rich pour le maintien de sa température et laisser apparaître une autre loi qui régirait la dépense de base ».

D'autres auteurs ont exprimé la même opinion. L. Hédon écrit en effet : « . . . La mesure de la dépense d'énergie s'est faite » dans les conditions de neutralité thermique les plus parfaites » qu'il soit possible de réaliser tout au moins dans l'air. Comment » comprendre que la production de chaleur soit alors commandée » par la surface de déperdition ». Marcel Labbé et Stévenin ont émis ensemble le même avis : « Le seul fait, disent-ils, qu'on » met les sujets en état de neutralité thermique lorsqu'on » mesure le métabolisme basal, exclue par là même tout rôle » de la surface corporelle comme facteur de déperdition de » chaleur dans le milieu ambiant ».

Nous voyons donc ces divers auteurs pleinement d'accord. Ils estiment tous, en effet, que la surface corporelle ne joue aucun rôle au point de neutralité thermique. Ces avis ne sont d'ailleurs basés sur aucun argument, soit logique, soit expérimental. Cette façon de voir paraît toutefois de prime abord assez troublante et nous avouons avoir eu quelque difficulté à en percer l'erreur. Bien que nous ayons déjà fourni la preuve de la constance réelle du rapport C/S aux points singuliers, il nous reste toutefois à réduire ces derniers arguments présentés sous une forme nouvelle.

Il semble, en effet, obvi que la surface corporelle ne doive jouer aucun rôle quand l'équilibre thermique minimum est obtenu au point singulier. Cependant, à y bien réfléchir, ce qui n'intervient plus au point singulier n'est pas la surface, mais les réactions physiologiques de cette surface. A ce point, la surface est physiologiquement nulle. Elle est physiquement active. C'est d'elle, en effet, qu'a dépendu, au cours de l'évolution du sujet, au cours de son accroissement de taille, ce minimum de combustion actuellement considéré. Ce minimum calorifique n'est pas quelconque, indépendant de tout, ce qui le rendrait purement indéterminé. Il est au contraire strictement limité et déterminé et en relations intimes avec le volume et la surface du sujet. Si nous revenons, en effet, à la sphère que nous avons

ctudiée, nous voyons qu'au fur et à mesure de l'accroissement de la sphère, le minimum de combustion change. Son niveau varie avec les dimensions de notre solide. Bien qu'aux points singuliers successifs les réactions de régulation thermique dues aux températures ambiantes soient supprimées, les relations du minimum calorifique avec le volume et avec la surface demeurent absolument et rigoureusement inéluctables. C'est donc bien aux points singuliers respectifs que les combustions sont en rapports les plus étroits avec les surfaces. Il faut donc, pour envisager et prouver les relations du minimum de combustion avec la surface, ne pas considérer un même sujet dans son état actuel, mais l'envisager au cours de son évolution dans son accroissement progressif, ou encore le comparer à des sujets de tailles différentes.

Une fois de plus, les prémisses que nous avons posées, les conceptions que nous avons développées nous permettent de réduire les antinomies dangereuses et de relier les uns aux autres des faits disparates et, en apparence au moins, opposés et incohérents. Ainsi, les faits découverts par Rubner et Lapieque, d'une part s'opposent aux opinions régnantes et d'autre part s'accordent pleinement à nos conclusions. Cet accord des faits aux données rationnelles est d'ailleurs si remarquable que nous avons pu prévoir par la théorie tous les phénomènes retrouvés par l'expérience.

### CHAPITRE IV

## COMPARAISON DES DONNÉES RATIONNELLES ET DES FAITS D'EXPÉRIENCE

Nous pouvons désormais comparer en toute logique notre système autothermique, isothermique, autorégulateur avec l'organisme homéotherme.

Voici ces comparaisons.

1º Le minimum de combustions du système correspond au minimum de combustions de l'organisme homéotherme.

2º La température dite singulière ou point singulier constitue le point dit de neutralité thermique.

3º Cette température singulière varie dans un même milieu gazeux ou liquide en sens inverse du volume du système. Elle croît quand le solide décroît et inversement. Donc, à solide de grande dimension, température singulière basse; à solide petit, température singulière élevée. La recherche des points de neutralité thermique ou points singuliers, in vivo, en milieu aérien, montre une parfaite concordance avec la théorie. En effet, les points de neutralité thermique des animaux de petite taille sont nettement plus élevés que ceux des animaux de grande taille. L'homme a son point de neutralité dans l'air vers 23º, le chien vers 25º, le cobaye vers 30º, le pigeon et la tourterelle vers 27º, la souris vers 30º, le bengali vers 31º. Les faits observés sont bien ceux qui étaient prévus.

4º Le coefficient y qui représente les calories émises par unité de poids et de temps aux points singuliers, varie en sens inverse des dimensions du solide. Ce fait s'accorde avec les chiffres relevés par Regnault et Reiset. Par kilogramme, le porc consomme à l'heure 0 gr. 39 d'oxygène, le passereau en absorbe 13 gr. Le nourrisson consomme par kilog et heure 3 cc. 80 d'oxygène,

l'adulte 1,45. L'activité de la matière vivante est donc « a autan plus intense que l'animal est plus petit » (Lefévre).

5º Le coefficient γ et la température singulière varient dan le même sens. De même, voyons-nous le point de neutralite thermique et la consommation d'oxygène par kg-heure croître ensemble si l'animal diminue de taille. L'inverse est également vrai.

6º Le rapport C/S n'est et ne peut être constant, sous les conditions de régulation thermique parfaite et de thermolyse régulière, qu'aux divers points singuliers correspondant aux surfaces du système croissant. De même, la physiologie nous révèle effectivement une constance du rapport C/S chez l'animal aux points et aux seuls points de neutralité thermique propres aux espèces étudiées.

7º Enfin, les calories ne sont pas proportionnelles à la masse combustible ni comburante. De même, l'expérience a montré que la chaleur émise par l'organisme n'était nullement proportionnelle à la masse active, que celle-ci soit représentée par les protides les lipides ou les substances nucléiniques.

Ainsi donc, point par point, la prévision rejoint les faits d'expérience. La preuve nous semble désormais bien établie que la caléfaction animale n'échappe pas aux lois physiques habituelles pour se soumettre à l'on ne sait quelles lois biologiques aussi vagues que capricieuses. Il suffisait de poser clairement le problème et d'en définir tous les termes sans aucune ambiguité pour que la solution en jaillisse d'elle-même, sponte sua.

### CHAPITRE V

### ÉTUDE DU FACTEUR INTENSIF v

Nous allons développer à présent quelques considérations sur le facteur capital de cette étude : le coefficient y facteur d'intensité thermique. Ce facteur intensif, que la logique nous a forcé d'introduire dans la formule de Newton, éclaire bien le problème dans le cas de la régulation parfaite. Il l'éclaire aussi dans le cas de la régulation imparfaite. Ce facteur doit varier suivant les réponses du sujet aux fluctuations de la température ambiante. Il doit se modifier encore suivant l'âge, le sexe. Il varie de plus, nous l'avons démontré, suivant la taille. C'est enfin lui qui rend compte d'une grande partie des difficultés rencontrées dans les comparaisons des sujets d'âge, de sexe ou d'espèce divers.

Ce facteur intensif avait été pressenti par Le Breton et Schaeffer qui écrivaient « la grandeur des échanges dépend non seulement de la masse protoplasmique active, mais encore d'un facteur d'intensité ». Or, ajoute Terroine avec juste raison, » c'est précisément la connaissance de ce facteur d'intensité qui » importe pour comprendre les différences par unité de poids » dans la production calorifique des homéothermes ». Pour nous, nous avons établi, grâce à lui et à d'autres conditions fondamentales, que la caléfaction animale obéit bien et contrairement à toutes les opinions, aux lois physiques. Il ne s'agit plus, à vrai dire, de la loi de Newton primitive, mais de cette loi profondément modifiée par l'introduction du facteur y:

$$\frac{C}{S \gamma (t-t_a)} = K$$

Cette loi mathématique n'est toutefois que l'expression d'une fonction thermique parfaite. Nous avons, en effet, établi notre raisonnement et ses conséquences pour un système parfait. Nous nous trouvons donc dans les conditions des physiciens qui,

après avoir établi des lois simples et pourtant vraies sur la dilatation des gaz, ont été amenés à les modifier quelque peu à mesure que changeaient les conditions d'expérience. Les premières lois ont conservé le nom de lois des gaz parfaits. De même, appellerons-nous la loi mathématique qui nous a tant aidé, loi de thermorégulation du système autoisothermique parfait.

Cette loi s'applique-t-elle aussi simplement dans la pratique?

A la réflexion, c'est impossible. En effet, le coefficient γ, bien qu'il transforme profondément la loi de Newton et explique le fonctionnement d'un système parfait, n'est à tout prendre, dans notre formule, qu'une fonction inverse du rayon. En physiologie, il ne peut pas être limité à une simple relation spatiale et il est impossible que ce facteur d'intensité calorifique ne dépende encore d'autres variables. Cherchons ces dernières. Ce facteur peut, a priori, modifier la thermolyse et la thermogénèse. Il dépendra donc à la fois de l'état de l'enveloppe rayonnante et de la « qualité » des tissus.

L'enveloppe est essentiellement variable, parce que physiologique. Elle n'a pas une simplicité schématique. Elle englobe de nombreux éléments anatomiques et fonctionnels sur lesquels a insisté Lefévre. Ce sont : 1º la circulation périphérique comprenant elle-même la vitesse du sang, la vaso-dilatation ou la vaso-constriction; 2º l'épaisseur variable du pannicule adipeux; 3º le revêtement cutané pratiquement nul chez l'homme, mais très important au contraire chez la plupart des animaux. Ajoutons enfin que cette enveloppe n'est pas homogène en tous les points de l'organisme.

Le facteur y se modifie encore avec « l'oxydabilité » des tissus, variable elle-même avec l'espèce, la race, le sexe et surtout l'âge.

Le facteur intensif y perd donc sa perfection simple qui en permettait le calcul dans un système parfait pour devenir quelque chose de variable et de prévision malaisée, voire impossible.

C'est encore ce coefficient qui explique l'impossibilité des comparaisons en dehors des points singuliers. L'intensité calorifique varie en effet avec la température ambiante. Elle est sous la dépendance de la réaction de thermogénèse au froid et au chaud et le facteur intensif varie en raison directe de cette réaction. Cette réaction n'est toutefois ni prévisible, ni constante, d'où l'extrême difficulté de comparaisons en dehors des points singuliers.

Aux points singuliers, par contre, la réaction de thermogénèse s'annule et, de ce fait, y devient moins irrégulier. D'autre part, à ces points, la vitesse du sang tombe à son minimum, les capillaires sanguins n'offrent, eux non plus, aucune réaction et présentent leur tonus minimum. Il faut remarquer ici que le point singulier doit s'établir de façon à permettre l'écoulement de la chaleur à travers le pannicule, la peau et la fourrure en parfait équilibre avec la thermogénèse minima. L'état anatomique de l'enveloppe doit donc modifier la position du point singulier. Mais une fois l'équilibre thermique obtenu par l'élévation ou l'abaissement du point singulier, l'influence des divers revêtements cutanés s'annule. Il ne reste plus comme variable irréductibles que celles de l'âge, du sexe, de l'espèce.

C'est donc bien aux points singuliers propres à chaque sujet que les chaleurs produites par unité de surface sont le plus comparables. C'est à ces points que le coefficient  $\gamma$  renferme le moins de variables, qu'il est le plus stable, qu'il trouble le moins la simplicité de la formule. C'est bien à ces points enfin que les systèmes organiques se rapprochent le plus de l'état parfait.

#### CHAPITRE VI

## ÉTUDE CRITIQUE DU POINT SINGULIER CHEZ LES ORGANISMES HOMÉOTHERMES

Les variations du coefficient  $\gamma$  nous ont amené à considérer les rapports de ce dernier avec le point singulier. Nous allons désormais étendre notre critique aux points singuliers  $t_m$  des organismes homéothermes.

Ces points, nous l'avons vu, varient en sens inverse de la taille du sujet. Quand la série des sujets croît, le point singulier s'abaisse. Inversement, ce point s'élève quand la série décroît. Ainsi se passent les choses dans an système parfait. En est-il de même chez l'homéotherme? L'étude que nous venons de faire du facteur intensif nous a montré que ce dernier influait nettement sur la position du point t<sub>m</sub>. Si nous supposons à présent deux sujets de mêmes espèce, âge, taille et sexe, donc en tout comparables mais différents quant à l'enveloppe cutanée, quels seront leurs points singuliers respectifs?

Supposons que l'un A possède un coefficient  $\alpha$  de déperdition cutanée moyenne et que l'autre B possède un coefficient de déperdition  $\beta$ ,  $\beta$  étant inférieur à  $\alpha$ . Soit encore  $t_{m1}$  le point singulier de A,  $t_{m2}$  celui de B. La question est de savoir si  $t_{m2}$  sera ou non égal à  $t_{m1}$ . A la température  $t_{m1}$ , A limite par définition ses combustions à leur minimum. La chaleur s'écoule par le jeu du coefficient  $\alpha$  à travers son enveloppe, de façon que la chaleur écoulée soit égale à la chaleur produite et réciproquement. Supposons qu'à la température  $t_{m1}$ , B présente aussi un minimum de combustions. Par hypothèse, tout étant égal par ailleurs, la quantité de chaleur produite sera égale à celle de A. Mais faisons jouer à ce moment le coefficient de déperdition moyenne  $\beta$ . Celui-ci étant inférieur à  $\alpha$ , il s'ensuit que la chaleur produite ne sera pas éliminée en entier. Le corps s'échauffera. Les méca-

nismes déperditeurs accessoires joueront. Au total, la dépense énergétique croîtra et dépassera le minimum supposé. La seule façon de ramener l'isothermie et de retrouver la dépense de fonds minima sera d'abaisser le point singulier  $t_m$ .

Donc, de deux organismes, par ailleurs identiques, mais possédant des enveloppes de coefficient de déperdition moyenne différents, celui-là présentera le point singulier le plus bas dont le coefficient de déperdition sera le plus faible. Inversement, si le coefficient de déperdition s'élève, la température singulière s'élève aussi. Ainsi, le point singulier suit directement les variations du pouvoir émissif de l'enveloppe.

Nous concluerons donc que: 1º toutes choses étant égales quant à la masse active, au volume occupé et à la circulation périphérique, un obèse devra présenter un point singulier plus abaissé que celui d'un maigre et inversement; 2º un sujet qui grossit voit s'abaisser son point singulier à mesure des progrès de son obésité, toutes choses étant supposées égales quant à la masse active et à la circulation périphérique; 3º inversement, un sujet qui maigrit voit s'élever son point singulier.

Si nous considérons à présent des sujets de complexion identiques mais de taille nettement différente, la discussion que nous avons faite des points singuliers en fonction des volumes nous montre que ces points varient en sens inverse de la taille. Donc, pour une composition de tissus et d'enveloppe identique de part et d'autre un sujet de taille élevée aura un point singulier situé plus bas que celui d'un sujet de petite taille.

Enfin, les discussions antérieures nous ont montré que  $t_m$  était une fonction directe de  $\gamma$  pour des sujets de même température. Ainsi quand le facteur intensif  $\gamma$  croît le point singulier s'élève, il s'abaisse quand ce facteur décroît.

Tous ces résultats analytiques nous amènent donc à la très importante conclusion : les variations de taille, de robustesse, de pouvoir émissif cutané, de pouvoir intensif d'oxydation, même à l'intérieur d'une même espèce, entraînent nécessairement des variations du point singulier.

Nous dirons donc : dans une même espèce entre sujets comparables mais non identiques, le point singulier n'est pas constant. · Il varie fatalement avec chaque individu, bien qu'il soit possible que l'opposition des nombreux facteurs qui le conditionnent amène dans certains cas une compensation qui le maintienne dans des limites sans doute restreintes.

Nous voici donc bien loin du dogme de Lefèvre quant à la fixité et l'unicité du point de « neutralité thermique ». A la vérité, Lefèvre qui a multiplié les recherches sur l'homme a présenté un matériel humain véritablement restreint. Il serait nécessaire de répéter ces études sur un grand nombre de sujets très divers et avec un matériel important que, par malheur, nous ne possédons pas.

Cette étude du point singulier nous amène encore à aborder un sujet qui n'est peut-être que secondaire dans l'ordre des idées, mais présente en pratique une grande importance. Nous voulons parler du « milieu » d'expérience. Que doit-il être ? Plus clairement, dans quel milieu faut-il placer le sujet étudié pour déterminer sa dépense de fonds et partant, sa température singulière ? Pour Lefèvre, dont nous reconnaissons une fois de plus l'immense mérite, il n'est qu'un seul milieu possible : l'eau. Cette assertion prend chez lui une valeur aussi dogmatique que celle de la fixité du point singulier. Est-elle exacte ? Reprenons l'analyse des faits.

La chaleur, après avoir traversé l'enveloppe cutanée, rencontre une autre « enveloppe » : c'est la première couche du milicu ambiant. Cette seconde enveloppe, comme la première, possède un pouvoir d'émission, ou plus exactement, de conduction calorifique. Plaçons un même sujet d'abord dans un milieu de conductibilité  $\mu$ , puis dans un milieu de conductibilité  $\nu$ ,  $\nu$  étant supérieur à  $\mu$ .

Supposons que, dans le milieu  $\mu$ , le sujet atteigne son minimum de combustion pour un point singulier  $t_{m1}$ . Dans ce cas, la chaleur reçue par la « seconde enveloppe » est transmise à une couche supérieure qui l'élimine à son tour. Le cycle fonctionne régulièrement. Faisons à présent varier la conductibilité du milieu. Supposons qu'elle croisse et devienne égale à v. Alors, la perte de chaleur croîtra d'intensité. Le corps se refroidira. La régulation thermique jouera et les combustions s'élèveront

au-dessus de leur minimum. Le seul moyen d'éviter et cette déperdition supplémentaire et l'accroissement de combustion qui en résulte, sera d'élever la température ambiante  $t_{\rm m}$ . L'homéotherme retrouvera donc son équilibre de combustion minima isotherme à une température plus élevée. Inversement, si la conductibilité du milieu décroît, l'organisme tend à s'échauffer et l'équilibre ne sera rétabli que par un abaissement adéquat de la température extérieure.

Nous concluons que les températures singulières, en plus des facteurs énumérés plus haut, sont encore fonction directe de la conductibilité du milieu où elles sont étudiées. Si la conductibilité diminue, le point singulier s'abaisse, si elle croît le point singulier s'élève.

Si nous comparons à présent deux milieux de conductibilité calorifique différente comme l'eau et l'air, l'eau ayant un pouvoir conducteur voisin de l'unité et très supérieur à celui de l'air, la conclusion s'impose de facon indiscutable que le point singulier sera très nettement plus élevé dans l'eau que dans l'air. Il sera. de plus, nécessairement très voisin dans l'eau de la température interne du corps étudié. Dans l'air, au contraire, on le trouvera plus bas. Nous voyons donc qu'il est tout aussi scientifique, tout aussi logique, de rechercher le minimum de combustions dans l'air que dans l'eau. Seul le point singulier variera. Il devra se trouver nettement plus bas dans l'air que dans l'eau. Il n'existe donc pas pour chaque espèce homéotherme un point singulier invariable et unique et tel qu'on puisse l'appeler « le » point singulier de l'espèce étudiée, mais bien des points singuliers variables, dans l'intérieur de cette même espèce, avec la taille, l'enveloppe rayonnante, les facteurs d'intensité et le milieu d'expérience. Par ailleurs, à y bien regarder, les travaux de Lefévre lui-même nous donnent pleinement raison. Il suffit en effet, de considérer les courbes de déperdition, dans les divers milieux, présentées par cet auteur. Elles font très aisément prévoir que la température singulière de l'homme sera dans l'air d'environ 23°. De plus, si la recherche de la dépense de fonds peut être établie pour l'homme dans l'air ou dans l'eau, il n'en est pas de même pour les animaux, et Lefévre lui-même

admet comme pleinement valables les températures singulières qui ont été établies pour les animaux en milieu aérien. La nécessité de pousser les recherches chez l'homme dans ce milieu aérien découle autant de nécessités pratiques que théoriques. Si nous négligeons les premières, qui sont pourtant très réelles, nous insisterons sur les secondes qui sont, elles, très sérieuses et possèdent la priorité logique. Elles sont imposées par la nécessité des confrontations.

Comment, en effet, comparer les dépenses de fonds par unité de temps et de surface si les conditions de milieu ne sont pas comparables? Toutes les études sur l'animal étant faites dans l'air, des comparaisons utiles et fructueuses avec l'homme ne seront établics que si nous nous plaçons toujours dans un milieu identique à lui-même. Nous entendons bien que les autres conditions devront être identiques et l'homme dépourvu de tout vêtement ou recouvert, dans toutes les expériences, d'une vêture toujours identique à elle-même et parfaitement définie. Notre raisonnement est d'ailleurs confirmé par les faits. Des expérimentateurs tels que Bénédict et Mrs Bénédict ont parfaitement montré qu'il était possible d'atteindre le vrai minimum de Lefèvre en milieu ambiant. Par ailleurs, Delcourt-Bernard et A. Mayer ont également atteint ce minimum chez l'homme en milieu aérien en proportionnant le vêtement à la température ambiante. Nier ces faits, y opposer des arguties serait puéril. L'expérience les rencontre. La théorie les prévoit, les explique.

Pour terminer et exposer toute notre pensée, disons bien qu'il n'est pas dans notre esprit de faire fi du milieu aqueux. Il est le milieu physiquement le plus parfait. Mais, pour moins bonne que soit la conductibilité aérienne, il suffit qu'elle existe pour qu'elle soit aussi utilisable et utilisée. Nous croyons avoir donné pour cela de très solides raisons.

Ainsi nous voyons une fois de plus combien, dans l'étude de la dépense de fonds, tous les phénomènes sont singulièrement enchaînés, combien ils sont prévisibles et accessibles à la logique, combien enfin l'analyse serrée des faits permet à la fois de les faire sortir du chaos, de les établir un à un et de les rassembler enfin en une synthèse complète formant un tout parfaitement cohérent et intelligible.

Nous concluons donc que si la loi de Newton modifiée explique parfaitement la marche générale de la thermogénèse, si elle permet de prévoir a priori les phénomènes expérimentaux, sa vérité n'est pourtant que générale. Elle peut faillir dans des cas d'espèce et le facteur intensif que nous y avons introduit permet d'expliquer les anomalies. Celles-ci sont toutefois réduites à leur minimum aux points singuliers propres à chaque espèce et à chaque individu. A ces points seulement, les comparaisons seront mathématiquement rigoureuses.

Hors des points singuliers, tout est mobile et le rapport des calories à la surface est éminemment variable. Toutefois, même ici, la loi physique des surfaces est encore à la base de la thermogénèse, sa puissante action se fait encore sentir à travers les multiples facteurs qui la déforment. Terroine l'a bien senti, qui écrit les lignes suivantes: « Qu'on refuse d'accepter sous sa » forme absolue une manière de voir qui prétend rapporter » uniquement la thermolyse à la surface du corps, et cela pour » toute température extérieure, soit. Mais il nous paraît que » ce serait faire preuve de beaucoup moins de bon sens si l'on en » arrivait à nier la supériorité de la souris sur le cheval, quant » à l'intensité de la déperdition ».

Ainsi paraît-il de simple bon sens d'accorder à la loi des surfaces une action profonde sur l'évolution des espèces. Cette action se fait sentir puissamment, mais, à la vérité, grossièrement, en dehors des points singuliers, dans les conditions habituelles de la vie. Les facteurs multiples de thermogénèse, de réaction au milieu, d'âge, d'espèce, de sexe, la déforment certainement. Elle demeure cependant comme primum movens de toute la thermogénèse animale. Il est possible, d'ailleurs, de suivre mathématiquement l'action lointaine et comme cachée de cette loi dans l'évolution des espèces.

### CHAPITRE VII

# LA LOI DES SURFACES EN DEHORS DES POINTS SINGULIERS

Envisageons tout d'abord les recherches qui ont été faites entre individus d'espèce différente sans tenir compte du point minimum de rayonnement et voyons s'il est possible de retrouver ici l'influence des grandes variations de surface. Voyons donc si les combustions se modifient aux températures habituelles de la vie selon les grandes variations de taille. Considérons le rapport de la surface au poids S/P. Les deux termes y varient dans le même sens sans affecter entre eux de rapport constant. Comme S varie toujours moins que P, ce rapport augmente si P diminue et diminue si P augmente. Envisageons en outre le rapport des calories rayonnées dans les mêmes conditions au poids, soit C/P. L'expérience et le raisonnement simple montrent que ce rapport augmente si P diminue (petits animaux) et diminue si P augmente (grands animaux). Ceci résulte, nous l'avons vu, de l'accroissement des calories par unité de poids chez les animaux de petite taille et de leur diminution chez les animaux de grande taille. Nous voyons donc que les rapports C/P et S/P varient dans le même sens. Il s'ensuit qu'ils sont grossièrement proportionnels entre eux et que nous pouvons écrire de facon approchée  $\frac{C/P}{S/P}$   $\rightarrow$  Cte ou plus simplement  $C S \rightarrow Cte$ . It nous suffit ici que C et S aient toujours des variations de même sens bien que non proportionnelles. Nous voyons donc que la proportionnalité des calories à la surface est grossièrement, mais suffisamment gardée pour des variations importantes de taille, même en dehors du point minimum de ravonnement. Ceci explique bien les différences de combustion par unité de surface établies sans prendre garde au point singulier chez des individus d'espèce différente. La loi des surfaces se

retrouve donc grossièrement entre les espèces dans les conditions ordinaires de la vie et fait sentir son action au milieu d'autres facteurs pour de fortes variations de faille des diverses espèces d'homéothermes.

Voyons si le problème se résout de même entre individus de diverses tailles mais de même espèce, en particulier pour l'espèce humaine, dans les conditions habituelles de son existence. Nous rechercherons enfin si la loi des surfaces peut s'appliquer étroitement dans le cycle restreint des individus de même espèce pris au minimum de rayonnement.

Considérons à nouveau le rapport des calories au poids C/P. Nous voyons que ce rapport diminue de un an à vingt ans, au fur et à mesure que le sujet grandit. Sa valeur par 24 heures varie de 50 calories à un an, aux environs de 25 calories à vingt ans. Donc, quand le poids P augmente, bien que C croisse aussi en valeur absolue, le rapport C/P diminue et inversement. D'autre part, le rapport S/P diminue quand P augmente et inversement. Nous voyons donc que pour de grandes variations de taille, lors de la croissance de un à vingt ans, les rapports C/P et S/P varient dans le même sens. Pour les raisons données plus haut, nous pouvons écrire grossièrement C/S  $\rightarrow$  Cte. Ceci suppose une application au moins approchée de la loi des surfaces sous sa forme simplifiée dans l'espèce humaine considérée dans l'ensemble de son évolution et à sa température habituelle de vic.

Allons plus loin et demandons-nous à présent si cette loi joue dans l'espèce humaine en dehors de l'évolution de croissance, soit entre sujets de taille différente, soit chez un même sujet dont la taille reste fixe mais dont le poids varie. Ce problème est, certes, le plus confus de la physiopathologie du métabolisme basal. Les auteurs ne s'accordent nullement sur ce sujet et n'apportent bien souvent rien d'autre que des arguments de sentiment ou de convenance personnelle.

### CHAPITRE VIII

# APPLICATION DE LA LOI DES SURFACES A DES SUJETS DE MÊME ESPÈCE

C'est ici que la difficulté de s'entendre et de se comprendre est la plus grande. L'application de la loi des surfaces chez l'homme comprend en effet des éléments aussi nombreux que variables. C'est d'abord une interprétation trop schématique de cette lei réduite au seul rapport : C/S. = Cte. Nous avons montré que ce rapport simple ne peut s'observer que si l'on a tenu compte au préalable des points singuliers et opéré dans des conditions très strictes. Or, dans l'immense majorité des cas, aucun compte n'a été tenu de ces points singuliers. C'est une des plus grandes causes de la variabilité des résultats trouvés. Il faut y ajouter encore les variations propres au facteur intensif déjà étudié. Une autre erreur vient de l'extension de la loi des surfaces à des sujets très voisins pris à des moments identiques de leur évolution.

Comparer des sujets de taille très différente et de constitution même assez dissemblable ou comparer un sujet à lui-même au cours de sa croissance pour de grandes variations de taille revient à chercher surtout l'influence de la surface sur la production calorifique. L'élément le plus variable est ici la surface et les modifications du facteur intensif  $\gamma$  sont dans ce cas moins appréciables que celles de la surface. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que l'on trouve chez ces sujets des quantités de calories assez semblables par unité de surface.

La comparaison de sujets de taille voisine ne comprend plus évidemment les mêmes variations de surface. On peut alors se demander si la surface possède une action assez forte sur la thermolyse et partant sur la thermogénèse, pour que de simples variations de quelques décimètres carrés puissent modifier à elles seules et dans leur propre sens la production calorifique.

Ici, les variations de la surface sont très faibles et moins marquées que celles du facteur intensif y. L'action des facteurs d'âge, de sexe, d'espèce, etc..., se fait désormais sentir beaucoup plus que celle de la surface. Mais il est nécessaire que nous développions ici toute notre pensée. On pourrait croire, en effet, que nous fassions brusquement abstration de l'influence de la surface. Il n'en est rien. Disons bien que la grandeur de la surface détermine toujours à elle seule le niveau moyen des combustions. Mais, s'il s'agit de comparer entre eux deux sujets de taille voisine, cette influence identique de la surface s'évanouit dans les comparaisons et il ne ressort plus désormais que l'action du facteur intensif.

D'autres éléments concourrent en outre à modifier les résultats. Il peut se faire, en effet, que tel sujet que l'on voudrait comparer à un sujet normal ne lui soit pas exactement comparable. Malgré des tailles voisines, ces sujets peuvent, en effet, ne pas avoir la même complexion, la même homogénéité physique. Un autre élément de trouble réside de plus dans l'imperfection possible de la régulation thermique d'un des deux sujets. Or, chose certaine, la régulation thermique n'est ni spontanée ni rigoureuse chez l'homme. L'usage des vêtements, les variations du pannicule adipeux, l'état du système nerveux végétatif peuvent modifier profondément cette régulation et la troubler de façon notable. Les physiologistes savent en effet que la température moyenne du corps humain n'est pas constante chez tous les sujets et que certains présentent normalement d'assez grosses variations thermiques. Rien ne nous autorise donc à penser qu'une régulation thermique précise fasse toujours partie de notre appareil physiologique. Un sujet normal, par ailleurs, peut posséder une régulation parfaite ou imparfaite sans qu'il en résulte pour lui de troubles appréciables. D'autre part, et surtout, rien ne nous permet de dire, a priori, si tel sujet possède ou non une régulation thermique parfaite et par conséquent si nous pouvons atteindre sûrement chez lui le point de ravonnement minimum pour telle température singulière, Soulignons

enfin l'impossibilité matérielle de connaître d'emblée chez un sujet et, a fortiori, pour une série de sujets à comparer entre eux, les points singuliers qui leur seraient propres. On ne peut donc qu'opérer à des points jugés voisins des points singuliers respectifs, mais non rigoureusement à ceux-ci si ce n'est par pur hasard.

Ainsi, les comparaisons entre deux sujets ou, ce qui revient au même, la comparaison d'un sujet avec des valeurs moyennes de référence comporteront nécessairement des écarts absolus assez grands et des écarts relatifs non moins importants. Si donc les comparaisons entre espèces sont assez faciles et en tous cas légitimes, elles sont par contre difficiles et peu soutenables à l'intérieur d'une même espèce. Dans le premier cas, en effet, le grand facteur déterminant est la surface, dans le second le facteur intensif. Toute constance du rapport simple C/S est, dans ce dernier cas, a priori impossible.

Notre conclusion est désormais formelle : la loi des surfaces est sous sa forme restreinte inapplicable à l'intérieur d'une même espèce. Nous sommes partis d'une critique de principes. La logique nous fait rencontrer les conclusions expérimentales de Harris et Bénédict. Ces auteurs ont borné leurs travaux à l'application empirique de la loi des surfaces à l'intérieur de la seule espèce humaine. Les résultats de leurs recherches sont rassemblés dans un chapitre de leur livre fondamental sous le titre : A Critique of the Body Surface Law. Grâce à la méthode statistique, ils ont étudié les écarts entre la production calorifique individuelle et les movennes, et fourni de plus des formules de prédiction calorifique basées sur le poids ou la surface. Que l'on utilise le poids ou la surface, l'approximation reste la même pour ces auteurs : « A tout bien considérer, disent-ils, la loi des surfaces du corps » est au mieux une formule empirique. Elle fournit une base » quelque peu meilleure pour la prédiction du métabolisme » que ne le fournit le poids du corps chez un sujet ». Ils ajoutent plus loin: « La démonstration que, par l'usage d'une formule » proprement biométrique, le métabolisme d'un individu peut » ètre prédit à partir de la taille et du poids du corps avec pratir quement la même précision que par la surface du corps, prive » la loi de Rubner de son unique signification empirique dans » la calorimétric clinique et autre.

» Si on admet que la surface du corps estimée d'après le » tableau poids-taille de du Bois aurait une supériorité quel-» conque comme base de prédiction, nous estimons pour nous » que ceci n'est pas dû à une relation causale entre la surface du n corps comme telle et le métabolisme, mais est simplement » accidentel et dû au fait que la surface du corps prend quelque » peu en considération en même temps le poids du corps et la » taille, qui, tous deux, ont, nous l'avons montré, une significa-» tion indépendante comme facteur d'approximation dans la » détermination du métabolisme total ». Ils terminent enfin par ces mots: « Il nous semble que la loi des surfaces dans son n application chez l'homme jouera un rôle beaucoup plus » restreint dans les discussions physiologiques futures ». Ces citations sont longues. Elles sont nécessaires. On voudra bien excuser la lourdeur voulue d'une traduction qui désire respecter l'esprit et la lettre des auteurs.

Ce qui nous importe seulement est de constater que l'expérience retrouve et rejoint les conclusions de la logique. Toutefois, loin de considérer l'extérieur des choses, celle-ci en pénètre le mécanisme intime, souligne les incompatibilités et les explique. Elle permet finalement plus de netteté dans l'affirmation, moins d'hésitation dans le jugement et donne les raisons profondes des faits empiriquement constatés par les auteurs américains.

#### CHAPITRE IX

# APPLICATION DE LA LOI DES SURFACES CHEZ UN MÊME SUJET

Une dernière application de la loi des surfaces concerne la comparaison d'un sujet à lui-même, soit qu'il engraisse soit qu'il maigrisse.

Ce problème englobe à la fois la question de l'augmentation et de la perte de poids chez un sujet de taille fixe et aussi celle toute différente de l'inanition. Si nous réunissons dans la même étude deux problèmes apparemment contradictoires : l'obésité et la maigreur, c'est que nous les considérons comme semblables à une question de signe près. Expliquons notre pensée.

Nous n'envisageons pas, disons-le bien, l'obèse et le maigre dans leur état statique actuel, mais bien dans leur évolution, dans leur devenir pathologique. Le seul point qui nous intéresse est la validité des comparaisons entre deux états du sujet qui « devient » obèse ou maigre. Est-il logique de rapporter dans l'un et l'autre cas les calories à la surface ? Rappelons une fois de plus ce principe, qu'établir une comparaison sur ces bases, chercher une constance du rapport C/S, c'est supposer implicitement que les calories et la surface sont liées entre elles par un lien de causalité. Voyons donc si ce postulat est exact dans ce cas particulier, autrement dit, si les variations des calories dans l'obésité et la maigreur sont dues ou non à des variations de la surface. Pour qu'il y ait une relation constante aux points singuliers entre calories et surfaces, il faut, nous l'avons vu, que les variations de ces deux termes soient unies par des variations de même sens, mais non proportionnelles toutefois, de la masse active. Les variations simultanées de ces trois éléments se font normalement chez un même individu au cours de la croissance. Mais, est-il possible que chez un sujet dont l'évolution est terminée, les variations de la surface soient encore liées à celles

des calories par l'intermédiaire de la masse active ? La réponse est dans la recherche des causes de variations de la surface dans ces états. L'observation courante nous apprend que la cause en est dans la rétention ou la perte de matières inertes : eau, graisses. La quantité des matières actives reste toutefois sensiblement la même. Il n'existe donc plus entre la surface et la masse active les relations qui existent dans la croissance. Bien au contraire, l'accroissement de la surface devient indépendant de la masse active et en rapport avec la masse inactive seule. La conclusion s'impose donc : dans l'engraissement ou l'amaigrissement, les variations possibles des calories sont indépendantes de la masse active. Elles semblent par conséquent indépendantes des variations de la surface. Pour répondre complètement à la question, il faut se demander encore si l'accroissement ou la diminution de la surface n'entraîneraient pas une variation proportionnelle des calories par l'intermédiaire du seul facteur intensif y. Dans ce cas, il pourrait être quand même logique d'étudier la thermogénèse des obèses ou des maigres par le rapport C/S = K. Voyons donc quel est le retentissement de ces états sur le facteur y. La variation la plus évidente de ces suiets est celle de leur volume. Or, nous avons vu que y varie en sens inverse du volume. Il semble donc facile d'utiliser ce dernier fait. Cependant, il faut se rappeler que, pour arriver à cette conclusion, nous avons dû poser comme conditions: 1º que les changements de volume entraînaient un changement proportionnel de la masse active; 2º que le rapport des calories à la surface était constant.

Or, cette seconde condition constitue ce que nous devons précisément prouver et, quant à la première, nous venons de voir qu'elle n'était remplie ni dans l'obésité ni dans la maigreur. Il nous est donc impossible de nous servir dans ces cas de relations spatiales du facteur  $\gamma$ . Le seul fait qui puisse nous guider est la diminution de la conductibilité cutanée chez l'obèse et son accroissement chez le maigre. Or, les variations de la conductibilité cutanée sont de même sens que celles des températures singulières. Si, ce que nous devons prouver, le rapport C/S était

constant dans l'obésité et la maigreur, nous pourrions nous servir encore de ce fait que, dans ces conditions précises, les températures singulières varient comme y. Il s'ensuivrait que la conductibilité cutanée, les températures singulières et le facteur intensif y s'abaisscraient ensemble dans l'obésité et s'éléveraient dans la maigreur. La seule chose que nous puissions conclure quant au coefficient y est que ce coefficient doit s'abaisser dans l'obésité et s'élever dans la maigreur pour que C/S soit constant. C'est une condition absolue. Or, cette condition revient à dire que y doit varier en sens inverse du volume. Nous venons de voir que c'était impossible. Nous en concluons que la constance du rapport C/S est également impossible. En résumé, vouloir que C/S soit constant dans ces états anormaux, c'est vouloir qu'alors le facteur intensif y varie en sens inverse du volume. Cette impossibilité nous force à conclure qu'au cours de l'obésité et de la maigreur, les variations calorifigues ne sont pas proportionnelles aux variations de la surface.

Si maintenant, nous étudions l'obèse et le maigre, non dans leur devenir, mais dans leur état actuel, nous voyons qu'il est tout aussi illogique de vouloir comparer leur rendement calorifique par unité de surface à celui des sujets normaux. Entre un sujet normal et un obèse ou un maigre, les variations calorifiques ne sont nullement proportionnelles aux variations de la surface. Des raisons identiques à celles que nous venons de développer montrent qu'entre ces sujets, les écarts de surface sont indépendants de ceux de la masse active et que les variations du facteur y sont indépendantes de celles des volumes. En conséquence, les variations calorifiques dues à l'action de ces derniers facteurs ne peuvent être rapportées logiquement à la surface. Toute référence à une émission calorifique normale par unité de surface est donc fausse dans son principe et doit ètre entièrement rejetée. Nous ne parlerons que pour la repousser de l'utilisation du rapport C/P, soit pour comparer un obèse à lui-même, soit pour le comparer à des sujets normaux. Il est bien évident que le poids, élément essentiellement variable, ne règle en rien l'émission calorifique. D'autre part, ses changements rapides peuvent fortement modifier le quotient C/P

sans qu'on en puisse tirer aucune conclusion. La question de principe est donc réglée. Il nous reste à définir notre conduite dans la pratique, c'est ce que nous ferons au chapitre suivant.

Abordons enfin la question de l'inanition.

L'inanition semble de prime abord le cas limite de la maigreur et il peut paraître juste de lui appliquer les conclusions que nous venons de développer. A la vérité, le cas est plus complexe car un nouveau phénomène intervient. L'inanition oblige, en effet, le sujet à vivre d'abord sur ses réserves puis, celles-ci étant détruites, sur son propre capital vivant. Ce dernier fait nous oblige à étudier complètement cette question de façon indépendante.

Nous avons vu qu'il était logique de comparer les variations des calories et celles de la surface quand il existait entre elles un lien de causalité. C'est le cas de la croissance d'un individu ou de l'évolution des espèces. Or, ici la surface et la masse active diminuent ensemble. Il paraît donc rationnel de rapporter l'une à l'autre ces variations au cours de l'inanition chez un même sujet. Ce raisonnement est toutefois incomplet. Il néglige de précieux éléments. Si, en effet, surface et masse active diminuent ensemble, ces diminutions ne sont pas proportionnelles entre elles. La réduction du volume et de la surface se fait tout ensemble sans rapport déterminé avec la masse active.

En effet, l'inanitié dont le surface et le volume diminuent n'est pas assimilable à un sujet normal dont on réduirait proportionnellement toutes les dimensions. Ses diminutions de volume et de surface ne sont accompagnées d'aucune diminution de taille. Le sujet n'est pas un simple « raccourci » de lui-même, comme le serait une sphère de rayon décroissant. Il devient, au contraire, à chaque instant, de plus en plus différent de lui-même dans sa morphologie et ses variations ne sont pas harmonieuses.

Dans ces conditions, il est facile de comprendre que la diminution de la masse active ne présente aucun rapport déterminé avec celle de la surface. Mais que deviennent alors les relations des calories et de la surface ? Si m représente la masse active, les calories sont données par l'équation : C = ym. Comme la

masse m diminue considérablement les calories décroissent. Cette diminution est-elle proportionnelle à celle de la surface ? Reportons-nous à la discussion de l'obésité. Nous avons vu que la constance du rapport C/S était basée sur la proportionnalité du volume à la masse active. Ce rapport C/S ne peut être constant, nous l'avons vu, qu'entre sujets « harmonieusement » croissants ou décroissants et pleinement comparables. Or, dans le cas présent, les variations de volume ne sont pas ordonnées selon celles de la masse active. Elles sont toutes de hasard. Le rapport C/S se révèle donc inapplicable et sans constance possible au cours de l'inanition. Comment donc comparer un inanitié à lui-même ? à quoi rapporter ses calories ? Puisque la surface est inutilisable, voyons ce que peut nous donner le rapport des calories au poids. Quand l'organisme a perdu ses premières réserves, il attaque sa masse active et vit sur elle. L'affaiblissement calorifique et la perte de poids qui en résultent sont alors tous deux fonction de la perte de la masse active.

Considérons d'autre part le facteur intensif  $\gamma$ . Il s'écrit :

$$\gamma = -\frac{C}{m}$$
 (1) où m représente la masse active détruite. Dans ce

cas,  $\gamma$  prend une valeur limite, donc sensiblement constante, due à l'état extrèmement anormal. Par ailleurs, le système ayant éliminé ses réserves est devenu homogène. Toute perte de masse active provoque désormais une perte proportionnelle de poids p et on peut écrire p=K m (2). Remarquons que m représente, dans les deux équations, la masse active brûlée par unité de temps qui, de plus, a provoqué le dégagement de C calories et la perte de poids p durant ce même temps. Il est donc logique de comparer ces deux équations. On en tire :

(3) 
$$\frac{C}{p} = \frac{\gamma}{K} = K_1$$
 où  $K_1$  est une constante.

L'homogénéité du système, jointe à la constance limite du facteur y, nous permet d'écrire à présent que la quantité de poids p perdue par unité de temps est une fraction toujours la même du poids total P, soit:

(4) 
$$p = K_2 P$$
 où  $K_2$  est une constante  $< 1$ 

En portant cette valeur de p dans (3), nous avons enfin:

$$\frac{C}{P} = K_3$$

ce qui s'énonce : l'émission calorifique au cours de l'inanition est sensiblement proportionnelle au poids du sujet.

Les seules hypothèses que nous ayons faites concernent l'homogénéité de l'inanitié et la constance limite du facteur  $\gamma$ . La première hypothèse peut être admise d'emblée. Quant à la seconde, elle est non seulement rationnelle, mais de plus en accord avec la grande régularité du régime d'usure reconnue dans le jeûne par les physiologistes.

Les faits confirment d'ailleurs parfaitement ces vues. Les expériences de L. Hédon, faites au point singulier chez le chien inanitié et dépancréaté, nous offrent une fixité remarquable des rapports C/P. Nous relevons ainsi les valeurs : 2,17, 2,20, 2,16, 2,12, 2,23. Quelques rapports sont un peu plus bas : 2,06 et 1,97. Leur écart avec les premiers n'excède pas 10 %, alors que le poids a diminué de 50 %.

Bénédict a étudié de même un jeûneur durant 31 jours. Voici le tableau des rapports C/P que nous avons calculés et des rapports C/S.

C/S	С	C/P	$\mathbf{C}_T \mathbf{S}$	С	C/P	C/S	С	$\mathbf{C}/\mathbf{P}$
958	1638	26,90	767	1258	23,32	690	1097	21,84
904	1537	25,67	760	1246	23,23	688	1094	21,88
918	1542	26,18	761	1240	23,19	684	1087	21,88
927	1536	26,52	749	1213	22,80	670	1058	21,43
912	1514	26,46	698	1130	21,37	731	1147	23,37
833	1383	24,46	687	1106	21,11	703	1103	22,62
845	1394	24,89	686	1097	21,14	711	1109	22,86
825	1361	24,48 •	698	1116	21,65	726	1125	23,35
852	1405	25,47	719	1150	22,46	734	1130	23,65
772	1273	23,27	704	1126	22,10	737	1127	23,75
778	1283	23,66	664	1055	20,86			

La comparaison des rapports C/P et C/S montre que les premiers sont les plus constants. Les rapports C/P oscillent autour de la valeur la plus fréquente 23,2 avec des écarts maxima

de  $\pm$  9 %. Les valeurs de C/S sont moins bien groupées. Si on prend pour moyenne assez fréquente 730, les écarts maxima sont de + 16 % et de - 9 %.

Cette bonne tenue du rapport C/P permet d'utiles comparaisons entre sujets inanitiés ou entre les diverses périodes de l'inanition d'un même sujet. Nous avons vu, en effet, que la fixité de ce rapport présupposait une constance certaine du facteur intensif y. Si donc, chez un sujet, le rapport C/P varie, nous en concluerons que le facteur intensif se modifie. Ces variations de y peuvent parfaitement expliquer du reste certaines discordances, rares il est vrai, entre les auteurs. Bénédict et Marcel Labbé ont en effet prétendu que le rapport C/P n'était pas fixe au cours de l'inanition. Bien que ces faits puissent être susceptibles de réserves dans l'ordre expérimental, ils peuvent, s'ils sont exacts, recevoir une explication rationnelle. On peut en effet, en bonne logique, supposer l'inconstance transitoire du facteur intensif y par action réflexe ou toxique. Ceci n'enlève rien à la généralité des faits et au raisonnement établi. Ce dernier peut encore expliquer les résultats de l'expérience de Müller. Le chien amaigri, à qui l'on donne de grosses quantités de viande, n'élève pas son quotient C/P. Son alimentation lui sert en effet, tout d'abord et uniquement à reconstituer ses tissus. Il reste donc parfaitement homogène jusqu'à disparition de sa maigreur. Dans ces limites, un raisonnement semblable, mais inverse à celui que nous avons développé pour l'inanition, nous montre que la constance de C/P est strictement logique et démontrable a priori.

Pour que cette étude soit de tous points symétrique à celle des états normaux, obésité et maigreur, il nous reste à discuter si l'emploi du rapport C/S, illogique pour comparer un inanitié à lui-même, peut être toutefois justifié dans la comparaison d'un inanitié à un sujet normal. Voyons donc s'il est ou non rationnel de rapporter le quotient C/S de l'inanitié aux tables normales de référence.

Un raisonnement identique à celui que nous avons développé pour l'obèse et le maigre, montre qu'entre un sujet normal et un sujet inanitié, les écarts de surface sont indépendants de ceux de la masse active et que les variations du facteur  $\gamma$  sont indépendantes de celles des volumes. En conséquence, les variations calorifiques dues à l'action de ces derniers facteurs ne peuvent être rapportées logiquement à la surface. Les comparaisons entre sujets normaux et inanitiés basées sur l'émission calorifique de l'unité de surface sont donc irrationnelles. Cette condamnation de principe ne nous dicte pourtant pas notre conduite pratique pour laquelle on doit souvent se contenter d'un pis-aller. Cette conduite sera examinée au chapitre suivant. Quant à l'emploi du rapport C/P pour les comparaisons entre sujets normaux et inanitiés, il doit être entièrement rejeté, car il présente alors d'énormes variations qui ne sont justifiées par aucun lien de causalité entre les calories et le poids.

Nous avons ainsi successivement envisagé toutes les modalités d'application de la loi des surfaces et considéré tour à tour les individus normaux, mais de taille très différente, les sujets normaux, mais de taille voisine, l'obèse, le maigre et ensin l'inanitié. Nous voyons désormais combien d'éléments divers se cachent sous ces expressions simples : la loi des surfaces et son application. Loin d'être univoque, cette loi est complexe et multiple à souhait. Chaque auteur l'a comprise au sens restreint de ses préoccupations du moment. Chacun a eu raison en partie et tort dans l'ensemble. Nous avons pu souligner par l'exemple de quelle importance capitale est pour la science, l'expression juste, le terme bien défini, le mot compris de même par tous. Cet exposé nous montre que l'histoire du métabolisme fourmille d'expressions obscures ou fausses ou inadéquates à leur objet. L'erreur de fait suit l'erreur de langage, et s'oppose à tout réel progrès.

Arrivés au terme de cette étude, rassemblons à grands traits nos conclusions critiques et voyons à quelles conclusions pratiques nous aboutissons.

L'étude théorique du système autothermique, isothermique et autorégulateur nous a permis de prévoir tous les phénomènes observés expérimentalement dans l'étude du métabolisme de base. La loi de Newton profondément modifiée par l'introduction du facteur intensif y explique parfaitement tous les faits connus et s'applique à l'étude comparée du rayonnement calorifique à travers l'évolution des espèces et des individus. Cette loi très générale n'explique les faits classiques que si on l'applique sous sa forme complète et modifiée:

$$-\frac{C}{S \gamma (t-t_a)} = Cte$$

Dans certains cas bien déterminés, la loi peut prendre une forme restreinte : C/S = Cte. Il faut se maintenir pour cela dans des conditions de milieu très strictes et bien déterminées. A travers les espèces ou au cours de l'évolution d'un individu, l'action de la surface se fait sentir plus que celle du facteur intensif y et c'est pourquoi on obtiendra dans ces cas une proportionnalité assez bonne entre calories et surfaces. Cette proportionnalité simple constitue ce que nous appellerons : la loi des surfaces restreinte des physiologistes. Au contraire, entre sujets assez voisins, entre normaux et anormaux, obèses, maigres, inanitiés, la surface joue moins que le facteur intensif : la loi des surfaces restreinte disparaît totalement. On s'apercoit ainsi qu'à vouloir trop simplifier les choses, on ne réussit guère qu'à les rendre moins comparables et plus complexes. La constance suffisante du rapport C/S à travers les espèces, prises à leurs points singuliers respectifs, disparaît entre les individus d'une même espèce. La même loi continue cependant d'agir, seule varie l'action de ses divers facteurs.

Ainsi, tout espoir de jamais ramener la thermogénèse à des éléments simples entre individus semblables disparaît. Les comparaisons par rapport à la surface, faciles entre les espèces, deviennent épineuses ou impossibles entre individus d'une même espèce. Alors surgit et prédomine la complexité croissante des facteurs intensifs personnels d'âge, de sexe et de complexion.

Nous rejoignons ainsi, une à une, et nous embrassons tour à tour les opinions les plus diverses. Nous les expliquons toutes et les rassemblons sans les opposer jamais. Nous sommes d'accord avec Rubner dans l'opinion que la « loi des surfaces restreinte » s'impose comme une loi d'évolution générale, avec Lapicque qui a donné la démonstration de ce fait chez des individus d'espèce très diverses aux points singuliers respectifs, avec Lefèvre qui

nie surtout la possibilité d'appliquer « la loi restreinte » entre individus d'une même espèce et chez l'homme en particulier, avec Lusk « dans sa conviction que la loi des surfaces (restreinte) » exprime un rapport biologique fondamental », avec Bénédict enfin dans son insistance sur la prédominance d'action des facteurs, d'âge, de sexe, de complexion entre individus de même espèce. Chacun de ces auteurs a partiellement raison. Loin de s'affronter, comme on le pensait jusqu'ici, ces opinions si diverses se complètent mutuellement. Elles s'éclairent et se corrobent à la lumière de la critique. Et maintenant, au lieu de ce prétendu chaos, de « cette nuit du métabolisme », au lieu du trouble et de la confusion, nous découvrons ici, comme dans toutes les grandes lois de la nature, une infinie complexité sous une admirable unité.

#### CHAPITRE X

### APPLICATIONS PRATIQUES

1. Comparaison de deux sujets entre eux ou d'un sujet aux tables de référence.

L'étude critique que nous venons d'exposer, nous permet de rejeter, sans plus, toute application rigoureuse de la « loi des surfaces restreinte » à l'espèce humaine. Il est donc inutile de vouloir chercher une constance du rapport C/S chez l'homme. L'expérience confirme la théorie et les tables dressées soit par Aub et du Bois, soit par Bénédict, nous fournissent la preuve absolue de cette variabilité.

Nous n'insisterons pas.

Devant l'absence de toute valeur-étalon de l'élimination calorifique par unité de surface, nous nous réfèrerons en pratique aux tables dont nous venons de parler. Il est pour cela nécessaire et logique de grouper les sujets par sexe et par âge et de comparer les résultats isolés avec les valeurs moyennes établies par l'ensemble des recherches. Il s'agit là de références banales particulières, sans aucune valeur générale. Il suffit, somme toute, de se guider sur les courbes de fréquence maxima des valeurs de C/S pour le sexe et l'âge pour se rendre compte si la quantité de calories éliminées par unité de surface et de temps par le sujet correspond bien à la moyenne habituelle. Cette movenne n'est que le résultat de nombreuses comparaisons chez l'individu supposé sain. Elle n'a, répétons-le, aucune valeur mathématique. Nous soulignons ce fait, que nous avons démontré, qu'il est impossible en pratique de déterminer a priori avec certitude le point thermique singulier où il serait nécessaire d'opérer, soit en milieu aérien, soit en milieu aqueux. Les sujets peuvent donc se trouver sans qu'on le sache, soit en decà soit

au delà du point singulier, d'où de notables variations des mesures. Signalons encore les variations personnelles du facteur intensif qui peuvent influer beaucoup sur la thermogénèse. La grandeur des écarts normaux d'avec les moyennes pourra donc être assez élevée. Il semble juste d'admettre des oscillations, non nécessairement physiologiques, mais habituelles, de 8 à 10 % au-dessus et au dessous des valeurs données comme normales. En dehors de ces limites, l'écart est dû, sans aucun doute, à l'excitation ou à l'inhibition du facteur intensif et le sujet doit être regardé comme anormal. Tout ceci revient en somme à appliquer la loi des surfaces assez près des points thermiques singuliers probables et en tenant compte dans chaque cas du facteur intensif.

Ces comparaisons sont valables entre individus d'habitus sensiblement normaux, de complexions assez voisines. Mais, à la justification de l'emploi du rapport C/S par catégories de sujets, s'ajoute sa commodité pratique. Dans ces cas, en effet, et pour des intensités voisines du facteur y, le rapport C/S se montre préférable au rapport C/P. Il faut se souvenir, en effet, que la surface est une fonction éloignée du poids. Si donc le poids varie, la surface varie beaucoup moins que lui et il peut être beaucoup plus utile et commode d'employer le rapport C/S que C/P. Rappelons bien qu'il ne saurait plus s'agir ici de l'application générale de la « loi des surfaces restreinte », vraie sous certaines conditions entre les espèces, vraie entre individus voisins et de facteur intensif semblable, mais d'une simple commodité arithmétique. Ceci explique que, dans l'exemple choisi par L. Hédon, le rapport C/S se montre plus fixe que C/P. Il s'agit en effet, dans ce cas, de trois adultes sains de même taille, 1 m. 65 et dont les poids sont 55, 65 et 75 kgs, avec une dépense horaire de 67,5 calories. Rapportées au kg., les combustions sont de 1,03, 1,22, 0,90 calories. Rapportées au mètre carré, elles sont de 39,5, 42,2 et 37 calories. Soit, dans le premier cas, un écart de +19 % et -13 % avec la normale, et dans le second cas de +7 % et de -6 % seulement. Il tombe bien sous le sens que la meilleure tenue du rapport C/S dans le cas de ces sujets voisins tient aux variations plus faibles de S que de P et qu'il s'agit, dans ce cas, non pas de l'application stricte d'une los biologique, mais d'une simple coïncidence algébrique. Comme il est évident qu'alors les variations faibles de la surface sont dues à la variabilité des réserves de l'organisme, lesquelles n'ont pu modifier d'aucune façon la production calorifique, il est logique de préférer pour les comparaisons le rapport C/S qui amortit bien les faibles variations du poids des réserves.

Mais, si nous observons des sujets notoirement anormaux quant à la surface, soit par obésité soit par maigreur, le raisonnement établi dans la partie critique nous montre que toute référence des calories à la surface actuelle du sujet est une impossibilité logique, une absurdité. Aux arguments d'ordre général développés plus haut, nous pouvons ajouter ceux d'origine arithmétique. Si nous prenons en effet un sujet dont l'émission calorifique reste pratiquement stable par unité de temps, mais dont la surface varie par obésité ou maigreur, on voit que le rapport C/S variera chez lui notablement en sens inverse de la surface. Chez un obèse dont la surface croîtra, l'émission calorifique par unité de surface semblera décroître. Chez le maigre, au contraire, cette émission semblera croître pour des raisons opposées. On peut conclure avec certitude que le nombre de calories par unité de surface sera, par rapport à sa vraie valeur, trop faible chez l'obèse, trop fort chez le maigre. Ainsi, le calcul seul introduit des erreurs qui peuvent classer le sujet dans tel ou tel groupement anormal.

Quelle solution proposons-nous? Voyons d'abord la cause de ces erreurs. Elle gît chez l'obèse dans l'excès des matières inertes qui distendent et accroissent la surface, chez le maigre dans le défaut de ces mêmes matières, les masses actives restant égales d'ailleurs. Il n'existe, en conclusion, qu'un remède: rendre au sujet une surface normale. Pour cela, il suffit de se contenter d'approximations suffisantes. La surface normale étant celle d'un sujet normal, nous appellerons sujet normal celui dont le poids en kilogrammes est égal au nombre de centimètres de sa taille au dessus de cent. Il s'agit évidemment d'une définition arbitraire. Elle nous suffit toutefois, vu les écarts que nous acceptons, à faire rentrer le sujet étudié dans la caté-

gorie où il sera comparable aux autres. Si donc nous observons un sujet de poids anormal, nous établirons sa surface d'après son poids normal et nous appellerons cette surface : théorique normale. Nous rapporterons ensuite les calories émises à cette surface et nous comparerons le résultat aux tables habituelles de référence.

S'il s'agit d'un sujet très maigre, inanitié ou diabétique, sa masse active est certainement diminuée. Lui rendre un poids et une surface théorique reviendrait à lui supposer une masse active plus importante, que celle qu'il possède. La surface théorique normale est dans ce cas trop importante pour ce sujet et la seule solution est de se contenter chez lui de la surface vraie, tout en sachant que l'abaissement exagéré de cette surface élève arithmétiquement le quotient C/S. La vraie solution consisterait à comparer l'inanitié ou le diabétique maigre à un sujet normal possédant une même masse active. La chose semble, jusqu'à présent, impossible ou tout au moins très difficile. Ce problème comporte cependant chez le diabétique une solution très particulière: prendre pour terme de comparaison le sujet lui-même non diabétique, puis diabétique. C'est ce qu'a essayé Gondard. Cet auteur étudie des individus d'abord diabétiques, puis rendus non diabétiques grâce aux injections d'insuline. Cette apparente solution comporte pourtant elle-même une difficulté: c'est la comparaison du sujet rendu non diabétique mais encore amaigri aux sujets normaux. Dans ce cas, pour les raisons signalées ci-dessus, la seule solution, croyons-nous, est de se contenter de la surface vraie. Cette surface étant restreinte, le résultat sera quelque peu élevé. Il restera à apprécier dans cette exagération ce qui peut revenir soit à l'erreur arithmétique, soit à l'état morbide.

De toute façon, l'utilisation du rapport C/S est préférable à celle de C/P, si il s'agit de comparer un diabétique aux sujets normaux. Les variations de l'élément de référence P sont beaucoup trop brutales. Elles sont, au contraire, amorties dans la surface S. Gondard, qui a étudié le métabolisme du diabétique, emploie le rapport C/P tout en reconnaissant l'objection fonda-

mentale que nous venons de faire. L'abaissement considéral du poids chez le diabétique maigre élève artificiellement tous les résultats, et beaucoup plus que ne le ferait l'emploi de la surface. Cet auteur a, en réalité, confondu les deux termes du problème : la comparaison du diabétique maigre au sujet normal et la comparaison du diabétique maigre à lui-même au cours de son évolution. Dans le second cas, la logique et l'expérience montrent la nécessité de l'emploi du rapport C/P. Nous sommes, sur ce point, entièrement d'accord avec L. Hédon. Dans le premier cas, au contraire, la logique et l'expérience forcent à rejeter le quotient C/P plus irrationnel encore que C/S et beaucoup plus sujet à l'erreur.

Ces diverses conclusions s'appliquent au cas où l'on désire comparer un individu à d'autres sujets et le classer parmi les normaux ou les anormaux. Le problème est différent si l'on veut comparer un sujet à lui-même.

## 2. Comparaison d'un sujet à lui-même.

Le problème se scinde alors en deux parties. Le sujet est-il normal ou anormal quant au poids ?

S'il est normal et l'est resté au cours des comparaisons, la surface aura très peu varié. Seules interviendront dans les calculs les variations des calories. La confrontation des divers quotients C/S reviendra pratiquement à comparer les unes aux autres les diverses valeurs de C.

Si le sujet est anormal, obèse ou maigre, nous utiliserons chez lui la surface théorique normale. Comme celle-ci reste identique à elle-même dans le cours des mesures, le rapprochement des rapports C/S sera encore équivalent aux simples comparaisons des calories émises par unité de temps. La chose est d'ailleurs parfaitement logique car les variations possibles de caléfaction sont dues non pas à des variations de la masse active, ni par conséquent à des variations correspondantes de la surface, mais seulement à des variations du facteur intensif. Nous donnerons un exemple qui illustre les défaillances des comparaisons entre

rapports C/S et C/P. Soit un sujet dont la production calorifique baisse par restriction alimentaire. Dans ce cas, cette baisse est due à l'inhibition du facteur intensif. L'étude du rapport C/S semble alors montrer une certaine proportionnalité entre les calories et la surface et une constance de ce rapport. Celle-ci est toutefois de pur hasard arithmétique. L'abaissement calorifique s'accompagne en effet d'une forte perte de poids et aussi d'une perte notable de surface. Or, tandis que le poids varie plus que les calories, il se trouve, par suite de simples relations algébriques, que la surface varie moins que le poids et de façon analogue aux calories. Prenons le sujet étudié par nous sous les Nos 156 et 223. Chez lui, l'équilibre azoté est respecté, la masse active n'est donc pas touchée. Le rapport C/S d'abord égal à 39,4, passe après restriction à 38,2. Par contre, le rapport C/P passe de 0,84 à 0,89. Il semble bien, d'après ce dernier rapport, que l'intensité calorifique ait augmenté par unité de poids. Le premier rapport, au contraire, reste quasi constant. Les calories horaires sont en réalité tombées de 72 à 65.4. La diminution des combustions est donc nette. Elle est fortement contrariée dans le rapport C/P par la chute considérable du poids, lequel tombant plus que les calories, fait croître le rapport. Elle l'est encore, mais moins fortement, dans le rapport C/S. Cette apparente fixité du rapport C/S est de pur hasard et due seulement à ce que la surface, fonction éloignée du poids, diminue moins que ce dernier et de façon analogue aux calories.

S'il s'agit maintenant de comparer un sujet inanitié ou diabétique maigre à lui-même au cours de plusieurs mesures, les raisons données dans la partie critique nous autorisent à utiliser logiquement le rapport C/P.

En résumé, le problème se présente toujours sous deux aspects: s'agit-il de comparer un sujet à un groupement normal de références, donc à des tables de moyenne ? S'agit-il de comparer un sujet à lui-même au cours de son évolution normale ou pathologique ? Nous résumons notre exposé de la façon suivante.

En pratique, si l'on a affaire à un sujet de surface normale, on rapportera ses calories à sa surface vraie. Si l'on a affaire à un sujet de surface anormale obèse ou maigre non inanitié, on rapportera ses calories horaires à sa surface théorique normale. Ceci permet de classer tous ces sujets parmi les individus sains ou morbides d'après les tables de référence. Les comparaisons ultérieures du sujet normal ou anormal avec lui-même se feront simplement entre les calories émises durant les diverses expériences et seront établies en pourcentage de l'une des mesures, en général de la première.

S'il s'agit maintenant d'un sujet inanitié ou diabétique maigre, on établira d'abord le rapport C/S d'après la surface vraie. On appréciera les écarts d'avec les tables normales en tenant compte de l'élévation purement arithmétique du rapport. Pour comparer ensuite ce sujet à lui-même au cours de l'évolution de son état, le rapport C/P présente une utilité manifeste, soit que le sujet tombe dans une déchéance progressive, soit au contraire qu'il revienne à la normale.

Nous avons réservé, pour terminer, le cas de l'obésité extrême. Nous l'avons séparé de l'obésité courante pour ne pas compliquer la discussion. Il est bien évident que, dans ces cas, l'excessif développement de la surface devra influer sur les combustions et sans doute les accroître. Il semble donc assez logique de rapporter ici les calories à la surface. Cependant, si on considère que l'enveloppe cutanée qui s'est accrue n'est pas normale mais bien troublée dans sa texture, l'hésitation est très légitime. Le pannicule adipeux développé dans d'énormes proportions et les troubles fréquents de vaso-constriction cutanée s'opposent au rayonnement normal de la peau. Devant l'imprécision de ces données, nous avouons hésiter. Nous croyons toutefois qu'il serait assez satisfaisant de se référer à la surface réelle du sujet. Néanmoins, ces cas étant exceptionnels, nous n'insisterons pas.

Nous voyons donc que la « loi des surfaces restreinte » perd chez les individus de même espèce, la constance suffisante qu'elle possède entre les espèces les plus diverses. Chez l'homme en particulier, l'étendue de la surface qui détermine bien le fonds même, la grandeur de la dépense minima ne présente pas de variations assez fortes pour contrebalancer l'action variable du facteur intensif interne et faire sentir son influence entre individus voisins. Ce facteur intensif impose nettement son action et nous oblige à établir de nombreuses valeurs de comparaison suivant l'âge et le sexe et à y ajouter une marge d'imprévisible. Nous avons indiqué quelles références nous semblaient les meilleures et facilité ainsi, croyons-nous, la discussion et l'appréciation de chaque cas. Dans ces conditions, le classement de chaque sujet, l'estimation de son état normal ou morbide demandera réflexion et finesse d'esprit.

Nous ne saurions mieux conclure que par ces lignes de L. Hédon qui avait pressenti toute la complexité du problème pratique : « Le clinicien devra savoir apprécier, suivant les cas, quel est » le mode de représentation capable de lui traduire le plus fidèlement la déviation pathologique ».

# DEUXIÈME PARTIE

# CRITIQUE DES MÉTHODES

### CHAPITRE PREMIER

# ÉTABLISSEMENT D'UN SYSTÈME DE RÉFÉRENCES DES CALORIES

# A D'AUTRES GRANDEURS QUE LA SURFACE

Nous avons acquis, dans la partie critique de cet ouvrage, la certitude que la loi générale des surfaces, vraie, partout, n'est pratiquement applicable sous sa forme simple qu'entre les espèces. Dans l'intérieur d'une même espèce, l'action de la surface est contrebattue par de trop nombreux facteurs individuels pour qu'elle imprime sa marque de façon visible, à la dépense calorifique comparée de sujets très voisins.

L'établissement du rapport C/S doit donc être entouré de toutes sortes de restrictions de sexe, d'âge, de nutrition, etc., qui en limitent l'application générale. Ainsi étudié par catégories, ce rapport ne vise plus que des cas d'espèce. Il n'est plus qu'une fallacieuse imitation de la loi générale. Si ce quotient n'est donc qu'une simple commodité d'écriture, il semblerait utile d'en faire disparaître le terme de référence : la surface. Celle-ci n'est qu'un trompe-l'œil. Sa suppression dans les calculs aurait l'avantage de faire cesser une équivoque.

Un sain réalisme gagne à préciser les termes de tout débat et à rejeter les interprétations fâcheuses.

Nous avons donc tenté d'établir un système de référence des calories à des grandeurs autres que la surface. Ce système devait,

dans notre esprit, garder la même commodité que le premier et servir de même à l'estimation des écarts calorifiques observés d'avec les moyennes normales. Il devait, en outre et surtout, écarter toute référence directe à la surface corporelle. Sans doute, pensions-nous, existe-t-il quelques grandeurs morphologiques qui soient en rapport avec l'intensité des combustions.

Nous avons cru trouver ceux-ci dans des éléments proches et facilement mesurables : le poids P, la taille H. La première idée logique est désormais d'établir le rapport des calories au produit (poids  $\times$  taille), soit  $\frac{C}{P-H}$ .

Nous avons d'abord recherché la valeur de ce rapport pour une série de sujets masculins pris dans la table de Harris et Bénédict. Voici, par exemple, 10 sujets allant du Nº 86 au Nº 95.

Nous mettrons en regard l'une de l'autre les valcurs du rapport  $\frac{C}{P}$  et celles de  $\frac{C}{S}$  (cf. Tableau I).

		TABL	EAU I		
$N^{o}$	C/P.H	_C/S	$N^{o}$	, <u>C./PH</u>	C/S
86	0,721	38,7	91	0,638	44,4
87	0,835	44,1	92	0,552	37,7
88	0,672	35,6	- 93	0,580	39,4
89	0,714	35,8	94	0,598	40,1
90	0.454	35.8	95	0.664	44.1

Voici d'autre part, les valeurs de 10 rapports établis pour 10 sujets étudiés par nous (cf. Tableau II).

		TABLE	EAU II		
No	C/P.H	C/S	$N^{o}$	C/P.H	_ C /S
256	0,670	39,96	247	0,709	39,52
257	0,626	42,53	242	0,738	40,70
186	0,811	43,91	228	0,468	32,95
115	0,789	44,76	233	0,627	44,70
113	0,666	<b>50,</b> 05	159	0,716	44,66

Ces vingt sujets ont été pris absolument au hasard et il nous eût été loisible d'en présenter un groupe de plusieurs centaines. C'eût été toutefois peine inutile, car nous pouvons faire tout de suite une importante remarque. Si nous considérons, en effet, une suite quelconque de rapports C/S par exemple la suite 86-96, et la suite correspondante des rapports C/P.H nous remarquons que les rapports successifs C/S et C/P.H n'offrent pas les mêmes écarts. Autrement dit, si deux rapports C/S offrent entre eux un certain écart établi par exemple en pourcentage de la première valeur, le pourcentage d'écart des deux rapports C/P.H correspondants établi de la même façon n'est pas identique au premier. Il pourra même s'en éloigner nettement. Soit, par exemple, le tableau suivant:

#### TABLEAU III

Comparaison des écarts de deux valeurs successives de C/P.H et C/S établis en pourcentage de la première de ces valeurs.

C /I	P.H.	Ecarts %	0	C,	/S	Ecarts %
0,66	0,55	<b>—16,6</b>		44,1	38,7	14,5
0,59	0,58	<b>— 1,7</b>		40,1	39,4	- 1,6
0,59	0,66	+11		40,1	44,1	+10
0,71	0,67	-5,6		35,8	35,6	<b>— 0,5</b>
0,71	0,45	36		35,8	35,8	0

On voit par ces simples exemples, que les suites respectives des rapports C/P.H et C/S pris chez deux sujets peuvent offrir parfois des variations sensiblement égales et parfois même identiques. Dans d'autre cas, par contre, les variations sont absolument dissemblables. L'avant-dernière comparaison du tableau offre un écart de —5,6 % entre les valeurs de C/P.H et un écart de —0,5 % entre les valeurs correspondantes de C/S. La dernière comparaison présente une variation des rapports C/P.H de —36 % et une variation nulle des rapports C/S correspondants. La possibilité de tels écarts imprévisibles a priori entre

ces modes de référence, nous oblige à rejeter le rapport C/P.H ou, tout au moins, à le modifier. Les écarts du rapport C/P.H par rapport à C/S proviennent évidemment du désaccord entre les variations du produit P.H et celles de S. Tentons, donc de remplacer le produit P.H par un autre terme qui le rappelle, mais de façon plus lointaine. Dans ce but, introduisons sa racine carrée.

Étudions désormais le rapport :  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$ 

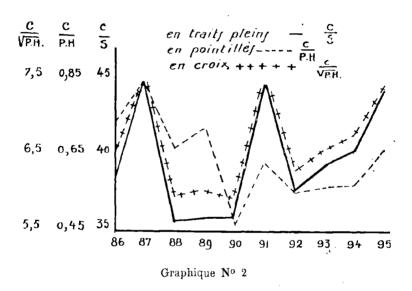
Reprenons les séries étudiées plus haut et établissons les mêmes comparaisons.

TABLEAU IV

$N_0$	С	С	$N_0$	С	C
	$\sqrt{P.H}$	S		$\sqrt{\mathrm{P.H}}$	S
86	$6,\!54$	38,7	91	7,30	44,4
87	7,44	44,1	92	6,28	37,7
88	6,01	35,6	93	6,64	39,4
89	6,03	35,8	94	6,81	40,1
90	5,96	35,8	95	7,40	44,1
256	6,74	39,9	228	5,28	32,9
257	6,81	42,5	115	7,40	44,7
186	7,33	43,9	113	8,20	50,0
247	6,67	39,5	233	7,30	44,7
242	6,78	40,7	159	7,35	44,6

Si nous calculons, comme nous l'avons fait plus haut, le pourcentage des écarts successifs, nous constatons cette fois que ceux-ci sont sensiblement les mêmes dans la série C/S que dans la série C/S que dans la série C/S. Là ne se borneront pas, toutefois, nos comparaisons et nous employerons la méthode graphique plus souple et plus commode. Soit donc deux axes de coordonnées. Plaçons en abcisses une suite quelconque de numéros d'ordre

de sujets étudiés. Portons en ordonnées les valeurs des calories par mètre carré-heure, soit C/S. Relions tous les points ainsi obtenus. Sur le même graphique, portons en ordonnées, les valeurs correspondantes de C/P.H et de  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$ . Nous avons ainsi trois courbes superposées.



Un simple coup d'œil nous montre qu'elles offrent en général des variations de même ordre. A y regarder de plus près; on s'aperçoit toutefois que 1º les courbes C/S et C/P.H ne varient pas toujours dans le même sens et que, par ailleurs, des variations de même sens n'offrent pas toujours une même intensité;  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$ , à de très rares exceptions près, varient dans le même sens et avec la même intensité.

Cette concordance entre ces deux dernières courbes est telle

qu'une opposition transitoire entre elles doit faire pressentir une anomalie. C'est ainsi que, dans la première série des 136 hommes de Harris et Bénédict, nous relevons une dissociation des courbes aux numéros 26, 27, 28. Tous nos calculs ayant été vérifiés pour la courbe  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$ , nous avons refait ceux de Harris et Bénédict pour C/S et trouvé une erreur dans la table de ces auteurs au N° 27. Les calories de ce sujet s'élèvent à 879 par 24 heures, au lieu de 955. Le rapport  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$  varie donc comme C/S entre sujets entièrement différents, hommes ou femmes. Nous pouvons donc substituer valablement au rapport C/S le rapport  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$ . Le second est équivalent au premier. Nous dirons donc : le rapport des calories minima à la racine carrée du produit : Poids  $\times$  Hauteur est équivalent au métabolisme de hase.

Ce rapport équivalent à C/S remplit bien toutes les conditions que nous avions imposées. Il présente, en effet, la même signification que le premier, la même commodité et permet une semblable évaluation des écarts entre sujets différents. Il possède de plus l'avantage d'éloigner de l'esprit toute idée de référence à la surface et toute erreur de mesure sur cette dernière. Il écarte donc toute interprétation outrée et fausse de la loi générale des surfaces dans l'espèce humaine.

La validité de ce rapport étant établie, il nous reste désormais à en faire l'application. Envisageons pour cela les sujets normaux étudiés par Harris et Bénédict et comprenant 136 hommes et 103 femmes. Ces sujets ont été presque tous étudiés au Nutrition Laboratory de Washington. Voici d'abord l'ensemble des valeurs de notre rapport pour ces sujets.

TABLEAU V

Valeurs du rapport  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}=K$  pour les 136 hommes de Harris et Bénédict.

No .	K	No	K	No	K	No	K	No	K
1	6,93	29	6,08	57	6,45	85	7,18	113	6,28
<b>2</b>	6,96	30	5,82	58	7,07	86	6,54	114	6,14
3	6,65	31	5,76	<b>5</b> 9	6,92	87	7,44	115	6,76
4	7,36	32	6,33	60	6,60	88	6,01	116	6,11
5	6,86	33	6,78	61	6,31	89	6,03	117	5,92
6	6,65	34	6,58	62	6,14	90	5,96	118	6,59
7	7,27	35	6,74	63	7,18	91	7,30	119	5,89
8	7,14	36	6,44	64	6,76	92	6,28	120	5,89
9	$6,\!54$	37	6,32	65	6,52	93	6.64	121	7,39
10	7,02	38	5,69	66	6,93	94	6,81	122	6,85
11	6,73	39	6,46	67	7,13	95	7,40	123	6,30
12	6,74	40	5,86	68	5,38	96	6,48	124	6,67
13	6,49	41	6,27	69	6,68	97	6,17	125	6,54
14	6,68	42	6,26	70	<b>5,</b> 50	98	6,43	126	7,93
15	6,66	43	6,05	71	6,20	99	6,12	127	6,33
16	6,67	44	7,45	72	6,87	100	7,02	128	6,48
17	6,38	45	6,26	73	6,48	101	7,00	129	6,02
18	5,95	46	6,38	74	6,49	102	6,58	130	6,13
19	6,15	47	6,05	75	6,87	103	6,30	131	$6,\!52$
20	6,68	48	6,19	76	6,97	104	6,51	132	6,21
21	5,70	49	6,57	77	6,89	105	5,44	133	6,59
22	5,48	50	6,59	78	6,43	106	6,02	134	5,73
23	6,34	51	<b>5,7</b> 3	79	6,13	107	6,53	135	6,54
24	5,85	52	<b>6,</b> 36	80	7,25	108	6,03	136	5,81
25	6,61	53	6,10	81	<b>7,2</b> 5	109	6,28		
26	6,61	54	6,13	82	6,23	110	6,32		
27	6,13	55	6,65	83	6,54	111	5,96		
28	6,28	<b>5</b> 6	6,07	84	6,73	112	6,13		

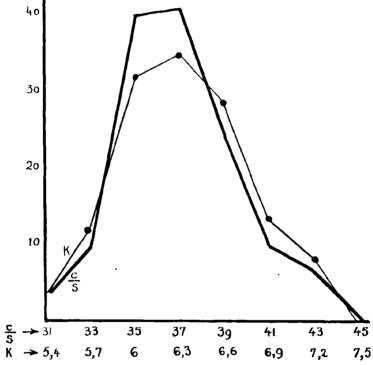
TABLEAU VI

Valeurs du rapport  $\frac{C}{\sqrt{P.H}} = K$  pour les 103 femmes du tableau de Harris et Bénédict.

No	K	No	_ K	$N_0$	K	$N_0$	K	$N_0$	K
1	5,91	22	5,85	43	6,07	64	6,29	85	6,53
2	6,01	23	7,19	44	5,64	65	6,65	86	5,42
3	5,72	24	<b>5,9</b> 5	45	6,18	66	6,45	87	6,12
4	5,96	25	6,01	.46	6,58	67	5,39	88	6,42
5	5,92	26	<b>6,4</b> 5	47	5,32	68	6,11	89	5,84
6	5,61	27	5,80	48	6,09	69	5,70	90	5,55
7	5,73	28	5,98	49	5,70	70	4,77	91	4,73
8	5,61	29	5,58	50	6,34	71	5,43	92	4,82
9	5,47	30	5,45	51	5,09	72	5,87	93	4,78
10	5,39	31	5,70	52	6,34	<b>7</b> 3	6,29	94	5,35
11	5,83	32	6,24	53	7,02	74	6,85	95	5,52
12	7,13	33	5,86	54	5,92	75	5,44	96	5,00
13	6,24	34	6,05	55	6,10	76	5,26	97	5,50
14	5,08	35	6,49	56	5,49	77	6,76	98	5,69
15	6,56	36	6,13	57	6,36	78	7,09	99	5,03
16	6,02	37	5,67	- 58	6,86	79	6,85	100	4,91
17	6,01	38	6,45	59	6,39	80	6,16	101	5,39
18	6,40	39	7,12	60	6,27	81	6,28	102	5,50
19	6,06	40	5,77	61	5,90	82	5,25	103	5,33
20	6,30	41	6,07	62	5,83	83	6,21		
21	5,92	42	<b>5,8</b> 6	63	5,80	84	5,16		
									_

Avant d'aller plus loin, nous apporterons une nouvelle justification de l'emploi du rapport  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$  grâce à l'étude comparée des courbes de dispersion ou de fréquence des deux rapports. Portons d'une part en abscisses 8 valeurs de C/S croissant de 2 en 2 à partir de la valeur la plus basse 31. Portons d'autre part sur cette même abeisse 8 valeurs de  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$  croissant de

0,30 en 0,30 à partir de la valeur la plus basse : 5,4. Portons enfin en ordonnées le nombre de cas correspondants à chacune des valeurs précitées chez les sujets de Harris et Bénédict. Nous avons ainsi deux courbes qui donnent les fréquences relatives des deux rapports.



: nombre de caj : C par mètre carre heure de 31 à 45 K valeur du coefficient de 5,4 à 7,5 En ordonnée

Graphique Nº 3

Il est remarquable que ces deux courbes ont semblable allure et sont presque identiques. Les rapports C/S et  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$  offrent à la fois des variations semblables et des fréquences très voisines dans un groupe de sujets voisins. Nous pouvons donc prendre l'un pour l'autre.

Une première étude d'ensemble nous montre que la moyenne des âges étant sensiblement la même, la moyenne de notre rapport est différente dans les deux sexes. Elle est de 6,46 chez l'homme, contre 5,89 chez la femme. Ceci s'accorde bien avec ce fait couramment observé que l'intensité métabolique est en général moins élevée chez la femme que chez l'homme.

Faisons à présent l'analyse de notre rapport. Disons tout d'abord que nous le désignerons par la lettre K, soit :

$$\frac{C}{\sqrt{P.H}} = K$$

Nous rangerons les valeurs de K suivant les âges de 20 à 50 ans. Au delà et en deça, nous possédons trop peu de documents et encore sont-ils incertains et sujets à discussion. Nous chercherons pour chaque âge quelle est la valeur de K la plus fréquente. Nous établirons dans ce but des courbes de fréquence et la valeur de K la plus fréquente en désignera la valeur la plus probable pour l'âge considéré. Un autre classement serait souhaitable dans l'intérieur même du classement par âges. C'est le groupement par corpulences identiques.

Nous pourrons nous servir dans ce but du coefficient d'obésité de Martinet, défini par le rapport du poids au nombre de centimètres de la taille au-dessus de 100. Les valeurs normales de ce coefficient vont de 0.90 à 1.10. Au delà commence l'obésité. en decà la maigreur. Sans avoir une rigueur absolue, ce coefficient offre une grande commodité et permet de rassembler les cas très voisins. Malheureusement, ces classements successifs que nous avons tentés dispersent par trop les cas et il ne reste plus en définitive qu'un nombre de sujets trop restreint dans chaque catégorie pour porter des conclusions fermes. Il faut tenir compte pourtant de l'état d'obésité ou de maigreur du sujet, car entre sujets de taille voisine, la valeur de K diminue si P croît et augmente si P diminue. Nous verrons par la suite, en groupant l'ensemble de nos données, s'il nous est possible d'utiliser ces notions.

Nous nous en tiendrons donc au classement par sexe et par âge tout en faisant remarquer que les sujets de Harris et Bénédict offrent des coefficients d'obésité compris en général entre 0,80 et 1 et plus souvent entre 0,80 et 0,90. Il s'agit donc assez fréquemment de sujets à la limite de l'état normal et de la maigreur et les résultats trouvés pourront pécher dans l'ensemble par un léger excès.

Voici, groupés par âge, les diverses valeurs de K chez l'homme.

TABLEAU VII

Valeurs de K chez l'homme classées suivant les âges
(d'après les éléments d'Harris et de Bénédict)

Da	$\Omega$	À.	24	ans.
1)e.	ZU	а	24	ans.

33 6,78

48 6,19

$N^{o}$	K	$N^o$	K	No	K		$N_0$	K	$N_0$	K
1	6,93	13	6,49	37	6,32	-	58	7,07	80	7,25
2	6,96	14	6,68	38	5,69		<b>6</b> 0	6,60	82	6,23
4	7,36	16	6,67	40	5,86		61	6,31	86	6,54
5	<b>6,8</b> 6	20	6,68	47	6,05		63	7,18	91	7,30
6	6,65	23	6,34	49	6,57		65	6,52	92	6,28
8	7,14	28	6,28	50	6,59		69	6,68	95	7,40
10	7,02	32	6,33	52	6,36		71	6,20	98	6,43
11	6,73	34	6,58	54	6,13		72	6,87	101	7,00
12	6,74	35	6,74	56	6,07		78	6,43	103	<b>6,3</b> 0
106	6,02	112	6,13	117	5,92		124	6,67	128	6,48
107	6,53	114	6,14	121	7,39		125	6,54	131	$6,\!52$
110	6,32	115	6,76	122	6,85		126	7,93		
	De 25	à 29 an	ls.							
$N^{o}$	K	$N_0$	K	$N^{o}$	K		$N^{o}$	K	$N^{o}$	K
9	6,54	39	6,46	53	6,10	•	85	7,18	113	6,28
15	6,66	41	6,27	55	6,65		89	6,03	116	6,11
18	5,95	42	6,26	59	6,92		93	6,64	127	6,33
<b>1</b> 9	6,15	44	7,45	62	6,14		97	6,17	129	6,02
<b>2</b> 6	6,61	45	6,26	74	6,49		100	7,02	130	6,13
27	<b>6,1</b> 3	46	6,38	75	6,87		108	6,03		

83 6,54

109 6,28

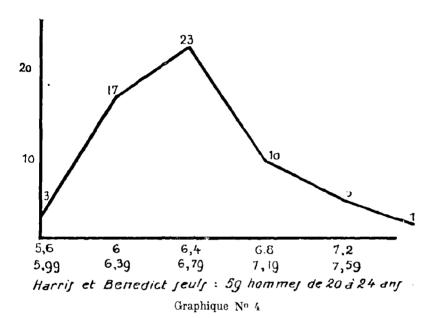
De 30 à 39 ans.

$N_0$	K	No	K	$N_0$	K	$N^{o}$	K	$\mathbf{N}^{\mathrm{o}}$	K
17	6,38	43	6,05	76	6,97	99	6,12	123	6,30
21	5,70	51	5,73	84	6,73	102	$6,\!58$	132	6,21
25	6,61	64	6,76	88	6,01	104	6,51		
30	5,82	66	6,93	90	5,96	119	5,89		
36	6,44	70	<b>5,5</b> 0	96	6,48	120	5,89		
	De 40 a	à 49 ar	ıs.						
$N^{o}$	K	No	K	$N_0$	K	$N_0$	K	No	K
24 29	5,85 6,08	57	6,45	68	5,38	105	5,44	133	6,59

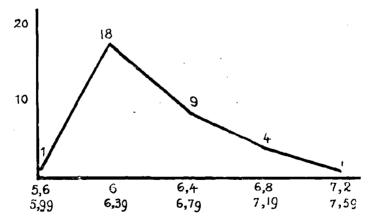
L'étude de ces tableaux nous montre que la plupart des sujets ont un âge compris entre 20 et 30 ans. Dans ces limites d'âge, les 92 cas trouvés forment un ensemble suffisant pour le diviser en deux groupes, l'un de 20 à 24 ans, l'autre de 25 à 29 ans.

Traçons à présent les courbes de fréquence. Soit un système de coordonnées orthogonales. Portons, d'une part, en abcisses les valeurs de K croissant de 0,40 en 0,40 à partir de la valeur la plus basse de cette série. Portons, d'autre part, en ordonnées le nombre de sujets correspondant à chacune de ces valeurs. Nous avons ainsi une courbe qui donne, pour l'âge considéré, la fréquence de K en fonction de la valeur de ce coefficient. Si cette courbe a un maximum, nous saurons quelle est, pour les limites d'âges fixées, la valeur la plus fréquente, donc la plus probable.

Nous avons 59 sujets de 20 à 25 ans. Les valeurs de K s'étagent de 5.69 à 7,93, ce dernier chiffre étant aberrant et très éloigné des autres. La courbe présente un maximum pour l'intervalle 6,40 — 6,80. On peut donc, semble-t-il, prendre comme valeur de K la plus probable : 6,60. On remarque que si on ajoute ou retranche à cette valeur 10 % de son propre montant, on obtient les nombres 5,95 et 7,25. La valeur moyenne de  $K=6,60\pm10$  % englobe donc la presque totalité des cas normaux.

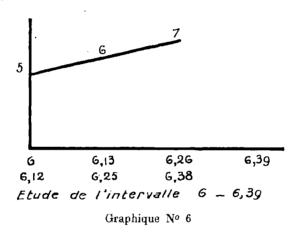


 $De~25~\dot{a}~29~ans$ , nous avons 33 sujets. La courbe de fréquence couvre les valeurs de 5,60 à 7,60 et nous offre un maximum pour l'intervalle 6 - 6,40.



Harris et Benedict seuls: 33 hommes de 25 à 29 ans Graphique N° 5

Nous sommes tentés de prendre d'emblée comme valeur de K la plus fréquente, la moyenne 6,20. Cependant, cette valeur augmentée et diminuée de 10 %, ne couvre que la zone 5,58 - 6,82. La limite supérieure de cêtte zone est donc trop basse. Étudions donc en détail l'intervalle 6 - 6,40 où se trouve notre fréquence maxima. Nous tracerons une courbe pour les cas allant de 6 à 6,12, de 6,13 à 6,25 et de 6,26 à 6,38. La courbe est légèrement ascendante, avec un faible maximum pour l'intervalle 6,26 - 6,38.



Le maximum de fréquence semble donc se trouver dans l'intervalle 6,26 - 6,38, soit aux environs de 6,32, sans qu'il soit toutefois possible de conclure avec certitude.

Au delà de 30 ans, le groupement de 10 ans en 10 ans laisse dans chaque catégorie un nombre trop faible de cas. Nous ne pouvons donc plus conclure avec quelque certitude, à cause de la dispersion des résultats. Le nombre de sujets fournis par le Nutrition Laboratory est donc trop faible dans ce cas. Nous sommes obligés d'avoir recours à d'autres données. Nous en trouvons un certain nombre rassemblées dans le travail d'Harris et Bénédict. Nous en donnons la suite ci-après, avec les références d'auteurs. Ces données proviennent de sujets

de différentes races, de complexion et de type alimentaire divers. Elles comportent donc plus de généralité, Nous y joindrons en outre neuf cas normaux provenant de nos recherches personnelles. Ce dernier nombre est faible, mais nous avons écarté de nos résultats tout sujet dont l'état physiologique pouvait être douteux. Nous avons de même éliminé nos premiers travaux comme trop incertains. Nous ajouterons enfin la seconde série de sujets normaux étudiés par Bénédict. Nous éliminerons toutefois de cette série les sujets âgés de 50 ans et plus qui ne peuvent nous être d'aucune utilité parce que trop peu nombreux.

Voici l'ensemble de ces données :

TABLEAU VIII

Valeurs de K chez l'homme, d'après les éléments fournis par divers auteurs

De 20 à 24 ans.

No	K	No	K	No	K	$\overline{N_0}$	K	No	K
Mon	mouth-	Mag	nus-	19	6,79	10	6,50	Rotl	1
Sn	nith	Lé	vy	20	6,56	11	6,38	5	6,34
$^{2}$	6,92	1	6,94	21	6,35	12	5,48	9	6,68
3	7,13	8	6,36	22	6,61	Béné	dict		
4	7,36	10	6,90	<b>2</b> 3	6,57	2me s	érie	Perso	nnels
5	6,85	Carp	enter	2	7,01	156	5,66	247	6,67
6	6,64	Emr	nes	3	6,67	157	6,66	29	6,45
10	6,95	13	6,74	4	6,45	158	6,82	250	6,92
11	6,49	14	7,31	5	7,07	159	6,24	256	6,74
12	6,68	15	5,62	6	6,28	160	5,45		
13	7,02	16	6,30	7	6,71	161	6,50		
14	6,74	17	5,77	8	6,65	162	6,06		
15	6,73	18	7,07	9	6,74	163	6,11		

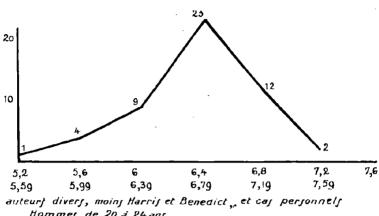
$D_{\alpha}$	95	à	20	ans
110	ンコ	a	24	ans

	De 25 a	29 un							
No	K	$N^{\circ}$	K	No	K	No	K	$\overline{N}_{0}$	K
Mon	nouth-	Paln	ner,	Carp	enter	Bénéo	lict	<b>1</b> 55	6,07
Smit	h	Mea	ns	Emr	nes	$2^{\mathrm{me}}$ so	érie		
1	6,53	2	6,35	24	5,98	149	6,25	Roth	
9	6,66	3	6,05	25	6,82	150	7,05	3	6,15
Mag	nus Lév		6,47	26	6,74	151	7,24	8	6,13
3	7,06	5.	5,85	27	6,17	152	6,16	10	5,95
7	6,31	6	5,98	28	6,12	153	7,06	11	6,61
9	7,03			29	6,16	154	6,59		
	De 30 à	39 ar	ıs.						
No	K	No	K	No	K	$N^{p}$	K	$N_{0}$	K
Mag:	nus Lév	y 7	6,30	Bén	édict	Ro	th	Perso	nnels
2	6,21	8	6,10	$2^{me}$	série	1 5	,70	176	7,09
5	6,51	Carp	enter	145	6,16	2 6	5,61	220	7.45
Paln	ier,	Emr	nes	146	5,52	7 (	5,37	77	6,48
Mear	ns	30	$7,\!25$	147	<b>6,2</b> 3		•	39	6,85
1.	6,30	-		148	6,04			219	6,27
	De 40 d	49 a	ns.						
No	K	$N^{o}$	K	No	K	No	K	$Z_0$	K
Magı		-	enter	Béne	edict	$\mathbf{R}_{0}$	oth		
Lévy		Emr		2me	série				
6	6,10	31	6,26	141	5,48	6	5,87		
				142	6,61				
				143	5,32				

Traçons comme plus haut les courbes de fréquence.

La nouvelle courbe de 20 à 24 ans présente, comme la première, un maximum pour les valeurs de K comprises entre 6,4 et 6,80.

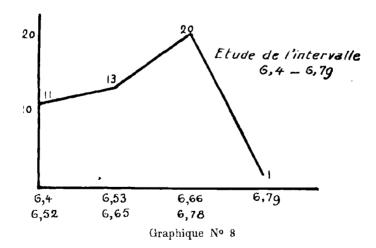
144 6,09



Hommes de 20 à 24 ans

Graphique No. 7

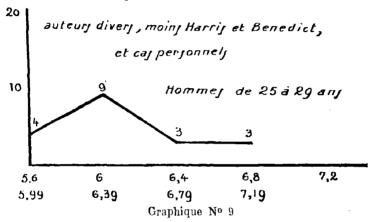
Si nous la combinons à la première, nous obtenons encore un maximum pour l'intervalle 6,40 - 6,80. Cet espace étant assez large, nous le diviserons en trois parties pour obtenir la fréquence maxima.



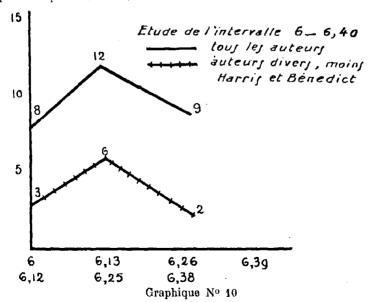
La courbe présente alors un maximum pour l'intervalle 6,66 - 6,78. Nous prendrons donc pour valeur moyenne de K

la plus fréquente de 20 à 24 ans : 6,70. Si on ajoute ou retranche 10 % à cette valeur, on englobe dans ces limites tous les cas normaux.

De 25 à 29 ans, le maximum de fréquence est atteint par les valeurs de K comprises entre 6 et 6,40.



L'étude en 3 points de cet intervalle nous offre un maximum pour l'espace 6,13 - 6,25.

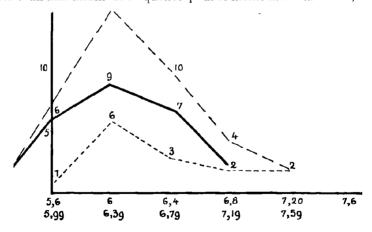


Si maintenant nous combinons la nouvelle courbe de l'intervalle 6 - 6,40 avec la première courbe du même intervalle, nous avons pour l'ensemble un maximum pour le même intervalle 6,13 - 6,25 (Cf. graphique N° 10).

Il semble donc que la valeur de K la plus fréquente soit 6,20. Notre première conclusion portait plutôt à admettre une valeur voisine de 6,32 Etant donné par ailleurs l'écart considérable que nous relevons avec la moyenne de 20 à 24 ans, nous opterons de préférence pour la moyenne de 6,30.

Les conclusions portées sur les valeurs moyennes de K de 20 à 24 ans sont solides, car elles s'appuient sur 108 sujets. Pour les secondes, elles offrent un caractère de grande probabilité, car elles portent sur 58 sujets de 25 à 29 ans. Ce nombre est toutefois un peu insuffisant et sans doute sera-t-il nécessaire d'apporter un jour quelque correction à cette moyenne.

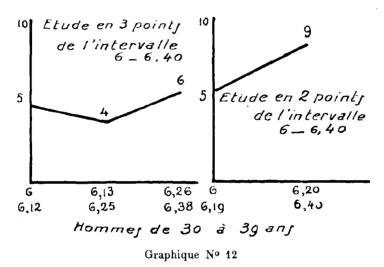
Quant aux sujets de 30 à 39 ans, leur nombre est assez restreint. 26 sont fournis par Harris et Bénédict, et Bénédict seul. 14 sont donnés par les autres auteurs et nous-même. Soit en tout, 40 cas. La courbe des auteurs américains Harris et Bénédict et Bénédict seul offre un maximum pour l'intervalle 6 - 6,40. De même, la courbe des autres auteurs. La combinaison des deux courbes offre un maximum de fréquence pour le même intervalle 6 - 6,40.



en traits pleins —— Harris et Benedict seuls en pointillés —— auteurs divers et cas personnels en traits coupés —— ensemble de tous les Cas Hommes de 30 à 39 ans

Graphique Nº 11

L'étude en trois points de cet intervalle présente une courbe aplatie sans caractère bien tranché. L'étude en deux points fait apparaître un maximum pour l'intervalle 6,20 - 6,40.



Nous nous tiendrons à ce dernier résultat qui offre une grande probabilité. La moyenne des valeurs de K pour des sujets de 30 à 39 ans sera donc la même que de 25 à 29 ans et égale à 6,30. Au delà de 40 ans, nous possédons trop peu de documents pour conclure avec certitude. Étant donné toutefois la chute du rayonnement avec l'âge, nous avons pris de 40 à 50 ans la valeur 6,25. Nous avons appliqué l'ensemble de ces résultats à 250 cas pathologiques. Les écarts de la valeur de K obtenue pour ces sujets d'avec les moyennes que nous donnons ici correspondent sensiblement aux écarts des rapports C/S de ces mêmes sujets d'avec les moyennes établies par Aub et du Bois. Dans l'ensemble, les pourcentages d'écarts des valeurs observées d'avec les valeurs moyennes sont assez semblables par les deux méthodes.

Nous pouvons désormais établir le tableau saivant pour l'homme :

TABLEAU IX

Valeurs moyennes normales de K chez l'homme suivant l'age

20	à	24	ans	inclus	6,70
25	à	29	ans	inclus	6,30
30	à	39	ans	inclus	6,30
40	à	55	ans	inclus	6,25

Ces moyennes augmentées ou diminuées de 10 % renferment tous les cas normaux.

Nous remarquerons que le coefficient K fait une chute brusque après 24 ans et qu'il descend progressivement après cet âge.

Nous allons à présent faire une étude identique chez la femme. Toutefois, afin d'alléger le débat, nous réunirons d'emblée tous les documents. Ceux-ci proviennent de femmes de 20 à 50 ans. Ils comprennent 75 cas d'Harris et Bénédict, 25 de Bénédict, 28 d'auteurs américains et allemands dont nous donnons la référence et 22 cas personnels, soit en tout 150 cas. En voici le classement de 20 à 24 ans, de 25 à 29 ans, de 30 à 39 ans, de 40 à 49 ans.

TABLEAU X

Valeurs de K chez la femme, d'après les éléments fournis

De 20 à 24 ans.

$N_0$	K	$N_0$	K	No	K	No	K	N	0 K
Hari	ris et						·		
Béne	édict	12	7,13	25	6,01	46	6,58	57	6,36
$^{2}$	6,01	15	6,56	26	6,45	47	5,32	59	6,39
3	5,72	16	6,02	28	5,98	50	6,34	62	<b>5,8</b> 3
8	5,61	21	5,92	32	6,24	52	6,34	65	6,65
9	5,47			35	6,49			69	5,70
10	5,39	22	5,85	37	5,67	53	7,02	74	6,85
11,	5,83	24	5,95	41	6,07	55	6,10	81	6,28

par l'ensemble des auteurs

De 20 à 24 ans (suite).

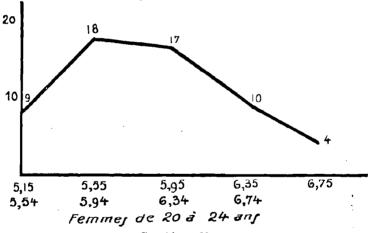
No	K		Νo	K	No	K	No	K	No	K
84	5,16		127	6,78	Roth	1	11	5,51	7	6,37
86	5,42		128	5,94	1	6,01	12		12	6,22
90	5,55		129	5,68	8	5,85	13		14	6,45
Béné	édict		130	5,91	Palme	r	14	5,29	Perso	nnels
2me	série		131	5,63	Means		15	5,61		4
125	6,20		132	5,40	9	6,26	Magnu	s Lévy	91	5,93
126	5,70		133	5,75	10	6,27	5	6,72		
			134	5,68						
	De 25	à 2	9 ans	s.						
No	K		Ν°	K	$N^o$	K	No	K	$N_0$	K
Harr	ris et		43	6,07	87	6,12	4	5,49	Perso	nnels
Béné	dict		45	6,18	88	6,42	6	5,70	242	6,78
6	5,61		49	5,70	Béné	dict	7	5,90	203	6,09
7	5,73		54	5,92	$2^{\mathrm{me}}$ so	érie	9	6,27	<b>6</b> 0	6,27
17	6,01		56	5,49	121	5,86	Magi	nus Lévy	y <b>2</b> 36	5,76
18	6,40		58	6,86	122	5,99	4	7,60	231	6,24
30	5,45		60	6,27	123	5,35	8	6,81	240	5,76
33	5,86		61	5,90	124	5,62	11	7,49	189	6,70
38	6,45		78	7,09	Roth		13	6,77	130	6,39
40	5,77		83	6,21	3	5,45	15	5,76		
	De 30	à	39 an	ıs.						
No	K	_	No	K	No	K	No	K	No	K
Harr	is et				Béné	dict				
Béné	dict		63	5,80	2me s	érie	120	<b>5,</b> 63	246	6,38
5	5,92		66	6,45	114	5,09	Rot	h	114	6,78
13	6,24		72	5,87	115	5,62	10	6,45	134	5,35
14	5,08		73	6,29	116	5,22	Mag	gnus Lév	y 87	6,27
27	5,80		75	5,44	117	5,37	2	7,06	122	6,65
31	5,70		82	5,25	118	5,46	3	6,83	156	6,27
34	5,70		85	<b>6,5</b> 3	119	5,37	Per	sonnels	260	6,42

De 40 à 49 ans.

No.	K	Nº K	No	K	No K	No.	K
Harr	is et	71 5,43	110	5,22	Roth	249	5,89
Béné	edict	76 - 5,26	111	5,53	5 5,91	194	6,08
1	5,91	77 - 6.76	112	5,51	Magnus Lé	vy 149	5,65
4	5,96	Bénédict	113	5,68	1 6,91	138	6,34
68	6,11	2me série			Personnels	3	
70	4,77	109 5,18			228 5,28		

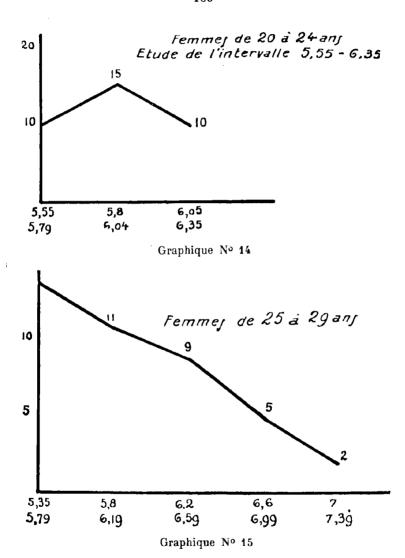
Nous établirons pour chaque catégorie les courbes de fréquence suivant la méthode définie plus haut.

De 20 à 21 ans, nous avons 58 cas. Les coefficients s'échelonnent de 5,15 à 6,75.



Graphique No 13 ...

La courbe présente un plateau pour l'intervalle 5,55 - 6,34. Ce maximum n'a donc pas la netteté de celui des hommes de même âge. Si nous étudions cet intervalle en trois points, nous avons un maximum pour l'espace 5,80 - 6,04 (cf. graphique n° 14).

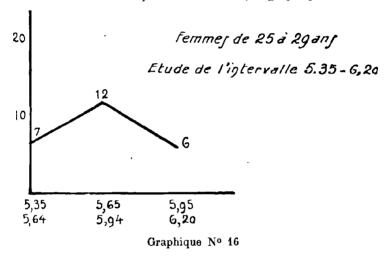


Il faut toutefois remarquer que ce maximum est encore peu franc puisqu'il est entouré de valeurs assez élevées. Dans ces conditions, il devient difficile de préciser la valeur de K la

plus fréquente. L'étude du dernier graphique en trois points nous montre qu'elle doit se trouver aux environs de 6. Nous pourrons préciser, en nous basant sur ce fait, que la valeur choisie augmentée ou diminuée de 10 % doit comprendre entre ses limites extrêmes la plus grande partie des cas normaux. La valeur 6,05 remplit ces conditions. Nous pourrons l'adopter.

De 25 à 29 ans nous avons 41 sujets.

Les valeurs de K s'espacent de 5,35 à 7,40. Elles sont donc très dispersées. La courbe établie de 0,40 en 0,40 est étale avec une ascension dans l'espace 5,35 - 5,80. (cf. graphique no 15).

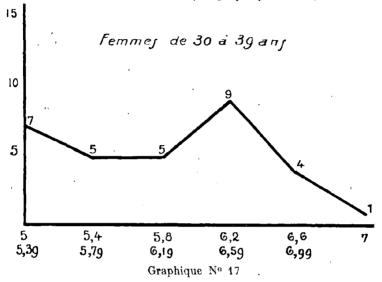


Les valeurs les plus fréquentes sont comprises dans l'intervalle double 5,35 - 6,20. Étudions donc K dans ces limites par une courbe à trois points (cf. graph. No XVI).

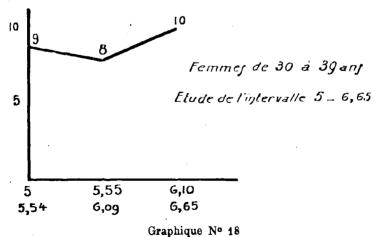
La réponse est assez précise et l'on a un maximum dans l'espace 5,65 - 5,94. Étant donné que nous avons laissé hors de cette dernière étude l'espace supérieur assez important 6,20 - 6,60, nous prendrons pour valeur de K la limite supérieure du maximum, soit 5,95. Cette dernière valeur augmentée et diminuée de 10 % comprend dans ses limites la presque totalité des cas normaux. Elle est donc acceptable.

De 30 à 39 ans, nous avons 31 cas. Les coefficients sont alors compris entre 5 et 7, donc sur un espace identique au précédent,

et trés large. Toutefois, on observe un décalage de la courbe vers les valeurs inférieures. Ici encore, le graphique est très étalé et sans maximum franc. (cf. graphique nº 17)



Si on étudie en trois points l'intervalle 5 - 6,60, qui comprend la majorité des cas, on a un plateau sans aucun caractère. (cf. graphique n° 18)



Il nous est encore impossible de conclure. La valeur que nous prendrons devra, a priori, être inférieure à 5,95 qui est la moyenne de 25 à 29 ans. Augmentée et diminuée de 10 %, elle devra de plus couvrir sensiblement l'ensemble des cas normaux. La valeur 5,90 répond à ces conditions.

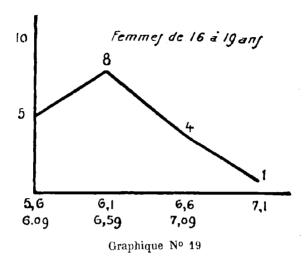
Le nombre de documents (19) que nous possédons au delà de 40 ans est beaucoup trop faible pour être susceptible d'une étude même superficielle. Nous appliquerons la même méthode empirique pour connaître la moyenne de K qui serait acceptable de 40 à 49 ans. Étant donné la chute progressive du coefficient K avec l'âge, nous avons admis la valeur 5,85 inférieure à la précédente. Cette valeur augmentée et diminuée de 10 % comprend dans ses limites la plus grande partie des cas normaux de 40 à 49 ans. Cette valeur est donc recevable.

Nous voyons ainsi que les coefficients K semblent suivre chez la femme une marche régulièrement dégressive de 20 à 50 ans. Nous n'observons pas ici la faille brusque et très importante qui existe entre les hommes de 20 à 24 ans et ceux de 25 à 29 ans. La chute du coefficient K chez l'homme est de 0,35 après 25 ans. Elle n'est chez la femme que de 0,10 au même âge.

Nous avons attribué cette chute brusque chez l'homme après 25 ans à ce fait probable qu'à cet âge seulement l'homme aurait achevé un développement lent et plus tardif que celui de la femme.

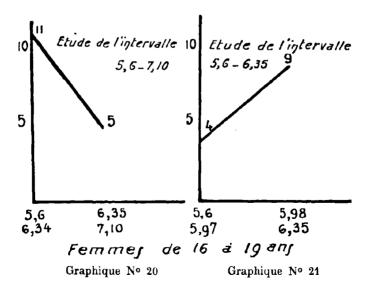
Nous avons cru, d'autre part, que la légère chute de 0,10 après 25 ans chez la femme ne devait pas être retenue comme l'homologue de celle de l'homme. Dans cette hypothèse, pensionsnous, nous devions retrouver chez la femme, à un âge antérieur à 20 ans, un hiatus brusque et très important. Nous avons donc cherché chez 19 sujets féminins de 16 à 19 ans la valeur moyenne de K. (cf. graphique n° 19).

L'espace couvert par la courbe va de 5 à 7,10. La courbe présente un faible maximum de 6,1 à 6,59. Les valeurs les plus fréquentes vont de 5,6 à 7,1. La scission de cet intervalle en deux parties égales donne un maximum net cette fois entre 5,60 et 6,35. et l'étude de ce dernier intervalle, divisé lui-même



en deux parties égales, montre un maximum entre 5,98 et 6,35. La valeur moyenne acceptable de K est en définitive 6,15 chez la femme entre 16 et 19 ans.

Nous avons donc 6,15 de 16 à 19 ans et 6,05 de 20 à 24 ans. Il n'existe donc pas chez la femme d'hiatus entre les valeurs



de K qui soit plus marqué avant 20 ans qu'après 24 ans. La légère chute de 0,10 après 25 ans peut être difficilement considérée comme homologue de celle de l'homme au même âge. Elle est beaucoup plus faible que chez l'homme et passerait inaperçue si l'esprit n'était attiré sur elle par analogie. Ce fait s'oppose à ce que l'on observe chez l'homme. Nous n'en pouvons donner actuellement aucune explication valable.

Pour terminer, nous remarquerons que les courbes de fréquence chez la femme n'ont pas la même netteté que chez l'homme. Il est rare d'y trouver un maximum indiscutable. Les résultats sont épars. C'est pourquoi nous ferons quelques réserves sur l'ensemble des conclusions chez la femme. Il est remarquable qu'en suivant d'autres voies, nous portions en définitive le même jugement que Aub et du Bois sur ce même sujet. Ces auteurs publient, en effet, leurs tables de référence chez la femme en ajoutant : « more data, however being desirable » to establish for the female sex the general validity of this » method of computation ». Le tableau de Aub et de du Bois pour les femmes n'est donc pas plus certain que le nôtre. Il sera bon de prendre une moyenne entre les deux résultats.

Le tableau des valeurs de K que nous proposons chez la femme est donc le suivant:

### TABLEAU XI

Valeur moyenne normale de K chez la femme suivant l'âge

16 à	19	ans	inclus		 	 	 6,15
20 à	24	ans	inclus		 	 	 6,05
25 à	29	ans	inclus	<b>.</b>	 	 	 5,95
30 à	39	ans	inclus		 	 	 5,90
40 à	49	ans	inclus		 	 	 5.85

La comparaison de ce tableau avec celui qui a été dressé pour les hommes de mêmes âges met en évidence une chute nette des coefficients chez la femme. L'application de ces valeurs aux cas de pratique courante donne en général pour l'homme des pourcentages d'écarts des coefficients K, par rapport à leurs

moyennes, sensiblement égaux aux écarts des quotients correspondants C/S par rapport aux tables de Aub et du Bois. Pour la femme, les pourcentages d'écarts du coefficient K par rapport aux valeurs moyennes sont, en général, plus grand que les pourcentages d'écarts des rapports correspondants C/S par rapport aux tables de Aub et du Bois. Pour préciser, s'il s'agit de métabolismes supérieurs aux moyennes, l'écart sera plus grand chez la femme d'après nos tables que d'après celles de Aub et du Bois. Cet écart sera inférieur si le métabolisme est inférieur à la normale. Il s'ensuit que, pour être en accord avec les tables de Aub et du Bois, nos moyennes, surtout chez la femme, devraient être légèrement relevées, ou celles de Aub et du Bois abaissées. La différence entre nos résultats et ceux des auteurs américains appellera de nouvelles recherches avec un matériel plus abondant.

Nous disposons désormais d'un système simple de référence des calories rayonnées par heure à la racine carrée du produit poids-taille. Ce système écarte entièrement l'idée de surface corporelle. Il évite donc toute erreur de principe dans son emploi. Il écarte de même les erreurs matérielles sur la mesure de la surface. Son existence, comme son emploi, détruisent l'apparente et fausse rigueur qui s'attachait jusqu'à ce jour au rapport C/S dans l'espèce humaine. Son maniement est par ailleurs aussi aisé que celui des tables de Aub et du Bois. Il y a, de plus, intérêt, dans bien des cas, à comparer ces nouvelles valeurs à celles qui ont été fournies jusqu'ici par les anciennes références.

#### CHAPITRE II

# D'UNE NOUVELLE FORMULE DE LA SURFACE CORPORELLE EN FONCTION DU POIDS, DE LA TAILLE ET DE L'INDICE D'OBÉSITÉ

Dans le chapitre précédent, nous avons établi l'équivalence pratique des rapports C S et  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$  en nous basant à la fois sur la similitude des écarts de ces rapports d'avec leurs moyennes respectives, sur la similitude des écarts entre des sujets quelconques, sur ce fait que la courbe des valeurs du rapport  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$ présente la même allure et les mêmes accidents que la courbe C/S dans une série quelconque de sujets, enfin sur la similitude des courbes générales de fréquence des deux rapports. Ces faits nous ont amenés à rechercher s'il existait entre eux un lien plus intime encore. Si nous posons  $\frac{C}{\sqrt{P.H}} = K$  et C/S = M, nous pouvons étudier le nouveau rapport K/M constitué par le quotient des deux premiers rapports. Si ce quotient présente une certaine constance, ce nous sera une preuve nouvelle et plus parfaite encore du lien qui unit les deux premiers rapports et de la légitimité de leurs substitutions réciproques. Les conclusions du précédent chapitre en seront confirmées.

Là ne se limite pas toutefois notre but. Nous pouvons aller plus avant. Le rapport K/M s'explicite en effet de la façon suivante :

$$\frac{K}{M} = \frac{C/\sqrt{P.H}}{C/S} = \frac{S}{\sqrt{P.H}}$$

Si donc nous pouvions découvrir une certaine constance dans le rapport de K à M, nous aurions du même coup une relation entre la surface, le poids et la taille. En effet, si A est ce rapport moyen supposé constant, nous pourrions écrire:

$$\hat{S} = A \sqrt{P.H}$$

Nous appellerons A coefficient de surface.

Tout le problème se ramène donc à l'étude de A. Il s'agit, en définitive, de savoir si A est ou non constant et si oui, quelles sont les conditions de sa constance.

Nous aurions pu établir le rapport  $\frac{S}{\sqrt{P.H}}$  à partir de poids et tailles quelconques purement imaginaires. Il nous eut suffi pour cela d'utiliser les tables de du Bois, lesquelles donnent la surface corporelle en fonction d'un poids et d'une taille quelconques. Nous méfiant des extensions trop théoriques, nous avons préféré utiliser des poids et des tailles réelles, tout en nous référant aux surfaces fournies par les tables de du Bois. Nous avons donc pris les sujets d'Harris et Bénédict, déjà étudiés au précédent chapitre, et nous avons calculé pour chacun la valeur de A.

Voici les résultats pour 136 hommes et 103 femmes.

TABLEAU XII

Tableau des coefficients de surface A chez l'homme

No	A	No	Λ	$N_0$	Λ	No	Λ	No	_ A
1	0,166	11	0,166	21	0,168	31	0,162	41	0,167
<b>2</b>	0,162	12	0,165	22	0,166	32	0,167	42	0,165
3	0,167	13	0,167	23	0,168	33	0,165	43	0,165
4	0,166	14	0,167	24	0,167	34	0,166	44	0,167
5	0,166	15	0,166	25	0,171	35	0,167	45	0,168
6	0,166	16	0,168	26	0,168	36	0,163	46	0,169
7	0,165	17	0,163	27	0,167	37	0,167	47	0,168
8	0,169	18	0,166	28	0,163	38	0,163	48	0,167
9	0,167	19	0,169	29	0,166	39	0,166	49	0,167
10	0,165	20	0,167	30	0,163	40	0,164	50	0,167

No	A	No	A	No	A	No	A	No	A
51	0,170	69	0,169	87	0,168	105	0,169	123	0,168
52	0,169	70	0,169	88	0,168	106	0,167	124	0,166
53	0,169	71	0,168	89	0,168	107	0,171	125	0,166
54	0,166	72	0,167	90	0,166	108	0,169	126	0,168
55	0,168	73	0,168	91	0,164	109	0,169	127	0,169
56	0,166	74	0,167	92	0,166	110	0,169	128	0,167
57	0,167	. 75	0,171	93	0,168	¥111	0,169	129	0,168
58	0,169	76	0,169	94	0,169	112	0,169	130	0,166
59	0,168	77	0,169	95	0,167	113	0,168	131	0,168
60	0,168	78	0,170	96	0,167	114	0,168	132	0,169
61	0,168	79	0,167	97	0,168	115	0,168	133	0,168
62	0,166	80	0,165	98	0,169	116	0,168	134	0,166
63	0,167	81	0,167	99	0.168	117	0,169	135	0,167
64	0,167	82	0,169	100	0,168	118	0,165	136	0,167
65	0,168	83	0,166	101	0,170	119	0,165		
66	0,169	84	0,169	102	0,168	120	0,165		
67	0,169	85	0,169	103	0,167	121	0,166		
68	0,169	86	0,168	104	0,169	122	0,168		

## TABLEAU XIII

### Tableau des coefficients de surjace A chez la femme

No	<u>A</u>	Nº A	No No	A	$\overline{N_0}$	A	No	<u>A</u>
1	0,161	12 0,10	6 <b>4</b> 23	0,166	34	0,168	45	0,168
2	0,160	13 0,10	66 24	0,164	35	0,166	46	0,169
3	0,165	14 0,10	65 <b>2</b> 5	0,167	36	0,167	47	0,168
4	0,161	15 0,10	66 26	0,168	37	0,167	48	0,167
5	0,166	16 0,10	67 27	0,164	38	0,168	49	0,166
6	0,167	17 0,10	67 <b>28</b>	0,167	39	0,167	50	0,165
7	0,166	18 0,10	68 29	0,168	40	0,168	51	0,168
8	0,167	19 0,10	66 30	0,166	41	0,166	52	0,168
9	0,164	20 0,10	67 31	0,165	42	0,167	53	0,168
10	0,167	21 0,10	69 32	0,167	43	0,168	54	0,167
11	0,167	22 0,10	67 33	0,169	44	0,168	55	0,168

No	A	No	A		No	A	$N_0$	A	Νo	A
56	0,170	66	0,172		76	0,165	86	0,168	96	0,164
57	0,171	67	0,170		77	0,166	87	0,167	97	0,163
58	0,169	68	0,174		78	0,165	88	0,169	98	0.165
59	0,168	69,	0.166		79	0,167	89	0,168	99	0,166
60	0,169	70	0,164		80	0,167	90	0,168	100	0,167
61	0,167	71	0,163		81	0,166	91	0,160	101	0,166
62	0,170	72	0,164	ä	82	0,168	92	0,163	102	0,167
63	0,171	73	0,164		83	0,166	93	0,163	103	0,169
64	0,170	74	0,166		84	0,166	94	0,165		
65	0,169	75	0,167		85	0,166	95	0,163		

Nous avons tout d'abord cherché si le sexe influait sur la valeur du coefficient A. Nous avons établi pour cela la moyenne arithmétique générale pour l'homme et la femme. Elle est de 0,167 chez l'homme et chez la femme. Le coefficient A ne semble donc pas influencé par le sexe. Il nous reste donc à préciser quels facteurs interviennent dans le déterminisme du coefficient de surface. Nous étudierons pour cela les écarts de ce coefficient d'avec les valeurs moyennes et nous tenterons d'expliquer leurs variations en fonction de facteurs connus.

D'après le tableau que nous avons dressé, le coefficient de surface varie chez l'homme entre 0,162 et 0,171. Chez la femme, il va de 0,160 à 0,171. Cette similitude de résultats n'est qu'apparente, car les valeurs sont en général légèrement plus faibles chez la femme que chez l'homme. Quoi qu'il en soit, ceci nous permet d'affirmer que le coefficient de surface n'est pas constant dans l'ensemble des sujets considérés. La cause en paraît être dans les variations de corpulence des sujets. Si on considère,

en effet, le rapport  $\frac{S}{\sqrt{P.H}}$ , il est permis de se demander si les grandes variations de poids n'influent pas sur lui. Ces variations ne sont certes pas compensées exactement par des variations adéquates de la surface, car nous l'avons vu, A n'est pas constant. Si la variation de S n'est pas rigoureusement proportionnelle à l'augmentation de  $\sqrt{P.H}$ , il est possible que le coefficient de surface A diminue quand P augmente et inversement.

Ceci n'offre aucun caractère de certitude. Ce n'est qu'une hypothèse. Vérifions-la.

Groupons pour cela nos sujets hommes et femmes par ordre de corpulence croissante, de la maigreur à l'obésité. Un moyen simple s'offre à nous, c'est l'usage du coefficient d'obésité déjà cité: Poids en Kg

Hauteur en cm -- 100

Ce rapport tout empirique permet de classer aisément une série de sujets, suivant leur complexion.

Nous donnons ci-après ce classement pour les sujets de Harris et Bénédict.

### TABLEAU XIV

Classement du coefficient  $A = \frac{S}{\sqrt{P.H}}$  suivant l'ordre croissant de l'indice d'obésité chez l'homme

Indice d'obésité de 0,60 à 0,69.

Indice $\frac{S}{N^{\circ}}$ d'obésité $\frac{\sqrt{P.H}}{\sqrt{P.H}}$					$ \frac{S}{\sqrt{P.H}} $	Indice $\frac{S}{N^o}$ d'obésité $\sqrt{P.H}$			
25	0,64	0,171	75	0,67	0,171		,	0,171 0.169	

Indice d'obésité de 0,70 à 0,79.

Indice S N° d'obésité √P.H			Nº d	Indice l'obésit	$ \frac{S}{\sqrt{P.H}} $	Indice Nº d'obésité		$\frac{S}{\sqrt{P.H}}$	
8	0,78	0,169	77	0,78	0,169	108	0,77	0,169	
10	0,75	0,169	78	0,76	0,170	109	0,78	0,169	
21	0,74	0,168	79	0,79	0,167	110	0,77	0,169	
23	0,78	0,168	72	0,71	0,169	111	0,76	0,169	
26	0,78	0,168	84	0,70	0,169	112	0,75	0,169	
51	0,74	0,170	86	0,78	0,168	113	0,76	0,168	
66	0,78	0,169	87	0,79	0,168	114	0,78	0,168	
68	0,72	0,169	88	0,74	0,168	116	0,79	0,168	
69	0,77	0,169	98	0,79	0,169	127	0,77	0,169	
70	0,73	0,169	101	0,79	0,170	132	0,76	0,169	
76	0,78	0,169	105	0,78	0,169	133	0,77	0,168	

Indice d'obésité de 0,80 à 0,89.

	Indice			Indice	<u>S</u>		Indice	_ <u>S</u>		
No o	l'obésit	é √P.H	Nº d	'obésité	$\sqrt{\text{P.H}}$	No d'e	obésité	$\sqrt{\text{P.H}}$		
3	0,89	0,167	61	0,82	0,168	97	0,87	0,168		
9	0,85	0,167	62	0,89	0,166	99	0,88	0,168		
14	0,88	0,167	63	0,84	0,167	100	0,88	0,168		
16	0,81	0,168	64	0,88	0,167	102	0,88	0,168		
20	0,85	0,167	65	0,82	0,168	104	0,82	0,169		
24	0,86	0,167	67	0,81	0,169	106	0,85	0,167		
37	0.89	0,167	71	0,83	0,168 -	115	0,80	0,168		
45	0,80	0,168	72	0,85	0,167	122	0.85	0,168		
46	0,80	0,169	73	0,80	0,168	123	0,86	0,168		
47	0,89	0,168	74	0,82	0,167	126	0,85	0,168		
48	0,86	0,167	81	0,87	0,167	128	0,86	0,167		
52	0,85	0,169	83	0,89	0,166	129	0,84	0,168		
53	0,85	0,169	85	0,81	0,169	130	0,89	0,166		
55	0,84	0,168	89	0,85	0,168	131	0,85	0,168		
57~	-0,85	0,167	93	0,84	0,168	135	0.89 -	0,167		
58	0,80	0,169	94	0,82	0,169	136	0,86	0,167		
59	0,84	0,168	95	0,89	0,167					
60	0,83	0,168	96	0,86	0,167					
	Indice	d'obésiié	de 0,9	0 à 0,9	99.					
	Indice	S		Indice	S	,	Indice	S		
Nº d	'obésit	é √P.H	N∘ d'	obésité	$\sqrt{P.H}$	No d'o	obésité	$\sqrt{\overline{\mathrm{P.H}}}$		
1	0,94	0,168	27	0,94	0,167	54	0,97	0,166		
4	0,93	0,166	32	0,93	0,167	56	0,93	0,166		
5	0,95	0,166	34	0,93	0,166	80	0,98	0,165		
6	0,94	0,166	35	0,91	0,167	92	0,96	0,166		
11	0,93	0,166	39	0,92	0,166	103	0,92	0,167		
12	0,98	0,165	41	0,90	0,169	121	0,92	0,166		
13	0,90	0,167	42	0,97	0,165	124	0,96	0,166		
4 "	0.04	0.100	4.4	0.01	0.107	107	0.04	0.100		

0,91

0,90

0,91

0,167

0,167

0,167

44

49

**5**0

0,166

0,166

0,166

15

18

22

0,94

0,92

0,90

0,94

0,94

125

134

0,166

0,166

Indice d'obésité de 1,00 à 1,09.

Nº d	Indice 'abésit	$\frac{S}{\sqrt{P.H}}$		Indice obésité	$\frac{S}{\sqrt{P.H}}$		Indice obésité	$\frac{S}{\sqrt{P.H}}$
10	1,01	0,165	38	1,06	0,163	90	1,05	0,166
29	1,00	0,166	40	1,07	0,164	- 118	1,00	0,165
33	1,01	0,165	43	1,03	0,165	119	1,04	0,165
	-					120	1,02	0,165
	Indice	<b>d</b> 'obésité	de 1 10	à 1 19				
	Indice	~		Indice	$\frac{S}{\sqrt{P.H}}$		Indice obésité	$\frac{S}{\sqrt{P.H}}$
	Indice	<u>s</u>		Indice	<u>S</u>			
Nº d 7 17	Indice 'obésite 1,11 1,17	$\frac{S}{\sqrt{P.H}}$ $0,165$	Nº d'	Indice obésité 1,18	$\frac{S}{\sqrt{P.H}}$ 0,163	Nº d'	obésité ———	$\sqrt{\mathrm{P.H}}$

Indice d'obésité de 1,30 à 1,39.

TABLEAU XV Classement du coefficient  $A = \frac{S}{\sqrt{P.H}}$  suivant l'ordre croissant de l'indice d'obésité chez la femme.

Indice d'obésité de 0,50 à 0,59.

	Indice			Indice	<u>S</u>		ndice	<u> </u>
No (	l'obésit	é √P.H	No d'	obésité	$\sqrt{\mathrm{P.H}}$	Nº d'	obésité	$\sqrt{P.H}$
66	0,58	0,172	68	0,50	0,174			
	Indice	d'obésité	de 0,60	à 0,69				
63	0,65	0,171	67	0,68	<b>0,17</b> 0			
	Indice	d'obésité	de 0,70	à 0,79	•			
21	0,76	0,169	34	0,79	0,168	45	0,78	0,168
33	0,77	0,169	43	0,78	0,168	51	0,76	0,168
33	0,77	0,169	44	0,76	0,168	52	0,78	0,168

1	ndice	d'obésité	de	$0.70 \ \dot{a}$	0.79	(suite).

maice a overtie de 0,70 a 0,79 (suite).										
	Indice			Indice	<u>S</u>		Indice	S		
$N^{o}$ d	'obésit	é √P.∏	Nº d	'obésit	é √P.H	Nº d'	obésité	$\sqrt{\mathrm{P.H}}$		
$\frac{-}{55}$	0,89	0,168	60	0,76	0,169	65	0,71	0,169		
55	0,79	0,169	61	0,78	0,167	82	0,77	0,168		
56	0,70	0,170	62	0,72	0,170	88	0,74	0,169		
57	0,72	0,171	64	0,76	0,170	90	0,72	01,68		
58	0,76	0,169	64	0,76	0,170	103	0,72	0,169		
	Indias	d'abásitá	da 0 90	3 A 9A						
	Indice d'obésité de 0,80 à 0,89. Indice S Indice S Indice S									
NTO I	Indice	, <u>S</u>	NTO 1	Indice			Indice	S		
$\frac{N_0}{Q}$	obesiti	é √P.H	Nº a	obesite	é√P.H	No d	obesite	$\sqrt{\mathrm{P.H}}$		
8	0,89	0,167	37	0,87	0,167	79	0,84	0,167		
16	0,85	0,167	38	0,81	0,168	- 80	0,89	0,167		
17	0,87	0,167	39	0,88	0,167	81	0,87	0,166		
18	0,85	0,168	40	0,81	0,168	85	0,87	0,166		
22	0.86	0,167	42	0,81	0,167	86	0,81	0,168		
25	0,88	0,167	46	0,80	0,169	87	0,85	0,167		
26	0,83	0,168	47	0,82	01,68	89	0,84	0,168		
28	0,85	0,167	48	0,82	0,176	100	0,82	0,167		
29	0,84	0,168	53	0,82	0,168	101	0,82	0,166		
30	0.89	0,166	54	0,88	0,167	102	0,85	0,167		
32	0,85	0,167	59	0,84	0,168					
36	0,84	0,167	75	0,86	0,167					
	Indice	d'obésité	de 0,90	à 0,99						
	Indice	S		Indice	S		Indice	S		
Nº d		$\sqrt{P.H}$	Nº d'		$\sqrt{\overline{\mathrm{P.H}}}$		obésité	$\sqrt{\overline{\mathrm{P.H}}}$		
5	0,96	0,166	20	0,90	0,167	74	0,90	0,166		
6	0,92	0,167	23	0,99	0,166	76	0,99	0,165		
7	0,96	0,166	31	0,98	0,165	77	0,95	0,166		
10	0,92	0,167	35	0,90	0,166	83	0,95	0,166		
11	0,91	0,167	41	0,92	0,166	84	0,90	0,166		
13	0,95	0,166	49	0,96	0,166	99	0,90	0,166		
15	0,95	0,166	50	0,96	0,165					
19	0,92	0,166	69	0,94	0,166					

	Indice	d'obésité	9,					
	Indice	<u> </u>		Indice	S		Indice	S
No d	l'obésit	é √P.H	Nº d'	obésit	é √P.H	Nº d	'obésité	$\sqrt{\mathrm{P.H}}$
9	1,03	0,164	27	1,03	0,164	78	1,06	0,165
14	1,00	0,165	70	1,08	0,164	94	1,07	0,165
24	1,09	0,164	73	1,06	0,164	96	1,09	0,164
	Indice	d'obésité	de 1,10	à 1,19	).			
12	1,12	0,164	72	1,16	0,164	97	1,12	0,163
71	1,12	0,163	92	1,13	0,163	98	1,10	0,165
	Indice	d'obésité	de 1,20	à 1,29				
93	1,23	0,163	95	1,20	0,163			
	Indice	d'obésité	de 1,40	à 1,4	9.			
1	1,44	0,161	4	1,40	0,161			
2	1,40	0,160	91	1,44	0,160			

Nous ajoutons à ce classement 33 sujets étudiés par Delafield du Bois et Eugène du Bois. La surface a été déterminée dans ces cas par la formule linéaire de ces auteurs (Arch. of int. med., vol. XVII, 1916). Nous avons numéroté ces cas de 1 à 33 Ces cas se classent suivant les indices d'obésité dans l'ordre suivant. L'absence fréquente de renseignements nous oblige à les rassembler sans distinction de sexe.

#### TABLEAU XVI

Tableau des 33 sujets de Delafield du Bois et d'Eugène du Bois classés suivant l'ordre croissant des indices d'obésité

0,50	) à 0,59	0,60	) à 0,69	0,70	à 0,79	0,80	à 0,89	0,90	à 0,99
4	0,172	7	0,167	6	0,168	1	0,165	11	0,156
8	0,171	16	0,159	12	0,174	<b>2</b>	0,164		
28	0,171	19	0,168	14	0,163	5	0,160	1,00	) à 1,09
		23	0,167	15	0,161	9	0,154	3	0,161
				17	0,168	13	0,157	10	0,163
				20	0,165	27	0,165	18	0,159
				21	0,168	29	0,162	26	0,164
				22	0,167	32	0,162	30	0,172
				24	0,166			33	0,164
				25	0,164				
				31	0,167				

Étudions à présent les deux groupes de Harris et Bénédict, puis celui de du Bois. Notons dans les limites tracées des indices d'obésité, la fréquence de toutes les valeurs de A. Observons la valeur de A la plus fréquente, pour chaque indice d'obésité et chaque sexe. Nous avons ainsi les tableaux suivants :

#### TABLEAU XVII

Valeurs moyennes des coefficients de surface A suivant les indices d'obésité croissant de 0,10 en 0,10 (hommes)

#### Harris et Bénédict

Indices d'obésité	Α	Nombre de cas pour chaque valeur de A
0,60 à 0,69	0,170	1 à 0,169 3 à 0,171
0,70 à 0,79	0,169	1 à 0,167 — 10 à 0,168 — 19 à 0,169
	1	3 à 0,170
0,80 à 0,89	0,168	3 à 0,166 — 18 à 0,167 — 23 à 0,168
		8 à 0,169
0,90 à 0,99	0,166	3 à 0,165 — 16 à 0,166 — 9 à 0,167
		1 à 0,168
1,00 à 1,09	0,165	1 à $0.163 - 1$ à $0.164 - 6$ à $0.165$
		2 à 0,166
1,10 à 1,19	0,164	$2 \ a \ 0.163 - 1 \ a \ 0.164 - 1 \ a \ 0.165$
1,20 à 1,29	0,163	2 à 0,163 — 1 à 0,162
1,30 à 1,39	0,162	1 à 0,162

#### TABLEAU XVIII

Valeurs moyennes des coefficients de surface A suivant les indices d'obésité croissant de 0,10 en 0,10 (jemmes)

#### Harris et Bénédict

indices d'obésité	A	Nombre de cas pour chaque valeur de $\Lambda$
0,50 à 0,59	0,173	1 à 0,172 — 1 à 0,174 1 à 0,170 — 1 à 0,171 1 à 0,167 — 9 à 0,168 — 7 à 0,169 3 à 0,170 — 1 à 0,171 4 à 0,166 — 19 à 0,167 — 10 à 0,168 1 à 0,169
0,60 à 0,69	0,171	1 à 0,170 — 1 à 0,171
0,70 à 0,79	0,169	1 à 0,167 9 à 0,168 7 à 0,169
		3 à 0,170 — 1 à 0,171
0,80 à 0,89	0,167	4 à 0,166 — 19 à 0,167 — 10 à 0,168
	•	1 à 0,169

Indices d'obésité	_A_	Nombre de cas pour chaque valeur de A
0,90 à 0,99	0,166	3 à 0,165 — 15 à 0,166 — 4 à 0,167
1,00 à 1,09	0,164	6 à 0,164 — 3 à 0,165
1,10 à 1,19		3  à  0,163 = 2  à  0,164 = 1  à  0,165
1,20 à 1,29	0,163	2 à 0,163
1,30 à 1,39	0,165	1 à 0,165
1,40 à 1,49	0,161	$2 \ a \ 0.160 \ \ 2 \ a \ 0.161$

On voit facilement que les valeurs de A sont sensiblement les mêmes dans chaque sexe pour les mêmes indices d'obésité chez les sujets de Harris et Bénédict. Pour le groupe de Delafield du Bois et Eugène du Bois, le nombre restreint de cas s'oppose à des conclusions fermes. Les valeurs de A semblent, en tous cas, un peu plus basses ici que dans les deux premiers groupes.

La similitude des résultats et l'égalité des moyennes générales pour les deux sexes nous autorisent à rassembler tous nos documents. Notons à nouveau quelle est pour chaque groupe d'indices d'obésité la valeur de A la plus fréquente. Nous avons ainsi le tableau suivant :

#### TABLEAU XIX

Valeurs de A les plus probables pour les deux sexes en, fonction des indices d'obésité

(Harris et Bénédict et du Bois)

Indices d'obésité	Nombre de cas pour chaque valeur de A
0,50 à 0,59	(1 à 0,168 — 1 à 0,171 — 2 à 0,172 1 à 0,174 Valeur de A la plus probable = 0,173
0,60 à 0,69	(1 à 0,159 — 2 à 0,167 — 1 à 0,168 1 à 0,169 — 1 à 0,170 — 4 à 0,171 Valeur de A la plus probable = 0,171
0,70 à 0,79	1 à 0,161 — 1 à 0,163 — 1 à 0,165 1 à 0,166 — 4 à 0,167 — 22 à 0,168 26 à 0,169 — 6 à 0,170 — 1 à 0,171 1 à 0,174 Valeur de A la plus probable = 0,169

Indices d'obésité	Nombre de cas pour chaque valeur de A
0,80 à 0,89	1 à 0,154 — 1 à 0,157 — 1 à 0,160 2 à 0,162 — 1 à 0,164 — 2 à 0,165 7 à 0,166 — 37 à 0,167 — 33 à 0,168 9 à 0,169 Valeur de A la plus probable = 0,167
0,90 à 0,99	1 à 0,156 — 6 à 0,165 — 31 à 0,166 13 à 0,167 — 1 à 0,168 Valeur de A la plus probable = 0,166
1,00 à 1,09	1 à 0,159 — 1 à 0,161 — 2 à 0,163 9 à 0,164 — 9 à 0,165 — 2 à 0,166 1 à 0,172 Valeur de A la plus probable = 0,165
	5 à 0,163 3 à 0,164 2 à 0,165 Valeur de A la plus probable = 0,165
	4 à 0,163 — 1 à 0,162 Valeur de A la plus probable = 0,163
1,30 à 1,39	1 à 0,162 — 1 à 0,165 Valeur de A la plus probable = 0,162
1,40 à 1,49	2 à 0,160 — 2 à 0,161 Valeur de A la plus probable = 0,160

L'examen de cet ensemble nous permet de rassembler dans le tableau suivant les moyennes de A les plus probables selon l'indice d'obésité. Cette probabilité tient compte à la fois de la fréquence maxima de cette valeur de A pour chaque indice et aussi de la dépression de A en sens inverse de l'indice d'obésité.

#### TABLEAU XX

Valeurs moyennes des coefficients de surface suivant les indices d'obésité croissant de 0,10 en 0,10 pour les deux sexes

Indice d'obésité	<u>A</u>	Indice d'obésité	A
		1,00 à 1,09	
0,60 à 0,69	0,171	1,10 à 1,19	0,164
0,70 à 0,79	0,169	1,20 à 1,29	0,163
0,80 à 0,89	0,167	1,30 à 1,39	0,162
0,90 à 0,99	0,166	1,40 à 1,49	0,161

Ce tableau très suggestif nous montre une chute régulière du coefficient de surface opposée à l'élévation progressive de l'indice d'obésité. Ainsi, le coefficient A est une fonction inverse de l'indice d'obésité. Cette étude nous permet de pénétrer l'action de l'obésité ou de la maigreur sur le déterminisme de la surface corporelle.

Il nous reste à établir l'écart de notre formule d'avec celle des auteurs américains. Les valeurs extrêmes de  $\Lambda$  étant 173 et 159, la formule des du Bois est comprise entre les limites extrêmes de la nôtre. Si nous prenions comme valeur unique de  $\Lambda$ , la moyenne arithmétique 167, les écarts maxima de la formule  $S = 0.167 \sqrt{P.H}$  d'avec les valeurs fournies par la formule des du Bois seraient +3.7% et -3.4%.

Si maintenant, au lieu d'une moyenne générale, nous prenons pour  $\Lambda$  dans chaque cas la valeur correspondant à l'indice d'obésité du sujet, les écarts de notre formule d'avec celle des du Bois tombent à environ  $\pm 1,5$ %. On peut s'en rendre compte par le tableau suivant, où nous donnons pour chaque indice d'obésité les surfaces de 2 hommes et de 2 femmes évaluées par notre méthode et celle des américains.

TABLEAU XXI
Comparaison des surfaces obtenues par notre formule
et celle des du Bois (hommes)

No	Indice d'obésité	Surface d'après formule personnelle	Surface d'après formule des du Bois
179	0,60 à 0,69	1,575	1,586
247	0,70 à 0,79	1,590	1,596
15		1,560	1,561
186	0,80 à 0,89	1,519	1,515
259		<b>1,7</b> 50	1,756
159	0,90 à 0,99	1,709	1,708
191		1,669	1,668
176	1,00 à 1,09	1,904	1,914
108		1,713	1,714

No	Indice d'obésité	Surface d'après formule personnelle	Surface d'après formule des du Bois
62	1,10 à 1,19	1,782	1,785
233		1,907	1,908
54	1,20 à 1,29	1,891	. 1,886
<b>1</b> 96	•	2,028	2,031
44	1,30 à 1,39	1,932	1,931
45		2,184	2,186
34	1,40 à 1,49	2,052	2,051

TABLEAU XXII

Comparaison des surfaces obtenues par notre formule

et celle des du Bois (femmes)

Surface

Surface

d'après formule d'après formule No Indice d'obésité des du Bois personnelle 55 0,60 à 0,69 0,936 0,939 134 1,315 1,305 123 0,70 à 0,79 1,580 1,581 26 1,410 1,410 52 0,80 à 0,89 1,427 1,418 133 1,315 1,323 242 0,90 à 0,99 1,530 1,525 1,441 73 1,437 203 1,00 à 1,09 1,537 1,550 205 1,607 1,619 30 1,10 à 1,19 1,739 1,747 157 1,618 1,622 75 1,20 à 1,29 1,569 1,566 48 1,721 1,719 36 1,30 à 1,39 1,587 1,588 66 1,780 1,781 228 1,40 à 1,49 1,816 1,814 158 1,851 1,851

La comparaison de ces valeurs fait ressortir un écart maximum de  $\pm 0.8$  % entre les résultats de notre formule analytique et ceux de la formule américaine prise pour base. On peut donc affirmer que l'écart des deux méthodes est toujours inférieur à  $\pm 1$  %. Notre formule est donc pratiquement équivalente à la formule américaine

 $S = 71.84 P^{0.725} H^{0.425}$ 

D'après les auteurs de cette formule eux-mêmes, « une erreur de 1,5 % est dans les limites d'exactitude du tableau poidstaille ». Si donc on admet comme pratiquement vraie la formule des du Bois, on admettra la nôtre comme pareillement exacte. Cette dernière présente le même degré de vérité que la première dont elle dérive. Elle permet d'en faire en quelque sorte l'analyse, d'en pénétrer le mécanisme et montre quels liens rattachent la surface à l'état de corpulence d'un sujet.

#### CHAPITRE III

# EXPRESSION ET LIMITES DU VOLUME CORPOREL EN FONCTION DE LA TAILLE A PARTIR DE LA FORMULE DES SURFACES de DU BOIS ET DE LA NOTRE

Nous venons de montrer que la formule des surfaces des auteurs américains pouvait se ramener à la suivante :

$$S = A \sqrt{P.H}$$

où A est un coefficient variant en sens inverse de l'indice d'obésité du sujet. Nous avons vu que les limites extrêmes de ce coefficient sont 0,159 et 0,171. La formule américaine qui répond à l'ensemble de tous les cas, est donc comprise entre les valeurs extrêmes de la nôtre. Ceci s'exprime par l'inégalité suivante:

159 P<sup>0,5</sup> H<sup>0,5</sup> < 71,84 P<sup>0,425</sup> H<sup>0,725</sup> < 173 P<sup>0,5</sup> H<sup>0,5</sup> où le poids P s'exprime en kilogrammes et la taille H en centimètres. Ce dernier fait nous oblige à multiplier nos coefficients précédemment établis par 1000, soit 159 et 173 au lieu de 0,159 et 0,173. La première partie de l'inégalité se transforme comme suit :

ou: 
$$\frac{\frac{P0,075}{H^{0,225}}}{\frac{P}{H^{3}}} < \frac{\frac{71,84}{159}}{(\frac{71,84}{173})^{40/3}}$$

La seconde inégalité donne par un calcul identique :

$$\frac{P}{H^{3}} > \left(\frac{71,84}{159}\right)^{40/3}$$

L'inégalité primitive se transforme donc en :

maigres 
$$814.10^{-8} < \frac{P}{H^3} < 2510.10^{-8} \text{ obèses}$$

Nous avons ainsi les limites extrêmes du rapport du poids

au cube de la taille pour des indices d'obésité allant de 0,50 à 1.50.

Il est facile de se rendre compte de l'exactitude de ce rapport. Soit, en effet, une femme de 85,2 kg. et de 1 m. 55. Le rapport P/H3 est chez elle égal à 2280.10—8. Il est donc compris dans les limites ci-dessus et situé dans les valeurs supérieures propres aux obèses. Il serait inutile et oiseux de multiplier les exemples.

Nous pouvons tirer de plus amples enseignements de cette formule si nous nous souvenons que  $P = \delta V$ .

Où V représente le volume, et 8 la densité, Dans ce cas, l'inégalité devient :

$$\frac{814 \cdot 10^{-8}}{\delta}$$
 . H<sup>3</sup> < V <  $\frac{2510 \cdot 10^{-8}}{\delta}$  . H<sup>3</sup>

où V est évalué en décimètres cubes.

Le poids spécifique moyen du corps humain étant compris entre 1,11 et 1,055, nous prendrons les valeurs les plus hautes pour les maigres, soit en moyenne 1,10 et les plus basses pour les obèses, soit 1,05.

L'inégalité devient alors:

$$740.10^{-8}~{\rm H_{^3}_{cm}} < {\rm V_{dm^3}} < 2390.10^{-8}~{\rm H_{^3}_{cm}}$$

On a désormais les limites du volume du corps humain en fonction de la taille et pour des sujets extrêmement éloignés les uns des autres. Prenons en exemple un sujet d'une taille de 1 m. 60. On a pour lui l'inégalité:

$$30,31 < V_{dm3} < 97,9$$

On voit donc que pour une même taille de 1,60, le volume d'un sujet, homme ou femme, allant de l'extrême maigreur à une obésité très marquée, peut varier du simple au triple.

Si nous bornons nos recherches aux cas normaux compris entre les indices d'obésité 0,80 et 1,20, nous pouvons prendre pour limite du coefficient A les valeurs suivantes pour les deux sexes :

0,167 pour l'indice d'obésité de 0,80,

0,163 pour l'indice d'obésité de 1,20.

Les surfaces de tous ces sujets sont donc comprises entre les valeurs:

$$0.167 \sqrt{P.H}$$
 et  $0.163 \sqrt{P.H}$ 

Le raisonnement établi plus haut nous donne désormais l'inégalité suivante:

 $163 \text{ P}^{0,5} \text{ H}^{0,5} < 71.84 \text{ P}^{0,425} \text{ H}^{0,725} < 167 \text{ P}^{0,5}$ où les tailles sont établies en centimètres.

Un calcul identique à celui que nous venons de développer, fournit en définitive l'inégalité suivante :

$$\left(\frac{71,84}{167}\right)^{40/3} < \frac{P}{H^3} < \left(\frac{71,84}{163}\right)^{40/3}$$

$$1304 \cdot 10^{-8} < \frac{P}{H^3} < 1802 \cdot 10^{-8}$$

Si on remplace à nouveau P par V, il vien† : 
$$\frac{1304 \; . \; 10^{-8}}{\delta} \; . \; H^3 \; < \; V \; < \; \frac{1802 \; . \; 10^{-8} H^3}{\delta}$$

Et si on conserve les valeurs de 8 acceptées plus haut, soit 1,10 pour les maigres et 1.05 pour les obèses, on a :

$$1185.10^{-8} \text{ H}^{8} < \text{V} < 1716.10^{-8} \text{ H}^{3}$$

inégalité qui donne les limites entre lesquelles peut varier le volume de l'homme normal situé entre l'obèse et le maigre en fonction de la taille. Appliquons cette formule à la taille de 1 m. 60. Nous trouvons l'inégalité suivante :

$$48,54 < V_{\rm dm3} < 70,29$$

Donc, le volume d'un sujet de corpulence movenne, homme ou femme, et d'une taille de 1 m. 60 est compris entre les limites de 48 dm<sup>3</sup>,5 et 70 dm<sup>3</sup>,3. Le volume varie dans ces conditions beaucoup moins que précédemment et seulement dans le rapport de 1 à 1,44. On peut aller plus loin et poser pour un sujet donné une égalité entre notre formule et celle des du Bois. Dans ce cas,

$$\frac{P}{H^3} = \left(\frac{71.84}{A}\right)^{40/3}_{(1)}$$
 ou  $P = \left(\frac{71.84}{A}\right)^{40/3}_{(2)}$ .  $H^3$ 

Cette formule donne le poids en fonction du cube de la taille. P et H étant facilement mesurables, cette équation nous donne la valeur du coefficient de surface A, soit :

$$A = 71.84 \left( \frac{H^3}{P} \right)^{3/40}$$
 Nous voyons donc que A est proportionnel au rapport taille,

poids ou inversement proportionnel au rapport poids, taille. Ceci confirme ce que nous avons induit, à savoir que A est bien inversement proportionnel à l'indice d'obésité. On pourrait être tenté de remplacer dans l'équation (2) P par V afin d'obtenir une formule de volume. Le calcul conduit à la transformation suivante :

$$V = \left(\frac{71.84}{A}\right)^{40/3} \frac{1}{\delta} II^3$$

Cette formule donne le volume en fonction d'une seule grandeur linéaire H. En dehors de son intérêt documentaire, elle n'offre toutefois aucune supériorité de calcul sur la formule simple:

$$V = P \delta$$

car elle représente simplement cette dernière où P a été remplacé par sa valeur en fonction de H. Elle exige de même, au préalable, la détermination de 8 qui est la clé du problème. Nous n'insisterons pas sur ce sujet.

#### CHAPITRE IV

# DU COEFFICIENT DE SURFACE A, CONSIDÉRÉ COMME CARACTÉRISTIQUE DE CHAQUE MÉTHODE DIRECTE DE MESURE DES SURFACES CORPORELLES.

La surface du corps humain est, à l'heure actuelle, très généralement calculée d'après la formule hauteur-poids de D. et E. du Bois. C'est la dernière en date et, semble-t-il, la plus précise des formules qui aient été proposées dans ce but. Nous avons eu l'occasion, au cours de ces études, de rechercher quel avait été le point de départ de ces travaux et sur quelles bases expérimentales ils s'appuyaient.

Tous les auteurs ont débuté par des essais de détermination directe de la surface corporelle et sont partis de là vers des formules générales plus ou moins parfaites. Nous avons tenté de voir si les méthodes expérimentales utilisées avaient un lien commun, une précision analogue, en un mot si elles étaient comparables entre elles, équivalentes et permettaient d'établir des conclusions d'ensemble. Cette étude paraît de prime abord difficile à poursuivre. En effet, le matériel d'expérience a, depuis longtemps, disparu et cette recherche peut sembler une gageure. Nous croyons pourtant la chose possible.

Dans le but d'éclairer la question, nous allons reprendre brièvement le cours de nos investigations et revoir succinctement les diverses méthodes proposées et leurs résultats. Nous négligeons délibérément les quelques mesures directes qui ont été faites chez l'enfant pour ne nous occuper que des résultats obtenus chez l'adulte.

Valentin (1851), qui semble avoir été le premier à s'occuper de ce sujet, n'a étudié qu'un enfant de 3 jours. Funke, Krause, nous donnent quelques documents mais ils omettent de préciser les poids et tailles. Fubini, Ronchi et Abbatti donnent comme

surface d'un homme étudié par eux 1 m²,606685 avec une taille de 1 m. 62 et un poids de 50 kgs. Nous respectons ces nombreuses décimales qui sont évidemment inutiles et fausses. Funke applique du papier millimétrique sur la moitié du corps et déduit la surface du nombre de millimètres carrés employés. Fubini utilise le sectionnement géométrique du corps. Mech, dont le nom reste vraiment à l'origine du débat, emploie cette même méthode avec quelques modifications de détail. A la suite de ses travaux. Mech a donné la formule  $S = K P^{2/3}$  où K est une constante modifiée par l'âge du sujet, et en moyenne égale à 12,3. Lissauer utilise encore le même procédé chez les enfants. Bouchard a montré que la formule de Meeh était susceptible, dans certains cas, d'une erreur de 30 %. Bouchard part lui-même de considérations géométriques hasées sur le segment anthropométrique. Il prend comme surface du corps une movenne entre trois résultats fournis par trois formules approchées par excès et par défaut de la surface réelle. Ses quelques mesures directes ont été faites soit à l'aide des mesures géométriques, soit surtout au moyen d'un habillage de papier, lequel était ensuite pesé. Broca et Faillie ont repris les travaux de Bouchard et en ont tiré, l'un, des formules, l'autre, un abaque de la surface corporelle. Bergonie a utilisé la méthode d'habillage par lames de plomb ou par le diachylon. Variot et Saint-Albin emploient ce même procédé chez l'enfant. D'Arsonval mesure la charge électrique d'un revêtement de lames d'étain. Roussy utilise un compteur intégreur de surfaces. Bordier emploie la même méthode. Letulle et Pompillian utilisent, en 1906, la méthode géométrique. Ils ramènent la surface du corps à des surfaces trapézoïdales. Une correction s'impose alors à chaque mesure.

Delafield du Bois et Eugène du Bois ont perfectionné la méthode du sectionnement géométrique. Ils divisent le sujet en une série de cylindres. Ils en mesurent les circonférences moyennes et les hauteurs caractéristiques. Ils en déduisent la surface approchée de chaque segment, puis la surface réelle en corrigeant les résultats par un facteur constant. La somme de 19 surfaces partielles donne la surface totale.

Une autre méthode a été employée par les mêmes auteurs. Elle consiste à entourer le sujet d'un moule très mince (papier, taffetas) puis à découper ce moule, l'étendre sur papier photographique et enfin peser le papier non impressionné. Les écarts entre les deux méthodes de ces derniers auteurs sont assez faibles et ne dépassent pas 2 à 3 %. La méthode de moulage a été appliquée à une sphère et reconnue exacte à -0,13 % près. Connaissant avec assez d'exactitude la surface d'un sujet quelconque, grâce à la formule linéaire, les du Bois ont tenté de prévoir ces résultats par une formule. Ils ont hésité entre deux équations, soit :

$$S = C P^{1/3} H$$

soit:

$$S = A \cdot P^{1/2} \cdot H^{1/2}$$

où C et A sont des constantes, P et H le poids et la taille.

Il est à remarquer que ces deux formules sont physiquement admissibles, car leurs membres sont tous deux bidimensionnels. Nous observerons en passant que la seconde formule, étudiée a priori par ces auteurs, est celle-là même que nous avons été amenés à étudier plus haut par voie de déduction. L'expérience a montré que ces deux formules étaient bonnes, mais que leurs écarts étaient de sens inverse. Les auteurs ont donc été amenés à prendre une formule qui fut moyen terme entre les premières, soit :

$$S = 71.84 P^{0,425} H^{0,725}$$

De ces considérations, nous pouvons, par ailleurs, conclure qu'une formule du type de celle de Meeh:

$$S = K P^{2/3}$$

ne peut donner a priori aucun résultat satisfaisant. Elle néglige, en effet, l'homogénéité algébrique de toute relation entre deux grandeurs physiques.

Nous nous sommes suffisamment étendus sur les travaux suscités par la mesure de la surface corporelle pour en tirer une idée d'ensemble. Nous négligeons volontairement un historique plus parfait. Là n'est pas notre but. Il s'agit pour nous de savoir uniquement si les mesures effectuées par les diverses méthodes que nous venons d'exposer ont une exactitude équivalente.

Rappelons que ces méthodes se divisent en trois groupe. l'un emploie le sectionnement géométrique, l'autre la pesée ou la mesure directe des moules, le troisième, l'intégration de la surface par un compteur de tours promené sur tout le corps. Nous allons dresser un tableau qui nous donnera les mesures directes obtenues par ces trois méthodes. Par malheur, beaucoup de documents sont inutilisables pour nous, soit qu'ils concernent des enfants, comme les documents de Lissauer, de Sytscheff, de Lassablière, de Variot, soit que les surfaces indiquées ne s'accompagnent pas de leurs corollaires indispensables : le poids et la taille, comme dans les travaux de Bouchard, de Funke, de Krause, etc.

Nous nous bornerons donc aux travaux des Du Bois, de Sawyer, Stone et E. Du Bois, de Meeh et de Bordier, qui offrent en tout 31 cas. Nous donnerons à la fois la méthode suivie, le poids, la taille et la surface obtenue. Nous rechercherons enfin la valeur de notre coefficient de surface A dans tous ces cas. Nous voulons, en effet, vérifier et c'est tout le but de ce chapitre, si ce coefficient possède chez tous les auteurs la valeur moyenne de 0,167 que nous avons trouvée chez les sujets d'Harris et Bénédict, quand leurs surfaces sont étudiées par la formule des Du Bois.

TABLEAU XXIII
Surface expérimentale et coefficient A

Noms des sujets	Р	H	S	A	Indice d'obésité	Moyenne de A	Moyenne de l'ind. d'obes.
Benny L	24,2	110,3	8473	164,0			
Morris S	64,0	164,3	16720	163,0	1,	l	
R. H. H	64,1	178,0	18375	171,5	0,82	164,1	1,16
E. F. D. B	74,1	179,3	19000	164,7	0,93	1	
Mrs. Mck	93,0	149,7	18592	157,5	1,89	1	

Auteurs: Du Bois et Du Bois.

Méthode: Sect. géom, et Form. linéaire.

Noms des sujets	P	Н	S	A	Indice d'obésité	Moyenne de A	de l'ini d'obes
Gerald S	45,2	171,8	14901	169,2	0,63		
Fab. S	32,7	141,5	11869	174,2	0,79		
Anna M	6,27	73,2	3699	172,0		170,2	0,76
Emma W	57,6	164,8	16451	169,0	0,90		
R. H. S	63,0	184,2	17981	167,0	0,75		
Auteurs : Sav	VYER, S	TONE, E	. ou Bo	ois.			
Méthodes : m	oules.						
Indice moyen	d'obés	ité = 0	),96; M	oyenne	de A =	- 167. P	our les
deux premières pa	arties d	u tablea	u XXI	II.			
Hagenlocher	28,30	137,5	11883	190,0	0,75		
Kürner	35,38	152	14988	204,3	0,68		
Schreck	50,00	158	17415	195,8	0,86		
Nagel	51,75	160	18158	199,4	0,86		
Fr. Haug	62,25	162	19204	191,1	1,00	194,6	0,86
Kehrer	78,25	171	22435	193,9	1,10		
Fr. Brotheck	55,75	169	19206	197,8	0,80		
Naser	59,50	170	18695	185,0	0,85		
Fortsbauer	<b>65,</b> 50	172	20172	190,0	0,90		
Auteur : Mei Méthode : Se		nét.					
Nº 1	73,50	180	19445	170,6	0,91		
2	69,00	170	18814	173,7	0,98		
3	67,50	170	17999	167,9	0,96		
4	66,50	170	18072	169,9	0,95		
5	65,70	170	17492	165,5	0,93		
6	61,50	160	17500	176,4	1.02		
7	60,80	160	16814	170,5	1,01	171,0	0,98
8	61,00	160	17100	173,0	1,01		-
9	67,30	160	18204	175,4	1,12		
10	50,10	155	14870	168,7	0,91		
11	53,30	155	15992	175,9	0,96		
12	57,80	155	16246	171,6	1,05		
Auteur : Bor	DIER.						
Méthode : Int	tég <mark>r.</mark> de	surface					
	50	162	16066	177	0,80		
Auteurs : Fu	BINI et	Ronchi					

Méthode: Sect. Géom.

Un premier coup d'œil jeté sur la colonne des valeurs de A nous apprend que ce coefficient présente la plus grande irrégularité. Les valeurs les plus basses sont fournies par les travaux américains, les plus élevées par ceux de Meeh; les movennes par Bordier. La movenne des coefficients de surface est de 164 chez du Bois, 170 chez Sawyer, 194 chez Meeh, 171 chez Bordier. Le seul cas de Fubini et Ronchi donne 177. Chaque groupe de sujets présente donc une valeur moyenne particulière de A. Il nous reste à savoir si ces divergences sont dues aux différences des méthodes ou à des différences morphologiques fortuites de ces groupes. Nous avons en effet montré que le coefficient A varie en sens inverse de l'indice d'obésité. Il pourrait donc se faire que les variations observées de A soient dues à des variations tout de hasard de l'indice d'obésité. Rappelons que, dans ce cas, une movenne élevée de A devrait correspondre à un indice moyen d'obésité abaissé et inversement. En réalité, si nous considérons côte à côte les movennes de A et celles de l'indice d'obésité, nous voyons que les variations de A ne sont nullement en rapport inverse avec celles de l'indice. La proportionnalité inverse joue seulement entre les cas des auteurs américains étudiés par une même méthode, ce qui est logique. Pour les autres sujets, les variations de ces deux éléments n'ont aucun rapport direct ou inverse entre elles. On peut donc affirmer que les valeurs de A ne sont pas déterminés par des groupements morphologiques fortuits, mais sont au contraire caractéristiques des méthodes employées. Le coefficient A est donc un paramètre variable et caractéristique d'une méthode et d'un auteur.

Si donc nous considérons la méthode de Du Bois comme un critère d'exactitude, il est facile de porter un jugement sur toute autre méthode. Il suffit alors de comparer le coefficient moyen A de la méthode envisagée avec le coefficient moyen de Du Bois et Sawyer, soit 167, compte tenu de l'indice moyen d'obésité de 0,96 qui lui correspond. Ainsi, la méthode de Meeh offre un coefficient A de 194 avec un indice moyen d'obésité de 0,86. Le léger abaissement de l'indice d'obésité pourrait justifier ici un faible relèvement de A au-dessus de 167. Il n'explique pas la moyenne très élevée de Meeh. On peut donc

affirmer que la méthode de cet auteur pèche par excès. Le calcul montre que cet excès est en moyenne de 16 %. Nous rejoignons donc, par une méthode toute différente, les conclusions des Du Bois qui évaluent à +15 % en moyenne l'erreur due à la méthode de Mech.

La méthode de Bordier offre par contre un coefficient moyen A de 171 avec un indice d'obésité moyen de 0,98. Cet indice est donc très voisin de celui des américains. Si les méthodes étaient équivalentes, les moyennes de A devraient être sensiblement égales. Elles sont, en réalité, différentes de 4 en valeur absolue. L'écart relatif par rapport à la technique américaine est de +2,3 %. La méthode de Bordier semble donc entachée d'un léger excès. Cependant, étant donnée sa très grande commodité et sa précision suffisante, elle doit être retenue comme particu-lièrement intéressante.

Nous voudrions, de plus, attirer l'attention sur la méthode de prévision des surfaces tirée par Bordier de ses propres travaux. Cet auteur mesure directement la surface de 12 hommes. Il range ses sujets en quatre catégories suivant la taille: 1 m. 55, 1 m. 60, 1 m. 70, 1 m. 80. Ceci fait, il constate que pour une même taille, le rapport S/P de la surface au poids est sensiblement constant. Il appelle ce rapport: surface spécifique, la valeur moyenne de ce quotient donne, à 2 % près au maximum, la surface correspondant à l'unité de poids pour une taille donnée. Dans ces conditions bien strictes, on peut écrire pour chaque taille S/P=K, où K est une constante déterminée pour chaque taille.

Ainsi, la connaissance de la taille détermine le choix de la surface spécifique K. Il suffit désormais de porter le poids P dans l'équation pour en tirer la surface S avec une précision suffisante. En interpolant les valeurs de K pour les tailles intermédiaires à celles qui ont été étudiées, on a une courbe qui fournit K pour une taille quelconque. Cette méthode est pleine d'intérêt mais encore trop embryonnaire pour être appliquée avec succès. Il faut, en effet, remarquer que les travaux de Bordier n'ont porté que sur des sujets de sexe masculin et strictement normaux. Leur indice d'obésité est en effet très voisin de 1. Il est, par ailleurs, certain que la surface spécifique pour une

taille donnée ne peut pas être la même pour un obèse ou un maigre que pour un sujet normal, car le rapport de la surface au volume, donc au poids, change avec la forme du sujet. Il ne suffit donc pas de multiplier le poids d'un sujet quelconque par la surface spécifique actuellement connue des sujets normaux pour avoir la surface totale réelle avec quelque certitude. La surface spécifique doit encore varier chez la femme dont la morphologie est très différente de celle de l'homme. Il est donc nécessaire que ces travaux soient repris et étendus aux obèses et aux maigres du sexe masculin et à tous les types possibles de femmes. Ainsi, chaque sexe, chaque type morphologique posséderait sa surface spécifique propre et nettement définie. Sous ces réserves de plus ample information, nous estimons que cette méthode deviendrait sans doute la plus intéressante de toutes. Elle serait ainsi basée sur une large expérimentation et présenterait le grand avantage de posséder de nombreuses classifications. Il nous semble, en effet, impossible qu'une formule unique, comme celle des américains, puisse englober avec une certitude toujours identique la généralité des cas.

Nous parlerons brièvement du sectionnement géométrique de Fubini et Ronchi. Il porte sur un seul cas. Ce travail est contemporain de celui de Meeh. La méthode est la même que chez ce dernier auteur. Le seul cas que nous possédions offred'ailleurs, lui aussi, un coefficient trop élevé pour la valeur de l'indice d'obésité. Ce résultat pèche par excès.

Les considérations que nous venons de développer peuvent également s'appliquer aux formules qui prétendent se substituer aux mesures directes.

Nous ne parlerons pas de la formule de Meeh. Elle dérive de ses mesures directes jugées trop élevées. Elle possède en outre, nous l'avons vu, le grave défaut de n'être pas algébriquement homogène.

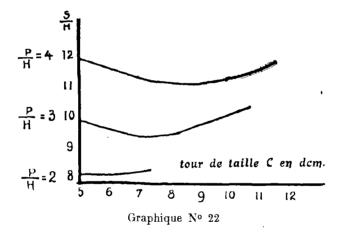
Nous retiendrons seulement la formule des Du Bois que nous connaissons et celle de Bouchard utilisée et modifiée par Broca et Faillie. Cette dernière est de la forme :

$$S = A C H + B - \frac{P}{C} + D H^3 \sqrt{\frac{P}{H \pi}}$$

où C indique le tour de taille, P et H le poids et la taille. A, B, D sont des constantes.

Pour la *formule des Du Bois*, nous serons bref. La valeur moyenne de A qui en dérive est, nous le savons, de 167. Cette moyenne est en parfait accord avec la moyenne expérimentale.

Pour la formule de Bouchard, même réduite et ramenée à des éléments plus simples, elle est d'un emploi assez complexe. Faillie, qui l'a particulièrement étudiée, en a présenté un abaque commode. Nous l'utiliserons. Pour cela, il faut connaître la valeur du segment anthropométrique P/H et le tour de taille C. Pour toute valeur donnée de P/H, on a une courbe définie par le tour de taille C en abcisse et le rapport S/H en ordonnée. Il suffit donc de connaître P/H et C pour avoir S/H. Si a est la valeur de ce rapport, on en tire : S = aH où H est la taille en dm et S la surface en dm².



Il nous a semblé particulièrement difficile de porter un jugement sur cette formule car nous ne l'avons jamais utilisée. L'élément indispensable C nous fait défaut et il semble donc que nous ne puissions faire dans ce cas aucune comparaison utile. Il est pourtant possible de tourner la difficulté. En effet, la courbe ci-dessus offre pour chaque segment anthropomé-

trique P/H des valeurs extrêmes maxima et minima de la surface entre lesquelles se trouve sûrement la surface déterminée par le tour de taille inconnu. Puisque nous possédons les limites extrêmes de la surface pour le sujet considéré, nous pouvons en déduire, pour le même sujet, les valeurs extrêmes du coefficient A caractéristique de la méthode de Faillie. Il reste simplement à savoir si ces valeurs comprennent ou non dans leur intervalle la valeur A caractéristique de la formule de référence. En l'espèce, nous confronterons la formule de Faillie avec celle des Du Bois, et avec les mesures directes de Bordier. Prenons un exemple: soit une femme de 58 kgs et de 1 m. 54. Le rapport P/II = 3,7. Nous devons calculer les valeurs limites extrêmes de S/H qui correspondent à P/H = 3,7. Il n'existe pas de courbe pour P/H = 3.7, mais l'abaque nous donne les courbes P/H = 3 et P/H = 4. Nous établissons alors les valeurs limites de S/H dans ces deux cas, soit :

En interpolant, il vient:

pour P/H = 3,7 10,11 
$$\leq$$
 S/H  $\leq$  11,1 et enfin:  $1^{m2}55 \leq$  S  $\leq$   $1^{m2},71$ 

Les surfaces limites étant connues, on en tire les valeurs limites de  $\Lambda$ , soit :

$$164 \leqslant A \leqslant 178$$

Il sussit désormais de savoir si la valeur de A obtenue par telle ou telle méthode, est ou non comprise entre ces limites. Nous ferons ces recherches d'abord chez des obèses, hommes et femmes. Nous ferons les mêmes investigations pour la femme normale. Nous étudierons enfin de la même façon les 12 hommes normaux de Bordier dont la surface a été mesurée directement par cet auteur.

Voici 5 cas personnels où il s'agit d'hommes d'ohésité moyenne ou assez accusée. La valeur du segment anthropométrique va de 4.8 à 5.9.

TABLEAU XXIV

Nº	РН	de A	limite supé. de <b>A</b> Faillie	Valent de A d'après du Bois	Ecarts de limite infér. de Faillie par rapport à du Bois
102	4,6	174	187	163	+ 6,7%
80	4,9	175	183	163	+7,3%
113	5	176	186	164	+ 7,3%
44	5,2	174	185	161	+8%
45	5,9	173	184	161	+7.4%

Nous voyons que chez l'homme obèse l'abaque de Faillie donne une surface supérieure à celle de la formule de du Bois d'au moins 7,3 % en moyenne.

Voici maintenant une étude identique de 9 femmes obèses. Les segments anthropométriques vont de 4,4 à 5,8. Ces cas sont donc sensiblement comparables aux précédents.

TABLEAU XXV

	РН	limite infér. de A d'aprês	limite supé. de A Faillie	Valeur de A d'après du Bois	Ecarts de limite infér. de Faillie par rapport à du Bois
114	4,1	169	177	162	+ 4,3%
118	4,5	165	177	<b>1</b> 61	+2.4%
51	4,6	164	175	162	+1.2%
121	4,8	166	175	161	+3,1%
66	4,9	168	178	161	+4,3%
228	5,2	164	175	160	$+\ 2.4\%$
194	5,4	164	175	159	+3,1%
156	5,5	163	174	159	+2,5%
22	5,8	162	174	160	+1,2%

L'examen de ce dernier tableau permet de conclure que les surfaces de Faillie pour les femmes obèses sont plus grandes que celles de Du Bois dans le même cas d'au moins + 2,7 % en moyenne. L'écart minimum entre les deux formules est moins élevé chez la femme obèse que chez l'homme obèse.

Voici ensuite 7 femmes normales ou légèrement maigres. Les segments anthropométriques vont de 2,8 à 3,8.

TABLEAU XXVI

No	РН	limite infér. de A d'après	limite supé. de A Faillie	Valeur de A d'après du Bois	Ecarts de limite infér. de Faillie par rapport à du Bois
52	2,8	167	186	167	0 %
123	3	162	180	168	-3.5%
129	3,3	164	181	166	-1,2%
130	3,4	163	172	166	-1,8%
91	3,7	164	178	164	0 %
105	3,7	163	178	165	-1,2%
119	3,8	164	179	166	1,2%

Dans tous ces cas, les valeurs de Du Bois sont dans les limites des valeurs de Faillie, ou au moins à la limite inférieure de ces valeurs. L'accord de ces formules semble très proche. Comme ces sujets sont normaux, on peut assigner à leur surface, d'après Faillie lui-même, une valeur voisine du minimum de la courbe. Les valeurs de A d'après Faillie seront donc voisines de la limite inférieure. Dans ce cas, leur écart moyen d'avec les valeurs de Du Bois serait d'environ —1,2 %. Il semble donc que chez les femmes normales, les valeurs fournies par les formules de Du Bois et de Faillie soient équivalentes à 1,2 % près.

Prenons à présent les 12 hommes normaux de Bordier. Les segments anthropométriques vont de 3,2 à 4,2. Nous comparerons chez ces sujets les valeurs prises deux à deux de Faillie, de Du Bois et de Bordier. Rappelons que ces surfaces ont été obtenues par mesure directe au rouleau intégreur.

TABLEAU XXVII

No	Р/Н	lim. inf. de A d'après	de 🛦	Valeur directe de A d'après Bordier	Valeur de A d'après du Bois	Ecarts de lim. inf. de Faillie par rap. à du Bois	Ecarts de lim. inf. de Faillie par rap. à Bordier	Ecarts d valeurs de du Bois par rap. à Bordier
10	3,2	173	190	167	165	+4,8%	+3,5%	1,1 %
11	3,4	173	190	174	166	+4.2%	0 %	4,5%
12	3,7	174	189	171	164	+6, %	+1.7%	<b>-4</b> %
8	3,8	174	189	173	165	+ 5.4%	0 %	-4.6%
7	3,8	174	189	170	165	+5.4%	+2,3%	2,9%
6	3,8	173	188	169	165	+4,8%	+ 2,3%	-2,3%
5	3,8	173	188	164	166	+4,2%	+ 5,4 $%$	+1,2%
4	3,8	172	187	169	166	+3.6%	+1.7%	-1,7%
3	3,9	173	187	168	166	+4.2%	+3 %	-1,1%
$^{2}$	1	170	188	170	166	+2,3%	0 %	-2,3%
1	4	173	187	168	166	+4,2%	+3 %	<b>— 1,1%</b>
9	4,2	175	188	175	163	+7,3%	0 %	-6.8%

L'examen de ce tableau montre que, chez les sujets normaux, les valeurs de Faillie sont en moyenne supérieures à celles de Du Bois d'au moins +4,7 %. Nous pouvons, de plus, vérifier quelle est de ces deux formules celle qui donne les résultats les plus voisins de la vérité. La comparaison des valeurs limites inférieures de Faillie, des valeurs de Du Bois et des valeurs réelles de Bordier nous apporte les enseignements suivants.

Les valeurs inférieures de Faillie sont plus élevées que les valeurs de Bordier et en moyenne de +1,9 %. Les valeurs de Du Bois sont au contraire plus basses que les valeurs réelles de Bordier. Leur abaissement est en moyenne de -2,6 %. Si on remarque, comme nous l'avons fait pour les femmes, que ces sujets normaux doivent avoir, d'après Faillie, une surface voisine du minimum de la courbe, on conclue que les valeurs de Faillie semblent plus approchées des valeurs réelles que celles de Du Bois.

Pour conclure, nous dirons qu'il existe entre les deux formules de Faillie et de Du Bois les écarts *minima* suivants évalués par rapport aux résultats de la formule de Du Bois :

#### TABLEAU XXVIII

Ecarts minima de l'abaque de Faillie par rapport à la formule de Du Bois

Hommes obèses	+ 7,3	%
Femmes obèses	+2,7	%
Femmes normales	-1,2	%
Hommes normaux	+4.7	%

On voit donc que les résultats des deux méthodes sont assimilables chez la femme, mais qu'ils sont nettement différents chez l'homme et surtout chez l'homme obèse. Il est à prévoir que chez le grand obèse l'écart sera plus important encore.

Comme nous ne possédons aucune série importante de mesures directes chez l'obèse, il est impossible de trancher le débat et de dire quelle est la formule la plus approchée.

De toute cette étude, nous concluerons qu'il semble bien difficile d'établir une formule qui comprendrait tous les types humain, de la maigreur à l'obésité, du nanisme au gigantisme. C'est une gageure impossible à tenir. Il faut se contenter de mesures approchées. L'approximation peut ne pas dépasser 1 à 2 % chez les sujets normaux. Elle atteint et dépasse certainement 5 % chez l'obèse ou le maigre avérés.

La mesure du métabolisme de base par unité de surface, soit C/S, se révèle donc à l'analyse pleine d'aléas. D'une part, nous avons montré dans la partie critique combien de facteurs pouvaient faire varier l'émission calorifique C et troubler le rapport C/S à l'intérieur d'une même espèce. D'autre part, nous voyons ici combien il est difficile d'établir la surface S avec quelque certitude en dehors des sujets normaux. Nous comprenons donc mieux encore que le rapport C/S ne puisse

être constant dans l'espèce humaine. Il a été jusqu'ici conservé à cause de sa commodité apparente. Son emploi a donné lieu toutefois à de telles erreurs de principe que nous avons conclu à son nécessaire abandon. Nous le condamnerons d'autant mieux à présent que les mesures de surface nous semblent, malgré tous les efforts, vraiment approximatives et que nous offrons en ses lieux et places le rapport  $\frac{C}{\sqrt{P.II}}$ . Ce rapport offre l'avantage d'éviter toute erreur de conception, d'avoir une base expérimentale certaine, d'être d'un emploi commode, d'éliminer l'erreur due aux formules de surface et de présenter une constance meilleure que C/S au cours des variations de poids du sujet.

#### CHAPITRE V

### LES CAUSES DE VARIATION DES POURCENTAGES D'OXYGÈNE FIXÉ ET DE GAZ CARBONIQUE EXHALÉ AU COURS DE LA DÉTERMINATION DU MÉTABOLISME DE BASE.

Désireux de réduire à leur minimum les erreurs de mesure calorifique, nous proposons d'étudier à présent les variations normales des concentrations d'oxygène fixé et de gaz carbonique exhalé dans la méthode des échanges gazeux respiratoires. Nous établirons ensuite d'utiles comparaisons avec les variations anormales de ces concentrations.

Disons bien avant tout que les pourcentages étudiés se rapportent au volume de gaz expiré. Démontrons ensuite le parallélisme fréquent des variations de l'oxygène fixé et du gaz carbonique exhalé. Ces variations sont en général de même sens. Elles ne sont cependant pas rigoureusement proportionnelles entre elles. On prévoit qu'il doit en être ainsi, car le rapport CO<sup>2</sup> O<sup>2</sup> n'est pas constant mais varie normalement de 0,70 à 1.

Voici un tableau tiré de nos observations, lequel offre côte à côte les pourcentages des deux gaz chez un même sujet et dans une suite quelconque de sujets.

TABLEAU XXIX

Comparaison des pourcentages de CO<sup>2</sup> et d'O<sup>2</sup> fixé par rapport
au volume de gaz exhales.

Noms	$\overline{N_0}$	C02%	0²fixé %	Noms	$N_0$	C02%	O²fixé%
Couq.	143	3,89	5,20	Cramp.	144	3,35	4,37
'n	148	3,50	4,57	Defos.	182	3,37	4,65
))	198	3,14	4,07	))	200	3,57	4,50
Cramp.	113	3,29	4,28	*	213	3,45	4,50
T)	116	3,18	4,58	Laga.	265	3,46	4.74
))	122	3,37	<b>4,</b> 53	Biasi.	228	2,77	3,60
))	127	3,56	4,80	Devr.	108	2,32	3,11
. »	136	3,52	4,61	Lo.	197	4	<b>5,</b> 36

Si l'on suit la série des cas placés dans un ordre quelconque, on voit qu'à une variation de l'oxygène fixé correspond en général une variation de même sens du gaz carbonique exhalé. Ce fait n'est pas absolument constant. De plus, ces variations ne sont pas de même grandeur. Le parallélisme est en général plus parfait dans une série de mesures concernant un même sujet. Quelles que soient les divergences de détail, on peut toutefois dire qu'une valeur élevée de l'oxygène s'accompagne d'une valeur haute de gaz carbonique et réciproquement. Par ailleurs et inversement un taux bas d'oxygène est accompagné d'un taux faible de gaz carbonique et réciproquement. Ils nous suffit que ces faits soient généraux, malgré quelques divergences partielles.

Le taux moyen d'oxygène fixé est de 4,20. Celui du gaz carbonique est de 3,20. Voyons quels facteurs influent normalement sur les pourcentages d'oxygène fixé. Ces mêmes facteurs agiront de même façon sur le gaz carbonique exhalé. La formule qui donne le pourcentage de l'oxygène fixé en fonction du volume des gaz expirés, est évidemment:

$$0^{2} \text{ fixé } \% = \frac{0^{2} \text{ fixé total}}{\text{Volume des gaz expirés}} . 100$$

Ce volume est celui des gaz expirés en 10 minutes. D'autre part, le volume des gaz expirés en une minute représente ce que l'on est convenu d'appeler la ventilation. Celle-ci est, par ailleurs, égale au produit de la fréquence respiratoire par l'air courant. La formule se modifie donc comme suit :

$$0^2$$
 fixé % =  $\frac{0^2$  fixé total . 100  
Fréquence . Air courant . 10

La fréquence représente le nombre de cycles respiratoires par minute. Si on la rapporte à la seconde, elle s'écrit :

Fréquence à la seconde = 
$$\frac{\text{Nombre de respirations à la minute}}{60}$$

ou F = R/60

il vient donc:

$$0^2$$
 fixé % =  $\frac{0^2$  fixé total . 10  $\cdot$  R

Or, 60/R représente le temps que dure un cycle respiratoire : inspiration et expiration comprises. La durée de ce cycle règle nécessairement le temps pendant lequel le gaz inspiré reste au contact de la surface alvéolaire. Ce temps de contact varie nécessairement comme la durée du cycle respiratoire. On pourra donc prendre, à une constante près, la valeur du cycle respiratoire pour celle du temps de contact. Nous écrirons donc :

$$0^2$$
 fixé % = K  $\frac{0^2$  fixé total. Temps de contact  
Air courant

Par ailleurs, l'oxygène fixé total est sensiblement proportionnel aux calories C dégagées dans le même temps. Il suffit, en effet, de multiplier ce volume par 4,83 pour obtenir ces calories avec une approximation suffisante. D'autre part enfin, nous avons démontré que C est lui-même assez proportionnel à la racine carrée du produit : Poids x Taille à un facteur intensif près. Notre formule devient désormais :

$$0^{2}$$
f.  $\%$  =  $\frac{\text{Facteur intensif interne. Facteur morphologique (Poids, Taille). Temps de contact}}{\text{Air courant}}$ 

Cette formule nous permettra d'analyser les divers éléments qui déterminent les pourcentages des gaz fixés et rejetés. Avant d'aller plus avant, disons que le temps de contact normal est d'environ 4 secondes et l'air courant dans les conditions du métabolisme de base : 300 centimètres cubes.

Pour étudier l'action du facteur intensif entre plusieurs sujcts, il faut supposer que tous les autres éléments restent identiques entre cux. On éprouve la plus grande difficulté à rassembler des sujets de même sexe, même poids, même taille, possédant même air courant et même temps de contact. Force nous est de comparer un sujet à lui-même au cours de plusieurs mesures. Encore ne parvient-on que rarement à respecter dans ces cas l'identité de tous ces facteurs.

Soit le sujet : Jac... 261 et 215.

			Temps de	Air	()2	C02%	
$N^{o}$	P	11	contact	courant	fixé %		C
$\overline{261}$	60,2	1,72	2,5	330	3,11	2,38	$\overline{67,3}$
215	59,8	1,72	2,5	330	3,08	2,48	65,2

On voit que, toutes choses égales, le pourcentage d'oxygene fixé a varié légèrement comme les calories, c'est-à-dire, ici, comme le facteur interne. CO<sup>2</sup> a suivi toutefois une marche inverse. Soit maintenant, une comparaison entre deux états d'un sujet obèse qui maigrit. Dub..., No 125 et 139.

			Temps de	Air	$O_{5}$		
$N^{o}$	Р	H	contact	courant	fixé %	CO 2 0/	C
$\overline{125}$	67,0	1,55	3,3	290	4,41	3,35	$\overline{62,3}$
139	65,4	1,55	3,3	290	4,41	3,47	63,1

Les calories ont à peine varié et en tous cas en sens inverse du poids. La diminution de poids n'ayant amené ni variation du pourcentage d'O² fixé, ni variation de même sens des calories, on peut affirmer ici que le facteur intensif est resté le même.

Soit encore le sujet : Nec..., Nº 170 et 174.

			Temps de	Air	() <sup>2</sup>		
$N^o$	P	[]	contact	courant	fixé %	CO 20:	C
$\overline{170}$	72,8	1,67	7,50	712	5,24	3,99	81,1
174	72,7	1,67	7,50	730	5,70	4,45	87,6

Étant donné l'énormité de l'air courant, nous pouvons négliger ici ses faibles variations. Dans ce cas, nous voyons que les pourcentages d'oxygène fixé et de gaz carbonique croissent avec les calories, donc avec le facteur intensif, toutes choses égales, d'ailleurs.

Pour étudier le facteur morphologique, il faut comparer des sujets de même facteur intensif, de même temps de contact, de même air courant. Le facteur intensif sera sensiblement le même chez des sujets de même sexe et de même âge ayant un même métabolisme, normal ou non par unité de surface.

Soit 2 hommes de 25 à 30 ans (217 et 113).

			Temps de	Air	Ventil.	() 2			
No	P	H	contact	courant		fixé% (	CO 2 %	C	M.B
$\frac{-}{217}$	101,5	1,78	4	575	8,660	4,65	3,60	107,9	+26
113	87.5	1,74	3	440	8.810	4.28	3.29	101	+24

Il nous a été fort difficile de trouver deux sujets offrant même temps de contact et même air courant, toutes choses égales par ailleurs. Nous nous sommes contentés de deux ventilations sensiblement égales. D'autre part, les diminutions du temps de contact et de l'air courant au Nº 113 annulent sensiblement leurs effets opposés. Dans ce cas, on voit que l'oxygène fixé et le gaz carbonique s'abaissent nettement avec les facteurs morphologiques poids et taille.

Voici deux autres cas où le temps de contact, l'air courant, l'intensité du métabolisme sont les mêmes. Seuls diffèrent le sexe et les facteurs morphologiques :

				Temps de	Air	O 2		
	$N^{o}$	Ρ.	H	contact	courant	fixé %	CO 2 % M.B	C
Homme	83	76,2	1,65	4	385	4,74	3,43 + 0,5	72,3
Femme	75	61,8	1,50	4	386	4,05	3 2,4	56,7

Dans ce cas, les pourcentages suivent les facteurs morphologiques et intensifs qui sont de même sens.

L'action du temps de contact est extrêmement nette.

Voici deux sujets de même âge présentant même air courant. L'un de sexe masculin présente un métabolisme de +72 %, l'autre de sexe féminin présente un métabolisme de —4 %. Le premier sujet doit offrir de hautes concentrations de gaz à cause de son sexe, de sa grande taille et surtout à cause de la forte élévation de son métabolisme. Il n'en est rien.

Temps de Air 
$$O^2$$
  
No P H contact courant fixe %  $CO^2$  M.B C  
Homme 180 54,4 1,71 2 340 4,08 2,87 +72% 111,3  
Femme 158 83,6 1,58 4,6 350 5,04 3,62 — 4% 83,6

Ainsi, le fait que le temps de contact passe du simple au double domine l'action contraire de tous les autres facteurs et accroît considérablement les pourcentages d'oxygène fixé. Inversement, la diminution du temps de contact diminue beaucoup le pourcentage d'oxygène fixé, malgré l'action opposée très forte des autres facteurs.

On voit par cet exemple combien il faudra éviter la polypnée

dans la mesure des échanges gazeux respiratoires. Dans ce cas, le temps de contact diminuant les pourcentages diminuent aussi.

Pour faire ressortir l'influence de l'air comant, nous allons, comme nous venons de le faire, utiliser deux cas extrêmes. Dans l'un (Nº 204), il s'agit d'une femme de 30 ans, laquelle présente un métabolisme abaissé de – 19 %, un poids de 36 kg. 30 pour une taille de 1 m. 63 et 38,8 calories par heure: L'autre cas (Nº 155) concerne un homme de même âge, avec un métabolisme à +8 %, un poids de 78 kg. 60 pour 1 m. 75 et 83,2 calories par heure. Dans les deux cas, le temps de contact est de 4''6. Il semble bien que l'on puisse prévoir une déficience considérable des concentrations des gaz chez la femme. Il n'en est rien. Bien au contraire. Les pourcentages sont, chez l'homme, de 4,49 d'oxygène fixé et de 3,44 de gaz carbonique. Ils sont, chez la femme, de 4,67 d'oxygène et de 3,80 de gaz carbonique. Le tableau suivant rassemble ces données :

				Temps de	Air	()2			
	$N^{o}$	Р	ΙΙ	contact	courant	$\mathrm{fi}\mathbf{x}\acute{\mathrm{e}}~\%_0$	CO2 %	C	M.B
Homme	$\overline{155}$	78,6	1,75	4,6	535	4,49	3,44	78,6	+ 8%
Femme	204	36,3	1,63	4,6	235	4,67	3,80	38,8	-19%

Ainsi, une diminution de moitié de l'air courant entraîne une augmentation nette des pourcentages d'oxygène fixé et de gaz carbonique exhalé, malgré l'action opposée de tous les autres facteurs. Il s'agit, en définitive, d'une compensation automatique qui ramène la consommation d'oxygène à un niveau normal en augmentant l'utilisation des gaz inspirés. C'est un phénomène d'économie organique. Inversement, l'augmentation de l'air courant amène une diminution nette des concentrations gazeuses malgré l'action opposée des autres facteurs.

De cette analyse, il ressort que les facteurs déterminants les plus importants des taux d'oxygène fixé et de gaz carbonique exhalé sont le temps de contact et l'air courant. Ces deux actions sont opposées. On peut observer ainsi des variations extrêmes et de même sens des temps de contact et de l'air courant sans que les pourcentages des gaz soient très différents des valeurs habituelles. Ces variations se compensent, en effet. Le tableau suivant le prouve.

$N^{o}$	Air courant	Temps de contact	O² fixé %	CO² fixé %
188	830	7,5	4,52	3,60
218	644	6	1,78	3,75

L'action d'un des deux facteurs peut aussi se faire sentir tout particulièrement. Ainsi :

	Air	Temps de		
$N^{o}$	courant	contact	O² fixé %	CO² fixé %
220	805	8,5	5,53	4,11

Dans cet exemple, la grandeur du temps de contact l'a emporté sur la dilution imposée par un air courant énorme.

Dans un autre cas, l'élévation de l'air courant amène un abaissement des concentrations gazeuses, malgré un temps de contact presque normal.

	Air	Temps de		
No	courant	contact	O² fixé %	CO² fixé %
$\overline{202}$	475	3,3	4,04	3,07

Il serait facile de multiplier les exemples en étudiant toutes les combinaisons possibles d'ascension et de descente simultanées ou opposées de ces deux facteurs.

Nous insisterons particulièrement sur l'action de la polypnée due dans certains cas au masque durant la mesure des échanges gazeux. Cette polypnée est marquée par une augmentation de la fréquence respiratoire, donc par une diminution du temps de contact et aussi par une diminution de l'air courant. L'air pénètre en faible quantité dans le poumon et en est rapidement chassé. Dans les cas moyens, les pourcentages de gaz sont peu altérés et restent normaux. Ainsi le tableau suivant :

	Air	Temps de		
$N^{o}$	courant	contact	O² fixé %	CO 2 %
189	270	2,6	4,23	3,10
224	270	2,5	4,17	3,22

Il s'ensuit que l'erreur due à la polypnée légère doit être faible et pratiquement sans doute négligeable. Il peut se trouver

des cas où une respiration courte et rapide ne constitue pas une véritable polypnée mais est due à l'insuffisance respiratoire et aussi à une réduction extrême des besoins organiques.

Soit le tableau:

Dans ce cas, la faiblesse de l'air courant est due à la fois à l'exiguité corporelle du sujet et à l'insuffisance respiratoire. Celle-ci est physiologiquement compensée par une fréquence de 24, ce qui réduit le temps de contact à 2"5. Malgré cela, le pourcentage de gaz carbonique est un peu élevé. Celui de l'oxygène fixé est très élevé. L'étude des pourcentages permet donc d'affirmer que la polypnée est physiologique et qu'elle n'a nullement faussé les résultats.

D'autres cas s'accompagnent de polypnée légère avec un air courant normal. Cette polypnée peut alors être constante et retrouvée au cours de nombreux examens du même sujet : .

	Air	Temps de			
$N_0$	courant	contact	O² fixé %	CO 2 %	C
${261}$	330	2,5	3,11	2,38	<b>67,</b> 3
248	315	2,6	3,42	2,50	66,3
215	<b>3</b> 30	2,5	3,08	2,48	65,2
206	305	2,5	4,15	3,40	82,9

On voit que le temps de contact est bas, donc. la fréquence respiratoire élevée au cours de tous ces examens. Elle reste, par ailleurs, la même, lors du dernier examen, malgré l'élévation des calories. On peut donc conclure ici à une polypnée légère et physiologique.

Un dernier cas, enfin, est celui d'une fréquence respiratoire normale associée à un air courant exagéré. Nous appellerons ce phénomène: mégapnée. Il est rare. En général, en effet, la mégapnée est associée à une diminution de fréquence respiratoire, soit donc à la bradypnée. Nous en avons vu plusieurs exemples (Nos 170 et 174). Dans ces derniers cas, l'accroissement

extrême des deux facteurs se contrebalancait et entraînait des valeurs normales, voire même élevées des concentrations gazeuses. Ici rien de tel. Un seul facteur croît à l'extrême : l'air courant. Il s'ensuit nécessairement une diminution considérable des pourcentages gazeux, comme nous le voyons ci-après :

	Air	Temps de			
$N_0$	courant	contact	O² fixé ° o	CO 2 0/0	M.B.
263	665	3,5	2,20	-2,45	+2100

L'abaissement très marqué des concentrations associé à la mégapnée permet de conclure à une exagération de la ventilation et de porter quelques doutes sur l'exactitude des résultats.

Il nous resterait à envisager le cas où l'air courant, le temps de contact et les pourcentages sont abaissés tous ensemble. Dans ce cas, les résultats sont évidemment faussés. Nous n'en possédons malheureusement aucun exemple. La technique que nous suivons nous met en effet à l'abri de cette erreur, comme nous le verrons plus loin.

L'étude des concentrations gazeuses se montre donc pleine d'intérêt. Elle permet d'apprécier le degré de véracité des résultats de faire l'analyse des cas douteux et de conclure après examen à leur acceptation ou à leur rejet.

#### CHAPITRE VI

## CONTROLE RESPIRATOIRE ET MÉTABOLISME DE BASE

Nous venons de voir quel rôle important joue la respiration dans la détermination des calories, par la méthode des échanges gazeux et les erreurs provoquées par la polypnée. Nous décrirons ici une méthode simple qui permet de suivre l'évolution du cycle respiratoire et indique à coup sûr le moment optimum du recueil des gaz.

Nous avons établi, dans des travaux antérieurs, les principes de l'oscillométrie respiratoire. Nous les avons appliqués au contrôle respiratoire dans la détermination du métabolisme de base. Voici le schéma de l'appareil employé. Il se compose d'une ceinture pneumatique reliée à un manomètre à millimètres d'eau. Si nous plaçons cette ceinture en un point quelconque du thorax, nous enregistrons à l'inspiration une ascension de la colonne d'eau. La descente correspond à l'expiration. La hauteur d'ascension mesure l'amplitude respiratoire. Nous appelons seuil des oscillations le niveau de pression d'où part l'ascension. Chez un sujet normal, l'expiration doit ramener la colonne à son point de départ. Ce dispositif permet en outre de mesurer la fréquence respiratoire, sans que le sujet se sente surveillé et avec la plus grande aisance.

Voici la série des observations que l'on peut faire.

On peut affirmer de façon presque absolue qu'un repos allongé d'une heure amène un abaissement important de la fréquence respiratoire, une chute légère ou nulle du seuil, une réduction assez notable de l'amplitude.

TABLEAU XXX

			•	
N°		Fréquence	Seuil	Amplitude en mm. d'eau
100	au coucher	14	10	80
186	une heure après	15	<b>—1</b> 0	30
100	au coucher	20	+15	20
128	une heure après	18	+15	5
1 10	au coucher	17	0	10
148	une heure après	9	0	10
126	au coucher	24	. 0	10
136	une heure après	21	10	15

On peut observer normalement une diminution de la fréquence associée à une élévation de l'amplitude comme ci-après :

TABLEAU XXXI

No		Fréquence	Seuil	Amplitude en mm. d'eau
153	au coucher	22	0	10
199	une heure après	16	0	30

Certains sujets ne présentent aucun changement au bout d'une heure de repos :

TABLEAU XXXII

	11117	dimie inter		
No		Fréquence	Seuil	Amplitude en mm. d'eau
182	au coucher une heure après	16 16	0	30 30

Dans certains cas, on peut même observer une légère exagération de la fréquence et du seuil. Ceci s'observe surtout quand le métabolisme est élevé, comme dans les deux cas suivants. Ce fait n'a pourtant aucune valeur absolue et ne peut servir que d'indication.

TABLEAU XXXIII

				Amplitude	
$N^{o}$		Fréquence	Seuil	en mm. d'eau	M.B
113	au coucher	17	+5	45	+26%
119	une heure aprè	s 19	+20	40	
115	au coucher	- 20	+20	25	+23%
119	une heure aprè	s 22	$\pm 25$	$25\cdot$	, .

Certains sujets très nerveux offrent des variations perpétuelles des trois éléments étudiés. Il est donc impossible de faire chez eux des comparaisons utiles. Les résultats des mesures sont alors très approximatifs.

Voyons à présent quelles modifications apporte *l'application* du masque. Nous avons toujours étudié ces modifications avant de poser les soupapes, alors que le sujet peut respirer assez aisément à travers les deux orifices d'entrée et de sortie des gaz.

Nous employons le masque de Tissot.

On peut dire de façon absolue que le maintien du masque entraîne durant les premières minutes un trouble notable de la respiration. Celui-ci est marqué par un accroissement irrégulier de la la fréquence, plus habituel de l'amplitude et une élévation presque constante du seuil.

Voici une série d'observations.

TABLEAU XXXIV

$N_0$		Fréquence	Seuil	Amplitude
100	avant le masque	18	0	40
108	après – -	16	+30	60
000	avant le masque	36		40
222	après —	20		80
111	avant le masque	22	+40	10
114	après	17	+30	25
236	avant le masque	16	+20	20
256	après —	16	$\pm 35$	60
232	avant le masque	29	<b>1</b> 0	20
404	après	37	Ò	20
261	avant le masque	19	10	40
401	après	24	10	40

De l'examen de ce tableau, il ressort que l'augmentation de fréquence peut n'être accompagnée d'aucune variation des autres éléments : seuil et amplitude. Le besoin d'air créé momentanément par le masque est alors simplement compensé par la polypnée. Dans beaucoup de cas, au contraire, on note une chute de la fréquence. Il serait faux d'en conclure que la respiration est alors descendue à son minimum fonctionnel. Ceci n'est qu'un trompe-l'œil. En effet, le senil s'élève souvent et on note toujours un accroissement considérable de l'amplitude qui double ou triple même. Nous ne connaissons qu'un seul cas sur 300 où le port du masque n'a apporté qu'un trouble à peine appréciable. Il s'agissait d'un sujet très entraîné qui subissait alors son dix-neuvième examen. On notait :

TABLEAU XXXV

$N_0$		Fréquence	Seuil	Amplitude
0-5	avant le masque	23	$\frac{-}{-}$ 5	10
257	après —	23	0	15

Ces changements sont très peu importants.

Il nous reste à étudier maintenant la durée des troubles apportés par le masque, ou leur modification en fonction du temps.

On note assez souvent au bout de dix minutes la persistance de l'accélération respiratoire causée par le masque. Cependant, le seui s'abais, e, de même l'amplitude se restreint. Chacun de ces éléments peut d'ailleurs varier seul. Voici plusieurs exemples de ces faits.

TABLEAU XXXVI

$N_0$		Fréquence	Seuil	${f Amplitude}$
201	1re minute	26	0	30
201	10me	25	10	25
106	1re minute	23	<b>—</b> 5	20
100	10 <sup>me</sup> —	22	10	20
112	1re minute	21	+20	20
112	10 <sup>me</sup>	20	+15	15
277	1re minute	23	0	15
211	10 <sup>me</sup> —	23	-5	10
117	1re minute	8	0	80
111	10 <sup>me</sup> —	8	0	40

On peut, dans certains cas, observer une chute assez rapide du seuil en véritable lysis. Il est possible de trouver aussi au bout de 10 minutes un accroissement de la fréquence associé à un abaissement du seuil et une réduction de l'amplitude.

TABLEAU XXXVII

$N^{o}$		Fréquence	Seuil	Amplitude
121	1re minute	6	+40	50
131	10 <sup>me</sup> —	9	+ 5	30
104	1re minute	7	+20	50
124	10 <sup>me</sup> —	- 11	<b>—1</b> 0	30
100	1re minute	17	+20	35
189	10me —	23	+20	20
444	1re minute	20	+ 5	30
111	10me	- 27	10	10

Nous avons allongé la période d'observation chez un sujet entraîné. Nous notons :

TABLEAU XXXVIII

	Fréquence	Seuil	${f A}$ mplit ${f u}$ de
Au bout d'une heure de repos	6	-10	30
Dès la pose du masque	6	0	70
5 minutes après	7	10	40
10 minutes après	6	-10	40
16 minutes après	6	10	30
Après l'enlèvement du masqu	ue 7	-10	30

On voit que, dans ce cas, les valeurs antérieures à la pose du masque ne furent retrouvées qu'à la seizième minute. Elles restèrent sensiblement les mêmes après l'enlèvement du masque. On peut toutefois considérer que les valeurs normales étaient pratiquement atteintes dès la cinquième minute.

On peut encore observer, mais très rarement, une chute de plusieurs éléments en dessous des valeurs antérieures à la pose du masque. En voici un cas:

TABLEAU XXXIX

$N^o$		Fréquence	Seuil	Amplitude
$\overline{262}$	Avant la pose	. 15	+30	$\phantom{00000000000000000000000000000000000$
	Une minute après	. 12	+50	60
	Quinze minutes aprè	es 10	$\pm 15$	25

Nous pouvons nous demander si l'accélération du rythme respiratoire après la pose du masque n'est pas artificielle et due au simple relèvement de la fréquence abaissée durant les premières minutes. Ce cas se présente à la vérité. Nous avons pu vérifier qu'il est assez rare. L'accélération observée est donc généralement vraie par rapport aux fréquences physiologiques antérieures au port du masque.

Chez certains sujets nerveux, le trouble respiratoire apporté par le masque est considérable et irréductible. C'est un véritable bouleversement. Ainsi le cas suivant :

TABLEAU XL

$N^{\sigma}$		Fréquence	Seuil	Amplitude
$\overline{129}$	Avant la pose	. 12	0	20
	1re minute	. 11		250
	10 <sup>me</sup> minute	. 11		100

On voit par ce cas combien il est trompeur de se fier à la seule fréquence. Celle-ci, en effet, est abaissée alors que l'amplitude qui a d'abord quintuplé reste encore double de sa vraie valeur après 10 minutes d'entraînement au masque. Ces cas sont par malheur irréductibles. Il faudra discuter alors, comme nous l'avons fait plus haut, si le pourcentage des gaz expirés est admissible ou non.

Nous rejoignons, par une autre voie, les observations de Dautrebande: « On sait que, si l'on soumet un sujet sain à » l'influence d'une résistance respiratoire faible, les mouvements » thoraciques s'approfondissent tout en gardant une fréquence » normale, d'où surventilation ». Notre étude prouve que le masque de Tissot crée chez tous les sujets cette résistance respi-

ratoire. Dans la plupart des cas, nous voyons l'individu s'accommoder à cette résistance et réduire un, deux ou même les trois éléments que nous étudions. Parfois, au contraire, le sujet ne s'adapte nullement et réagit par une surventilation irréductible. Nous avons observé que ces troubles se rencontrent dans deux cas. D'abord chez les hyperthyroïdiens aux combustions très exagérées. Chez eux, la ventilation normalement accrue rencontre une résistance notable dans les conduits d'arrivée de l'air. L'autre catégorie est constituée par des sujets strictement normaux mais qui possèdent une forte ventilation. Ce sont souvent des hommes entraînés aux sports, chez qui la fonction respiratoire est très développée. Ainsi la résistance des conduits d'arrivée d'air souvent faible, parfois négligeable chez des sujets chétifs, à fonction respiratoire amoindrie, devient considérable chez ceux qui possèdent une ventilation forte, par un entraînement physiologique ou un processus pathologique. Le seul remède à proposer en technique est l'agrandissement du calibre des voies d'arrivée d'air.

Pour nous résumer, nous dirons que l'on peut observer, durant les 10 minutes qui suivent la pose du masque, soit une fixité, soit une baisse légère, soit plus souvent une accélération de la fréquence respiratoire. L'amplitude croît d'abord, puis se restreint dans la grande majorité des cas. Elle peut rester considérablement accrue. Le seuil qui s'élève durant la première minute s'abaisse ensuite toujours chez le sujet normal. Il peut demeurer élevé. Nous considérons l'abaissement du seuil comme nécessaire et suffisant pour annoncer le relâchement respiratoire indispensable aux mesures.

Nous voyons donc combien il est illusoire de se fier à la seule fréquence respiratoire pour décider si les échanges gazeux sont ou non revenus à leur valeur normale. L'oscillométrie thoracique, en nous fournissant deux éléments supplémentaires, importants et facilement mesurables, nous permet de conclure ou non au relâchement respiratoire et de décider avec précision du moment où le recueil des gaz peut s'effectuer avec toute la rigueur scientifique nécessaire.

#### CHAPITRE VII

# LES DIVERSES MÉTHODES DE CALCUL DE L'OXYGÈNE FIXÉ DANS L'ÉPREUVE DU MÉTABOLISME DE BASE

Nous avons, au cours de ce travail, porté notre critique sur les variations des calories horaires. Il nous faut compléter cette étude par la vérification des modes de calcul de ces mêmes calories.

Le principe de ce calcul est très simple. Il suffit de déterminer la teneur en oxygène des gaz inspirés et rejetés. La différence de ces teneurs donne le pourcentage de l'oxygène retenu. Une simple multiplication de ce dernier pourcentage par le volume de gaz rejeté devrait donner le volume total d'oxygène fixé par l'organisme pendant le temps considéré. Ce raisonnement simple serait exact si le volume inspiré était égal au volume expiré. car alors les taux de gaz établis pour un même volume seraient comparables. Il n'en est toutefois rien, car le volume de gaz carbonique rejeté ne compense pas tout à fait le volume d'oxygène retenu pendant le même temps. Le volume expiré est donc très généralement inférieur au volume inspiré. Il s'ensuit que le pourcentage d'oxygène du gaz expiré n'est pas directement comparable au pourcentage d'oxygène du gaz inspiré. Une correction s'impose. Elle est envisagée de diverses facons par les auteurs. Elle est toujours basée sur la fixité de l'azote, gaz inerte, dans le cycle respiratoire. L'azote expiré reste toujours égal à l'azote inspiré. La quantité absolue d'azote étant la même dans les gaz inspirés et expirés, les variations du pourcentage d'azote seront inversement proportionnelles aux variations du volume. Si on appelle Ni l'azote inspiré, Ne l'azote expiré, Vi le volume de gaz inspiré, Ve le volume expiré, on a la relation suivante:

$$\frac{\text{Ve}}{\text{Vi}} = \frac{\text{Ni}}{\text{Ne}}$$

Cette relation indique bien que les volumes varient en sens inverse des taux d'azote. Elle permet d'établir Vi en fonction de Ve ou inversement. Nous en tirons par exemple :

$$Vi = Ve \frac{Ne}{Ni}$$

Le rapport Ne /Ni représente la correction qu'il faudrait imposer au volume expiré Ve pour le rendre égal au volume inspiré. Il s'ensuit que le pourcentage d'oxygène expiré devra subir la même correction que'le volume expiré pour être comparable au pourcentage d'oxygène inspiré. Le taux d'oxygène expiré se trouve ainsi rétabli par rapport au volume inspiré et nous pouvons désormais comparer en bonne logique les taux d'oxygène inspiré et expiré. Cette notion assez simple est d'apparence subtile. Nous n'en avons rencontré nulle part de développement satisfaisant. C'est pourquoi nous y insistons. dans sa généralité, le problème comporte solutions; soit que l'on connaisse le volume expiré seul, soit que l'on connaisse le volume inspiré seul. Dans la grande majorité des cas, on connaît seulement le volume expiré. Le rapport Ne/Ni représente la fraction, dont a varié le volume primitif inspiré pour devenir le volume actuel expiré. Inversement, Ni/Ne représente la variation que subirait le volume actuel expiré pour égaler le premier volume inspiré. Ainsi, 100 volumes du gaz expiré actuellement connu correspondent à (100 Ni/Ne) volumes du gaz inspiré et si c représente le pourcentage d'oxygène présent dans gaz expiré, ces c cm3 d'oxygène correspondent (100 Ni/Ne) cm³ du gaz primitivement inspiré. Le pourcentage par rapport au volume inspiré s'établit donc :

$$\frac{c}{100 \text{ Ni/Ne}} \cdot 100 = c \text{ Ne/Ni}$$

Si maintenant, ce qui est rare, on connaît seulement le volume inspiré, le rapport Ne/Ni représente la fraction dont a varié le volume primitif pour devenir le volume actuel inconnu. Ainsi, 100 volumes du gaz primitif sont devenus 100 Ne/Ni volumes du gaz expiré. Le pourcentage c d'oxygène établi dans le gaz expiré correspond à (100 Ne/Ni) cm³ d'air inspiré. Le pourcentage dans l'air inspiré est donc :

$$\frac{c}{100 \text{ Ne/Ni}} \cdot 100 = c \cdot \text{Ni/Ne}$$

On voit donc que: 1º si on connaît le volume expiré, il faut multiplier le pourcentage d'oxygène trouvé dans les gaz expirés par le rapport Ne/Ni. 2º Si on connaît le volume inspiré, il faut multiplier le pourcentage d'oxygène des gaz inspirés par le rapport Ni/Ne. Le première méthode a été utilisée par Haldane, la seconde par Gondard. Elles sont toutes deux correctes. Il suffit désormais de retrancher après correction le pourcentage d'oxygène expiré du pourcentage d'oxygène inspiré pour en déduire avec certitude le pourcentage d'oxygène fixé.

Nous allons tenter de vérifier algébriquement ces données. Nous partirons pour cela de l'égalité de l'azote inspiré et de l'azote expiré. Nous utiliserons les symboles chimiques N,O,CO<sup>2</sup> affectés des indices i et e pour désigner les pourcentages de ces gaz inspirés et expirés. De même, les symboles Vi et Ve désigneront les volumes de gaz inspirés et expirés à leurs températures, pression et degré d'humidité respectifs. On a donc:

$$Ni \cdot \frac{Vi}{100} = Ne \cdot \frac{Ve}{100}$$
 (1)

d'autre part:

$$O^2 \text{ fix\'e} = O_i^2 - \frac{\text{Vi}}{100} - O_e^2 - \frac{\text{Ve}}{100}$$
 (2)

en remplaçant dans (2) Vi par sa valeur tirée de (1) on a :

$$O^{2} f. = \frac{Ve}{100} \left( \frac{Ne}{Ni} Oi' - Oe \right)$$
 (3)

en remplaçant dans (2) Ve par sa valeur tirée de (1), il vient d'autre part :

$$O^2 f. = \frac{Vi}{100} (O_i^2 - \frac{Ni}{Ne} O_e^2)$$
 (4)

La formule (3) représente l'oxygène fixé en fonction du volume expiré. La formule (4) représente l'oxygène fixé en fonction du volume inspiré. Il y a concordance parfaite avec le raisonne-

ment exposé plus haut. Ce sont là les formules générales qui donnent l'oxygène fixé en fonction des volumes inspirés ou expirés, des pourcentages d'oxygène et d'azote inspirés et expirés, pour un degré hygrométrique des gaz, une pression et une température déterminés.

Ces formules exigent, à la vérité, la connaissance des pourcentages d'azote et d'oxygène dans les gaz inspirés et expirés et réclament de multiples analyses. Il est possible d'éviter ces complications en prenant comme air inspiré de l'air atmosphérique extérieur dont la composition est connue. A la vérité, tous les auteurs ont adopté cette facon d'opérer. Très peu, toutefois, en tirent la conclusion nécessaire : faire inspirer réellement au sujet de l'air atmosphérique. Pour nous, nous mettons toujours notre sujet en communication avec l'air extérieur, grâce à un tuvautage ad hoc. Agir autrement introduit de toute nécessité une erreur de calcul, car l'air confiné d'une salle n'est jamais identique à l'air atmosphérique. Il est facile de s'en rendre compte. La teneur en oxygène, en gaz carbonique et en azote varient avec le volume de la salle, l'aération et le chauffage. Il est donc difficile d'estimer a priori la grandeur de l'erreur commise. D'après quelques recherches, nous ne l'estimons guère inférieure à 1,5 %.

Une autre difficulté surgit. Quelles sont les valeurs d'oxygène acceptables pour l'air inspiré atmosphérique. Les taux les plus divers sont admis dans les calculs. Il n'est pourtant pas indifférent de fixer son choix sur telle ou telle valeur. Disons tout d'abord que les divers éléments de l'air peuvent être groupés sous trois rubriques : l'oxygène, le gaz carbonique, l'azote. Précisons en outre que par les termes : azote, nous comprendrons la somme azote + gaz rares (argon, néon, etc...), c'est-à-dire l'ensemble des gaz inertes à nos réactifs.

Pour le CO<sup>2</sup> l'accord est suffisant entre les auteurs et l'on peut admettre la valeur moyenne constante de 0,03 %.

Pour O<sup>2</sup> et N<sup>2</sup>, le désaccord est manifeste. Nous allons tenter de préciser quel est, pour chacun de ces gaz, le taux le plus acceptable. Disons, une fois pour toutes, que tous les pourcentages ont été évalués à siccité.

Haldane admet les valeurs suivantes :

$$0^{2}$$
 % = 20,93  
 $N^{2}$  % = 79,04  
 $CO^{2}$  % = 0,03

Janet, et à sa suite les auteurs français, prend les valeurs :

$$O^2$$
 % = 20,9  
 $N^2$  % = 79,1

Cet auteur néglige la teneur en CO2. De plus, les valeurs qu'il accepte ne sont que très approximatives et nettement différentes des précédentes.

Si on consulte les chimistes on recueille des renseignements assez divergents.

Hahn, cité d'après Treadwell, nous donne la composition suivante:

Par ailleurs, Dansette réunit dans le récent traité de chimie minérale de Pascal onze analyses effectuées en divers points du globe. Si on prend pour CO<sup>2</sup> la même valeur 0,03 % quasi constante pour toutes les analyses, on a pour O<sup>2</sup> et N<sup>2</sup> les valeurs suivantes :

#### TABLEAU XLI

	02%	$N^2\%$
Paris	20,96	79,01
Londres	20,88	79,09
Glasgow	20,90	79,07
Manchester	20,94	79,03
Monts d'Ecosse	20,97	<b>7</b> 9
Heidelberg	20,92	79,05
Bonn	20,92	79,05
Dresde	20,93	79,04
Cap Horn	20,86	79,11
Cleveland	20,93	79,04
Boston	20,93	79,04

On voit que les taux de O<sup>2</sup> et N<sup>2</sup> dans l'air atmosphérique ne sont pas constants. O<sup>2</sup> peut varier de 20,86 à 20,99, soit d'environ 0,60 %. N<sup>2</sup> va d'autre part de 78,98 à 79,11 et présente une variation de 0,15 % environ. Si maintenant, on considère la formule (3), on voit qu'elle peut s'écrire plus commodément

$$0^{2}$$
f.  $-\frac{\text{Ve}}{100}$   $\left(\frac{\text{Oi}}{\text{Ni}} - \text{Ne} - \text{Oe}\right)$  (5)  
Il s'agit donc de calculer une fois pour toutes le rapport Oi/Ni

Il s'agit donc de calculer une fois pour toutes le rapport Oi/Ni qui sera une constante dans la formule. Il faut observer que les variations de Oi et de Ni sont de sens inverse et qu'à la valeur la plus basse de Oi correspond la valeur la plus haute de Ni et réciproquement. Donc, quand Oi croît de son minimum à son maximum, c'est-à-dire subit une variation de +0,6 % par rapport à sa valeur primitive, Ni décroît de son maximum à son minimum, soit de -0,15 %. Ces variations de sens inverse des deux termes de la fraction s'additionnent. Le calcul montre que le maximum de l'erreur du quotient entre les valeurs extrêmes est de +0,7 %. Si on pose Oi/Ni = a, Ne = b et Oe = c, l'erreur finale sur l'oxygène fixé est donnée par la formule:

$$0.7 - \frac{ab}{ab - c}$$
 (6)

Il est impossible de déterminer a priori la grandeur de l'erreur à cause des inconnues h et c. Appliquons cette formule au hasard au No 197 de notre série. Ici Ne = 80,06 et Oe = 15,91. Tous calculs faits, nous trouvons un écart de +2,80 % entre les deux valeurs extrêmes de l'oxygène fixé déterminé au moyen des valeurs maxima et minima de Oi et Ni. Il est à remarquer qu'en général Ne est un peu inférieur à la valeur trouvée dans ce cas et Oe un peu supérieur. Comme a < 1, il s'ensuit que ab varie moins que c. On conclue encore que le dénominateur ab-c décroît plus que le numérateur ab et que la fraction croît légèrement. L'erreur est donc, en général, d'au moins 3 %. Remarquons bien que cet écart est maximum et concerne le cas où l'on aurait pris les valeurs de Hahn au lieu de celles qui ont été trouvées au Cap Horn et que l'on considérait comme exactes pour ce cas donné. Si nous prenons un moyen terme, l'écart d'avec les valeurs extrêmes sera ramené à environ 1,5 %.

Si maintenant, nous considérons les valeurs les plus fréquentes,

nous voyons que leur moyenne est 20,93 pour O<sup>2</sup> et 79,04 pour N<sup>2</sup>. Ce sont exactement les valeurs admises par Haldane.

L'idéal serait de faire à plusieurs reprises l'analyse de l'air atmosphérique environnant le laboratoire et de connaître ainsi pour chaque laboratoire la composition moyenne de l'air inspiré. En pratique, il est fort probable qu'en s'en tenant aux valeurs de 20,93 pour O<sup>2</sup> et 79,04 pour N<sup>2</sup>, on commet une erreur sur l'oxygène fixé inférieure à 1 %.

Il faut, de toute façon, abandonner les valeurs acceptées par Janet comme vraiment trop approximatives. Le calcul montre que l'erreur commise en prenant les valeurs de Janet au lieu des valeurs moyennes de Haldane, est de —0,7 % pour la constante Oi/Ni. L'erreur finale sur l'oxygène est alors donnée par la formule (6) changée de signe. Cette erreur est de —2,8 % pour le cas Nº 197 que nous venons d'étudier. Nous voyons donc qu'en général les valeurs approximatives de Janet donnent un résultat final trop faible d'environ 2 %.

Après avoir critiqué la légitimité des taux d'oxygène et d'azote atmosphériques adoptés par les divers auteurs et établi les formules de calcul direct de l'oxygène fixé, il nous reste à examiner ce que nous appellerons la méthode de calcul indirect. Cette méthode a été indiquée par Haldane et reprise par Janet. Disons tout de suite qu'elle a le mérite de la facilité. Le principe en est le suivant. Si, par un artifice quelconque, on arrive à connaître la valeur A du quotient du gaz carbonique exhalé à l'oxygène fixé, soit :

$$A = \frac{CO^2}{O^2f}$$
 on en tirera:  $O^2 f$ .  $= \frac{CO^2}{A}$ 

Le quotient CO²/O²f s'appelle quotient respiratoire ou Q.R. Or, il est possible de connaître la vraie valeur de ce quotient respiratoire appelé quotient respiratoire réel Q. R. R. à partir d'un quotient apparent Q. R. A. Le quotient apparent est celui du gaz carbonique exhalé à la différence entre les taux d'oxygène inspiré et expiré. Nous avons vu que cette différence ne donne pas l'oxygène réellement fixé mais constitue l'oxygène apparemment fixé. Le rapport CO² appt fixé le quotient respiratoire apparent Q.R.A.

Voici comment il convient de procéder pour obtenir Q.R.R. en fonction de Q.R.A. Remplaçons dans la formule (5) Ne par sa valeur en fonction de CO<sup>2</sup> et  $O_e^2$ , soit Ne =  $100 - (CO^2 + O_e^2)$ , il en résulte une autre formule de l'oxygène fixé. On peut y remplacer ensuite  $O_e^2$  par sa valeur tirée de la relation :

$$O^2$$
 apparemment fixé =  $20.9 - O_0^2$ 

Si on utilise les valeurs de Janet pour l'oxygène et l'azote inspiré, on obtient enfin la formule suivante:

$$Q.R.R. = \frac{79,1}{100}$$
 (7)

Q.R.A. Si donc nous connaissons le quotient apparent  $\frac{CO^2}{O^2 \text{ app}^{\text{t}} \text{ fix\'e}}$ 

nous déduisons de la formule (7) la valeur du quotient réel. De là nous tirons enfin la valeur de O<sup>2</sup> fixé, soit :

$$0^{2}\mathbf{f} = \frac{\mathbf{CO}^{2}}{\mathbf{Q.R.R.}}$$

Cette méthode est théoriquement irréprochable. Janet a fourni un tableau qui donne le quotient réel connaissant le quotient apparent. L'introduction des valeurs moyennes exactes de l'air atmosphérique  $0^2\% = 20,93$  et  $N^2\% = 79,04$  dans la formule (7) donne le quotient réel suivant :

Q.R.R. = 
$$\frac{79,04}{\frac{99,97}{\text{Q.R.A.}} - 20,93 + \frac{0,63}{\text{CO}^2}}$$

On voit donc que le quotient réel n'est plus ici fonction du seul quotient apparent, mais encore de CO<sup>2</sup>. Ce n'est que par une série d'approximations que l'on peut éliminer le rapport. 0,63 /CO<sup>2</sup>. Il est donc impossible de prédire le quotient réel en fonction du quotient apparent en dehors des valeurs grossières 20,9 et 79,1 pour l'oxygène et l'azote atmosphériques.

Nous avons voulu faire à ce sujet des comparaisons entre le quotient de Janet et le même quotient corrigé. Ce dernier est fonction, nous le savons, de CO<sup>2</sup> et de Q.R.A. Comme CO<sup>2</sup>

est variable, il nous faut envisager successivement les valeurs limites extrêmes et la valeur moyenne de ce facteur. L'examen de 300 cas nous montre que ces limites sont 2 et 4 et la moyenne fréquente 3. Il faut en outre prendre bien garde que Q.R.A. n'a pas la même valeur dans les deux formules primitive et corrigée. Dans la formule primitive de Janet Q.R.A. =  $\frac{\text{CO}^2}{20,90 - \text{O}_2^2}$ 

dans la formule corrigée Q.R.A.  $=\frac{\text{CO}^2}{20,93 - \text{O}_e^2}$ . La comparaison de ces deux valeurs montre que Q.R.A. de Janet est plus grand que Q.R.A. corrigé de  $\left(\frac{3}{20,9 - \text{O}_e^2}\right)^{\%}$ . Nous avons, en outre, établi les valeurs limites de  $\text{O}_e^2$ . Ce sont 15,9 et 18,4. En remplaçant  $\text{O}_e^2$  par ces valeurs dans la dernière formule, nous voyons que Q.R.A. de Janet peut être supérieur à Q.R.A. corrigé de 0,6 % à 1,2 %.

Il résulte de tout ceci que si nous voulons faire des comparaisons correctes entre les quotients réels, il faudra d'abord écrire l'un des deux quotients apparents en fonction de l'autre. Nous prendrons dans nos calculs le quotient apparent de Janet en fonction du quotient corrigé en utilisant les écarts de 0,6 % et 1,2 % entre ces quotients. Ceci fait, nous envisagerons pour ces deux écarts limites les diverses valeurs de CO², soit les valeurs extrêmes de 2 et 4 et la moyenne 3.

Considérons d'abord le cas où les quotients apparents corrigés et non corrigés sont différents de 0,6 %. Si CO<sup>2</sup> = 2 la formule qui donne le pourcentage d'écart du Q.R.R. de Janet par rapport au quotient réel corrigé Q.R.R.<sub>e</sub> est:

où Q.R.A.c désigné le quotient apparent corrigé.

Si maintenant, nous introduisons dans cette formule les divers quotients apparents corrigés croissant de 0,10 en 0,10 à partir de 0,70 on a :

pour $CO^2 = 2$ TAI	BLEAU XLII		
$\mathbf{Q}.\mathrm{R.A.}_{\mathbf{c}}$	Élévation	du Q.R.R. de Janet	
		t au Q.R.R. corrigé	
Pour 0,70 une surestimatio	n du Q.R.R. de .		
0,80		- 1,03 %	
-0.90 $-$	, <del>-</del>	- 1,09 % - 1.15 %	
$- 1,00 \qquad -$ Si CO <sup>2</sup> = 3 un raison		-1 70	
montrent que la surestima			
au Q.R.R. corrigé est la s		ie banet par rapport	
-	BLEAU XLIII		
		du Q.R.R. de Janet	
Q.R.A. <sub>c</sub>		au Q.R.R. corrigé	
0,70			
0,80			
0,90			
1,00		• -	
pour $CO^2 = 4$ TAI	BLEAU XLIV		
Q.R.A.	Élévation o	du Q.R.R. de Janet	
ν τ		au Q.R.R. corrigé	
0,70		+ 0,85 %	
0,80			
0,90			
1,00		+0.96%	
Si maintenant, nous passons à l'écart maximum de 1,2 % du Q.R.A. de Janet d'avec le Q.R.A. vrai, le même raisonnement			
nous donne les tableaux si			
$pour CO^2 = 2 \qquad TA$	BLEAU XLV		
$\mathrm{Q.R.A.}_{\mathbf{c}}$	Élévation o	lu Q.R.R. de Janet	
		au Q.R.R. corrigé	
0,70			
0,80			
0,90			
1,00		+1.90%	

pour $CO^2 = 3$ Q.R.A. <sub>c</sub>	TABLEAU XLVI Élévation du Q.R.R. de Janet par rapport au Q.R.R. corrigé
0,80 0,90	
pour CO <sup>2</sup> = 4	TABLEAU XVLII
$Q.R.A{f c}$	Élévation du Q.R.R. de Janet par rapport au Q.R.R. corrigé
0,80 0,90	+ 1,55 % + 1,60 % + 1,66 % + 1,72 %

On voit donc que si l'on rectifie dans la formule de Janet les taux d'oxygène et d'azote atmosphériques, les anciennes valeurs du quotient réel sont plus élevées que les valeurs rectifiées de 0,85 % à 1,9 %. Il semble donc que les anciennes valeurs du quotient de Janet soient surestimées d'en moyenne 1,3 %.

Ce fait n'est pas négligeable. Ne nous hâtons pourtant pas de conclure. A tout bien considérer, en effet, il apparaît qu'une erreur, véritable cette fois, s'est glissée dans le calcul de Janet. Si, en effet, l'on pousse plus loin l'examen de la formule de cet auteur, on voit que Q.R.A. s'écrit d'après lui de la façon suivante :

Q.R.A. = 
$$\frac{\text{C.O}^2}{20.9 - \text{O}_e^2}$$

Cette équation est inexacte, car elle compare un pourcentage d'oxygène 20,9 établi dans l'air atmosphérique sec avec  $O_{\rm e}^2$  pourcentage déterminé dans l'air expiré saturé de vapeur d'eau. Il y a là une incorrection de calcul évidente. On rétablit l'exactitude en ramenant à siccité le pourcentage  $O_{\rm e}^2$ . Il suffit pour cela

de le multiplier par 1,02. Mais cette correction en entraîne une autre, car les deux termes du quotient ne seront comparables que si CO<sup>2</sup> représente, lui aussi, un dosage en gaz sec. Il faut donc faire la même opération sur CO<sup>2</sup>. Le Q.R.A. entièrement corrigé est donc:

Q.R.A. = 
$$\frac{1,02 \text{ CO}^2}{20,93 - 1,02 \text{ O}_e^2}$$

Si on compare, comme nous l'avons fait plus haut, le quotient apparent inexact et le quotient apparent doublement corrigé, on voit que cette fois le quotient apparent inexact est plus bas que le quotient apparent corrigé de  $\left(\frac{-0.37}{20.9 - O_e^2}\right)$  %.

Si on prend à nouveau les limites de  $O_e^2$ , soit 15,9 et 18,4, ce pourcentage d'écart devient -0.07 % et -0.14 %. Les quotients apparents sont donc beaucoup plus voisins l'un de l'autre qu'avant la correction d'humidité. Si nous prenons l'écart moyen -0.1 %, nous pouvons établir un quotient apparent en fonction de l'autre et introduire ainsi des quotients apparents comparables dans les formules de quotients réels corrigés ou non. D'après l'écart moyen de 0.1 %, le quotient apparent de Janet en fonction du quotient apparent corrigé est donné par l'équation Q.R.A. Janet  $=\frac{999}{1000}$  Q.R.Ac.

Dans ces conditions, nous donnons le tableau des écarts pour les valeurs 2,3 et 4 de CO<sup>2</sup> et pour les divers quotients respiratoires apparents corrigés.

$CO^2 = 2$	TABLE	AU XLVIII		
Q.1	⊰.A. <sub>c</sub>	Élévation du	Q.R.R.	de Janet
		d'avec le	Q.R.R.	corrigé
0,7	0		+ 0,22 %	)
0,8	0	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	+0.25%	)
0,9	0		+0.30%	)
1.0	O		$\pm .0.34$ %	,

CO:=3		Élévation du	Q.R.R. de Janet
	Q.R.A <sub>c</sub>	d'avec le	Q.R.R. corrigé
	0,70		+ 0,14 %
	0,80		+ 0,17 %
	0,90		+ 0,19 %
	1,00		+ 0 22 %
$CO^2 = 4$			
	0,70		+ 0 <b>,1</b> 0 %
	0,80		+ 0,12 %
_	0,90		+ 0,14 %
•	1,00		+ 0,16 %

Nous voyons ainsi que la correction d'humidité ramène le quotient réel corrigé très près des valeurs primitives de Janet. Le quotient de Janet s'écarte en moyenne au maximum de 0,35 % du quotient corrigé. Nous n'avons pas établi les calculs pour les écarts limites des quotients apparents. Ces calculs étant d'une extrême complexité, nous nous limitons à ces résultats, d'ailleurs parfaitement satisfaisants.

Nous pouvons donc conclure que si nous opérons sur le quotient de Janet une rectification des valeurs inexactes de l'oxygène et de l'azote atmosphériques, le quotient primitif s'écarte du quotient corrigé jusqu'à près de +2 %. Si on introduit en sus la correction d'humidité, le quotient deux fois corrigé revient très près du quotient non corrigé. Ainsi, les deux corrections s'annulent sensiblement et les écarts du quotient de Janet et du quotient vrai sont certainement inférieurs à 1 % dans tous les cas.

Si donc on désire utiliser le quotient de Janet et son tableau, il faudra prendre les valeurs grossières de 20,9 d'oxygène et 79,1 % d'azote atmosphériques, et bien se garder de faire aucune correction d'humidité ni sur l'oxygène expiré, ni sur le gaz carbonique. Le tableau de Janet a une valeur empirique certaine. En résumé, cette méthode a le mérite de la facilité et le tort d'une inexactitude théorique complète. En pratique, les erreurs qu'elle comporte se contrebalancent et l'on aboutit ainsi à des résultats exacts à moins de 1 % près.

Il peut sembler inutile d'avoir analysé avec tant de minutie une formule dont on reconnaît enfin la justesse pratique. Cette étude était pourtant indispensable, car l'introduction de meilleures valeurs pour l'oxygène et l'azote atmosphériques, puis la correction d'humidité, exigeaient que l'on se rendit compte des résultats de ces modifications dont on ne pouvait prévoir les conséquences.

Nous savons desormais que l'on peut employer sans erreur notable la formule de Janet, étant bien entendu que cette formule comporte en réalité une inexactitude et une erreur vraie qui, par bonheur, s'annulent. Ainsi, l'établissement correct de la formule du quotient réel en fonction du quotient apparent aurait à tout jamais empêché l'établissement du tableau pratique de Haldane-Janet. C'est une fois de plus le triomphe de l'empirisme si fréquent dans les sciences appliquées.

On peut enfin conclure que l'emploi de la méthode de Haldane-Janet est légitime dans la pratique courante. Il faut pourtant prendre garde que cette méthode n'est qu'indirecte et qu'elle comporte un écart faible mais réel avec les mesures exactes auxquelles s'ajoutent les erreurs systématiques de calcul. A ces écarts s'ajoutent encore ceux qui proviennent de ce fait que le tableau de Janet ne donne les quotients réels qu'en fonction des quotients apparents croissant de 0,01 en 0,01 et néglige nécessairement les quotients apparents intermédiaires. Ces erreurs se retrouvent finalement dans la formule

$$O^{2} f. = \frac{CO^{2}}{Q.R.R.}$$

où elles entrent en quotient.

Si l'on veut obtenir des mesures absolument rigoureuses dans des recherches précises, il faut nécessairement employer la formule suivante :

$$O^2$$
 fixé  $0.760 \text{ Hg} = V_{t,p} \ (0.2648 \text{ N}_e - O_e^2) \ \frac{p}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha \text{ t}}$  ou plus simplement

$$O^2$$
 fixé  $0.760 \text{ Hg} = (0.2648 \text{ N}_e - O_e^2) 0.359 \frac{p}{T} \text{ V}_{t,p}$   
où p désigne la pression, T la température absolue, V le volume

des gaz recueillis à la pression p et à la température t et évalués en centaines de litres. Cette formule ramène les gaz à 0° 760 Hg.

Cette dernière formule est particulièrement commode lorsque l'expérience a été faite à des pressions atmosphériques anormales très hautes ou très basses pour lesquelles la correction ne se trouve pas dans les tables de Carpenter.

Remarquons pour terminer que l'emploi des méthodes de calcul direct ou indirect exige l'inspiration d'air atmosphérique. Ces deux méthodes sont en effet basées l'une sur des pourcentages de gaz atmosphériques exacts, l'autre sur des pourcentages inexacts mais sensiblement corrigés par deux erreurs opposées. Dans ce dernier cas, tout se passe néanmoins comme si la teneur en oxygène et azote atmosphériques était exacte, puis subissait la correction d'humidité. Si le sujet respire de l'air confiné, il faut établir les teneurs en O2 et en N2 de cet air, les ramener à siccité d'après le degré hygrométrique du lieu et appliquer la formule directe en remplaçant la constante Oi/Ni par sa valeur actuelle. L'emploi de la formule indirecte est alors très sujet à caution, car nous n'avons établi sa légitimité fortuite que pour des valeurs bien déterminées de Ni et Oi. On voit que l'inspiration d'air confiné exige en bonne logique des manipulations et des calculs très complexes. La méthode la plus simple comme la plus exacte consiste à faire inspirer au sujet de l'air atmosphérique.

Nous allons à présent considérer le calcul du gaz carbonique exhalé. Il faut observer, en effet, que même l'air atmosphérique contient 0,03 % de CO² déterminé à siccité. Il semble donc nécessaire de retrancher 0,03 du pourcentage de CO² exhalé. En réalité, comme les volumes d'air inspiré et expirés ne sont pas égaux, il est nécessaire d'opérer ici une correction identique à celle des pourcentages d'oxygène apparemment fixé. Nous avons développé plus haut ces considérations.

Nous pouvons écrire:

$$CO^2 \text{ réel } = CO^2_{\text{exhalé}} - CO^2_{\text{inspiré}}$$
 (1)

or 
$$CO^2$$
 exhalé =  $\frac{CO^2 \cdot Ve}{100}$  (2)

$$CO^2 \text{ inspiré} = \frac{0.03 \text{ Vi}}{100}$$
 (3)

comme 0,03 est établi en air sec, il faut que Vi représente un volume d'air sec.

On a, par ailleurs

rapport entre les volumes et les pourcentages d'azote en milieu sec et humide. On en tire la valeur de Vi sec que l'on porte dans (3). Tous calculs faits, on a :

$$CO_{\text{réel t,p}}^2 = \frac{Ve_{\text{t,p}}}{100} (CO^2 - \frac{Ne}{79,04} 0.03)$$

L'étude du quotient Nc/79,04 montre qu'il est toujours extrêmement voisin de 1. On peut donc, avec sécurité, prendre comme pourcentage exact de CO<sup>2</sup> la valeur (CO<sup>2</sup> — 0,03). Il suffit de ramener ensuite le volume à 0,760 Hg.

Nous possédons désormais tous les éléments d'un calcul exact de l'oxygène fixé et du gaz carbonique exhalé. Il n'est pas dans le but de cette critique d'étudier les conditions imposées au dosage de gaz eux-mêmes. Cette partie relève de l'examen matériel de chaque appareil. On trouvera d'ailleurs une étude de cette question dans le livre de Carpenter: « A comparison of méthods for determining the respiratory exchange of man ». De son côté, Plantefol a minutieusement étudié le problème et l'a résolu pratiquement dans les excellents appareils qui portent son nom. Nous n'insisterons que sur un seul point qui, dans la pratique, nous a paru d'un intérêt certain. Il s'agit de la détermination de l'oxygène du gaz expiré. Cet oxygène s'établit par l'équation :

$$O^2 = (CO^2 + O^2) - CO^2$$

On dose d'abord  $CO^2$ , puis après passage sur le phosphore ou le pyrogallol on lit la somme  $(CO^2+O^2)$ . Ceci fait deux lectures qui comportent chacune une erreur inévitable. Ces erreurs peuvent évidemment provenir d'un excès ou d'un défaut. Elles peuvent être de même sens ou de sens contraire. Si le terme supérieur de la différence soit  $(CO^2+O^2)$  présente une erreur absolue de +0.02 et si le terme inférieur, soit  $CO^2$ , comporte une erreur de -0.02, l'écart final sur le résultat, soit sur  $O^2$ , atteindra +0.04. Ceci est inadmissible. Si maintenant le terme supérieur comporte une erreur de -0.02 et l'inférieur

une erreur de +0,02, le résultat, sera trop faible de -0,04. Si l'une de ces erreurs est de + 0.02 et l'autre de + 0.01, l'erreur sur 0<sup>2</sup> sera encore de +0,03. Cette erreur est encore trop grande. La conclusion est qu'il ne faut accepter sur chaque dosage qu'une erreur maxima absolue de 0,01. Dans ces conditions, l'erreur maxima possible sur 02 expiré est de 0,02, ce qui est admissible. Il est évident que ces erreurs s'annulent au cas toujours ignoré, a priori, où elles sont toutes d sens. De ceci découle la nécessité de faire toujours deux dosages successifs d'un même gaz. Les résultats doivent être concordants à moins de 0,02 près. Nous négligerons à dessein les divers appareils de mesure directe de l'oxygène fixé par respiration d'oxygène pur. Leur sécurité est aléatoire. Ils sont aussi trompeurs que commodes. Nous écartons de même les calculs faits au moyen d'abaques et de barêmes. Ces méthodes ont une commodité clinique certaine, elles n'ont pas la rigueur scienti fique que nous cherchons ici.

#### CHAPITRE VIII

# DE LA COMPARAISON DE DEUX MESURES SUCCESSIVES DU MÉTABOLISME DE BASE

Nous terminerons ce travail par une courte étude critique de la manière de comparer deux métabolismes successifs. Déterminer le métabolisme de base, c'est, nous le savons, mesurer le nombre de calories éliminées par unité de surface et de temps. De là découle la définition des comparaisons. Comparer deux métabolismes, c'est déterminer la variation calorifique par unité de surface et de temps. Cette dernière unité étant la même dans tous les cas, la comparaison s'exprime algébriquement de la facon suivante:

a) En valeur absolue, soit :

b) En pourcentage de la première mesure :
$$100 \frac{C_2/S - C_1/S}{C_1/S} = 100 \frac{C_2 - C_1}{C_1}$$

où C2 et C1 désignent les calories de la deuxième et de la première mesure et S la surface.

Dans la pratique, les écarts de toute mesure d'avec la moyenne étant exprimés en pour cent de cette moyenne, on est très généralement tenté d'établir les différences des méta bolismes en différences des pourcentages. Tel métabolisme passant de +10 % à + 20 %, on dit qu'il a crû de 10 %. Cette façon de s'exprimer peut être sensiblement vraie ou radicalement fausse. Analysons les cas.

Si a<sub>1</sub>% et a<sub>2</sub>% sont les résultats de deux mesures établies

en pour cent de la moyenne suivant l'âge et le sexe, comparer ces mesures par simple différence des pourcentages s'écrit.

$$a_2\% - a_1\%$$

Si nous remplacons ces deux termes par leur valeur m repré sentant d'autre part la moyenne suivant lage et le sexe nous

$$a_{2}\% - a_{1}\% = 100 \frac{C_{2}/S - m}{m} - 100 \frac{C_{1}/S - m}{m}$$

$$= 100 \frac{C_{2}/S - m}{Sm}$$

et si nous appelons D la différence  $C_2$  —  $C_1$ , nous avons

$$a_2 \% - a_1 \% = 100 \frac{D}{Sm}$$

La différence des calories ne s'exprime donc plus alors par unité de surface sule, ce qui serait logique, mais encore par unité de moyenne, ce qui n'a aucun sens. Cette façon de s'exprimer est donc illogique et doit être abandonnée. Les seules méthodes rationnelles sont: ·

a) Établir la variation calorifique brute en fonction de la

première mesure calorifique sans tenir compte de la surface, soit 
$$\frac{C_2-C_1}{C_1} \hspace{1cm} (1)$$

- b) Établir la variation calorifique par unité de surface par rapport à la première mesure rapportée elle-même à la surface. Deux cas sont à considérer suivant que la surface est restée sensiblement constante ou a varié.
  - a) Si la surface est restée constante, on a :

$$100 \frac{C_2/S - C_1/S}{C_1/S} = 100 \frac{C_2 - C_1}{C_1}$$

On revient donc à la formule (1) et la variation calorifique s'établit en pour cent de la première mesure calorifique brute.

b) Si la surface varie, on a

arface varie, on a:
$$\frac{C_2/S_2 - C_1/S_1}{C_1/S_1}$$
(2)

(2)

(2)

(3)

(4)

(4)

(5)

(6)

Dans ce cas, il est impossible d'éliminer S du calcul et l'on a la variation calorifique par mètre carré par rapport à la première émission calorifique par mètre carré. Cette seconde formule est tout aussi logique que la première. Elle n'offre toutefois aucun avantage, ni théorique, ni pratique, et nous lui préférons la première beaucoup plus simple.

Il nous reste à déterminer à prèsent la différence des résultats de la méthode exacte et de l'inexacte.

Considérons le cas où la surface reste invariable. Le rapport du résultat inexact au résultat vrai s'écrit :

$$\frac{100 \text{ D/Sm}}{100 \text{ D/C}_1} = \frac{C_1}{\text{Sm}}$$

 $\frac{100~D/Sm}{100~D/C_1} = \frac{C_1}{Sm} \ .$  Ou encore, si on appelle  $Q_1$  le quotient 100 D/Sm et  $Q_2$  le quotient 100 D/C<sub>1</sub> on a:

$$Q_1 = Q_2 \quad \frac{C_1}{Sm}$$

Comme, en général, le rapport C<sub>1</sub>/Sm > 1 on en tire  $Q_1 > Q_2$ 

Donc, en général, le résultat inexact est supérieur au résultat exact.

Soit, par exemple, les cas 206 et 215, où le sujet présente une variation calorifique notable sans modification de la surface. La première mesure est de +29.2 % avec 82,89 calories, la deuxième est de +2,2 % avec 65,19 calories. La simple différence du pourcentage semble indiquer que le métabolisme s'est abaissé de -27 %. Le pourcentage exact est de -21,3 %.

Un autre exemple concerne les Nos 99 et 109. La surface reste la même. Les calories passent de 84,26 avec un métabolisme à +60.5 % à 79,97 avec un métabolisme à +51.2 %. La variation apparente du métabolisme est de -9,3 %. La variation réelle est de -5%. Il y a entre ces deux valeurs un écart voisin du simple au double. Cet écart relatif important ne peut toutefois avoir lieu que pour des écarts absolus assez peu élevés comme dans le cas présent. Prenons, par ailleurs, les cas 178 et 224 où le sujet conserve une surface invariée. Les calories sont d'abord de 67,64 avec -2,8 %, puis de78,4 avec +13,3 %. L'écart apparent est de +15,5 %. L'écart réel est +15,9 %. L'accord est alors pratiquement parfait entre les deux méthodes. Ceci tient seulement à cette circonstance fortuite que le rapport C<sub>1</sub>/Sm est alors sensiblement égal à 1. Il est inutile de multiplier les exemples.

Considérons le cas où la surface n'est plus la même pour la deuxième mesure que pour la première. Alors, la variation

apparente 
$$Q_1 = a_2\% - a_1\%$$
 s'écrit:  
 $Q_1 = a_2\% - a_1\% = \frac{100}{m} \left( \frac{C_2}{S_2} - \frac{C_1}{S_1} \right)$ 

Le rapport de la variation apparente  $Q_1$  à la variation vraie  $Q_2$ s'écrit alors:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_2 \ S_1 - C_1 \ S_2}{S_1 \ S_2 \ m} \cdot \frac{C_1}{C_2 - C_1}$$
Devant la complexité de la formule, il devient alors impossible

de dire a priori si la variation apparente est en général supérieure, égale, ou inférieure à la variation vraie.

Soit les cas Nos 113 et 166. Ici la surface varie chez un même sujet de 2m<sup>2</sup>03 à 1m<sup>2</sup>91. Les calories vont de 101,6 avec un métabolisme à +26.7%, à 79,9 avec un métabolisme à +5.8%. La variation apparente du métabolisme est de -20,9 %. La variation réelle est de -21 %. On a, dans ces cas, une équivalence parfaite des deux méthodes.

Soit encore les cas 44 et 83. La surface varie de 1m<sup>2</sup>93 à 1m<sup>2</sup>82. Les calories vont de 79,47 avec un métabolisme à +4,2 % à 72,28 avec un métabolisme à +0,5 %. La variation apparente est de -3,7 %. La variation réelle est de -9 %. Ces deux valeurs sont donc entre elles comme 1 est à 3. Des écarts relatifs aussi considérables ne peuvent avoir lieu, nous l'avons déjà fait remarquer, que pour des variations assez peu élevées du métabolisme.

Nous voyons donc que l'écart apparent des métabolismes peut parfois être identique à l'écart réel. Il en est plus souvent nettement différent. Cette différence peut être, dans certains cas, considérable. La seule méthode de comparaison simple et logique consiste dans l'application de la formule  $100 \ . \ \frac{C_2 \ - \ C_1}{C_1}$ 

$$100 \cdot \frac{C_2 - C_1}{C_1}$$

### CONCLUSIONS

Notre tâche critique est désormais terminée.

Nous avons successivement envisagé les principes mêmes du métabolisme de base et les fondements physico-physiologiques de la loi des surfaces, étudié les variations propres du facteur C, celles du facteur S, la légitimité du rapport C/S, proposé de plus un rapport nouveau  $\frac{C}{\sqrt{P.H}}$  et finalement critiqué les modes de calcul de l'oxygène fixé et du gaz carbonique exhalé. De ce long travail, nous dégagerons brièvement les quelques principes suivants :

La loi des surfaces restreinte à l'énoncé C/S = K ne présente et ne peut présenter d'exactitude mathématique rigoureuse dans les conditions ordinaires de la vie ni pour une même espèce ni entre les espèces.

Cette loi doit s'entendre à son sens newtonnien et être modifiée par l'introduction du facteur intensif y. Elle doit donc s'écrire :

$$\frac{C}{S (t-ta) \gamma} = K$$

Le raisonnement permet de prévoir pour l'organisme homéotherme un minimum de combustion et un point singulier thermique équivalent au point de neutralité thermique.

Ce point singulier n'est pas fixe. Il varie avec les dimensions du sujet étudié, son facteur intensif, le milieu d'expérience.

La thermogénèse ne peut pas être proportionnelle à la masse active des physiologistes.

La thermogénèse est nettement soumise à l'action de la surface pour de grandes variations de celle-ci.

La loi des surfaces restreinte à sa forme C/S = K est donc suffisamment vraie entre les espèces, mais seulement aux points singuliers propres à chaque espèce.

La thermogénèse, dont le niveau moyen est déterminé par

l'étendue de la surface pour une espèce donnée ne varie pas proportionnellement à cette surface *entre sujets voisins de cette espèce*.

La loi des surfaces restreinte à sa forme C/S = K est donc inexacte à l'intérieur d'une même espèce, même aux points singuliers propres à chaque individu de cette espèce.

La thermogénèse au cours de l'inanition est proportionnelle au poids à partir d'un certain degré d'amaigrissement, c'est-à-dire quand l'organisme est devenu physiquement homogène.

L'étude de la thermogénèse chez les sujets normaux de l'espèce humaine peut se faire *pratiquement* au moyen du rapport C/S en ne demandant toutefois à ce quotient aucune constance absolue et en se rapportant alors à un système de référence tel que celui de Aub et de Du Bois.

Nous proposons pour l'étude de la thermogénèse humaine un rapport nouveau  $\frac{C}{\sqrt{\operatorname{Poids} \times \operatorname{Taille}}}$  qui offre l'avantage d'écarter toute référence à la surface et toute mesure de celle-ci. L'emploi de ce nouveau rapport offre en pratique les mêmes avantages que les systèmes antérieurs. Les valeurs-étalons sont basées sur les courbes de fréquence. Les avantages de principe en sont grands.

La formule des surfaces des Du Bois peut être ramenée à une autre formule :  $S = \Lambda \sqrt{P_{OIdS} \times Taille}$ . Le coefficient de surface A varie en seus inverse de l'indice d'obésité.

Ce coefficient A permet de comparer entre elles les diverses méthodes directes de mesure de surface.

Il ressort des études que nous avons développées qu'il ne peut exister de formule de prédiction des surfaces corporelles qui comprenne en soi la généralité des cas.

L'oxygène fixé dans l'organisme et mesuré par la méthode des échanges gazeux est proportionnel au facteur intensif interne, aux facteurs morphologiques : poids, taille, au temps de contact des gaz avec l'alvéole pulmonaire et inversement proportionnel à l'air courant.

L'application du masque, nécessaire au recueil des gaz expirés, provoque un trouble notable de la respiration vérifié par notre méthode oscillométrique. Ce trouble peut affecter l'un des éléments : seuil, amplitude, fréquence, ou les trois à la fois. Ce trouble s'atténue progressivement et devient minimum au bout de 5 à 10 minutes.

L'oscillométrie permet de saisir le moment optimum du recueil des gaz.

L'étude des concentrations gazeuses en gaz carbonique exhalé et en oxygène fixé permet d'accepter ou de rejeter les résultats d'une épreuve.

Le calcul direct de l'oxygène fixé est préférable à tout autre. La méthode indirecte de Haldane-Janet est toutefois acceptable. La formule de Janet comporte une erreur d'approximation et une erreur vraie dite d'humidité. Toutefois, ces deux erreurs s'opposent et se compensent. L'analyse serrée que nous en avons faite permet de conserver le tableau empirique de Haldane-Janet. Les résultats fournis par ce tableau restent, en effet, exacts à 1 % près au plus.

La comparaison de deux métabolismes ne doit pas se faire par différence des pourcentages. L'erreur de cette méthode peut être souvent appréciable. Il faut établir la variation d'après la formule :

$$100 \cdot \frac{C_2 - C_1}{C_1}$$
.

Vu et approuvé : Lille, le 3 Juin 1932. Le Doyen de la Faculté des Sciences : MAIGE.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER : Lille, le 3 Juin 1932.

Pr le Recteur de l'Académie de Lille, Le Doyen délégué: MAIGE.

### **BIBLIOGRAPHIE**

- Aub et du Bois. Clinical calorimetry XIX. The basal metabolism of old men. Arch. int. med., 1917, t. XIX, p. 823, 831.
- BENEDICT F. 6. Basal métabolism data on normal men and women with some consideration on the use of prediction standards. Amer. journ. of physiol., 1928, t. LXXXV, p. 607-620.
- BENEDICT F. G. et C. G. BENEDICT. The influence of thermal environment upon basal metabolism. Science, 16 mai 1924, t. LIX, p. 417. (d'après Journ. amer. med. ass., 1924, t. LXXXII, p. 1785.
- BENEDICT F. G. et C. G. BENEDICT. The influence of thermal environment upon basal metabolisme. Science, 16 mai 1924, t. LIX, p. 417.
  - D'après Journ. amer. med. ass., 1924, t. LXXXII, p. 1785.
     Influence sur le métabolisme du milieu thermique ambiant.
     Bull. Soc. Hyg. alimentaire, t. XII, Nº 9.
- Bordier. Évaluation de la surface du corps de l'homme. Presse médicale, 8 mai 1929.
- BOUCHARD. C. R. Ac. Sc., 1897, p. 845.
- THORNE M. CARPENTER. A comparison of methods for determining the respiratory exchange of man. Carn. inst. Wash. publ. 1915, 216.
- DAUTREBANDE. La valeur du quotient respiratoire. Archiv. malad. app. dig., mars 1926, t. XVI, Nº 3.
- Du Bois E. et D. The meaurement of the surface area of man. Arch. int. med., 1915, XV, p. 868.
  - A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. — Arch. int. med., 1916, XVII, p. 863.
  - Further measurements of the surface area, of adults and children. Arch. int. med., 1916, XVII, p. 855.

- FAILLIE. Mesure de la surface de l'homme et de la femme. Journ. physio. et Path. génér., 1924, t. XXII, et Bull. Ac. med., 3° série, 1924, t. XCI.
- GONDARD. Métabolisme basal dans le diabète. Th. Montpellier, 1930.
- HALDANE. Methods of air analysis, 3e éd., 1920.
- HARRIS et BENEDICT. A biométric study of basal metabolism in man. Carn. Instit. Wash. publ., 1919, No 279.
- JANET. Le métabolisme en clinique. Th. Paris, 1922, Nº 230.
- HÉDON I. Valeur comparée du calcul de la dépense d'énergie par unité de poids et par unité de surface, d'après quelques résultats expérimentaux. — Journ. Méd. Français, juin 1923.
- LABBÉ et STÉVENIN. Le métabolisme basal. Masson, 1929.
- LANIEZ G. Sur un nouveau dispositif de mesure de l'amplitude costale. Soc. Biol., 19 mars 1928.
  - Sur une erreur systématique dans la détermination du métabolisme de base. - - Soc. biol., 18 novembre 1929.
  - Influence de la correction d'humidité sur le résultat du métabolisme de base. Soc. Biol., 18 novembre 1929.
  - Les variations du taux de l'oxygène fixé et du gaz carbonique éliminé.
     Soc. Biol., 9 décembre 1929.
  - Variation des pourcentages de gaz carbonique éliminé et d'oxygène fixé en fonction de l'air courant et de la fréquence respiratoire.
     Soc. Biol., 13 janvier 1930.
  - -- De l'influence du métabolisme de base sur la ventilation pulmonaire et les taux d'élimination de gaz carbonique et de fixation d'oxygène. — Soc. Biol., 11 février 1930.
  - Le rapport des calories à la racine carrée du produit :
     Poids × Taille est équivalent au métabolisme de base.
     Soc. Biol., 11 mai 1930.
  - Une nouvelle formule de détermination de la surface corporelle.
     Soc. Biol., 7 juillet 1930.
  - Détermination de la surface corporelle en fonction du poids, de la taille et de l'indice d'obésité.
     Soc. Biol., 8 décembre 1930.
  - Contrôle respiratoire et métabolisme de base. Soc. Biol.,
     janvier 1931.

- D'une constante propre à chaque méthode dans la détermination expérimentale de la surface du corps humain.
   Soc. Biol., 9 mars 1931.
- LE BRETON. Recherches sur la notion de « masse protoplasmique active ». Ann. de physiol. et de physicochimie biol., t. II, Nº 5, p. 606 645.
- LEFÈVRE J. Chaleur animale et bioénergétique. Masson, 1911 et in *Traité de Physiologie*, de ROGER et BINET, Masson, 1931.
- PLANTEFOL. Appareil pour le dosage de l'acide carbonique et de l'oxygène de l'air. Bull. Soc. Chim. Biol., 1925, t. VII, Nº 5 et 6.
- RICHET. La chaleur animale, Paris, 1889. Dictionnaire de Physiologie, Paris, 1898.
- RUBNER. Zeitschr. f. Biol., 1889, t. XIX.
- Roussy. Bull. Ac. med., 1er et 8 juillet 1924, t. XCII.
- STÉVENIN. Le métabolisme basal à l'état physiologique. Biologie médicale, janvier 1931.
- Terroine et Zunz. Le métabolisme de base. Presses Universitaires, 1925.

Nous limitons scienment cette bibliographie aux principaux ouvrages que nous avons consultés. Une bibliographie complète du métabolisme de base réclamerait un volume entier. Elle serait d'ailleurs ici hors de sujet. On trouvera facilement dans les travaux cités toutes les références nécessaires.

## TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Préliminaires	7
PREMIERE PARTIE. — La loi des surfaces chez les homéothermes	9
CHAPITRE PREMIER. — Critique de la loi des surfaces chez les homéothermes	9
Etude d'un système autothermique, isothermique et autorégulateur	16
Chapitre II. — Des conditions de fonctionnement d'un système parfait autoisothermique et autorégulateur.	32
Chapitre III. — De deux erreurs : neutralité thermique physique et absence d'action de la surface au point	
singulier	34
CHAPITRE IV. — Comparaison des données rationnelles et des faits d'expérience	42
CHAPITRE V. — Etude du facteur intensif	44
CHAPITRE VI. — Etude critique du point singulier chez les organismes homéothermes	47
CHAPITRE VII. — La loi des surfaces en dehors des points singuliers	53
Chapitre VIII. — Application de la loi des surfaces à des sujets de même espèce	55
Chapitre IX. — Application de la loi des surfaces chez un même sujet	59
Chapitre X. — Applications pratiques	69
1º Comparaison de deux sujets entre eux ou	00
d'un sujet aux tables de référence	69
2º Comparaison d'un sujet à lui-même	73
DEUXIEME PARTIE. — Critique des méthodes	77
Chapitre Premier Etablissement d'un système de référence des calories à d'autres grandeurs que la	
surface	77

	Pages
CHAPITRE II. — D'une nouvelle formule de la surface corporelle en fonction du poids, de la taille et de l'indice d'obésité	107
Chapitre III. — Expression et limites du volume corporel en fonction de la taille à partir de la formule des surfaces de Du Bois et de la nôtre	122
Chapitre IV. — Du coefficient de surface A considéré comme caractéristique de chaque méthode directe de mesure des surfaces corporelles	126
Chapitre V. — Les causes de variation des pourcentages d'oxygène fixé et de gaz carbonique exhalé au cours de la détermination du métabolisme de base	141
Chapitre VI. — Contrôle respiratoire et métabolisme de base	150
Chapitre VII. — Les diverses méthodes de calcul de l'oxygène fixé dans l'épreuve du métabolisme de base.	157
Chapitre VIII. — De la comparaison de deux mesures successives du métabolisme de base	174
Conclusion	178
Bibliographie	181