

ÉLÉMENTS

DE

PHYSIOLOGIE HUMAINE

ÉLÉMENTS

DE

PHYSIOLOGIE HUMAINE

A L'USAGE

DES ÉTUDIANTS EN MÉDECINE

PAR

LÉON FREDERICQ ET J. P. NUEL

PROFESSEURS A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE

AVEC DE NOMBREUSES FIGURES INTERCALÉES DANS LE TEXTE

QUATRIÈME ÉDITION

REVUE ET CORRIGÉE

GAND
AD. HOSTE, ÉDITEUR

Rue des Champs, 47

PARIS
G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Boulevard St-Germain, 120

IMPRIMERIE C. ANNOOT-BRAECKMAN, AD. HOSTE, SUCC^r. A GAND

1899



AVANT-PROPOS.

Ce livre s'adresse spécialement à nos élèves ; nous avons cherché à leur donner sous une forme concise un tableau de l'état actuel de la physiologie.

Les *éléments de physiologie* ne sont pas une œuvre de collaboration dans le sens strict du mot. Chacun de nous a traité d'une façon tout à fait indépendante la partie qui lui était échue, et revendique par conséquent la responsabilité exclusive des opinions qu'il émet.

Voici comment la matière a été partagée.

M. LÉON FREDERICQ a rédigé les chapitres qui se rapportent aux fonctions de nutrition : *introduction, sang, circulation, respiration, chaleur animale, digestion, nutrition, sécrétion urinaire*, ainsi que la *physiologie générale des nerfs et des muscles*. La physiologie spéciale des *systèmes musculaire et nerveux*, celle des *organes des sens* et de la *génération*, sont l'œuvre de M. J. P. NUEL.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES.

	Pages.
INTRODUCTION.	1
Physiologie	1
Organisme vivant	1
Nature de l'activité des êtres vivants	2
Animaux et plantes	4
Éléments histologiques	7
CHAPITRE I. — COMPOSITION CHIMIQUE DU CORPS DE L'HOMME ET DES ANIMAUX.	9
I. SUBSTANCES INORGANIQUES	11
II. SUBSTANCES ORGANIQUES	12
Section I. Corps gras non azotés	12
» II. Corps gras azotés	15
» III. Corps aromatiques	18
» IV. Matières colorantes	19
» V. Matières protéïques	19
Matières albuminoïdes vraies	20
Réactions générales des matières albuminoïdes	23
Protéïdes	27
Albumoïdes	28
Ferments	28
CHAPITRE II. — LE SANG.	32
I. PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES	32
Signification	32
Propriétés du sang	33
Tableau de la composition chimique du sang	34
II. COAGULATION DU SANG	35
Fibrine	35
Cause de la coagulation	36
Ferment de la fibrine	37
Fibrinogène	38
Conditions de la coagulation	41
Cause de la fluidité du sang contenu dans les vaisseaux	42
Rôle de la coagulation du sang	43
III. SÉRUM SANGUIN	44
Paraglobuline	44
Albumine	45
IV. GLOBULES ROUGES	46
Hémoglobine et Oxyhémoglobine	47
Combinaisons avec l'oxygène	51
Méthémoglobine	53
Autres combinaisons de l'hémoglobine	53
Dérivés de l'hémoglobine : Hématine	54
Hématoporphyrine	54
Hématoidine	54
V. ANALYSE DU SANG	55
Dosage de l'hémoglobine	55
Quantité totale du sang	5

	Pages.
Proportion de plasma et de globules	56
Proportion de substances albuminoïdes, de matières extractives, de sels, etc. du sang	56
VI. TRANSFUSION DU SANG ET SAIGNÉE	57
VII. GAZ DU SANG ARTÉRIEL ET DU SANG VEINEUX	58
Pompe à mercure	59
Analyse des gaz	62
VIII. LYPHME ET CHYLE	63
IX. SANG ET LYPHME DES ANIMAUX INVERTÉBRÉS	65
CHAPITRE III. — CIRCULATION DU SANG	67
Idée générale de la circulation	67
Historique	68
I. MÉTHODE GRAPHIQUE	69
Courbes graphiques	69
Appareils enregistreurs	70
Transmission des mouvements à distance	73
Inscription du temps et contrôle de la vitesse des appareils enregistreurs	75
Inscription photographique	77
II. CIRCULATION CARDIAQUE	78
Rythme du cœur	78
Procédés pour l'étude du mécanisme du cœur	82
Cardiographes	83
Choc du cœur	86
Variations de volume du cœur	88
Bruits du cœur	89
Débit du ventricule gauche et travail du cœur	89
Nombre de pulsations cardiaques	90
III. PRINCIPES D'HYDRAULIQUE SERVANT DE BASE A L'ÉTUDE DE LA CIRCULATION DANS LES VAISSEAUX	91
Mouvement uniforme des liquides dans les tubes rigides	91
Mouvement intermittent des liquides dans les tubes rigides	92
Mouvement intermittent des liquides dans les tubes élastiques	93
Onde pulsatile	94
Onde secondaire	95
Schéma de la circulation	95
IV. CIRCULATION ARTÉRIELLE	96
Pouls	96
Vitesse de propagation de l'onde du pouls	100
Pression artérielle moyenne et manomètre à mercure	101
Variations rapides de la pression et manomètres élastiques	104
Mesure de la pression artérielle chez l'homme	105
Influence qui modifient la pression artérielle moyenne	105
Vitesse du sang dans les artères	106
V. CIRCULATION DANS LES CAPILLAIRES	108
Observation	108
Vitesse du courant	109
Pression	110
Elasticité. Contractilité	110
Variations de volume des organes sous l'influence de la circulation	110

	Pages.
VI. CIRCULATION VEINEUSE.	111
Direction.	111
Cause	111
Pression	113
Vitesse.	113
Pouls veineux.	114
Circulation de la veine porte	114
VII. VUE D'ENSEMBLE DES CONDITIONS MÉCANIQUES DE LA CIRCULATION.	115
Pression et vitesse du sang qui circule dans les vaisseaux.	115
Durée totale de la circulation.	116
VIII. INNERVATION DU CŒUR.	117
A) PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DU MUSCLE CARDIAQUE ET DES CENTRES NER- VAUX INTRA-CARDIAQUES	117
Cœur de grenouille	117
Propriétés du muscle cardiaque isolé de ses nerfs et de ses ganglions.	118
Ganglions du cœur de grenouille.	119
Cœur des mammifères	120
Nature de la systole cardiaque	122
B) ACTION DU SYSTÈME NERVEUX CENTRAL SUR LES PULSATIONS DU CŒUR.	122
Nerfs modérateurs du cœur	122
Tonus des nerfs d'arrêt du cœur.	124
Nerfs accélérateurs du cœur	125
IX. INNERVATION DES VAISSEAUX.	126
A) ARTÈRES.	126
Nerfs et centres vaso-constricteurs	126
Nerfs et centres vaso-dilatateurs	129
Activité des centres vaso-moteurs	130
Rôle physiologique des nerfs vaso-moteurs.	132
B) VEINES ET CAPILLAIRES	134
Veines	135
Capillaires.	134
Lymphatiques.	135
CHAPITRE IV. — RESPIRATION	136
I. PHÉNOMÈNES MÉCANIQUE DE LA VENTILATION PULMONAIRE	137
Ventilation pulmonaire.	137
Inspiration.	137
Expiration	140
Mouvements du poulmon.	140
Murmure vésiculaire et souffle bronchique.	141
Elasticité pulmonaire et vide pleural	141
Schéma de la ventilation pulmonaire.	143
Respiration artificielle	143
Enregistrement des mouvements respiratoires.	144
Rythme respiratoire.	146
Fréquence des mouvements respiratoires	147
Types respiratoires	147
Effet utile des mouvements respiratoires	148
Actes respiratoires modifiés	149
II. PHÉNOMÈNES CHIMIQUES DE LA VENTILATION PULMONAIRE.	150
Air inspiré.	150
Analyse de l'air atmosphérique	150

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES.

	Pages.
Air expiré	151
Valeur des échanges respiratoires.	152
Respiration cutanée.	157
Enduits cutanés	159
III. THÉORIE CHIMIQUE DE LA RESPIRATION.	160
Respiration pulmonaire.	160
Oxygène.	162
Anhydride carbonique	163
Respiration des tissus	166
Quotient respiratoire.	166
IV. INFLUENCES QUI MODIFIENT LES PHÉNOMÈNES CHIMIQUES DE LA RESPIRATION.	167
Espèce animale	167
Taille, âge, sexe	168
Digestion.	168
Exercice musculaire.	168
Sommeil.	169
Lumière.	169
Température	169
Nombre et profondeur des mouvements respiratoires.	169
Tension de l'oxygène.	171
Tension de l'anhydride carbonique	171
Tension de l'azote.	171
V. INNERVATION DES MOUVEMENTS RESPIRATOIRES	172
Centres respiratoires.	174
Centres respiratoires accessoires	174
Automatisme des centres respiratoires	175
Excitant normal des centres respiratoires.	176
Dyspnée.	177
Asphyxie.	178
Apnée.	179
Cause du premier mouvement respiratoire.	180
Influence des nerfs périphériques sur les centres respiratoires.	180
Excitation du pneumogastrique	183
Section des pneumogastriques	184
Section des récurrents	184
VI. INFLUENCE DE LA RESPIRATION SUR LA CIRCULATION	184
Circulation veineuse.	185
Circulation cardiaque	185
Circulation pulmonaire.	185
Circulation artérielle	185
CHAPITRE V. — CHALEUR ANIMALE	188
Animaux à sang froid; animaux à sang chaud.	188
Influence de la température.	189
I. THERMOMÉTRIE	191
Mesure de la température	193
Topographie de la température	195
Variations de la température interne sous l'influence du froid.	195
Chaleur extérieure	196
Exercice musculaire.	196

	Pages.
Alimentation	196
Activité intellectuelle	196
Fièvre, Poisons	196
Age, Sexe, Race	197
Variations diurnes	197
II. CALORIMÉTRIE	198
Méthodes directes, Calorimètres	198
Méthodes indirectes	199
Chaleur produite	201
Chaleur et travail	202
III. RÉGULATION DE LA TEMPÉRATURE	202
Lutte consciente contre le froid	203
Lutte inconsciente contre le froid	203
Augmentation dans la production de chaleur	203
Lutte inconsciente contre le froid, par diminution dans les pertes de chaleur	205
Lutte inconsciente contre les causes d'échauffement	205
Accélération de la circulation cutanée	207
Sécrétion de la sueur	207
Accélération de la respiration	210
Résumé	211
CHAPITRE VI. — DIGESTION.	212
I. ALIMENTS	213
Ration alimentaire	213
Lait	214
Œufs	217
Faim et soif	217
Inanition	218
II. SALIVE	219
Propriétés	219
Rôle de la salive	221
Sécrétion salivaire	222
Influence du système nerveux	224
III. SUC GASTRIQUE	226
Procédés opératoires	226
Propriétés du suc gastrique	227
Action du suc gastrique sur les aliments	230
Formation de l'acide chlorhydrique et de la pepsine dans les glandes stomacales	231
Sécrétion du suc gastrique	233
Formation du mucus stomacal	235
Pourquoi l'estomac ne se digère-t-il pas lui-même?	235
Extirpation de l'estomac	236
IV. BILE	236
Procédés opératoires	236
Propriétés	236
Action de la bile sur les aliments	239
Sécrétion de la bile	241
V. SUC PANCRÉATIQUE	243
Fistule pancréatique	243
Propriétés du suc pancréatique	242

	Pages.
Trypsine et zymogène	245
Sécrétion pancréatique	246
Sécrétion interne du pancréas	247
VI. SUC INTESTINAL	247
Fistule intestinale	247
Propriétés du suc intestinal	248
Excréments	249
Méconium	249
VII. MOUVEMENTS DU TUBE DIGESTIF	249
Mastication	250
Déglutition	252
Bruit de la déglutition	252
Mouvements de l'estomac	253
Vomissement	254
Rumination	254
Mouvements de l'intestin	255
Défécation	256
VIII. ABSORPTION	256
Mécanisme de l'absorption	258
Absorption gastrique et intestinale	261
Absorption à la surface des muqueuses	262
Absorption à la surface des séreuses	262
Absorption par la peau	262
Absorption par le tissu cellulaire sous cutané et par le derme dénudé	262
CHAPITRE VII. — ASSIMILATION ET DÉSASSIMILATION.	264
I. GRAISSES	264
Propriétés des graisses	264
Origine de la graisse du corps. Formation aux dépens de la graisse des aliments	265
Formation de la graisse aux dépens des féculents	266
II. SUBSTANCES HYDROCARBONÉES	268
Glycogène	269
Fonction glycogénique du foie	271
Diabète ou glycosurie	272
Alimentation riche en féculents	273
III. SUBSTANCES ALBUMINOÏDES	273
Valeur nutritive des peptones	274
Méthode pour établir le bilan de l'albumine	275
Destruction des albuminoïdes dans le corps	277
Théorie de la consommation de luxe et de l'albumine circulante	278
Rôle de l'oxygène	280
Résumé	280
IV. RÔLE DU FOIE ET DES ORGANES LYMPOÏDES DANS LA NUTRITION	280
Foie	282
Rate	283
Corps thyroïde	285
Capsules surrénales	286
Appendice	287
CHAPITRE VIII. — SÉCRÉTION URINAIRE.	287
I. URINE	287
Propriétés générales	287

	Pages.
Toxicité de l'urine humaine	289
Urée.	289
Acide urique	292
Créatinine	295
Acide hippurique.	295
Acides aromatiques de l'urine	296
Matières colorantes et chromogènes	297
II. SÉCRÉTION URINAIRE	299
Rôle des cellules glandulaires	299
Excrétion de l'urée et de l'acide urique	302
Formation de l'acide hippurique	303
Le rein considéré comme appareil de filtration.	303
Influence de la circulation rénale.	304
Influence de la composition du sang	305
Influence du système nerveux	306
III. EXPULSION DE L'URINE	306
CHAPITRE IX. — PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE DES MUSCLES	308
I. EXCITANTS DE LA CONTRACTILITÉ MUSCULAIRE.	309
Excitants naturel et artificiel des muscles	309
Excitants mécaniques, chimiques, thermiques et lumineux.	310
Excitant électrique. Action du courant constant	310
Influence de l'intensité de l'excitation	313
Addition latente	313
Électrotonus physiologique.	313
L'excitation de fermeture naît au pôle négatif, celle de rupture naît au pôle positif	313
Excitation par des courants très brefs ou par des chocs d'induction.	314
Excitations répétées	316
Excitabilité propre du tissu musculaire.	317
Empoisonnement par le curare.	317
II. PHÉNOMÈNES MICROSCOPIQUES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE.	318
Structure de la fibre musculaire striée	318
Image microscopique de la fibre contractée	319
III. PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE	320
Propriétés mécaniques des muscles	320
Analyse de la secousse musculaire au moyen du myographe. Courbe du raccourcissement du muscle.	321
Courbes isotoniques et isométriques	324
Influences qui modifient la longueur et la hauteur de la courbe myo- graphique	325
Durée de la période latente.	325
Volume du muscle.	325
Onde musculaire.	326
Excitations répétées du muscle.	327
Discontinuité de la contraction tétanique.	329
La contraction musculaire normale est un tétanos.	329
Degré du raccourcissement.	330
Force de muscle.	331
Travail du muscle	331
IV. PHÉNOMÈNES THERMIQUES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE	332
Chaleur produite pendant la contraction.	332
Influences qui modifient la quantité de chaleur produite pendant la contraction	332
Le muscle est-il un moteur thermique?	333

	Pages.
Coefficient d'utilisation de l'énergie chimique dans le moteur vivant.	334
V. PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE	334
Courant propre du muscle.	336
Variation négative. Courant d'action.	336
Contraction secondaire.	337
VI. PHÉNOMÈNES CHIMIQUES ET CONDITIONS DE LA VIE DES MUSCLES	337
Tableau de la composition chimique des muscles striés.	338
Plasma musculaire.	339
Rigidité cadavérique.	339
Nature du combustible musculaire.	340
Nature chimique de la fatigue musculaire.	340
Fatigue subjective. Nerfs sensibles des muscles.	341
Influences agissant sur la nutrition des muscles.	342
VII. APPENDICE	342
Mouvements du protoplasme. Cils vibratiles. Mouvement Brownien.	342
CHAPITRE X. — PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE DES NERFS	345
I. EXCITABILITÉ DES NERFS	345
Excitants des nerfs.	345
Excitation électrique des nerfs.	346
Excitants des nerfs centripètes et centrifuges.	346
Le nerf est-il également excitable dans tout son parcours.	346
Energie spécifique des nerfs.	347
Excitants adéquats des nerfs.	348
Rapport entre l'intensité de l'excitant et celle de l'excitation.	348
L'excitation nerveuse de fermeture naît au pôle négatif, celle de rupture naît au pôle positif.	348
Electrotonus. L'excitabilité nerveuse et la conductibilité sont augmentées au pôle négatif, diminuées ou supprimées au pôle positif, pendant le passage du courant constant.	350
Loi des secousses.	351
II. CONDUCTIBILITÉ DES NERFS	351
La conductibilité nerveuse exige l'intégrité anatomique et la continuité du nerf.	351
Pistolet électrique de du Bois-Reymond.	352
Chaque fibre nerveuse est isolée au point de vue de la conductibilité.	352
La conductibilité nerveuse s'exerce indifféremment dans les deux sens.	353
Vitesse de propagation de l'influx nerveux.	355
Excitabilité et conductibilité.	356
III. PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES	356
Courant propre du nerf.	357
Courant axial.	357
Électromètre capillaire.	358
Boussole de Wiedemann.	359
Électrodes impolarisables.	360
Variation négative ou courant d'action du nerf.	361
Electrotonus physique.	363
IV. CONDITIONS DU FONCTIONNEMENT DU TISSU NERVEUX	363
Composition chimique.	364
Influence de la circulation. Anémie expérimentale.	365
Survie du nerf après sa section.	366
Régénération des nerfs après section et dégénérescence.	367
Les nerfs sont infatigables.	368
APPENDICE	368
Poissons électriques.	368

	Pages.
CHAPITRE XI. — PHYSIOLOGIE SPÉCIALE DES MUSCLES . . .	369
1 ^{re} Section. — MÉCANIQUE DU SQUELETTE ET LOCOMOTION	369
I. Articulations	370
II. Modes d'attache des muscles	372
III. Station	375
IV. Marche. Course	377
V. Rôle de la sensibilité dans la station, la marche, la course, etc. et dans les mouvements des extrémités	379
VI. Mouvements volontaires.	380
2 ^{me} Section. — PHONATION	380
Anatomie. Squelette cartilagineux du larynx	380
I. Mouvements exécutés par les cordes vocales lors de la phonation, et forces motrices qui les produisent	382
II. Innervation des muscles de la glotte.	388
III. La parole.	389
A. Voyelles	389
B. Consonnes	394
(Annexe): Mouvements des cils vibratiles	394
CHAPITRE XII. — PHYSIOLOGIE DES CENTRES NERVEUX . . .	396
CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.	369
Modifications fonctionnelles des neurones	401
Changements chimiques dans les cellules nerveuses.	401
Excitabilité des neurones centraux	402
Rôle nutritif, trophique, du corps de la cellule nerveuse	402
1 ^{re} Section. — MOELLE ÉPINIÈRE. Aperçu anatomique	404
Sort des racines spinales dans la moelle	404
Substance grise et blanche de la moelle.	405
Fibres longitudinales de la moelle	406
Arrangement systématique des fibres de la moelle	407
Fonctions fondamentales de la moelle épinière	409
La moelle épinière comme conducteur des innervations conscientes	410
Schémas histologiques des innervations conscientes	414
Centres nerveux réflexes de la moelle	417
Irradiations des réflexes.	419
Caractère intentionnel des mouvements réflexes	419
Différents centres réflexes dans la moelle. Centres réflexes de divers ordres	422
Automatisme de la moelle. Tonus musculaire.	423
Réflexes médullaires sur les organes viscéraux	425
Tonus des sphincters.	425
La moelle comme conducteur d'innervations réflexes	426
Vitesse de l'influx nerveux dans la moelle	427
Théorie atomique des réflexes médullaires	427
Nerfs excito-moteurs	429
2 ^{me} Section. — MOELLE ALLONGÉE ET MÉSOCÉPHALE	430
Anatomie.	430
Étage dorsal. Substance grise	430
Étage ventral. Substance blanche.	432

	Pages.
IX. Alexie ou cécité verbale.	490
X. Cécité de l'âme.	491
XI. Sommeil et états analogues. Rêves. Magnétisme animal ou hypno- tisme	492
XII. Nutrition du système nerveux central. Liquide encéphalo-rachi- dien. Vascularisation du cerveau	493
XIII. Signes chimiques de l'activité cérébrale.	497
XIV. Phénomènes électriques de l'activité cérébrale	498

CHAPITRE XIII. — PHYSIOLOGIE SPÉCIALE DES NERFS PÉRI- PHÉRIQUES.

I. Nerfs centripètes	499
II. Nerfs centrifuges	500
A. NERFS SPINAUX.	501
I. Loi de Ch. Bell	501
II. Sensibilité récurrente	502
III. Senso-motricité	503
IV. Nerfs spinaux	503
V. Nerf grand sympathique.	504
B. NERFS CRANIENS	506
I. Nerf olfactif	507
II. Nerf optique	507
III. Nerf oculo-moteur commun.	507
IV. Nerf pathétique	508
V. Nerf trijumeau; kératite neuro-paralytique.	508
VI. Nerf oculo-moteur externe	511
VII. Nerf facial	511
VIII. Nerf acoustique	512
IX. Nerf glosso-pharyngien	512
X et XI. Nerf vague ou pneumogastrique et nerf spinal	513
XII. Nerf grand hypoglosse	516

CHAPITRE XIV. — ORGANES DES SENS.

I. Introduction	517
II. Relations entre nos sensations et les agents extérieurs qui les pro- voquent. Loi psycho-physique	519
ORGANE VISUEL	522
A. SENSATIONS VISUELLES	522
I. Excitation de l'appareil nerveux visuel par différents agents exté- rieurs	522
II. Division des sensations lumineuses. Qualités des sensations lumi- neuses.	523
III. Cercle chromatique de Newton.	526
IV. Méthodes pour mélanger les couleurs.	527
V. Théorie des sensations visuelles de Young-Helmholtz.	528
VI. Sensations chromatiques dans la périphérie du champ visuels.	530
VII. Dyschromatopsie. Daltonisme	531
VIII. Manière dont se développe l'état d'excitation de l'appareil nerveux optique.	534
IX. Disques rotatifs.	535
X. Images consécutives ou accidentelles.	536

	Pages.
XI. Contraste lumineux simultané	537
XII. Irradiation	538
XIII. Sensibilité de la rétine à des différences d'éclairage	539
XIV. Adaptation de la rétine. Seuil de la sensation	540
XV. Quel est l'élément rétinien impressionné par la lumière?	540
XVI. Phénomènes intimes qui se passent dans les cônes et dans les bâtonnets sous l'influence de la lumière. Phénomènes électriques de la rétine	543
XVII. Différence fonctionnelle entre les cônes et les bâtonnets	545
B. VISION OU JUGEMENTS VISUELS.	546
DIOPTRIQUE	547
Théorie des lentilles	547
Indice de réfraction	548
Marche de la lumière à travers les lentilles.	550
Formation des images dans les lentilles sphériques	552
Évaluation de la force réfringente des lentilles.	553
DIOPTRIQUE DE L'ŒIL	553
I. Première orientation.	554
II. Surfaces et milieux réfringents de l'œil.	554
III. Constantes optiques de l'œil	556
ACCOMMODATION	55
I. Preuves de l'accommodation dans l'œil	556
II. Changements survenant dans les milieux transparents lors de l'accommodation.	559
III. Mécanisme de l'accommodation. Rôle du muscle ciliaire.	560
IV. Théorie de Tscherning sur le mécanisme de l'accommodation	561
V. Amplitude de l'accommodation ou pouvoir accommodateur. Terrain d'accommodation	562
VI. Accommodation suivant les âges	563
ACUITÉ VISUELLE	566
CHAMP VISUEL. <i>Punctum cecum</i>	569
AMÉTROPIE. ANOMALIES DE LA RÉFRACTION.	569
I. Emmétropie, myopie, hypermétropie.	571
II. Évaluation de l'amétropie	572
III. Accommodation dans les trois états de réfraction statique	574
ASTIGMATISME	574
I. Astigmatisme régulier	577
II. Astigmatisme irrégulier.	577
VISION ENTOPHIQUE	579
OPHTHALMOSCOPIE	582
MOUVEMENTS DE L'ŒIL	584
Innervation des mouvements de l'œil.	585
VISION PROPREMENT DITE	586
I. Champ visuel binoculaire. Points rétiens correspondants. Horoptère.	586
II. Vision droite avec des images rétiennes renversées.	589
III. Observations d'aveugles de naissance ayant acquis la vision plus tard, à la suite d'une opération	590

	Pages.
ÉLÉMENTS SENSORIELS SUR LESQUELS SONT BASÉS NOS JUGEMENTS VISUELS	591
IV. Appréciation de deux dimensions	591
V. Appréciation de la troisième dimension. Stéréoscope	591
VI. Vision monoculaire	595
MOUVEMENTS DE L'IRIS	596
NUTRITION DE L'ŒIL. PRESSION INTRA-OCULAIRE	598
Particularités de la circulation et de la nutrition de l'œil	598
ORGANES DE PROTECTION DE L'ŒIL. Mouvement des paupières. Larmes	600
ORGANE AUDITIF.	601
RAPPEL DE QUELQUES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU SON.	602
Réflexion du son.	602
Transmission du son à travers les solides	602
Représentation graphique des ondes sonores	602
Résonance.	606
Analyse des sons.	607
MARCHE DES ONDES SONORES DANS L'APPAREIL ACOUSTIQUE. TRANSMISSION	
DU SON A LA TERMINAISON DU NERF ACOUSTIQUE.	608
Pavillon de l'oreille	608
Conduit auditif externe	608
Membrane du tympan.	608
Osselets de l'ouïe	609
Muscle du marteau et muscle de l'étrier	610
Transmission des ondes sonores à travers les os de la tête	611
Trompe d'Eustache.	612
Oreille interne (anatomie)	612
Marche des ondes sonores dans l'oreille interne.	614
SENSATIONS ACOUSTIQUES.	616
Qualités de nos sensations acoustiques	616
JUGEMENTS ACOUSTIQUES.	621
Jugements sur le temps	621
Jugements sur l'espace, la direction et la distance	621
ORGANE OLFACTIF	622
ORGANE DU GOÛT	623
SENS DU TOUCHER	626
Sensations de contact, de pression, ou sensations tactiles proprement	
dites	627
Jugements tactiles ou sensations de localisation.	628
SENSATIONS DE TEMPÉRATURE	629
SENSATIONS DE DOULEUR. SENSIBILITÉ GÉNÉRALE.	630
SENS MUSCULAIRE. SENS DE L'ÉQUILIBRE. SENSATIONS DES	
INNERVATIONS MOTRICES (sensations d'innervation).	632
CHAPITRE XV. — FONCTIONS DE GÉNÉRATION OU DE REPRO-	
DUCTION	636
I. Différents modes de reproduction	636
II. Puberté	637
III. Puberté chez l'homme	637
IV. Sperme	637
V. Puberté chez la femme	638

VI. Menstruation	639
VII. Ovulation	639
VIII. Corps jaune.	641
IX. Ménopause	641
X. Érection de la verge	642
XI. Copulation et éjaculation du sperme	643
XII. Imprégnation de l'ovule. Fécondation proprement dite	646
XIII. Héritéité.	648
XIV. Hybridation.	648
XV. Parthénogénèse.	648
XVI. Grossesse gémellaire. Superfétation	649
XVII. Détermination du sexe	650
XVIII. Hermaphroditisme.	650
XIX. Expulsion du fœtus ou accouchement.	650
XX. Sécrétion du lait et lactation	650

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

PRINCIPAUX OUVRAGES DE PHYSIOLOGIE.

BIBLIOGRAPHIE.

Voir l'article *Bibliographie* du *Dictionnaire de Physiologie*, Paris, 1896, T. II, p. 95-137, de RICHET.

On consultera avec fruit :

A. HALLER (*Elementa physiologiae*, Lausanne, 1760), pour la bibliographie physiologique ancienne ; HERMANN (*Handbuch der Physiologie*, en six volumes, 1879-1883), pour les travaux antérieurs à 1879, et CH. RICHET (*Dictionnaire de Physiologie*, Paris, 1895-96-97. — Les lettres A-B-C ont paru), outre les encyclopédies, dictionnaires et traités cités plus loin. Pour les dernières décades on trouvera des renseignements à peu près complets dans les comptes-rendus annuels sur les progrès de la physiologie, où les travaux sont classés chaque année, par matières, avec tables analytiques, tables des noms d'auteurs, etc. Voici les titres de ces publications :

CH. RICHET, *Bibliographia physiologica, répertoire des travaux de physiologie classé d'après la classification décimale*. (Les années 1895 et 1896 ont paru). — *Jahresbericht über die Fortschritte der Thier-Chemie*, fondé par R. Maly en 1871. (*Maly's Jahresb.* ou H. C.) — J. HENLE et G. MEISSNER, *Bericht über die Fortschritte der Anatomie und Physiologie*. Leipzig, Heidelberg, 1856 à 1871, continué par HOFMANN et SCHWALBE, puis par HERMANN et SCHWALBE sous le titre *Jahresberichte über die Fortschritte der Anatomie und Physiologie*, 1872 à 1891, Leipzig, continué par HERMANN depuis 1892 sous le titre *Jahresberichte über die Fortschritte der Physiologie*, Bonn (J. C. P.) — CANSTATT's *Jahresberichte über die Fortschritte der gesamten Medicin* (articles *Physiologie* et *Physiologische Chemie*), 1841-1865, continués sous un titre analogue, par R. VIRCHOW et AUG. HIRSCH, depuis 1866. Berlin. — Y. DELAGE, *L'année biologique*. Paris, depuis 1895.

On trouvera également de nombreuses indications bibliographiques et analyses dans le *Centralblatt für Physiologie* (depuis 1837), la *Revue des Sciences médicales de Hayem* (1873-1898), le *Centralblatt für medicinischen Wissenschafte* (depuis 1863), le *Biologisches Centralblatt* (depuis 1868), etc.

GÉNÉRALITÉS.

H. SPENGER : *Principles of Biology*; la 1^{re} Ed. est de 1864-1867, trad. Cazelles, 1877. — F. HOPPE-SEYLER : *Allgemeine Biologie*, 1877. — CL. BERNARD : *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*, 1879-1885. — CL. BERNARD : *La science expérimentale*, 1878. — W. PREYER : *Elemente der allgemeinen Physiologie*, 1883. — M. VERWORN : *Allgemeine Physiologie*, Iena, 1894. — O. HERTWIG. *La cellule et les tissus*. Trad. JULIN, 1894.

ENCYCLOPÉDIES.

A. HALLER : *Elementa Physiologiae*, Lausanne, 1760. — RUD. WAGNER : *Handwörterbuch der Physiologie*, 1842-1853. — TODD : *Cyclopaedia of Anatomy and Physiology*, 1835-1859. — MILNE EDWARDS : *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparées*, 1857-1880. — L. HERMANN : *Handbuch der Physiologie*, 1879-1883. — DECHAMBRE : *Dictionnaire encyclopédique des Sciences médicales*. — EULENBURG : *Real Encyclopädie*. — GAD : *Real-lexikon der med. Propädeutik*, 1893. — CH. RICHET : *Dictionnaire de Physiologie* (en cours de publication depuis 1895, A-B-C.). — E. A. SCHÄFER : *Text-book of Physiology*. Vol. 1, 1898.

TECHNIQUE PHYSIOLOGIQUE.

Technique physiologique en général.

BURDON-SANDERSON. *Handbook for the physiological Laboratory*, London, 1873, trad. MOQUIN-TANDON, Paris, 1884. — E. CYON, *Methodik der physiologischen Experimente und Vivisectionen*, Giessen, 1876. — GSCHIEDLEN, *Physiologische Methodik*, Braunschweig, 1876-1879 (4 Livraisons parues). — M. FOSTER et J. N. LANGLEY, *Elementary practical physiology*, London, 1881. — W. STIRLING, *Outlines of practical physiology*, 3^d Ed., London, 1895. — LÉON FREDERICQ, *Manipulations de physiologie*, Paris, 1892. — F. SCHENCK, *Physiologisches Practicum*, Stuttgart, 1895. — L. HERMANN, *Leitfaden für das physiologische Practicum*, Leipzig, 1898. — BRODIE, *The essentials of exp. Physiology*, London, 1898.

Technique des vivisections.

CL. BERNARD, *Leçons de physiologie opératoire*, Paris, 1879. — LIVON, *Manuel de vivisections*, Paris, 1882. — A. ECKER, *Anatomie des Frosches*, Braunschweig, 1864-1882. 1^{re} Ed. — W. KRAUSE, *Anatomie des Kaninchen*, Leipzig, 1868. — MIVART, *the cat*, London, 1881. — CHAUVEAU et ARLOING, *Anatomie comparée des animaux domestiques*, Paris, plusieurs éditions. — W. ELLENBERGER et H. BAUM, *Anatomie des Hundes*, Berlin, 1891, trad. DENIKER, Paris, 1892. — ONODI et FLEISCH, *Leitfaden zu Vivisectionen am Hunde*, Stuttgart, 1884.

Technique de chimie physiologique.

HOPPE-SEYLER. *Handbuch der physiologisch-und pathologisch-chemischen Analyse*, Berlin, nombreuses éditions. Trad. française par SCHLAGDENHAUFFEN, Paris, 1877. — KRUKENBERG, *Grundriss der medicinisch-chemischen Analyse*, Heidelberg, 1884. — E. DRECHSEL, *Anleitung zur Darstellung physiologisch-chemischer Praeparate für Mediciner und Chemiker*, Wiesbaden, 1889. — E. SALKOWSKI, *Practicum der physiologischen-und pathologischen Chemie*, Berlin, 1893. — W. D. HALLIBURTON, *The essentials of chemical physiology for the use of students*, 2^d Ed. London, 1899. — A. SLOSSE, *Technique de chimie physiologique et pathologique*, Bruxelles, 1896.

NEUBAUER et VOGEL (Huppert), *Analyse des Harns*. — BUNSEN, *Méthodes gazométriques*. Trad. française, Paris. — J. GEPPERT, *Die Gasanalyse und ihre physiologische Anwendung*, Berlin, 1855. — W. HEMPEL, *Gasanalytische Methoden*, 2^e Aufl. Braunsch-

weig, 1890. — HESSE, *Tabellen zur Reduction eines Gasvolumens*. — LANDOLT, *Das optische Drehungsvermögen organischer Substanzen*, Braunschweig, 1879. — MAC MUN, *The spectroscope in Medicine*, London, 1880. — *Agenda du Chimiste*, Paris, 1877-1899. — HÉNOUCQUE, *Spectroscopie biologique*, Paris.

Varia.

MAREY, *La méthode graphique*, Paris, 1878. — *Développement de la méthode graphique par l'emploi de la photographie*, Paris, 1885. — LANGENDORFF, *Physiologische Graphik*, Leipzig et Vienne, 1891. — B. WEINSTEIN, *Handbuch der physiologischen Maasbestimmungen*, Berlin, 1886. — H. VIERORDT, *Anatomische, physiologische und physikalische Daten und Tabellen zum Gebrauche für Mediciner*, 2^e Aufl., Iena, 1893. — W. BIEDERMANN, *Electrophysiologie*, Iena, 1895.

REVUES DE PHYSIOLOGIE.

Journal de Physiologie et de Pathologie générale, Paris, 1899, faisant suite aux *Archives de Physiologie normale et pathologique*, Paris, depuis 1869 (A. d. P.). — *Comptes-rendus des séances et Mémoires de la société de Biologie*, Paris, depuis 1849 (B. B.). — *Archives italiennes de Biologie*, Paris et Turin, depuis 1882 (A. i. B.). — *Archives de Biologie*, Gand puis Liège, depuis 1880. — *Le Physiologiste russe*, Moscou, depuis 1898.

Archiv für die gesammte Physiologie, Bonn, depuis 1868. (PFLÜGER's Archiv ou A. g. P.). — *Archiv für Physiologie ou Physiologische Abtheilung de l'Archiv für Anatomie und Physiologie* (A. P.) Leipzig, depuis 1877, faisant suite aux *Archives de REIL et AUTENRIETH*, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT et DU BOIS-REYMOND, 1796-1876. — *Zeitschrift für Biologie*, München, depuis 1865 (Z. B.). — *Skandinavisches Archiv für Physiologie*, Leipzig, depuis 1889. — *Zeitschrift für physiologische Chemie*, Strasbourg, depuis 1877 (Z. p. C.). — *Centralblatt für Physiologie*, Leipzig et Vienne, depuis 1887 (C. P.).

The Journal of Physiology, Londres, Cambridge et New-York, depuis 1878 (J. P.). — *The American Journal of Physiology*, Boston, depuis 1895.

Un nombre assez considérable de travaux de physiologie paraissent dans les revues de pathologie expérimentale, de pharmacologie, etc. dans les *Comptes-Rendus des Académies*, etc. Renseignements divers dans : *L'Intermédiaire des Biologistes et des Médecins*, Paris, depuis 1898.

TRAITÉS DE PHYSIOLOGIE.

Français : MAGENDIE, 1825 ; LONGET, 1861 ; BÉGLARD, 1880 ; BEAUNIS, 1888 ; KUSS et DUVAL, 1892 ; CADIAT ; FORT ; COLIN ; VIAULT et JOLYET, 1898 ; LAHOUSSE, 1898 ; LANGLOIS et DE VARIGNY ; LABORDE ; MORAT et DOYON ; HÉDON ; GAD, HEYMANS et MASOIN, 1897.

Allemands : A. v. HALLER, 1788 ; JOH. MÜLLER, 1844 ; DONDERS ; LUDWIG, 1861 ; BUDGE, 1875 ; HERMANN, 1882 ; BERNSTEIN, VIERORDT, 1879 ; RANKE, 1868 ; FUNKE, (GRUENHAGEN) 1880 ; BRÜCKE, 1882 ; FICK ; LANDOIS ; WUNDT ; J. MUNK ; STEINER, 1898 ; GAD et HEYMANS, 1892 ; BORUTTAU, 1898 ; SCHULTZ, 1898 ; SCHENCK et GÜRBER, 1897 ; TIGERSTEDT, 1897.

Anglais : M. FOSTER ; WALLER, 1892 ; STARLING, 1897 ; RUTHERFORD, H. YEO, MAC KENDRICK, MANNING, KIRKE, FLINT.

TRAITÉ DE CHIMIE PHYSIOLOGIQUE.

Français : ROBIN et VERDEIL, 1853, A. GAUTIER, WURTZ, MOSSELMAN et HÉBRANT, 1896, ARTHUS, 1897, ENGEL, 1897 ; HUGOUNENCO, 1897.

Allemands : LEHMANN, KÜHNE, HOPPE-SEYLER, 1877-1881 ; K. B. HOFMANN, 1876-1879 ; KRUKENBERG ; WEYL ; BUNGE ; LEUBE et SALKOWSKI, 1887 ; NEUBAUER et VOGEL ; HAMMARSTEN (trad. du Suédois), NEUMEISTER, 1897.

Anglais : A. GANGEY, 1880 ; HALLIBURTON, 1891.

Dictionnaires de chimie de WURTZ, de LADENBURG. etc.

TRAITÉS DE PHYSIOLOGIE COMPARÉE.

Français : COLIN, 1888.

Allemand : ELLENBERGER, 1890-91.

Anglais : W. MILL, 1891 ; R. M. SMITH, 1891 ; GRIFFITH, 1892.

INTRODUCTION.

Physiologie. — La *Physiologie* est cette partie des sciences biologiques qui étudie les êtres vivants à l'état d'*activité*; c'est la physique et la chimie des *organismes*.

On la divise en physiologie des *plantes* et physiologie des *animaux*. Cette dernière doit seule nous occuper.

La *physiologie*, d'après son étymologie (*φύσις*, nature et *λόγος*, discours), serait la science de la nature. Le mot physiologie avait réellement cette signification pour Aristote, à une époque où la science de la nature comprenait un ensemble de connaissances relativement restreint. Actuellement, le nombre de faits scientifiquement établis est tellement considérable, que le génie d'un seul homme serait incapable de les embrasser tous; d'où la nécessité d'une division dans les sciences. La physiologie dans son acception moderne, est limitée à l'étude des êtres vivants; encore partage-t-elle cette étude avec la morphologie (anatomie et embryologie). Leur ensemble constitue la biologie ou science de la vie.

La morphologie et la physiologie étudient donc le même sujet, l'organisme vivant, mais à des points de vue différents.

La morphologie s'occupe de l'organisme à l'état statique ou de repos, elle détermine la structure, la forme, l'agencement des parties, démonte le mécanisme pièce à pièce, recherche les lois d'après lesquelles *sont construits* les rouages qui constituent le corps des êtres vivants.

La physiologie a des visées bien différentes: elle cherche à pénétrer le jeu de ces rouages, à formuler les lois d'après lesquelles *fonctionnent* les mécanismes vivants. L'observation pure ne lui suffit plus: c'est avant tout une science expérimentale, interrogeant la nature par les mêmes procédés que ceux de la physique et de la chimie.

Plusieurs des termes de la définition précédente ont besoin de quelques mots d'explication. Nous examinerons successivement ce qu'il faut entendre par *organismes vivants*, quelle est la *nature de leur activité*, et sur quels caractères est basée leur division en *plantes et animaux*.

Organisme vivant. — Un organisme vivant est un être nettement limité vis-à-vis du monde extérieur, ayant une individualité propre, une forme

typique, constituant un ensemble formé de parties hétérogènes, à composition chimique tout à fait caractéristique (combinaisons de C avec H, O, N, etc.). Sa durée est limitée : il parcourt depuis la naissance jusqu'à la mort une succession de phases déterminées. Tout organisme est formé par un autre organisme plus ou moins semblable à lui-même, et peut dans certains cas coopérer lui-même à la formation d'un autre organisme.

Mais ce qui caractérise surtout l'être vivant au point de vue du physiologiste, c'est l'activité qui règne dans toutes ses parties, ce sont les échanges continuels d'énergie et de substance qui s'établissent entre lui et le monde extérieur. En effet, la fonction fondamentale qui distingue les organismes vivants, de tous les corps de la nature, celle dont découlent toutes les autres fonctions, c'est la nutrition et la dénutrition, l'assimilation et la désassimilation. L'être vivant est le siège d'un mouvement de transformation incessant : il s'approprie des éléments qu'il puise autour de lui, il s'accroît en les transformant en sa propre substance ; il associe ainsi pour un temps donné une partie de la matière inerte à sa propre destinée. Mais en même temps, il se produit un travail en sens contraire : ces particules empruntées au monde extérieur, après avoir joué leur rôle pendant quelque temps, peuvent finalement être rejetées au dehors.

La nutrition et la dénutrition consistent essentiellement dans des réactions chimiques, les unes *endothermiques* (phénomène de synthèse, de réduction), les autres *exothermiques* (oxydations, hydratations, etc.). Dans ces dernières, les plus importantes au point de vue de la physiologie animale, les affinités chimiques se saturent plus intimement ; et l'énergie chimique, qui est mise en liberté, se manifeste sous forme de mouvement mécanique, de chaleur, d'électricité, parfois même de lumière. La matière vivante contient en effet, sous forme de combustible riche en Carbone et en Hydrogène, une provision considérable d'énergie de tension qui est constamment en voie de se transformer en énergie actuelle (1).

Ce mouvement de transformation peut être puissamment activé par certaines influences extérieures, qui ébranlent brusquement l'équilibre moléculaire de la matière vivante, et auxquelles on donne le nom d'excitants (excitants ou stimulus électriques, calorifiques, mécaniques, chimiques). Il se produit alors une véritable explosion d'énergie, sous l'influence du stimulus extérieur. Ce dernier agit comme force de dégagement, à la façon de l'étincelle qui enflamme la poudre, et qui met brusquement en liberté la force prodigieuse de tension accumulée dans le corps explosif et la transforme en force vive.

Nature de l'activité des êtres vivants. — Les phénomènes qui se déroulent dans les êtres vivants étaient autrefois rangés dans trois catégories que l'on considérerait comme entièrement distinctes (2).

1° Phénomènes matériels manifestement identiques à ceux présentés par la

(1) « La respiration n'est qu'une combustion lente de Carbone et d'Hydrogène. Les animaux qui respirent sont de véritables corps combustibles qui brûlent et se consomment » (LAVOISIER, *Sur la respiration des animaux*, 1777).

(2) Nous laissons de côté les faits rentrant dans la morphologie : multiplication, accroissement, évolution des cellules et des organismes.

nature inanimée. Exemples : Les corps vivants sont attirés vers le centre de la terre et obéissent dans leur chute aux mêmes lois que les corps bruts. La marche des rayons lumineux dans l'œil est rigoureusement conforme aux lois de l'optique.

2° Phénomènes matériels paraissant spéciaux aux êtres vivants et pour lesquels l'ancienne physiologie avait imaginé des forces spéciales, dites vitales. Exemples : la contraction du protoplasme, celle de la fibre musculaire, la sécrétion glandulaire, la digestion stomacale, la production de la chaleur animale.

L'école physiologique moderne n'admet pas de distinction fondamentale entre les faits consignés sous les deux rubriques 1° et 2°. Elle pense avec Descartes, que les lois de la nature étant immuables, les corps organisés ne sauraient s'y soustraire. L'organisme de l'homme aussi bien que celui des animaux fait partie intégrante de l'univers et comme tel, est soumis aux deux grandes lois de la conservation de la matière (LAVOISIER 1789) et de la conservation de l'énergie (J. R. MAYER, 1842, HELMHOLTZ, JOULE)(1). L'être vivant ne peut ni créer, ni détruire la matière : de même il ne peut ni détruire le mouvement, ni l'engendrer de rien.

Son activité se borne à transformer la matière ou l'énergie empruntées au monde extérieur. La machine vivante est soumise aux lois de la mécanique, de la physico-chimie ordinaire, comme une vulgaire machine à feu. Toutes deux, en ce qui regarde leur activité matérielle, peuvent être ramenées au même *schema* : une machine à vapeur consomme du combustible, transforme l'énergie de position, accumulée dans la houille ou le bois, en énergie calorifique d'une part, en travail ou énergie de mouvement de l'autre. En dernière analyse, son mouvement lui vient du soleil, puisque c'est l'énergie cinétique des rayons solaires qui, dans les parties vertes des végétaux, décompose l'acide carbonique, et met l'oxygène en liberté, tandis que le carbone sert à édifier les tissus du bois de la plante.

L'organisme humain, celui des animaux, semble opérer par un mécanisme analogue : lui aussi brûle du combustible riche en charbon et en hydrogène (nos aliments), consomme de l'oxygène fourni par la respiration et produit de l'acide carbonique; lui aussi transforme une partie de l'énergie devenue libre par ces oxydations, en travail mécanique, une autre partie en chaleur, en électricité, etc. Notre corps est donc une machine chimique, puisant, comme la machine à vapeur, la somme de son énergie dans les rayons du soleil : le bœuf mange l'herbe et nous mangeons le bœuf.

« Il n'y a donc en réalité qu'une physique, qu'une chimie, qu'une mécanique générale, dans laquelle rentrent toutes les manifestations phénoménales de la nature, aussi bien celles des corps vivants que celles des corps bruts. Tous les phénomènes en un mot qui apparaissent dans l'être vivant, retrouvent leurs lois en dehors de lui, de sorte qu'on pourrait dire que toutes les manifestations de la vie se composent de phénomènes empruntés, quant à leur nature, au monde cosmique extérieur, mais possédant seulement une morphologie spéciale, en ce sens qu'ils sont manifestés sous

(1) J. R. MAYER, *Liebig's Annalen*, XLII, 1842; H. HELMHOLTZ, *Ueber die Erhaltung der Kraft*, 1847.

des formes caractéristiques, et à l'aide d'instruments physiologiques spéciaux. Sous le rapport physico-chimique, la vie n'est donc qu'une modalité des phénomènes généraux de la nature, elle n'engendre rien, elle emprunte ses forces au monde extérieur et ne fait qu'en varier les manifestations de mille et mille manières » (CL. BERNARD).

La science de la vie n'est donc qu'un cas particulier de la physico-chimie ordinaire (DU BOIS-REYMOND); et l'hypothèse atomique, qui ne considère dans l'univers que des atomes en mouvement, et qui sert de base à la physique et à la chimie modernes, paraît également applicable aux êtres vivants. Elle peut donner une explication satisfaisante des phénomènes matériels dont les organismes sont le siège. Fut-elle reconnue fausse, encore ne pourrait-on lui dénier le mérite d'avoir fait faire à la physiologie des progrès immenses. Autant l'hypothèse de la force vitale était stérile et impuissante, autant l'hypothèse mécanique s'est montrée féconde et riche en découvertes.

3^o Phénomènes psychologiques. Ces phénomènes se sont montrés peu accessibles à l'investigation expérimentale : tout au plus a-t-on pu déterminer scientifiquement quelques unes des conditions accessoires de la manifestation de la pensée, par exemple la durée des actes psychiques, les relations qui existent entre l'intensité des sensations et celle des excitants qui les produisent, etc. La *psycho-physique* inaugurée par les travaux de V. Weber, Fechner(1), Helmholtz, Wundt, Delbœuf, etc. est de création trop récente pour qu'il soit possible de prévoir l'avenir qui lui est réservé.

L'hypothèse atomique, qui est la pierre angulaire des sciences physiques et de la physiologie proprement dite, ne semble pas appelée à jeter grande lumière sur la psychologie. En partant uniquement de la matière telle que les physiciens et les chimistes se la représentent, il est difficile de concevoir qu'un pur agrégat d'atomes de Carbone, d'Hydrogène, d'Azote, d'Oxygène, etc., en mouvement, ait conscience de sa propre existence, puisse s'intéresser aux changements mécaniques dont il est le siège, éprouve par exemple des sensations de bien-être, quand il est ébranlé d'une certaine façon. « Il est radicalement impossible « d'expliquer par n'importe quelle combinaison d'atomes en mouvement, pour- « quoi l'accord parfait *do-mi-sol* me fait plaisir et pourquoi le contact d'un corps « brûlant me fait mal » (DU BOIS-REYMOND).

Toute conception moniste de l'univers, c'est-à-dire ayant la prétention d'expliquer par les mêmes lois, les phénomènes physiques et les actes psychiques, sera conduite, si elle prend comme point de départ la matière nue des physiciens, à la doter de propriétés nouvelles, à lui accorder, par exemple un germe de conscience. Mais c'est là sortir du cadre que nous nous sommes tracé, lequel ne comprend que l'étude des phénomènes matériels dont l'organisme vivant est le siège.

Animaux et plantes. — La division des êtres vivants en animaux et végétaux paraît aussi naturelle que simple, tant qu'on se borne à comparer entre eux des représentants relativement supérieurs des deux règnes. Rien de plus facile que de distinguer un mammifère d'une plante, un lapin par exemple d'un rosier.

(1) G. T. FECHNER, *Elemente der Psychophysik*, 1860.

Le lapin est doué de sensibilité et exécute des mouvements volontaires. Ses tissus sont incapables de créer de toutes pièces les substances dont ils sont formés : ses aliments doivent consister en matériaux déjà organisés, élaborés par le règne végétal. L'organisme de l'animal est le siège de phénomènes d'oxydation très énergiques, il absorbe de l'oxygène, consomme du charbon et de l'hydrogène, et exhale de l'eau et de l'anhydride carbonique. Il transforme de cette façon une somme considérable d'énergie de tension, en énergie de mouvement, en chaleur, en électricité, parfois en lumière.

Le rosier au contraire est fixé au sol, il ne manifeste ni volonté, ni sensibilité. Il exhale de l'oxygène; il absorbe de l'anhydride carbonique, de l'eau, de l'ammoniaque; il les réduit sous l'influence des rayons solaires; et fabrique ainsi de toutes pièces de l'albumine, de la graisse, de la fécule, etc. L'énergie cinétique de la radiation solaire est emmagasinée, transformée par lui en énergie de tension.

Le végétal fonctionne donc, sous l'influence des rayons lumineux, comme un appareil de réduction, emmagasinant dans ses tissus l'énergie de la radiation solaire. Le protoplasme animal, vivant aux dépens du protoplasme végétal, est avant tout un appareil d'oxydation, qui dévore incessamment du combustible et dissipe en peu de temps l'épargne lentement accumulée par le végétal (J. R. MAYER)(1).

En réalité, le rosier et le lapin sont formés d'un grand nombre de cellules, petites unités vivantes, qui elles, présentent de part et d'autre la plus grande analogie de propriétés. Mais les similitudes s'accroissent et les différences s'effacent de plus en plus, si l'on descend l'échelle des êtres vivants, si l'on compare entre eux les organismes végétaux et animaux les plus simples, formés de protoplasme à peine différencié. Il est impossible alors de tracer une ligne de démarcation fixe entre les deux règnes, de donner un criterium certain de l'animalité. D'après la doctrine transformiste (DARWINISME), les plantes et les animaux représentent deux rameaux divergents, issus d'une même souche, ayant pour point de départ commun la matière vivante primitive, le protoplasme.

Ce serait d'ailleurs une grave erreur de croire à une différence radicale de propriétés, entre le protoplasme du végétal et celui de l'animal. Tous deux sont à la fois le siège de phénomènes d'oxydation et de réduction, qui s'y déroulent côte à côte. Chez l'animal, les phénomènes de réduction sont insignifiants et pour ainsi dire accidentels; chez le végétal, ces phénomènes de réduction atteignent, dans les parties vertes, une énergie extraordinaire, et masquent dans la plupart des cas les oxydations qui s'y passent toujours, et qui paraissent liées à l'essence même de la vie(2). Il suffit de soustraire momentanément les tissus végétaux à l'action de la lumière, ou de s'adresser aux parties privées de chlorophylle, pour constater que la vie du végétal est également accompagnée d'une véritable combustion, d'une absorption d'oxygène, d'une production de CO_2 . Paul Bert a montré que le blé germe d'autant plus lentement que l'on abaisse davantage la tension de l'oxygène dans l'air qui le baigne. De Saussure savait déjà qu'une atmosphère exempte d'oxygène est promptement mortelle aux plantes les plus vigoureuses telle que les Cactus.

Dès que la tension de CO_2 atteint une certaine valeur (quelques centièmes d'une atmosphère), ce gaz devient nuisible au protoplasme sur lequel il agit comme un poison stupéfiant. Une atmosphère contenant $1/5$ de CO_2 est mortelle aux animaux supérieurs et suspend le phénomène de la germination chez les plantes. De Saussure avait également constaté que les plantes périssent dans une atmosphère de CO_2 . Heureusement l'anhydride carbonique produit dans le protoplasme ne peut s'y accumuler, il tend incessamment à s'en échapper et à se répandre dans le milieu cosmique extérieur, en vertu des lois de la simple diffusion : car l'air et l'eau dans lesquelles vivent les animaux et les plantes, ne contiennent généralement que des traces de CO_2 .

(1) J. R. MAYER. *Die organische Bewegung*, Heilbronn, 1845.

(2) PFLÜGER, *Die physiologische Verbrennung*, Arch. de Pflüger, X, p. 251.

Les anesthésiques : éther, chloroforme, agissent sur tous les êtres vivants de la même façon. A petite dose, ils endorment, suspendent l'activité du protoplasme; à dose élevée, ils le tuent. Claude Bernard, dans une expérience mémorable, plaçait séparément, sous différentes cloches de verre renfermant chacune une éponge imbibée d'éther, un oiseau, une souris, une grenouille et une sensitive. L'oiseau était paralysé au bout de quatre à cinq minutes, la souris immédiatement après, puis venait le tour de la grenouille. La sensitive résistait le plus longtemps, mais au bout d'une demi heure environ, elle était anesthésiée également. L'atouchement des folioles ne déterminait plus leur abaissement; tandis que la même excitation produit une contraction immédiate des folioles, sur une sensitive normale (1).

Dans quel règne classer les Myxomycètes (2), ces masses de protoplasme nu (plasmodic) qui rampent à la surface du tan et des végétaux en décomposition (fleur du tan), émettant des prolongements contractiles à la façon de l'amibe, englobant sur leur passage les débris organiques et s'en nourrissant? Tout nous porte à en faire des animaux. Mais examinons-les à une autre période de leur existence, au moment de la fructification. La plasmodie se ramasse en boule, s'entoure d'une enveloppe rigide et donne naissance à d'innombrables spores, semblables à celles de plantes dont la nature végétale ne peut être mise en doute.

On croyait autrefois pouvoir caractériser les tissus végétaux par la présence de certaines substances organiques: je citerai notamment la *cellulose*, dont est formée l'enveloppe des cellules végétales, la *chlorophylle* et l'*amidon*, que l'on trouve dans leur protoplasme. On sait aujourd'hui que ces substances n'existent pas dans tous les végétaux et qu'on les rencontre, elles ou leurs analogues, dans les tissus de quelques animaux. L'enveloppe de cellulose manque à la plasmodie des myxomycètes (plantes): Carl Schmidt, a montré que le manteau des Tuniciers (animaux), était formé d'une variété de cellulose qu'il appela *tunicine*. La chlorophylle ne se rencontre chez les plantes que dans les parties vertes, aériennes. Beaucoup de végétaux inférieurs, ou parasites n'en contiennent pas du tout. D'autre part, la chlorophylle a été signalée chez un certain nombre d'infusoires, de radiolaires, chez l'hydre d'eau douce. P. Geddes l'a retrouvée chez une planaire marine. Il faut cependant ajouter que, d'après Brandt, la chlorophylle que l'on rencontre chez les animaux, ne leur appartiendrait pas en propre. Ce qu'on a pris jusqu'ici pour des grains de chlorophylle seraient de petits algues vertes, vivant au sein des tissus animaux. Il y aurait là un curieux exemple de *symbiose*, d'association de deux organismes différents, exemple analogue à ce que nous présentent les lichens. L'animal hébergeant la plante dans ses tissus, vivrait en réalité en parasite aux dépens de cette dernière, qui lui fournirait l'oxygène et la nourriture. Quant à l'amidon, il est représenté dans le règne animal par un isomère, le glycogène ou amidon animal. D'ailleurs l'amidon n'existe pas chez toutes les plantes. Il est remplacé par le glycogène chez les myxomycètes. Leo Errera a montré récemment qu'il en est de même chez les mucorinées et les champignons ascomycètes.

Si tous les animaux vivent en dernière analyse au dépens du règne végétal, il existe par contre un petit nombre de plantes qui se nourrissent en partie d'aliments empruntés au règne animal (DARWIN (3), HOOKER). Les feuilles des *Drosera*, *Dionaea*, *Nepenthes* et de quelques autres plantes carnivores emprisonnent les insectes qui viennent se poser sur elles. L'animal est étouffé, puis digéré par un suc sécrété par la feuille: les résidus non liquéfiables, non assimilables par la plante sont ensuite rejetés au dehors.

Les plantes parasites telles que l'orobanche, se nourrissent d'ailleurs comme les animaux, de matières déjà élaborées par un autre organisme.

(1) CL. BERNARD, *Leçons sur les phénomènes de la vie, communs aux animaux et aux végétaux*, pp. 258 et suiv., Paris, 1878.

(2) A. DE BARY, *Morphologie u. Physiologie der Pilze*, etc.

(3) CH. DARWIN, *Insectivorous plants*.

Éléments histologiques. — La définition de l'être vivant, donnée à la page 1 convient à tous les organismes indistinctement, animaux et végétaux, à l'homme aussi bien qu'aux êtres les plus simples, formés d'une seule cellule. Mais il suffit d'en peser les termes avec quelque attention, pour s'apercevoir qu'elle s'applique également aux parties de l'organisme, aux cellules dont sont formés les organismes compliqués. De ce chef, on pourrait croire la définition fautive : il n'en est rien cependant. Les éléments histologiques qui entrent dans la constitution de notre corps, sont bien et dament de petits organismes, au même titre que les êtres inférieurs formés d'une seule cellule.

Que l'on examine au microscope un globule blanc de notre sang, un leucocyte (fig. 1), qu'on le compare à une amibe d'eau douce (fig. 2) et l'on sera plus frappé des

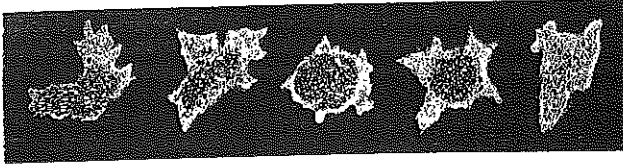


Fig. 1. — Changements successifs de forme d'un leucocyte du sang de grenouille, d'après Engelmann. (Le noyau n'est pas visible.) Fort grossissement.

analogies que des dissemblances. Tous deux sont formés d'une masse hyaline, molle, plus ou moins visqueuse, parsemée de trainées granuleuses et de vacuoles, changeant incessamment de forme et contenant un petit corps solide à contours nets, à position centrale, le noyau (le noyau peut manquer dans certains cas). Cette masse mobile composée d'eau, de matières albuminoïdes et de quelques autres substances, c'est la

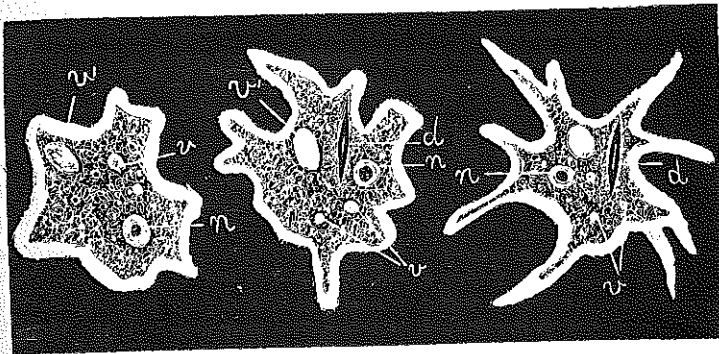


Fig. 2. — Phases successives du mouvement de l'*Amoeba radiosa*, d'après Harting, n, noyau, v, vacuoles, v', vacuole contractile, d, navicule englobée par le protoplasme. Grossissement 150.

matière vivante par excellence, la base physique de la vie (HUXLEY), le Protoplasme ($\pi\rho\acute{\omega}\tau\omicron\varsigma$, premier, $\pi\lambda\acute{\alpha}\sigma\mu\alpha$, de $\pi\lambda\acute{\alpha}\sigma\sigma\omega$, je forme), qui chez tous les êtres vivants, animaux et plantes, présente les mêmes caractères fondamentaux.

Schleiden découvrit le premier que tous les organes, tous les tissus des plantes, sont au début formés de cellules, et Schwann démontra peu de temps après, qu'il en est de même pour les organes et les tissus des animaux (1). Chez tous les êtres vivants, le protoplasme des éléments cellulaires primitifs est comparable à celui de l'amibe, tant pour la forme extérieure que pour les propriétés physiologiques principales.

(1) SCHWANN, *Mikr. Untersuchungen*, Berlin, 1839.

Si l'amibe est un petit organisme, chez lequel se retrouvent en miniature les principales fonctions qui caractérisent l'animal supérieur (automatisme, irritabilité, contractilité, respiration, nutrition, reproduction, etc.), il en est de même du leucocyte : Le leucocyte exécute des mouvements en l'absence de toute excitation extérieure : *automatisme*. Ces mouvements consistent dans l'expansion et le retrait de prolongements contractiles : *contractilité*. Des mouvements énergiques peuvent être provoqués par une irritation extérieure souvent minime : *irritabilité*. Le leucocyte consomme de l'oxygène, brûle le charbon, l'hydrogène dont il est fait, et produit de l'anhydride carbonique et de l'eau : *respiration*. Il puise, dans le milieu qui l'entoure, des particules qu'il incorpore à sa propre substance : *nutrition*. Il en rejette d'autres au dehors : *excrétion*. Enfin, il est capable de se reproduire, de donner naissance à d'autres leucocytes, ou tout au moins il descend d'un autre amas de protoplasme semblable à lui-même : *reproduction*. Comme l'amibe, il parcourt depuis la naissance un cycle de phases typiques.

Nos nerfs, nos muscles, nos glandes, tous nos organes en un mot, sont formés par des groupes de cellules. Ces cellules, au début, représentent des amas de protoplasme indifférent, à propriétés uniformes, très semblables à celles de l'amibe, du leucocyte. A mesure que ces éléments se développent, ils se différencient : la forme aussi bien que la fonction se spécialise suivant la loi de la division du travail physiologique. Quelques-unes des propriétés physiologiques s'exagèrent, se développent aux dépens des autres. La contractilité se perfectionne chez les éléments musculaires, l'automatisme caractérise le système nerveux central, l'irritabilité n'est nulle part aussi développée que dans les cellules spéciales aux organes des sens, etc. Mais les autres propriétés fondamentales de l'amibe existent également en germe dans tous ces éléments.

Chaque leucocyte, chaque cellule représente donc un petit organisme en miniature, un individu physiologique; et notre corps est un agrégat, une colonie formée d'innombrables unités vivantes. Chaque partie a sa vie propre; et la vie de l'ensemble n'est que la résultante de l'activité de toutes ses parties.

Ceci nous explique comment des parties séparées du corps peuvent continuer à vivre souvent fort longtemps, quand on les place dans des conditions favorables.

Lieberkühn a vu persister pendant 85 jours les mouvements amiboïdes des globules blancs dans le sang de salamandre, conservé à l'intérieur d'un tube de verre.

Paul Bert (1) a constaté que des pattes, des queues de rat, séparées du corps, continuent à vivre pendant plusieurs jours, peuvent ensuite être introduites sous la peau d'un animal de même espèce, contracter des relations vasculaires avec cet organisme nouveau, y vivre, y prospérer. « Une partie séparée des centres nerveux et placée dans des conditions de nutrition favorables, continue à se nourrir et même, si elle n'a pas atteint encore son développement entier, poursuit régulièrement son évolution, s'ossifie, atteint dans le temps ordinaire sa forme et ses dimensions normales » (PAUL BERT).

La chirurgie fait de nombreuses applications de ces transplantations de tissus vivants (greffe animale).

Cette indépendance des cellules se manifeste après la mort encore plus que pendant la vie. On a vu sur des suppliciés, les cellules vibratiles se mouvoir quarante-huit heures après la mort. Chez des grenouilles putréfiées et abandonnées dans l'eau depuis plusieurs semaines, on peut encore trouver des cils vibratils en mouvement. Chez les animaux supérieurs, chaque élément meurt à son heure, suivant sa résistance. Pendant la vie au contraire, tous ces éléments sont dans une certaine mesure soumis à l'influence de la vie générale : ils réagissent les uns sur les autres et s'influencent réciproquement par l'intermédiaire de la circulation et du système nerveux. Les cellules musculaires du cœur par exemple, vivent ensemble et meurent séparément, suivant l'expression d'Engelmann.

(1) PAUL BERT, *Journal de Robin*, 1863. *Ann. des sc. nat., Zoologie*, 5^e sér., t. V.

CHAPITRE I.

COMPOSITION CHIMIQUE DU CORPS DE L'HOMME ET DES ANIMAUX.

Les éléments suivants paraissent essentiels à la constitution de toute matière vivante animale : C, O, H, Az, S, P, Cl, K, Na, Ca, Mg, Fe et peut-être Si et Fl(1). Ces quatorze éléments forment des combinaisons nombreuses et variées, qui entrent dans la constitution du protoplasme. L'oxygène, l'azote (et l'argon) s'y trouvent normalement à l'état libre ; l'hydrogène exceptionnellement ainsi que le soufre (chez les Schizophytes).

Parmi ces éléments que l'on peut appeler, avec Leo Errera, *biogéniques*, le carbone forme la partie prépondérante et caractéristique de la substance sèche des organismes ; il constitue comme la charpente de leurs molécules. Il y a longtemps que les chimistes ont appuyé, à ce point de vue, sur la faculté que possèdent les atomes de ce corps de s'accumuler, « dans une seule et même molécule, de se souder, en quelque sorte, les uns aux autres » (Wurtz, *chimie moderne*, p. 382).

A côté du carbone, les éléments biogéniques principaux sont l'oxygène, l'hydrogène et l'azote. Herbert Spencer a insisté sur cette association de trois gaz parfaits à un corps fixe et infusible ; « D'une part, n'était la mobilité moléculaire extrême que possèdent trois des quatre principaux éléments de la matière organique ; et n'était la grande mobilité moléculaire qui en résulte pour leurs composés les plus simples, l'élimination rapide des déchets de l'action organique ne

(1) Le Cl et le Na ne paraissent pas indispensables aux végétaux.

pourrait avoir lieu, et il n'y aurait point cet échange continu de matière que la vitalité implique. D'un autre côté, n'était l'union de ces éléments extrêmement mobiles en des composés d'une complexité extrême, ayant des molécules relativement vastes que leur inertie rend comparativement immobiles, les composants d'un tissu vivant n'auraient point cette fixité mécanique qui les empêche de s'en aller par diffusion en même temps que les produits de rebut que la décomposition du tissu engendre. » (*Principles of Biology*, p. 22),

Les éléments indispensables à la vie ont tous des poids atomiques peu élevés et appartiennent par conséquent aux premières séries du système périodique de Mendelejeff, comme le montre le tableau suivant qui reproduit les quatre premières lignes du système périodique (Sestini) :

1	H = 1							
2	Li = 7	Gl = 9.2	B = 11	C = 12	Az = 14	O = 16	F1 = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27	Si = 28	Ph = 31	S = 32	Cl = 35.5	
4	K = 39	Ca = 40	?Sc = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52.4	Mn = 55	Fe = 56. Ni = 58.8. Co = 58.8.

Leo Errera a essayé de démontrer que « cette coïncidence n'est pas fortuite. Car la légèreté des atomes de ces éléments est liée à un ensemble de propriétés dont l'importance pour les organismes n'est pas difficile à saisir. De toutes les combinaisons possibles, celles des atomes légers avaient donc le plus de chances de présenter cette association de phénomènes complexes que nous nommons la vie, et de former les premiers êtres. »

« Les éléments à atomes légers sont les plus répandus à la surface du globe; leurs composés les plus simples sont généralement ou gazeux, ou solubles dans l'eau, ce qui explique l'arrivée des aliments dans l'organisme et l'élimination des déchets; la plupart sont mauvais conducteurs de la chaleur et de l'électricité, et tous ont, d'après les règles de Dulong et Petit, Regnault, Kopp et Marignac, des chaleurs spécifiques élevées. Ceci permet aux organismes, tout en ayant relativement peu de masse, de supporter plus facilement et de ne subir que peu à peu les variations calorifiques et électriques du milieu extérieur, et de dépenser beaucoup d'énergie sans abaisser beaucoup leur température. »

« Enfin nous avons montré qu'il y a lieu de supposer, d'après la théorie mécanique de la chaleur, que les atomes légers en s'accumulant en très grand nombre, donnent naissance à des molécules que la chaleur disloque beaucoup et chauffe peu. Nous aurions là un des facteurs essentiels de cette instabilité chimique qui caractérise le protoplasme vivant. » (*Biologisches Centralblatt*, 1887, p. 22).

Comme éléments accessoires, ne se rencontrant pas chez tous les êtres vivants,

on peut citer : l'iode dans le corps thyroïde des mammifères, l'iode et le brome chez les animaux et les végétaux marins ; le manganèse chez quelques mollusques (organe de Bojanus), dans les céréales et dans le sang de l'homme et des animaux ; le cuivre dans le sang des crustacés et des céphalopodes, dans les plumes du Turaco. On a signalé également la présence du lithium, rubidium, cæsium, strontium, zinc, cobalt, nickel, bore, baryum, aluminium, à l'état de traces, chez un certain nombre d'animaux ou de plantes.

Voici les principales combinaisons que l'on a rencontrées dans l'organisme : *

I. — SUBSTANCES INORGANIQUES.

Eau. H_2O , tous les tissus et tous les organes (70 % du poids du corps).

Acides minéraux et leurs sels.

Acide chlorhydrique HCl , suc gastrique. *Chlorure de sodium, potassium, ammonium, calcium.* $NaCl$, KCl , tous les liquides et tissus de l'organisme ; NH_4Cl , moins répandu ; $CaCl_2$, os et dents.

Fluorure de calcium CaF_2 , os, dents ; surtout dans l'émail.

Acide sulfurique H_2SO_4 , salivé de quelques mollusques gastéropodes. *Sulfates de sodium, potassium, calcium, Na_2SO_4 , K_2SO_4 , $CaSO_4$* , la plupart des liquides et organes. *Acides sulfo-conjugués aromatiques ou éthers acides des phénols*, urine.

Phosphates acides et neutres de sodium et de potassium. *Phosphates de calcium, de magnésium, ammoniaco-magnésien.* H_2NaPO_4 , urine ; HNa_2PO_4 , HK_2PO_4 , $Mg_3(PO_4)_2$ la plupart des liquides et tissus ; $Ca_3(PO_4)_2$, $MgNH_4PO_4$, os et dents.

Anhydride silicique SiO_2 , a été signalé dans les cheveux.

Acide sulfhydrique H_2S , gaz intestinaux, putréfaction de l'albumine.

Traces d'*hyposulfites*, de *nitrites* dans l'urine ?

Tableau indiquant la proportion d'eau et de sels minéraux contenus dans 100 parties des liquides et tissus animaux suivants :

	Eau.	Sels.		Eau.	Sels.
Salive	99.5	0.2	Lait (vache)	88	0.8
Suc gastrique	99.4	0.3	Bile	85-88	0.7
Humeur aqueuse	98.7	0.77	Cerveau (subst. grise)	83	0.5-1
Corps vitré	98.6	0.88	Muscles	75	1
Larmes	98		Rate, foie	70-77	
Sueur	98	0.7	Cerveau (subst. blanche)	69	0.5-1
Lymphes	95-96		Cartilage costal	67	2
Urine	95	1.5	Cristallin	64	0.75
Synovie	93-95	0.9	Globules rouges	60	0.7
Suc pancréatique (du chien)	90	0.8	Tissu adipeux	14	
Plasma sanguin	89	0.85	Os	11-14	55-60
Lait (femme)	88	20.2	Émail dentaire	3	96.4

II. — SUBSTANCES ORGANIQUES.

SECTION I. — Corps gras non azotés.

§ I. — HYDROCARBURES SATURÉS.

Formule générale : C_nH_{2n+2} .Méthane ou gaz des marais CH_4 . Gaz de l'intestin. Traces dans l'air de l'expiration.

§ II. — ALCOOLS.

A) Alcools monoatomiques saturés.

Formule générale $C_nH_{2n+2}O$ ou $CH_3(CH_2)_m-OH$.Alcool éthylique ou esprit de vin C_2H_5OH . Sang, etc., après ingestion de boissons alcooliques. Paraît pouvoir se former en petite quantité par fermentation dans l'intestin.

- cétylique ou éthal $C_{16}H_{33}OH$. Blanc de baleine.
- cérylique ou cérotine $C_{27}H_{55}OH$. Cire du Japon.
- myricitique $C_{30}H_{61}OH$. Cire des abeilles.

} A l'état d'éthers composés.

Acétone.

B) Alcools monoatomiques non saturés.

Constitution inconnue.

Cholestérine $C_{26}H_{45}OH$. Système nerveux central, bile, protoplasme, sang, calculs biliaires, la plupart des tissus.

Isocholestérine. Laine.

C) Alcools triatomiques

Glycérine $C_3H_8O_3$ ou $CH_2OH-CHOH-CH_2OH$. Graisses et lécithine (à l'état d'éther composé).

D) Alcools polyatomiques et leurs anhydrides.

Formule générale : $C_m(H_2O)_m$ ($m = 6n$ ou voisin de $6n$).

- A) Glycose ou Monosaccharoses $C_6H_{12}O_6$ ou $CH_2OH-(CH_2OH)_4-COH$ (cinq hydroxyles alcooliques et un groupe aldéhydique COH). Dérivés aldéhydiques de l'alcool hexatomique (Mannite).

Dextrose. Sucre du sang, du foie, etc., urine diabétique.

Galactose. Produit de décomposition du sucre de lait.

Lévulose. Produit de décomposition du sucre de cannes. Urine diabétique.

- B) Sucres ou Disaccharoses $C_{12}H_{22}O_{11}$ (deux molécules de glycose, moins une molécule d'eau).

Lactose. Sucre de lait. Urine des nourrices.

Maltose. Produit de la digestion de l'amidon.

Saccharose. Sucre de cannes. Urine diabétique.

- C) Hydrates de carbone proprement dits ou Polysaccharoses $C_6H_{10}O_5$. Non cristallisables, non diffusibles.

Glycogène ou amidon animal. Foie, muscles, protoplasme, placenta, organes embryonnaires.

Dextrine et ses deux variétés : *Erythrodestrine* et *Achroodestrine*. Muscles, produit de la digestion de l'amidon.

Gomme animale.

Tunicine ou *cellulose animale*. Manteau des ascidies.

Amidon, *cellulose*, *gommes*.

Acide glycuronique. $C_6H_{10}O_7$. Urine après ingestion de chloral, de butylchloral, etc.; après la narcose chloroformique et après section des nerfs du rein.

§ III. — ACIDES GRAS.

A) *Acides monoatomiques et monobasiques.*

Série acétique.

Formule générale : $C_nH_{2n}O_2$ ou $H(CH_2)_nCO_2H$.

<i>Acide formique</i>	$C_1H_2O_2$	Les premiers termes de la série sont liquides et volatils. Ils figurent parmi les produits de décomposition des albuminoïdes sous l'influence de la putréfaction ou des alcalis caustiques, agissant à chaud. C'est à eux que la sueur et le sang des mammifères paraît devoir son odeur sui generis. Ils existent en petite quantité dans les excréments et l'urine. On les rencontre tous dans le lait et le beurre (à l'exception des trois premiers, des deux derniers et de l'acide valérienique), à l'état d'éthers composés de la glycérine (glycérides). L'acide palmitique et l'acide stéarique existent à l'état libre (en petite quantité) dans le foie; à l'état de sels ou savons de sodium et de potassium, dans l'intestin, pendant la digestion, dans le sang et le chyle; à l'état de savons calcaires, dans les excréments; et surtout à l'état d'éthers composés de la glycérine (stéarine et palmitine). La <i>tripalmitine</i> et la <i>tristéarine</i> constituent la majeure partie de la graisse solide.
— <i>acétique</i>	$C_2H_4O_2$	
— <i>propionique</i>	$C_3H_6O_2$	
— <i>butyrique</i>	$C_4H_8O_2$	
— <i>valérienique</i>	$C_5H_{10}O_2$	
— <i>caproïque</i>	$C_6H_{12}O_2$	
— <i>caprylique</i>	$C_8H_{16}O_2$	
— <i>caprinique (rutilique)</i>	$C_{10}H_{20}O_2$	
— <i>myristique</i>	$C_{14}H_{28}O_2$	
— <i>palmitique</i>	$C_{16}H_{32}O_2$	
— <i>stéarique</i>	$C_{18}H_{36}O_2$	
— <i>arachique</i>	$C_{20}H_{40}O_2$	
— <i>hyénique</i>	$C_{25}H_{50}O_2$	
— <i>cérotique</i>	$C_{27}H_{54}O_2$	

Acétone CH_3COCH_3 . Urine diabétique.

B) *Acides monobasiques à deux lacunes.*

Série oléique ou acrylique.

(Formule générale : $C_nH_{2n-2}O_2$).

Acide oléique $C_{18}H_{34}O_2$. A l'état de savon calcaire dans les excréments, de savon alcalin dans le sang, de glycéride dans la graisse liquide et le lait.

C) *Acides biatomiques monobasiques et monoalcooliques.*

Série glycolique ou lactique.

(Formule générale $C_nH_{2n}O_3$ ou $HO-(CH_2)_nCO_2H$).

Acide carbonique $HO-CO_2H$. Produit ultime de la combustion organique. A l'état d'anhydride ou de carbonate alcalin, dans les liquides et tissus de l'organisme. Sa formule le fait ranger dans la série glycolique; sa bibasicité le rapproche des acides de la série oxalique ($HO-CO-OH$).

Acide glycolique $\text{HO-CH}_2\text{-CO}_2\text{H}$. A l'état d'amine (glycocolle) dans l'acide glycocholique, l'acide hippurique.

Acides lactiques $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3$.

A) *Ac. éthylénolactique* $\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CO}_2\text{H}$. Traces dans les muscles.

B) *Ac. éthylidénolactique* $\text{H}_5\text{C-CH. OH-CO}_2\text{H}$.

a) *Ac. paralactique* ou *sarcolactique* ou *acide dextrogyre*. Muscles et divers liquides et tissus de l'économie, urine.

b) *Ac. lactique de fermentation*, optiquement inactif (mélange d'acides dextrogyre et lévogyre). Produit de la fermentation lactique.

Acide oxybutyrique $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_3$. Urine diabétique.

Acide leucique $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_3$. A l'état d'amine (leucine) dans un grand nombre d'organes.

D) *Acides biatomiques et bibasiques.*

Série oxalique.

(Formule générale : $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_4$ ou $\text{CO}_2\text{H-(CH}_2)_m\text{-CO}_2\text{H}$).

Acide oxalique $\text{CO}_2\text{H.CO}_2\text{H}$. A l'état de sel de calcium dans l'urine. A l'état d'uréide dans l'acide parabanique (oxalylurée), produit d'oxydation de l'acide urique.

— *malonique* $\text{CO}_2\text{H-CH}_2\text{-CO}_2\text{H}$, — *succinique* $\text{CO}_2\text{H-C}_2\text{H}_4\text{-CO}_2\text{H}$. Produit de la putréfaction de l'albumine. Traces dans l'urine et les glandes vasculaires.

E) *Acides triatomiques et monobasiques.*

Acide glyoxylique $\text{CO}_2\text{H-CH(OH)}_2$. A l'état d'uréide dans l'allantoïne (glyoxylylurée).

— *glyoxalique* $\text{CO}_2\text{H-COH}$.

— *glycérique* $\text{CH}_2\text{OH-CH.OH-CO}_2\text{H}$.

F) *Acides triatomiques, bibasiques et monoalcooliques.*

Série tartronique ou malique.

(Formule générale : $\text{C}_n\text{H}_{2n-3}\text{O}_5$).

Acide tartronique $\text{CO}_2\text{H-CH.OH-CO}_2\text{H}$. A l'état d'amine dans l'acide glutamique.

— *malique* $\text{CO}_2\text{H-CH.OH-CH}_2\text{-CO}_2\text{H}$.

— *oxyglutarique* $\text{CO}_2\text{H-CH.OH-C}_2\text{H}_4\text{-CO}_2\text{H}$.

G) *Acides tétratomiques bibasiques et bialcooliques.*

Acide dioxymalonique $\text{CO}_2\text{H-C(OH)}_2\text{-CO}_2\text{H}$.

— *mésomalique* $\text{CO}_2\text{H-CO-CO}_2\text{H}$. A l'état d'uréide dans l'alloxane.

H) *Acides (gras ?) de constitution inconnue.*

Acides biliaires.

Acide cholalique $\text{C}_{24}\text{H}_{40}\text{O}_5$. (α)D = + 35°. A l'état de combinaison avec la taurine et le glycocolle. Bile des vertébrés.

— *choloidinique* $\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$ et *Dyslysine* $\text{C}_{24}\text{H}_{36}\text{O}_5$. (Anhydrides de l'acide cholalique).

— *hypochoalique* $\text{C}_{25}\text{H}_{40}\text{O}_5$. Bile de porc.

— *chénochoalique* $\text{C}_{27}\text{H}_{44}\text{O}_4$. Bile d'oise.

— *lithofellique* $\text{C}_{30}\text{H}_{56}\text{O}_4$. Concrétions intestinales connues sous le nom de bézoars orientaux.

— *fellique* $\text{C}_{23}\text{H}_{40}\text{O}_4$. Bile humaine.

§ IV. — ETHERS COMPOSÉS.

Palmitate de cétyle. Blanc de baleine.

— *myricile.* Cire des abeilles.

Triglycérides ou *graisses* $C_3H_5(OR)_3$.

Butyrate de glycérile ou *tributyrine* $C_3H_5 \begin{cases} O.C_4H_7O \\ O.C_4H_7O \\ O.C_4H_7O \end{cases}$ Beurre.

Palmitate de glycérile ou *tripalmitine* $C_3H_5 \begin{cases} O.C_{16}H_{33}O \\ O.C_{16}H_{33}O \\ O.C_{16}H_{33}O \end{cases}$ Graisse.

Stéarate de glycérile ou *tristéarine* $C_3H_5 \begin{cases} O.C_{18}H_{35}O \\ O.C_{18}H_{35}O \\ O.C_{18}H_{35}O \end{cases}$ Graisse.

Oléate de glycérile ou *trioléine* $C_3H_5 \begin{cases} O.C_{18}H_{33}O \\ O.C_{18}H_{33}O \\ O.C_{18}H_{33}O \end{cases}$ Graisse.

Lanoline : éther composé de la cholestérine. Revêtement épidermique des vertébrés à sang chaud.

Le beurre contient près de 2 % de *butyrine*, *capronine*, *capryline* et *caprine*, etc.

Acide phosphoglycérique $C_3H_5 \begin{cases} OH \\ OH \\ PO_4H_2 \end{cases}$ Produit de décomposition de la lécithine, traces dans l'urine et dans les excréments.

SECTION II. — Corps gras azotés.

§ I. — AMINES.

Diméthylamine $Az < \begin{smallmatrix} (CH_3)_2 \\ H \end{smallmatrix}$. Produit de la décomposition putride des tissus animaux.

Triméthylamine $Az (CH_3)_3$. Produit de la décomposition putride (de la lécithine?). Traces dans l'urine humaine, dans la chair des poissons.

Neuridine $C_5H_{14}Az_2$ ou $\begin{smallmatrix} AzH_3 \\ AzH_3 \end{smallmatrix} > C_5H_{10}$. Cerveau, jaune de l'œuf. Produit de putréfaction de la viande ou ptomaïne (Brieger).

Neurine ou *hydroxyde de triméthyl-vinylammonium* $C_5H_{13}AzO$ ou $HO-Az(CH_3)_3-CH-CH_3$. Ptomaïne ou base de putréfaction (Brieger).

Choline ou *oxyneurine*, *sincaline*, *bilinéurine* ou *hydroxyde de triméthyl-oxyéthylammonium* $C_5H_{15}AzO_2$ ou $HO-Az(CH_3)_3-C_2H_4.OH$. Se trouve sous forme de combinaison avec l'acide distéaringlycérophosphorique (lécithine).

Lécithines. Formule générale : $C_3H_5 \begin{cases} OR \\ OR' \\ O.PO < \begin{smallmatrix} OH \\ O.C_2H_4(CH_3)_3Az.OH \end{smallmatrix} \end{cases}$

(R et R' représentent des radicaux d'acides gras.)

Les lécithines sont des combinaisons de choline avec une graisse phosphorée, résultant de l'union de la glycérine avec deux molécules d'acides gras (palmitique, stéarique, oléique) et avec une molécule d'acide phosphorique. Cerveau, jaune d'œuf, sang, et la plupart des tissus.

Protagone de Liebreich. Mélange de lécithine et de cérébrine d'après Hoppe-Seyler.

§ II. — AMINES ACIDES.

A) *Amines acides, dérivées des acides de la série lactique, par remplacement du groupe alcoolique OH par AzH₂.*

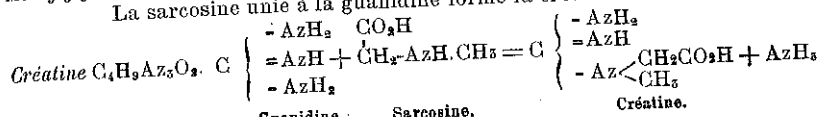
Glycines, Alanines.

On les appelle aussi acides amidés; on les considère alors comme dérivant des acides de la série acétique, par substitution d'un atome de H, par le groupe AzH_2 .

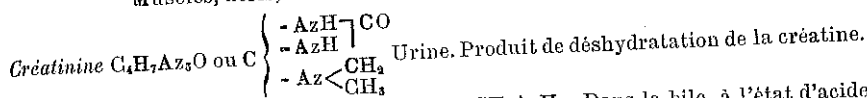
- Acide carbamique* ou *amido-formique* ou *amido-carbonique* $\text{CO}_2\text{H}\cdot\text{AzH}_2$. Corps intermédiaire entre l'urée (carbamide) et l'acide carbonique. Traces dans le sang (?).
- Glycocolle*, *glycine glycolique*, *acide amido-acétique* ou *sucres de gélatine* $\text{CO}_2\text{H}\cdot\text{CH}_2\cdot\text{AzH}_2$. Produit de décomposition de la gélatine par les acides minéraux. Produit de décomposition des acides hippurique (ac. glyco-benzoïque) et glycocholique (ac. glyco-cholalique). Dans l'intestin.
- Alanine* ou *glycine lactique* ou *acide amido-propionique* $\text{C}_3\text{H}_7\text{AzO}_2$ ou $\text{CO}_2\text{H}\cdot\text{CH}\cdot\text{AzH}_2\cdot\text{CH}_3$. Produit de décomposition de la tyrosine.
- Butalanine* ou *acide amido-valérique* $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{AzO}_2$ ou $\text{CO}_2\text{H}\cdot(\text{CH}_2)_3\cdot\text{AzH}_2$. Produit de décomposition de l'albumine.
- Leucine* ou *acide amido-capronique* $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{AzO}_2$ ou $\text{CO}_2\text{H}\cdot(\text{CH}_2)_4\cdot\text{AzH}_2$. Pancréas. Produit de décomposition de l'albumine (dans la digestion pancréatique, la putréfaction, l'action des alcalis ou des acides minéraux).

Appendice aux amines acides (glycines).

Méthylglycocolle ou *sarcosine* $\text{C}_3\text{H}_7\text{AzO}_2$ ou $\text{CO}_2\text{H}\cdot\text{CH}_2\cdot(\text{AzH}\cdot\text{CH}_3)$ (Isomère de l'alanine). La sarcosine unie à la guanidine forme la créatine.

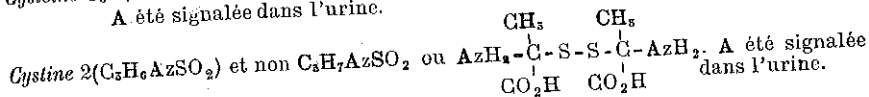


(Guanidine + Sarcosine — AzH_2 , ou Méthylguanidine + Glycocolle — AzH_2).
Muscles, nerfs, cerveau, testicule, sang, liquide amniotique.



Taurine ou *acide amido-iséthionique* $\text{SO}_3\text{H}\cdot\text{CH}_2\cdot\text{CH}_2\cdot\text{AzH}_2$. Dans la bile, à l'état d'acide taurocholique. Muscles, surtout ceux des mollusques céphalopodes, poumons. Traces dans les matières fécales.

Cystéine $\text{C}_3\text{H}_7\text{AzSO}_2$ ou $\text{CO}_2\text{H}\cdot\text{C}\cdot\text{SH}\cdot\text{AzH}_2\cdot\text{CH}_3$. Produit de réduction de la Cystine. A été signalée dans l'urine.



B) Amines acides, dérivées de la série tartronique ou malique,

par substitution du groupe AzH_2 à l'hydroxyle alcoolique OH.

Acide aspartique ou *amine de l'acide malique* ou *acide amido-succinique* $\text{C}_4\text{H}_7\text{AzO}_4$ ou $\text{CO}_2\text{H}\cdot\text{CH}_2\cdot\text{CH}\cdot\text{AzH}_2\cdot\text{CO}_2\text{H}$. Produit de destruction de l'albumine par les acides minéraux.

Acide glutamique ou *amine de l'acide oxy-glutarique* $\text{C}_5\text{H}_9\text{AzO}_4$ ou $\text{CO}_2\text{H}\cdot\text{C}_2\text{H}_4\cdot\text{CH}\cdot\text{AzH}_2\cdot\text{CO}_2\text{H}$. Produit de destruction de l'albumine par les acides minéraux.

Sérine ou *amine de l'acide glycérique* $\text{CO}_2\text{H}\cdot\text{CH}\cdot\text{OH}\cdot\text{CH}_2\cdot\text{AzH}_2$. Produit de décomposition de la soie.

§ III. — AMIDES ET URÉIDES. ACIDE URIQUE. PTOMAINES ET LEUCOMAINES.

Urée ou *amide carbonique* COAz_2H_4 ou $\text{CO} < \begin{array}{l} \text{AzH}_2 \\ \text{AzH}_2 \end{array}$ Urine, sang, foie, etc.

Biuret $\text{C}_2\text{O}_2\text{Az}_3\text{H}_5$ ou $\text{CO} < \begin{array}{l} \text{AzH}_2 \\ \text{AzH} \\ \text{CO} < \text{AzH}_2 \end{array}$ Dérivé de l'urée.

Acide parabanique ou oxalyturée $C_5H_2Az_2O_5$ ou $CO < \begin{matrix} AzH-CO \\ AzH-CO \end{matrix}$ Dérivé de l'acide urique.

Allantoïne ou glyoxyliurée $C_4H_6Az_2O_5$ ou $CH < \begin{matrix} AzH_2 \\ AzH \\ AzH \end{matrix} > \begin{matrix} CO \\ CO \\ CO \end{matrix}$ Urine des jeunes mammifères, produit d'oxydation de l'acide urique.

Alloxane ou mésoxalyturée $C_4H_2Az_2O_4$ ou $CO < \begin{matrix} AzH-CO \\ AzH-CO \end{matrix}$ Produit d'oxydation de l'acide urique.

Acide urique ou Diuréide de l'acide trioxacrylique $C_5H_4Az_4O_5$. Pour la formule de structure, voir au Ch. VIII. Urine; traces dans les muscles, le cerveau, la rate, le foie, le sang, etc.

Leucomaines (GAUTIER), bases azotées compliquées provenant de la décomposition organique de l'albumine.

Xanthine	$C_5H_4Az_4O_2$. Muscles, cerveau, rate, pancréas, urines.	} Produits de décompo- sition des nucléines
Hypoxanthine ou Sarcine	$C_5H_4Az_4O$.	
Guanine	$C_5H_5Az_5O$. Extrait de viande, pancréas, écailles des poissons, excréments des araignées.	
Adénine	$C_6H_5Az_5$.	
Hétéroxanthine	$C_6H_5Az_4O_2$.	
Paraxanthine	$C_7H_5Az_4O_2$.	
Carnine	$C_7H_5Az_4O_5$. Extrait de viande.	
Xanthocréatinine	$C_8H_{10}Az_4O$. Viande de bœuf, urine, salive, sang.	
Crusocréatinine	$C_8H_8Az_4O$. " "	
Amphicréatinine	$C_9H_{10}Az_7O_4$. " "	
Pseudoxanthine	$C_4H_5Az_5O$. " "	

A ce groupe appartiennent la Théobromine et la Théophylline (Diméthylxanthine) ainsi que la Cafèine (Triméthylxanthine).

Ptomaines (SELM), bases azotées provenant de la putréfaction bactérienne des tissus animaux (plusieurs ont des propriétés toxiques).

Outre la diméthylamine $AzH.(CH_3)_2$, la triméthylamine $Az(CH_3)_3$, la neurine $C_8H_{13}AzO$, la neuridine $C_8H_{14}Az_2$ déjà mentionnées précédemment, on peut citer les bases suivantes :

Cadavérine (Pentaméthylènediamine).	$C_5H_{14}Az_2$. Putréfaction.
Putrescine (Tetraméthylènediamine).	$C_4H_{13}Az_2$. " "
Mydatozine	$C_6H_{15}AzO_2$. " "
Mydine	$C_6H_{11}AzO$. " "
Muscarine	$C_8H_{13}AzO_2$. " "
Méthylguanidine	$C_3H_7Az_5$. " "
Tétanine	$C_{15}H_{50}Az_2O_4$. Ptomaine produite par la bactérie du tétanos.
Typhotozine	$C_7H_{17}AzO_2$. Ptomaine produite par le bacille typhique.
Mytilotozine	$C_6H_{15}AzO_2$. Substance toxique des moules.

Chitine $C_{15}H_{26}Az_2O_{10}$. Glucoside formant la carapace des animaux articulés.

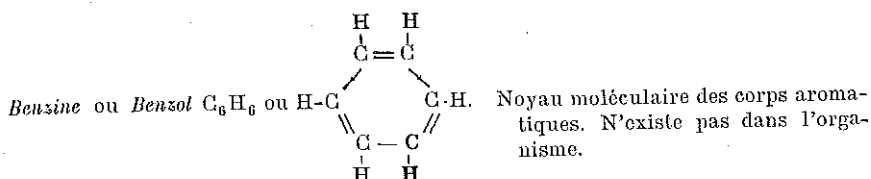
Cérébrine $C_{19}H_{33}AzO_5$. Glucoside trouvé dans le cerveau, le sang, etc.

Acide sulfocyanique $HSCAz$. A l'état de sel dans la salive, parfois dans l'urine.

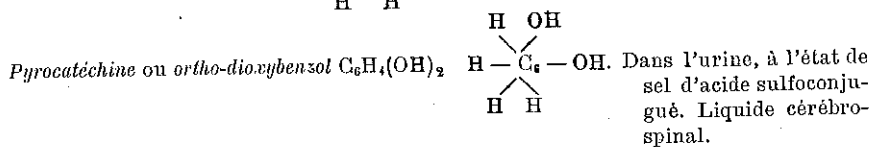
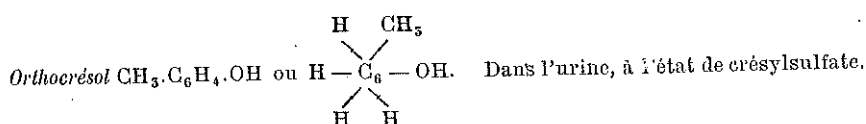
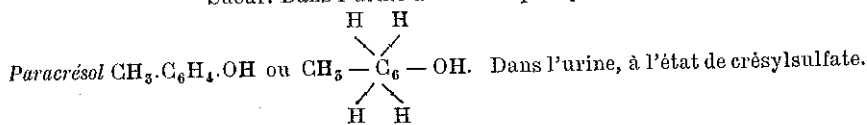
Acide cryptophanique $C_{10}H_{18}Az_2O_{10}$. Traces dans l'urine.

Acide inosique $C_{10}H_{14}Az_4O_{11}$. Muscles.

SECTION III. — Corps aromatiques.



Phénol $\text{C}_6\text{H}_5\text{.OH}$. Produit de la putréfaction intestinale de l'albumine. Matières fécales. Sueur. Dans l'urine à l'état de phénylsulfate.

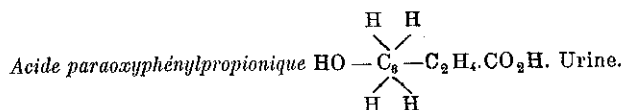
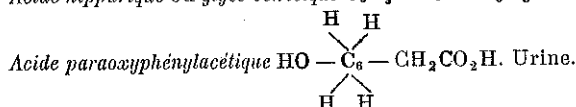


Acide phénylsulfurique $\text{C}_6\text{H}_5\text{.O-SO}_3\text{H}$. Dans l'urine à l'état de sel.

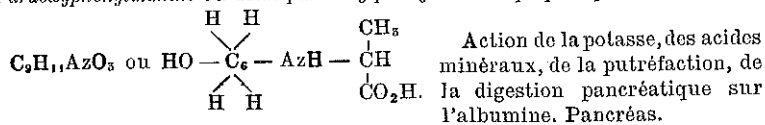
Acides crésylsulfuriques $\text{CH}_3\text{-C}_6\text{H}_4\text{.O-SO}_3\text{H}$. Dans l'urine à l'état de sels.

Acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}$. Urine (à l'état d'acide glyco-benzoïque).

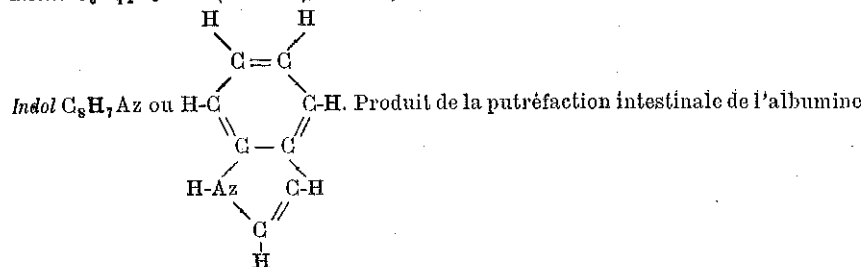
Acide hippurique ou *glyco-benzoïque* $\text{C}_6\text{H}_5\text{AzO}_3$ ou $\text{C}_6\text{H}_5\text{.CO-AzH-CH}_2\text{.CO}_2\text{H}$. Urine.



Tyrosine. *Paraoxyphénylalanine* ou *acide para-oxy-phényl- α -amidopropionique*



Inosite $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ou $6(-\text{CHOH}-)$, Hexahydrohexaoxybenzol. Muscles.



Indoxyl C_8H_6AzOH . Dans l'urine. A l'état d'indoxylsulfate (indican).

Indican ou *acide indoxylsulfurique* $C_8H_6Az.O.SO_3H$. Urine.

Bleu d'indigo ou *indigotine* $C_{16}H_{10}Az_2O_2$. Produit de décomposition et d'oxydation de l'indican. Dans l'urine.

Scatol C_9H_9Az (Méthylindol?). Produit de la putréfaction intestinale de l'albumine, matières fécales. Dans l'urine à l'état de scatoxylsulfate.

Naphtalène $C_{10}H_8Az$. Urine.

Chinoline C_9H_7Az . Urine de chien, à l'état d'acide kynurique.

Acide kynurique $C_{10}H_7AzO_3$ ou *Acide oxy-chinolure-formique* $HO-C_9H_5Az-CO_2H$. Urine de chien.

SECTION IV. — Matières colorantes de constitution inconnue.

Bilirubine (Hématoidine) $C_{32}H_{36}Az_4O_6$. Bile et calculs biliaires, extravasations sanguines, sang.

Biliverdine $C_{32}H_{36}Az_4O_8$. Bile, placenta de chienne. Produit d'oxydation de la bilirubine.

Bilifuscine $2(C_{16}H_{20}Az_2O_4)$. Calculs biliaires.

Biliprasine $2(C_{16}H_{22}Az_2O_6)$. Calculs biliaires.

Urobiline (Jaffe), *Hydrobilirubine* (Maly), *Stercobiline* (Masius et Vanlair), $C_{32}H_{40}Az_4O_7$. Matières fécales, urine.

Hématine ou $C_{32}H_{32}Az_4O_4Fe$. Produit de décomposition de l'oxyhémoglobine.

Hémochromogène. Produit de réduction de l'hématine, de décomposition de l'hémoglobine.

Hématoporphyrine.

Matières colorantes de l'urine.

Lutéines et Lipochromes. Pigments du jaune d'œuf, des corps jaunes de l'ovaire, etc.

Mélanine. Pigments noirs de la choroïde, du réseau de Malpighi, des cheveux, du poulmon, etc.

Rhodopsine (pourpre rétinien) et autres pigments de la rétine.

Tétronérythrine et autres pigments des téguments des animaux.

Les propriétés des graisses, de la lécithine, de la cholestérine, du glycogène, de l'urée, etc., etc. seront étudiées ultérieurement, à propos des différents tissus ou organes d'où on les extrait.

SECTION V. — Matières protéiques.

Les matières protéiques (de *πρωτεινω*, j'occupe le premier rang) constituent l'élément principal, indispensable et caractéristique du protoplasme vivant, ainsi que des tissus et des liquides nourriciers de tous les animaux.

Toutes contiennent C, H, Az, O, le plus souvent aussi S, quelques-unes P et un petit nombre Fe ou Cu. Leur constitution chimique et leur formule sont inconnues. Il est certain que leur poids moléculaire est très élevé, et leur structure moléculaire des plus compliquées. Ainsi A. Gürber attribue à l'albumine cristallisée du sérum de bœuf un poids moléculaire de 17070 et la formule empirique $C_{715}H_{1215}Az_{195}S_{10}O_{255}$.

Toutes sont décomposées par la chaleur en fournissant des gaz combustibles, AzH_3 , CO_2 , H_2O , des bases azotées, etc. et en répandant une odeur de corne brûlée.

Nous les divisons en plusieurs groupes :

§ I. — MATIÈRES ALBUMINOÏDES VRAIES.

Matières protéiques proprement dites.

1. *Albumines et globulines naturelles.*
2. *Albumines acides ou alcalines artificielles. Propeptones et peptones ou albumines digérées.*
3. *Albumines coagulées.*

§ II. — PROTÉIDES.

Substances fournissant par décomposition : des matières albuminoïdes proprement dites, plus des produits non protéiques.

1. *Hémoglobines, Hémocyanine, Chlorocruorine et autres protéides respiratoires, métallifères.*
2. *Nucléines.*
3. *Nucléo-albumines (et cytoglobines de Demme?) ou Nucléo-protéides. On doit sans doute, ranger ici la substance ferrifère contenue dans le jaune de l'œuf.*
4. *Nucléo-vitellines.*
5. *Mucines.*
6. *Mucinoïdes.*

§ III. — DÉRIVÉS ALBUMOÏDES.

Albuminoïdes des auteurs allemands, formant la charpente solide de l'organisme animal.

1. *Collagène et colle.*
2. *Kératines.*
3. *Elastine.*
4. *Conchioline, Spongine, etc.*
5. *Amyloïde.*

§ IV. — FERMENTS OU ENZYMES.

Matières albuminoïdes vraies ou Matières protéiques proprement dites (1). — Les substances albuminoïdes sont formées de C, H, Az, O et S unis dans des proportions variant légèrement d'une espèce albuminoïde à l'autre. Elles contiennent pour cent : 48 à 53 C, 6.8 à 7.3 H, 15 à 17 Az, 1 à 2 S et le reste (21 à 23) O. Voici à titre d'exemple quelques formules approximatives calculées par Schmiedeberg (1897) :

Fibrinogène.	$C_{114}H_{168}Az_{30}SO_{36}$
Albumine du Sérum.	$C_{78}H_{122}Az_{20}SO_{24}$
Propeptone.	$C_{102}H_{150}Az_{30}SO_{51} + Aq$
Paraglobuline.	$C_{117}H_{182}Az_{30}SO_{58}$
Albumine de l'œuf.	$C_{80}H_{122}Az_{20}SO_{24} + Aq$
Peptone	$C_{103}H_{178}Az_{30}SO_{43}$

(1) Pour la bibliographie et l'histoire, voir l'article *Eiweisskörper*, par E. DRECHSEL, dans LADENBURG's *Handwörterbuch der Chemie*, III, p. 534-589 et *Albuminoïdes* dans le *Dictionnaire de physiologie* de RICHET. Pour la composition centésimale, voir O. SCHMIEDEBERG, *Arch. f. exp. Pathol.*, 1897, XXXIX, 1.

Traitées à chaud soit par les acides minéraux, soit par les alcalis, ou par les agents d'oxydation, elles fournissent des produits de décomposition nombreux et variés : ammoniaque, anhydride carbonique, acides gras et leurs amides, corps aromatiques et dans quelques cas des dérivés du cyanogène. La putréfaction les décompose en substances analogues. La leucine et la tyrosine, qui se forment par ces réactions, sont également des produits plus ou moins normaux de la décomposition des albuminoïdes dans notre corps. Mais l'urée et l'acide urique, derniers stades de la combustion organique du protoplasme, n'ont pu être jusqu'ici obtenus *in vitro* par l'action des corps oxydants (permanganate de potassium, chlore) sur l'albumine.

Grimaux (1885) a préparé synthétiquement, par l'action de l'oxychlorure de phosphore sur un mélange de leucine et de tyrosine, et traitement ultérieur par AzH_3 , une substance amorphe, colloïde, présentant quelques unes des réactions caractéristi-

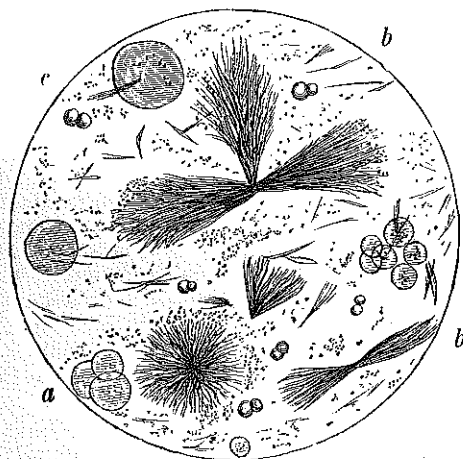


Fig. 3. — Leucine et tyrosine en préparation microscopique.

aa. Grosses sphères de Leucine;

bb. Houppes de Tyrosine;

c. Petites sphères doubles d'urate d'ammoniaque.

ques de l'albumine : précipitation par l'ébullition, réaction xantho-protéique, r. de Millon, r. du biuret.

Schützenberger (1891) a pareillement réalisé la synthèse d'une *pseudopeptone*, en chauffant à $+125^\circ$ un mélange d'anhydride phosphorique, d'urée et de composés de la formule $\text{C}_m\text{H}_{2m+1}\text{AzO}_2$ et $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{AzO}_2$.

La molécule d'albumine paraît donc contenir différents groupes atomiques, appartenant les uns à la série aromatique, les autres à la série grasse. Ces groupes seraient reliés par un noyau azoté de constitution analogue à celle de l'urée ou de la guanidine (Hoppe-Seyler). Schützenberger (1) qui a fait une étude approfondie des produits de décomposition des substances albuminoïdes, les considère comme des uréides complexes, résultant de la combinaison, en différentes proportions, d'urée avec les acides amidés.

Pflüger a appelé l'attention sur la différence qui existe entre l'albumine non vivante, telle que celle provenant du blanc d'œuf ou du sérum, et l'albumine active du protoplasme. L'albumine de l'œuf peut se conserver intacte pendant des années et se montre indifférente vis-à-vis de l'oxygène. Mais dès qu'elle est assimilée par le proto-

(1) SCHÜTZENBERGER, *Bull. Soc. chim.* XXIII, XXIV et XV.

plasme et élevée à la dignité de matière vivante, elle devient d'une instabilité extrême, et présente une grande avidité pour l'oxygène. Pflüger incline à croire que l'albumine éprouve un changement isomérique, quand elle passe de l'état vivant à l'état mort ou réciproquement. La molécule d'albumine vivante contiendrait l'azote à l'état de groupe cyanogène CAz , tandis que dans l'albumine morte, l'azote aurait la même position que dans les amides : AzH^2 .

Loew admet que l'albumine vivante se distingue de l'albumine morte par une grande mobilité des atomes à l'intérieur de la molécule, mobilité due à la présence dans la molécule vivante de groupes aldéhydiques.

L'apparence physique des substances albuminoïdes solubles rappelle celle de la gomme arabique. Ce sont des substances ordinairement amorphes, cristallisant difficilement quand elles sont d'origine animale (HOFMEISTER, 1889, GÜRBER), plus facilement chez les végétaux (SCHMEDEBERG, DRECHSEL, RITTHAUSEN), incolores, colloïdes, c'est-à-dire non diffusibles (GRAHAM). Toutes sont lévogyres, dévient à gauche le plan de la lumière polarisée (BOUCHARDAT, HOPPE-SEYLER, 1864).

Dialyseur. — La propriété que possèdent les matières albuminoïdes de ne pas diffuser à travers les membranes organiques, peut être utilisée pour les débarrasser des substances diffusibles, qui les accompagnent toujours dans leurs solutions naturelles (GRAHAM). La purification de l'albumine s'exécute dans un dialyseur, c'est-à-dire dans un vase formé par une membrane de papier parchemin, et plongeant dans un bain extérieur d'eau distillée que l'on renouvelle de temps en temps (Voir fig. 4). Le mélange d'albumine, de sels et d'autres cristalloïdes qui constitue le sérum, le blanc d'œuf, etc., est versé dans l'intérieur du dialyseur. Les sels, les corps diffusibles passent à travers la membrane et vont se mélanger à l'eau extérieure, tandis que l'albumine ainsi purifiée reste à l'intérieur.

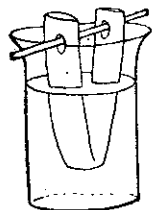


Fig. 4.
Dialyseur de Kühne formé d'un boyau de papier parchemin, suspendu dans l'eau distillée.

Polarimètre. — Quant à la rotation que les solutions d'albumine impriment au plan de la lumière polarisée, elle peut être constatée et mesurée au moyen d'un instrument appelé polarimètre. La fig. 5 représente le polarimètre Laurent. Il ne sera pas question ici de la théorie de l'instrument, pour laquelle on peut consulter les traités de physique. Je me bornerai à en rappeler l'usage.

Outre la source lumineuse c (lumière monochromatique jaune, obtenue par la volatilisation du chlorure de sodium), le polarimètre se compose d'un pied supportant en p , le prisme de Nicol faisant fonction de polariseur, et en o , le prisme analyseur. Entre ces deux parties optiques, s'intercale le tube t fermé à ses deux extrémités par des lames de glace parallèles, et contenant le liquide à essayer.

Lorsque l'instrument est au zéro, l'observateur placé en o , aperçoit un champ lumineux circulaire dont les deux moitiés, droite et gauche, présentent exactement le même degré d'éclairage. L'interposition du tube t rempli d'eau distillée (substance inactive) ne change rien à cette apparence. Mais si le tube t contient en dissolution une substance optiquement active, de l'albumine par exemple, le plan de polarisation de la lumière qui vient du polariseur subit au sein du liquide une déviation. Cette lumière ainsi modifiée arrivant à l'analyseur o , s'y trouve arrêtée en partie, et le champ visuel apparaît divisé en deux moitiés, une sombre et une claire. Pour rétablir l'apparence primitive que présentait l'appareil au zéro, il faut imprimer à l'analyseur une rotation (autour de l'axe de l'instrument) qui compense exactement la rotation provenant de l'interposition du liquide actif. A cet effet, on tourne l'analyseur jusqu'à ce que le champ de l'instrument présente de nouveau l'égalité d'éclairage entre sa moitié droite et gauche. L'analyseur porte un index muni d'un vernier,

permettant de lire très exactement au moyen de l'oculaire *o*, le degré de rotation sur le cercle gradué.

Une solution de paraglobuline du sérum à 1 pour cent, examinée sous une épaisseur de 10 centimètres, dévie le plan de polarisation vers la gauche de $0,48^\circ$; c'est ce que l'on exprime en disant que le pouvoir rotatoire de la paraglobuline du sérum pour la lumière jaune, correspondant à la raie spectrale D, est égal à -48° .

$$\alpha_D = -48^\circ.$$

La rotation dépend donc du pouvoir spécifique de la substance considérée; elle est en outre proportionnelle au nombre de particules actives rencontrées par la lumière, c'est-à-dire au degré de concentration du liquide. Des solutions contenant 2, 3, 4... p.c. d'albumine produiront respectivement une déviation de $0,96^\circ$, $1,44^\circ$, $1,92^\circ$... Il est donc facile de calculer la proportion de substance active contenue dans le liquide, connaissant la déviation imprimée au plan de la lumière polarisée (dosage de l'albumine par circumpolarisation — HOFPE-SEYLER.)

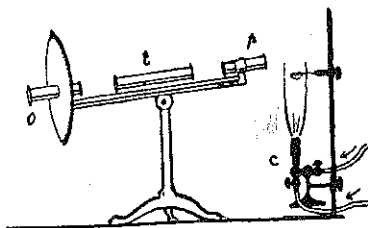


Fig. 5. — Polarimètre Laurent. *c*, lampe à lumière jaune monochromatique; *p*, polariseur; *o*, oculaire analyseur mobile; *t*, tube contenant le liquide à examiner (à intercaler entre *p* et *o*).

Réactions générales des matières albuminoïdes.

— Pour exécuter les réactions générales des matières albuminoïdes, on s'adressera au sérum

du sang dilué. On mélangera par exemple 10 c. c. de sérum de bœuf avec dix volumes d'une solution diluée de chlorure de sodium (à 1 %) et l'on exécutera chacune des réactions avec 2 $\frac{1}{2}$ c. c. de ce liquide dans un petit tube à réaction. A défaut de sérum, on pourrait employer le blanc d'œuf convenablement divisé au moyen de ciseaux, dilué avec plusieurs volumes d'eau légèrement salée, puis filtré.

Si l'on veut simplement constater la présence de C, H, O, Az, S, on chauffera avec précaution, dans un tube à réaction bien sec, un fragment d'albumine (blanc d'œuf dialysé, séché à l'étuve) ou de fibrine sèche, de manière à carboniser la substance, au dessus de la flamme d'un brûleur de Bunsen. Une languette de papier de tournesol rouge et une seconde languette de papier glacé à l'acétate de plomb sont maintenues à l'entrée du tube : dégagement de vapeurs empyreumatiques, noircissant le papier d'acétate de plomb (présence de S), sentant l'ammoniaque et la corne brûlée et bleuissant le tournesol rouge (présence de Az), donnant sur les parties froides du tube un dépôt de gouttelettes aqueuses (présence de H et O); et laissant au fond du tube un charbon noir boursoufflé (présence de C).

Coagulation par la chaleur. — Les solutions d'albumine, neutres ou légèrement acidulées par la chaleur, se coagulent en grumeaux lorsqu'on les soumet à l'ébullition. La coagulation est incomplète si l'on fait l'essai au moyen du sérum dilué, naturel, à cause de l'alcalinité du liquide. Elle ne se montre pas du tout, si le liquide est rendu fortement alcalin par addition de soude. Chaque substance albuminoïde présente une température de coagulation qui lui est propre et qui peut dans beaucoup de cas suffire à la caractériser. (Voir plus loin le tableau de la page 25). La détermination de ce point de coagulation se fait au moyen de l'ap-

pareil représenté fig. 6. Le liquide à essayer est introduit dans un tube à réaction avec un thermomètre, le tout est chauffé graduellement au bain d'eau (vase de Berlin chauffé au bain-marie). On note la température à laquelle le liquide se trouble. Si l'on soupçonne dans le liquide la présence de plusieurs matières albuminoïdes, on filtrera après la première coagulation, et l'on replacera le liquide filtré dans le tube, afin de le soumettre à une nouvelle élévation de température. Cette méthode a été appliquée pour la première fois par Kühne à l'étude des matières albuminoïdes du sérum musculaire; elle a été utilisée ultérieurement par l'auteur (plasma sanguin), par Halliburton (sérum sanguin et autres liquides organiques), par Corin et Bérard (blanc d'œuf), etc.

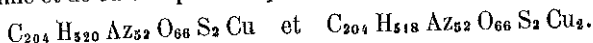
La température de coagulation varie un peu avec la composition du liquide. La présence des acides et des sels en quantité notable a pour effet d'abaisser cette température. L'albumine entièrement privée de sels ne se coagulerait pas par la chaleur.

Coagulation par l'alcool. — Les solutions d'albumine sont précipitées par l'alcool : le précipité peut ultérieurement se redissoudre dans l'eau, si l'action de l'alcool a été de très courte durée. Mais le contact prolongé de l'alcool ne tarde pas à modifier chimiquement le précipité d'albumine, à le coaguler, c'est-à-dire à le rendre définitivement insoluble.

Coagulation par les acides. — Les solutions d'albumine sont coagulées par les acides minéraux forts : HCl , HAzO_3 , H_2SO_4 , acide métaphosphorique, par l'acide picrique, l'acide trichloracétique (OBERMAYER, 1888), etc.

Les acides concentrés et chauds finissent par redissoudre le précipité en le transformant en albumine acide.

Coagulation par les sels. — Les sels des métaux pesants (sublimé, acétate de plomb, iodure de mercure et de potassium, sels de cuivre, acétate de fer, etc.) précipitent l'albumine. Quelques-uns de ces précipités paraissent être de véritables combinaisons métalliques de l'albumine. Harnack(1) a analysé deux combinaisons d'albumine et de cuivre qu'il a représentées par les formules



L'emploi des liquides albumineux (lait, blanc d'œuf) comme contre-poison des sels de mercure, de plomb, etc. est précisément basé sur la formation de ces combinaisons métalliques insolubles.

Coagulation par le tannin (en solution acétique diluée), par le ferro-cyanure de potassium (en solution acide). Précipitation par l'acide acétique en présence des solutions concentrées de sels des métaux alcalins ou alcalino-terreux.

Réaction de Millon. — Des traces d'albumine peuvent être décelées par l'ébullition en présence du nitrate acide de mercure : il se forme un précipité ou une coloration rouge.

Cette réaction est commune à tous les dérivés monohydroxylés du benzol. Elle appartient par conséquent au phénol, au crésol, à la tyrosine. Elle semble indiquer que la molécule d'albumine présente un groupe hydroxyle OH , fixé sur le noyau C_6 du benzol.

(1) HARNACK, *Zeit. ph. Chem.*, V. 198, 1881,

La mucine, la kératine se colorent également en rouge par le réactif de Millon : ces substances fournissent d'ailleurs, comme l'albumine, de la tyrosine parmi leurs produits de décomposition. La substance collagène ne fournit pas de tyrosine et ne donne pas la réaction de Millon.

Pour préparer le réactif de Millon, on dissout 1 partie de mercure dans 2 parties en poids d'acide nitrique (densité 1,42). Après dissolution complète, on dilue avec deux volumes d'eau.

Réaction xanthoprotéique. — Si l'on fait bouillir une solution même diluée d'albumine avec de l'acide nitrique fort, le liquide prend une belle couleur jaune citrin, qui passe au rouge orangé par l'addition d'un alcali en excès.

La réaction xanthoprotéique appartient également à la propeptone, à la peptone, et à quelques dérivés naturels des matières albuminoïdes, tels que la kératine, l'élastine, ainsi qu'aux protéïdes.

Réaction par la soude et le sulfate de cuivre (Réaction du Biuret). — Une solution d'albumine, traitée par un alcali en excès et une trace de sulfate de cuivre, donne à l'ébullition un liquide violet ou pourpre. Les solutions de peptone, traitées par les mêmes substances, prennent déjà à froid une coloration rose ou pourpre.

Le biuret, l'anhydride aspartique et quelques autres substances azotées du même groupe présentent également la réaction du biuret. L'action de la potasse sur l'albumine a probablement pour effet de mettre en liberté une chaîne atomique azotée, analogue au biuret.

Enfin, toutes les substances albuminoïdes sont digérées par le suc gastrique ou le suc pancréatique, c'est-à-dire transformées sous l'influence des ferments digestifs en *peptones*, corps à composition chimique analogue à celle des albuminoïdes. Les peptones sont diffusibles, ne se coagulent pas par l'ébullition, ne précipitent pas par le ferro-cyanure de potassium en solution acide, ni par quelques autres réactifs de l'albumine (Voir le Ch. de la digestion).

L'action toxique du venin des serpents, celle du suc des graines d'*Abrus precatorius*, etc. paraît due à des substances albuminoïdes. L'action physiologique des peptones sera étudiée au Ch. de la nutrition.

Tableau des principales substances albuminoïdes d'origine animale.

a) SUBSTANCES ALBUMINOÏDES SOLUBLES, COAGULABLES PAR LA CHALEUR.

Précipitées de leurs solutions par saturation au moyen de sulfate ammonique.

I. ALBUMINES VRAIES. Solubles dans l'eau distillée et les solutions salines.

1. *Albumines du sérum*. α , β , γ , coag. par chaleur respectivement à $+73^{\circ}$, $+77^{\circ}$ + $+84^{\circ}$ (HALLIBURTON), α [D] = -60° environ pour l'albumine du sang de bœuf; α [D] = -44° pour celle du chien. Non précipitables par l'éther.
2. *Albumine de l'œuf* ou *Ovalbumine*. Coag. à $+73^{\circ}$.
 α [D] = -38° . Précipitable par l'éther.
3. *Albumine du lait* ou *Lactalbumine*.
 α [D] = -37° (SEBELIEN). Coag. à $+77^{\circ}$.
4. *Albumine des muscles, du protoplasme*. Coag. à $+73^{\circ}$.

II. GLOBULINES. Insolubles dans l'eau distillée, solubles dans les solutions salines diluées, précipitées par saturation au moyen de NaCl ou de MgSO_4 ou de sulfate ammonique.

1. *Paraglobuline* ou *globuline du sérum*. Coag. à $+75^\circ$. $\alpha [\text{D}] = -47^\circ 8$.
2. *Fibrinogène* du plasma sanguin. Coag. à $+56^\circ$. $\alpha [\text{D}] = -43^\circ (?)$ (HERMANN) se transforme en fibrine sous l'influence d'un ferment spécial.
3. *Myosine* des muscles. Coag. à $+55^\circ$.
4. *Musculine* des muscles. Coag. à $+45^\circ$ (grenouille) $+47^\circ$ (mammifères) $+51^\circ$ (oiseaux).
5. *Globulines*, du protoplasme, des muscles (coag. $+63^\circ$), du lait, de l'œuf, etc.

b) SUBSTANCES ALBUMINOÏDES SOLUBLES, NON COAGULÉES PAR LA CHALEUR.

Ce sont des produits artificiels, provenant de la transformation des albumines et des globulines, ou de la décomposition des protéïdes.

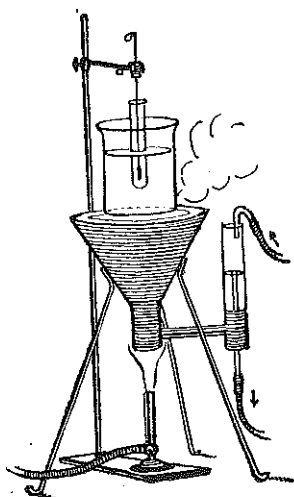


Fig. 6. — Appareil pour la détermination de la température de coagulation des albuminoïdes.

1. *Albumines acides ou alcalines*, produites par l'action des acides ou des alcalis sur les albumines et les globulines. Insolubles dans l'eau distillée et dans les solutions salines neutres, solubles dans les acides ou les alcalis dilués. La mieux connue est la *syntonine* résultant de l'action de HCl au millièmes sur la myosine

$$\alpha [\text{D}] = -72^\circ \text{ (Hoppe-Seyler).}$$

2. *Propeptones ou albumoses ou protéoses*, produites par l'action modérée des sucs gastrique, pancréatique, etc. sur les albumines, les globulines, etc. Solubles dans les solutions salines, précipitées par saturation au moyen du sulfate ammonique. Non diffusibles. Réaction du biuret à froid.

$$\alpha [\text{D}] = -70^\circ \text{ à } -80^\circ \text{ (Kühne).}$$

3. *Peptones*, produites par l'action prolongée des sucs gastrique ou pancréatique sur les autres matières albuminoïdes ou sur les propeptones. Non précipitées par saturation au moyen du sulfate ammonique. Diffusibles. Réaction du biuret à froid.

4. *Histone* de Kossel et produits provenant de la décomposition des nucléoprotéïdes analogues à la nucléohistone de Lilienfeld.

c) SUBSTANCES ALBUMINOÏDES INSOLUBLES OU COAGULÉES.

1. *Fibrine du sang*, provenant de la transformation du fibrinogène.
2. *Caséine et Paracaséine*, provenant de la transformation de la caséine par le ferment de la présure.
3. *Albumines et globulines*, coagulées par la chaleur, par les acides minéraux (HCl , H_2SO_4 , HAzO_3).

Dosage des albumines et globulines. Quand on a affaire à des liquides clairs, on emploie avec avantage le dosage par circumpolarisation (voir plus haut). Dans le cas contraire, on dose les albuminoïdes par la pesée du coagulum obtenu par l'ébullition (en présence d'un peu d'acide acétique) ou mieux par l'alcool en excès. Le coagulum est recueilli sur un petit filtre taré, lavé à l'alcool, à l'éther, desséché longtemps à l'étuve, puis pesé avec précaution entre deux verres de montre (laisser refroidir dans l'exciccateur).

Dosage approximatif de l'albumine dans les urines d'après Esbach. — On verse l'urine albumineuse dans le tube d'Esbach jusqu'au trait U; on ajoute le réactif picricitrique (10 gr. d'acide picrique, 20 gr. d'acide citrique dissous dans l'eau de manière à faire un litre) jusqu'au trait R; on bouche, on retourne le tube dix fois de suite sans secouer, puis on laisse reposer verticalement jusqu'au lendemain (voir fig. 7).

Les grumeaux d'albumine se tassent au fond du tube; le chiffre correspondant à la hauteur du précipité représente le nombre de grammes d'albumine contenus dans un litre d'urine.

Si le coagulum dépasse le trait 4, recommencez l'essai au moyen d'urine diluée avec un ou deux volumes d'eau. Le résultat de l'analyse correspond dans ce cas à la quantité d'albumine contenue dans l'urine diluée: il doit, par conséquent, être multiplié par 2 ou par 3, suivant le cas, pour être rapporté à l'urine non diluée.

La recherche de l'albumine dans les liquides organiques, les urines par exemple, se fait par les procédés suivants:

1^o Le liquide est porté à l'ébullition, puis additionné d'acide nitrique: précipité persistant d'albumine.

2^o On acidule le liquide par l'acide acétique, on ajoute un volume de solution de sulfate de sodium saturée, égal au volume du liquide d'essai, et l'on porte à l'ébullition: formation d'un précipité.

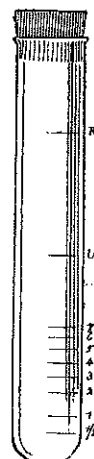


Fig. 7. — Tube d'Esbach pour le dosage clinique de l'albumine des urines.

PROTÉIDES (Hoppe-Seyler).

Substances fournissant par décomposition: a) des matières albuminoïdes proprement dites; b) des produits non protéiques.

I. PROTÉIDES COLORÉES MÉTALLIFÈRES se combinant facilement à l'oxygène (albumine + matière colorante métallifère).

1. *Oxyhémoglobines* et *Hémoglobines*, rouges, ferriques.

2. *Oxyhémocyanine*, bleue, cuprifère.

3. *Chlorocruorine*, etc.

II. NUCLÉINES (*chromatine* des histologistes?) (albumine + acide métaphosphorique [Liebermann] ou autres substances phosphorées).

Substances riches en phosphore constituant la plus grande partie du résidu solide des noyaux cellulaires et des têtes des spermatozoïdes, très répandues dans le protoplasme cellulaire (sous forme de nucléo-albumines). Insolubles dans l'eau, les solutions salines, l'alcool, l'éther, les acides dilués, le suc gastrique, solubles dans les alcalis dilués.

Parmi les produits de décomposition des nucléines, Kossel a signalé principalement les corps du groupe de la xanthine.

III. NUCLÉO-ALBUMINES (albumine + nucléine). Facteurs importants de la constitution du protoplasme, abondamment répandues dans tous les tissus riches en cellules, existant aussi à l'état de pseudo-solution dans quelques produits de sécrétion (caséine du lait). Presque insolubles dans l'eau et les solutions salines, solubles dans les solutions alcalines diluées. Ne se coagulent pas par l'ébullition. Décomposées par le suc gastrique en albumine et en nucléine (protéide riche en phosphore), quelques uns semblent contenir du fer.

1. *Caséine* du lait.

2. *Ovovitelline* du jaune de l'œuf de la poule.

3. *Nucléo-albumines* des tissus, *Nucléo-histones* des Leucocytes (LILLENFELD).

IV. MUCINES (albumine + matière [hydrocarbonée?] réductrice).

Substances colloïdes formant des pseudo-solutions filantes, précipitables par l'acide acétique, fournissant par l'ébullition avec les acides minéraux dilués, de l'albumine acide et des substances réductrices.

Existents dans les produits de sécrétion des muqueuses, des glandes muqueuses, de la peau des linacées et de quelques autres animaux.
Tissu conjonctif et tissu du cordon ombilical.

V. MUCINOÏDES (albumine + substance réductrice).

Paralbumine de Scherer ou métalbumine des kystes de l'ovaire.

Substance colloïde du corps thyroïde.

ALBUMOÏDES ou Albuminoïdes des auteurs allemands.

Dérivés des matières protéiques, formant la charpente solide de l'organisme animal.
Le suc pancréatique ou gastrique, l'ébullition prolongée, les transforment en peptone.

COLLAGÈNE, OSSÉINE. — Matière fondamentale des os, cartilages, tendons et du tissu conjonctif en général des vertébrés. Insoluble dans l'eau froide, se transformant par l'eau bouillante en gélatine ou colle. La solution de gélatine se prend en gelée par le refroidissement; elle ne précipite ni par l'acide acétique, ni par le ferro-cyanure de potassium en solution acide, ni par l'acétate de plomb basique; elle précipite par le tannin. Traitée par l'acide sulfurique concentré, elle se transforme en glyco-colle. Pas de réaction de Millon.

$$\alpha [D] = -130^{\circ} \text{ (Hoppe-Seyler)}$$

D'après Hofmeister la gélatine se retransformerait en collagène à $+130^{\circ}$.

La gelée obtenue par l'action de l'eau chaude sur le cartilage, à laquelle on avait à tort donné le nom de *chondrine*, paraît être un mélange de *gélatine* et d'*acide chondroïtisulfurique*.

KÉRATINES. — Matières cornées des cheveux, ongles, épiderme, cornes, sabots, plumes, écailles, etc. et de la membrane de l'œuf de poule (?) Neurokératine des fibres nerveuses. Contiennent beaucoup de soufre et fournissent beaucoup de tyrosine en se décomposant. Insolubles dans l'eau, les solutions salines, les sucs digestifs, l'alcool, l'éther, les alcalis dilués et les acides à froid; se dissolvent par l'action de l'eau surchauffée ($+150^{\circ}$ à 200°) et fournissent de la propeptone; solubles dans les alcalis à chaud; donnent les réactions de Millon et la réaction xantho-protéique.

ELASTINES. — Matières fondamentales du tissu élastique (ligament cervical.) Ne contiennent pas (ou peu) de soufre. Insolubles dans la plupart des réactifs. Par l'action de l'eau surchauffée ou par celle du suc gastrique, les élastines fournissent des propeptones (élastoses). Réaction de Millon.

On peut ranger probablement ici la *Spongine* des éponges, la *Conchioline* des coquilles de mollusques, le *Byssus* des mollusques, la *Cornéine* de l'axe des Gorgones, la *Fibroïne* et la *Séricine* de la soie etc. ainsi que la substance amyloïde.

S. AMYLOÏDE ou LARDACÉINE. — Substance caractéristique de la dégénérescence dite amyloïde du rein, du foie, de la rate. A été trouvée dans quelques calculs prostatiques.

Grains se colorant en brun ou en violet sale par l'iode, absorbant certaines matières colorantes, insolubles dans la plupart des dissolvants et dans les sucs digestifs (ce dernier point est contesté par Kostjurin), se transformant par les alcalis ou les acides concentrés en albumine alcaline ou acide.

Réaction xanthoprotéique et r. de Millon.

Ferments solubles, Zymazes ou Enzymes. — Substances très compliquées, peut-être voisines des matières albuminoïdes (l'émulsine des amandes a, d'après Aug. Schmidt, la composition suivante C 48.76, H 7.13, Az. 14.16, S 1.25, O 28.70 %). Le ferment de la fibrine serait une combinaison de nucléo-albumine et d'un sel de chaux, d'après Pekelharig 1892), formées dans les

cellules vivantes, capables de transformer (en présence de l'eau) d'autres substances organiques dites fermentescibles, en produits de décomposition présentant ensemble un calorique de combustion inférieur à celui des substances qui leur ont donné naissance.

Les ferments semblent agir par leur seule présence : beaucoup se retrouvent en grande partie intacts quand la fermentation est terminée : aussi une petite quantité de ferment est-elle capable de transformer une quantité presque indéfinie de substance fermentescible. Liebig a fort justement comparé leur intervention à l'action catalytique que la mousse de platine exerce sur l'eau oxygénée. Tous les ferments jouissent d'ailleurs également de la propriété de décomposer l'eau oxygénée. Ils ne sont pas diffusibles.

Les ferments n'exercent leur pouvoir que dans certaines limites de température. A 0° leur action est à peu près nulle, elle s'accroît à mesure que la température s'élève, atteint son maximum à une température variable d'un ferment à l'autre, puis va en décroissant. Tous les ferments perdent irrévocablement leur pouvoir, quand on les chauffe à l'état humide notablement au-dessus de + 50° (50° à 75° suivant les ferments). Secs, ils supportent sans s'altérer une température dépassant + 100°. Le liquide dans lequel s'opère la fermentation doit présenter une composition chimique saline, comprise entre certaines limites, ne contenir ni trop, ni trop peu de sels neutres. Les sels de beaucoup de métaux pesants arrêtent toute fermentation.

Les ferments existent en général dans les cellules qui les fabriquent, sous forme de *proferments* ou *proenzymes*, substances inactives qui se transforment facilement en *ferments* proprement dits, par l'action chimique de substances *zymoplastiques*. Beaucoup de ferments peuvent être assez facilement extraits (toujours mélangés à de l'albumine, de la gélatine, ou d'autres impuretés) des tissus qui les contiennent, par l'eau ou la glycérine dans laquelle ils sont très solubles. La solution de ferment ainsi obtenue est précipitée par l'alcool, sous forme d'une poudre blanche, qui généralement ne s'altère qu'à la longue au contact de l'alcool, et peut être redissoute dans l'eau. Les ferments dissous se laissent facilement entraîner mécaniquement par tous les précipités qui se forment dans leurs dissolutions.

On a basé sur cette dernière propriété plusieurs procédés destinés à purifier les ferments. On acidule par exemple la solution de ferment par l'acide phosphorique, on précipite ensuite par la chaux. Le phosphate de calcium qui se forme, se précipite en entraînant mécaniquement le ferment. On recueille le précipité, on le traite par l'eau qui dissout le ferment et laisse la phosphate insoluble. Malgré les perfectionnements de ce procédé imaginé par Brücke, on n'est pas encore parvenu à préparer un seul ferment à l'état de pureté.

D'autres ferments importants n'ont pu être séparés des cellules vivantes qui les contiennent. Ainsi la *levure de bière* découverte par Schwann et par Cagniard de Latour en 1836, est un organisme végétal qui jouit de la propriété de transformer la dextrose en alcool et acide carbonique. Le ferment alcoolique de la levure ne se manifeste plus dès que la vie de la levure est détruite, par exemple quand on désorganise les cellules de levure mécaniquement en les

écrasant, ou quand on les soumet à l'action de l'éther, de l'alcool, du chloroforme, de l'acide cyanhydrique, du thymol, de l'oxygène comprimé, de l'acide carbonique à 50 atmosphères (d'Arsonval) ou qu'on les chauffe au delà de $+53^{\circ}$ (1). C'est ce qui a conduit Pasteur à identifier la fermentation alcoolique avec la vie même de la levure.

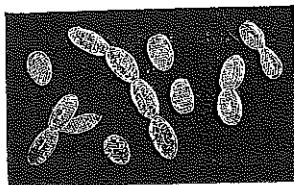


Fig. 8. — Globules de levure.
Fort grossissement.

A son exemple, beaucoup de chimistes et de physiologistes considèrent un grand nombre de fermentations comme identiques avec la vie d'une espèce déterminée d'organismes inférieurs, auxquels ils donnent le nom de *ferments organisés* ou *figurés*, par opposition aux *ferments solubles* ou *non organisés* dont nous avons parlé.

« Si l'on identifie le ferment qui transforme le sucre de raisin en alcool et CO_2 , avec l'organisme entier de la cellule de levure, il faut également considérer la formation d'acide succinique, de glycérine, etc., comme appartenant au processus de la fermentation alcoolique. Mais la cellule de levure fabrique également de la graisse, de la cellulose et se multiplie, elle contient et produit un ferment (ferment inversif) qui a la propriété de transformer le sucre de canne en sucre de raisin et sucre de fruit : c'est donc agir d'une façon tout à fait arbitraire que de réunir ensemble une série de processus vitaux et d'en séparer les autres. La notion de ferment organisé, telle que Pasteur et ses adhérents la comprennent pour la levure de bière, peut être appliquée au même titre à tout être vivant, même à l'homme. » (HOPPE-SEYLER.)

Citons quelques exemples de ferments et de fermentations (2) :

Un grand nombre de ferments hydratent la molécule du corps fermentescible et la clivent souvent en molécules plus simples. De cette façon agissent :

La *diastase* de l'orge germée, de la salive, du suc pancréatique, etc. qui dédouble l'amidon, $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$, en dextrine, $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$, et en maltose, $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, avec transformation ultérieure en glycose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (voir : Salive);

La *pepsine* (voir : Suc gastrique) et la *trypsine* (voir : Suc pancréatique), qui transforment l'albumine en produits hydratés plus simples, propeptones et peptones;

Le *ferment saponifiant* (voir : Suc pancréatique), qui dédouble et hydrate les graisses, par ex. : la trioléine, $\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$ en trois molécules d'acide oléique, $3\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$, et une molécule de glycérine, $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$;

Le *ferment inversif* de l'intestin et de la levure de bière (très répandu dans le règne végétal), qui dédouble et hydrate le sucre de cannes, $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, en dextrose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, et lévulose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$;

Le *ferment du Micrococcus ureae* qui hydrate l'urée, COAz_2H_4 , et la transforme en carbonate d'ammoniaque, $\text{CO}_3(\text{AzH}_4)_2$.

(1) Il est fort possible que le ferment produit par la levure, se consomme pendant la fermentation au fur et à mesure de sa production.

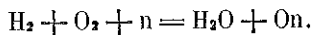
(2) HOPPE-SEYLER, *Physiologische Chemie*, 1877 p. 113 et Pflüger's Archiv XII; Zeits. f. physiol. Chem. X, p. 36.

Voir aussi l'article *Fermentations* dans le Dictionnaire de Chimie de WURTZ (lettre I et Supplément).

Pour d'autres ferments, l'hydratation est accompagnée de phénomènes un peu plus compliqués :

Le *ferment de la levure de bière* transforme la dextrose, $C_6H_{12}O_6$, en alcool, C_2H_5O , et acide carbonique, H_2CO_3 , H_2CO_3 ;

Les *ferments de putréfaction* transforment la cellulose, $nC_6H_{10}O_5$, en gaz des marais, CH_4 , et en CO_2 , transforment le formiate de calcium, $(CHIO_2)_2Ca$, en carbonate de calcium, $CaCO_3$, en CO_2 et en hydrogène, etc. Si la putréfaction se fait au contact d'oxygène libre, il ne se dégage ni H_2 , ni CH_4 . En effet, l'hydrogène naissant est immédiatement accaparé par l'oxygène de l'air, avec formation d'eau et dégagement de chaleur. L'atome d'oxygène qui devient libre dans chaque molécule d'oxygène qui intervient, prend le caractère de l'oxygène actif, de l'ozone, et peut alors opérer des oxydations énergiques (1) :



Citons également le *ferment lactique* (de plusieurs organismes inférieurs), transformant le sucre de lait, l'inosite, etc. en acide lactique, les *ferments d'oxydations* (JACQUET 1892) si répandus dans les tissus animaux et qui probablement sont les agents actifs des oxydations organiques. Ces ferments transforment l'alcool benzylique en acide benzoïque, l'aldéhyde salicylique en acide salicylique etc. BOURQUELOT et d'autres ont décrit de nombreux cas d'oxydation (changement de coloration de plusieurs champignons, formation de la laque du Japon par un latex végétal) par des ferments d'oxydation ou *oxydases* (*laccases*).

Citons encore les *ferments coagulants*, notamment la *thrombine*, qui transforme le fibrinogène dissous dans le plasma sanguin en fibrine solide; et le ferment de la *présure* (*Labferment*), qui coagule la caséine du lait. Il n'est pas prouvé qu'il s'agisse là de phénomènes d'hydratation.

Un grand nombre de ferments solubles ont des noms terminés en *ine* : *pepsine*, *trypsine*, *ptyaline*, *invertine*, *thrombine*, etc. On a proposé récemment de donner, à l'exemple de *diastase*, des dénominations en *ase* : *invertase*, *oxydase*, *thrombase*, etc.

(1) Hoppe-Seyler a démontré que l'hydrogène naissant possède la propriété de transformer l'oxygène inactif en oxygène actif. Ainsi la dissociation de l'hydrure de palladium en présence de l'oxygène, est capable d'effectuer les oxydations les plus énergiques.

CHAPITRE II.

LE SANG.

I. PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES.

Signification. — Le corps des animaux supérieurs est formé d'un nombre immense de cellules, de fibres, etc. La plupart de ces éléments, vivant dans la profondeur des tissus, sont entièrement soustraits à l'action directe du milieu cosmique extérieur. Pour respirer, pour puiser au dehors leur nourriture, pour se débarrasser ensuite des déchets de la nutrition, ces cellules ont besoin d'un intermédiaire. Cet intermédiaire est constitué par les liquides de l'organisme, le sang, la lymphe, qui circulent constamment entre les surfaces d'échange du corps (poumon, intestin, rein) et la profondeur. Le sang apporte aux tissus l'oxygène vivifiant et les matériaux nutritifs, il leur enlève l'anhydride carbonique et les autres produits de la combustion organique. Les cellules de notre corps vivent donc aux dépens du sang⁽¹⁾, qui joue vis-à-vis d'elles le même rôle que le milieu cosmique joue vis-à-vis de l'amibe ou du corps de l'animal entier. Claude Bernard a fort justement donné le nom de *milieu organique* ou *milieu intérieur*, aux liquides de l'organisme, dans lesquels les cellules sont comme plongées et avec lesquels elles ont de continuels rapports d'échange.

Ce milieu intérieur, dont parle Claude Bernard, présente chez les animaux supérieurs une remarquable constance de ses propriétés; il s'isole en quelque sorte de plus en plus du milieu cosmique ambiant. La proportion d'eau, de sels, d'aliments, d'oxygène, s'y maintient strictement dans des limites fort étroites. Il existe en effet, dans l'organisme, un grand nombre de mécanismes compensateurs, dont l'activité est mise en jeu, dès qu'une cause quelconque tend à

(1) Il serait, à la rigueur, plus exact de dire, que les cellules vivent aux dépens de la lymphe, puisqu'elles sont généralement séparées des capillaires sanguins, par des espaces lymphatiques.

altérer la composition du milieu intérieur. La ventilation pulmonaire y conserve la proportion voulue d'oxygène et d'anhydride carbonique; les matériaux nutritifs, élaborés par le tube digestif, et déposés provisoirement dans de véritables magasins (le tissu adipeux et le foie), viennent constamment remplacer ceux qui ont été consommés. Enfin le rein se charge d'éliminer au dehors les substances élaborées dans le corps et dont l'accumulation pourrait devenir nuisible.

Propriétés du sang. — Le sang (1) de l'homme (et des vertébrés) est un liquide légèrement visqueux, opaque, d'une belle couleur rouge dans les artères, dans le cœur gauche et les veines pulmonaires (sang artériel); d'un brun rougeâtre plus ou moins foncé à la lumière réfléchie, verdâtre à la lumière transmise (BRÜCKE), dans les veines de la circulation générale, dans le cœur droit et l'artère pulmonaire (sang veineux). L'examen microscopique (SWAMMERDAM 1658, LEEUWENHOEK 1673) démontre que le sang est formé d'une partie liquide, transparente, légèrement jaunâtre, le plasma; et de corpuscules solides, les globules rouges, auxquels il doit son opacité et sa couleur. Il contient en outre un certain nombre de leucocytes ou globules blancs (HEWSON 1770), des éléments figurés forts petits, auxquels Hayem a donné le nom d'hématoblastes (plaquettes de Bizzozero, granulations des auteurs), et des granulations graisseuses ou autres en quantité variable. A l'état normal, le sang ne contient pas de microorganismes de putréfaction: si l'on a soin de le recevoir directement de la veine dans des tubes de verre (stérilisés au préalable par la chaleur) et scellés immédiatement à la lampe, il se conservera sans se putréfier. (SCHWANN 1837).

Le poids spécifique moyen du sang humain est de 1060 d'après Roy (1884), de 1056 à 1061 chez l'homme, de 1053 à 1061 chez la femme d'après Schlesinger et Hammerschlag (1892). Chez le chien, Pflüger a trouvé 1060; et Gscheidlen, chez le lapin, 1042 à 1052. La densité des globules rouges peut dépasser 1100, celle du plasma n'atteint pas 1030.

Le sang possède toujours une réaction légèrement alcaline (équivalant à 2 à 4 pour mille de soude), qu'il est facile de constater au moyen de papier de tournesol satiné. Cette alcalinité diminue rapidement depuis le moment de la saignée jusqu'à celui de la coagulation (ZUNTZ 1867).

L'odeur du sang, *halitus sanguinis*, varie d'une espèce animale à l'autre: elle paraît due à la présence d'acides gras volatils, semblables à ceux que l'on trouve dans la sueur; elle s'exagère si l'on acidule le sang (BARRUEL). La saveur du sang est légèrement salée et alcaline.

(1) Voir: MILNE-EDWARDS, *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparées, etc.*; HOPPE-SEYLER, *Physiologische Chemie*; ROLLET, article *Blut* dans *Handbuch der Physiologie* de HERMANN, 1880.

Tableau de la composition chimique du sang des mammifères.

PLASMA ($\frac{8}{10}$ du sang environ).

Substances organiques :	ALBUMINOÏDES, 7-10 %.	Fibrinogène (Fibrine après coagulation). Paraglobuline, albumine.
	FERMENTS. Traces.	Ferment de la fibrine (après coagulation). Ferment diastatique (1).
	PIGMENTS. Traces.	Pigment jaune (Lutéine), parfois Bilirubine.
	MATIÈRES ORGANIQUES DIVERSES, 0,75 %.	Cholestérine, cérébrine, lécithine, graisses, savons, glycose, urée, traces d'acide urique, créatine, xanthine, hypoxanthine, acide hippurique, etc.
Substances inorganiques :	EAU, 90 %.	
	SELS, 0,75 %.	
	GAZ, O, CO ₂ , Az et Argon (parfois traces de CH ₄ ?).	

GLOBULES ROUGES ($\frac{4}{10}$ du sang environ).

Substances organiques :	ALBUMINOÏDES. Hémoglobine, globuline (coag. + 60°) une nucléoprotéide (HALLIBURTON, 1895), 35 %.
	MATIÈRES ORGANIQUES DIVERSES. Cholestérine, lécithine.
Substances inorganiques :	EAU 60-65 %.
	SELS.
	GAZ, O, CO ₂ , Az.

GLOBULES BLANCS (0,5 % environ d'après Wooldridge 1881).

Nucléo-albumine, deux globulines (coag. + 50° et + 60°), une albumine (coag. + 73°), lécithine, cholestérine, graisse, glycogène, sels, etc. Nucléohistone (LILLENFELD, 1893) dans le noyau.

Les plaquettes (Bizzozero) ou hémato blastes de Hayem seraient d'après Lillienfeld formées de nucléo-albumine.

Le nombre des leucocytes est sujet à des variations considérables qui semblent provenir de ce que, sous certaines influences, ces éléments s'accablent de préférence dans les vaisseaux des organes abdominaux ou d'autres territoires vasculaires. Il y a par exemple *hypoleucocytose* sous l'influence d'injection intravasculaire de substances pulvérisantes inertes ou de microbes (WERIGO, 1892), de bouillon ou d'essence de térébenthine (HERICOURT et CH. RICHERT, 1894), de propeptone, pendant la digestion, etc. Pour les différentes variétés de leucocytes et leur mode de formation dans les ganglions lymphatiques, la rate, etc., voir les Traités d'histologie.

(1) Lépine admet dans le sang l'existence d'un ferment glycolytique, c'est à dire destructeur de sucre. Ce ferment dériverait du tissu pancréatique. D'après Arthus, ce ferment ne préexisterait pas dans le sang, mais se formerait au moment de la coagulation (1892).

Les sels du sang se répartissent de la façon suivante d'après Carl Schmidt(1) :

1000 parties de globules contiennent :		1000 parties de plasma contiennent :	
Chlorure de potassium . . .	3,697	Chlorure de potassium . . .	0,359
Sulfate " " . . .	0,132	Sulfate " " . . .	0,281
Phosphate " " . . .	2,343	Phosphate de sodium . . .	0,271
Phosphate de sodium . . .	0,633	" de calcium . . .	0,298
" de calcium . . .	0,094	" de magnesium . . .	0,218
" de magnesium . . .	0,060	Chlorure de sodium . . .	5,546
Soude libre . . .	0,341	Soude libre . . .	1,546
	<u>7,282</u>		<u>8,505</u>

II. COAGULATION DU SANG(2).

Le sang soustrait à l'organisme se coagule au bout d'un petit nombre de minutes, c'est à dire qu'il se transforme en une gelée cohérente, de sorte que le vase dans lequel on l'a reçu, peut être retourné sans que le liquide s'écoule. Il est facile de constater au microscope que la formation du caillot est due au dépôt de la *fibrine*, substance solide qui se concrète sous forme de filaments enchevêtrés, emprisonnant enfre les mailles du réseau, et les globules et la partie liquide du sang. Le caillot une fois formé est le siège d'une rétraction lente qui dure plusieurs jours; il diminue graduellement de volume, ce qui a pour effet d'exprimer, goutte à goutte, à l'extérieur, un liquide transparent de couleur jaunâtre, le *sérum*. Le sérum représente le plasma d'où la fibrine s'est séparée. Le caillot, supposé complètement rétracté, ne contiendrait plus que la fibrine et les globules (voir fig. 9).

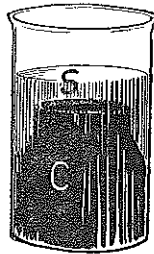


Fig. 9. — Gobelet contenant du sang coagulé depuis quelques heures. C. Coagulum rétracté, nageant dans son sérum S.



Fig. 10. — Appareil de Hoppe-Seyler pour le dosage de la fibrine. Gobelet recouvert d'une chape en caoutchouc. La baguette de baleine sert à battre le sang.

Le sang artériel se coagule plus vite que le sang veineux.

Le sang asphyxique se coagule mal; il en serait de même du sang des capillaires et dans certaines circonstances du sang de la veine splénique et de celui des veines sushépatiques (contesté par Paulesco, 1897).

Fibrine. — On peut, en battant au moyen d'une baguette de baleine, le sang fraîchement tiré, empêcher la formation de la trame fibreuse du caillot, et recueillir la fibrine à part, sous forme de filaments élastiques, attachés à toutes les aspérités de la baleine (défibriner le sang par le battage). Le sang privé de

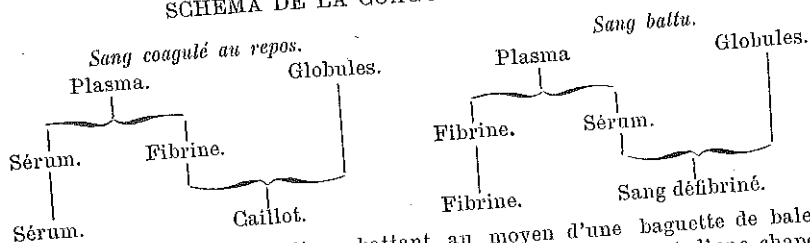
(1) CARL SCHMIDT, *Zur Characteristic der Cholera*, etc. Dorpat, 1850.

(2) Voir Coagulation du sang, Fibrine, Fibrinogène, Ferment de la fibrine, Cytine, Cytochrome, etc. du Dictionnaire de physiologie de Richet.

fibrine ne se coagule plus et reste liquide. La fibrine obtenue de cette façon emprisonne mécaniquement un certain nombre de globules rouges et une assez grande quantité de globules blancs. Elle contient toujours un peu de paraglobuline. (A. HERRMANN, 1887). On la rend tout à fait blanche par des lavages à l'eau. (Pour un procédé de préparation de fibrine pure voir HAMMARSTEN dans *Pflüger's Archiv*, 1883, XXX, 439).

La fibrine présente la composition chimique et les principales réactions des substances albuminoïdes. Elle contient du calcium (VIRCHOW 1846, BRÜCKE, 1857, ARTHUS et PAGÈS). Elle résulte d'ailleurs de la transformation d'une substance albuminoïde du plasma sanguin, le *fibrinogène*; elle est insoluble dans l'eau, mais paraît se dissoudre à la longue dans certaines solutions salines (NaCl à 8 %), en se transformant en un mélange de deux globulines, se coagulant par la chaleur respectivement à $+56^{\circ}$ et à $+75^{\circ}$ (GREEN, 1887; LIMBOURG, 1889; ARTHUS, 1893). La fibrine humide chauffée à $+72^{\circ}$ se ratatine, devient blanche, opaque comme l'albumine coagulée, et perd la propriété qu'elle possédait auparavant de décomposer l'eau oxygénée; elle perd également sa biréfringence. Denis admettait plusieurs variétés de fibrine.

SCHEMA DE LA COAGULATION DU SANG.



Le dosage de la fibrine se fait en battant au moyen d'une baguette de baleine, un poids connu de sang (30 à 40 gr.) dans un gobelet recouvert d'une chape en caoutchouc (pour empêcher l'évaporation du liquide pendant la pesée. Voir fig. 10). La coagulation terminée, on recueille soigneusement tous les flocons de fibrine, on lave à l'eau, puis à la solution diluée de NaCl, à l'alcool et à l'éther; on dessèche et l'on pèse avec les précautions usuelles. Le sang de l'homme fournit 2 à 3 pour mille de fibrine sèche.

Cause de la coagulation. — De nombreuses expériences dues à plusieurs physiologistes anglais de la fin du siècle dernier ou du commencement de celui-ci, Hewson (1770), Scudamore, John Hunter etc., ont prouvé que la cause de la coagulation ne doit être cherchée ni dans le refroidissement du sang au sortir de la veine, ni dans le contact de l'air, ni dans le repos du sang. Si l'on maintient le sang à la température du corps, il ne s'en coagule que plus vite; un brusque refroidissement à 0° suspend au contraire le phénomène, et permet de conserver le sang liquide. Du sang que l'on reçoit à l'abri de l'air, sous le mercure, ou dans le vide, se coagule également. D'autre part, on peut, dans certaines conditions expérimentales, soumettre le sang à la fois au contact de l'air, au repos et au refroidissement, sans qu'il perde sa fluidité. Hewson et surtout Brücke

(1) BRÜCKE, *Virchow's Archiv*, XII, 81 et 172, 1857.

ont montré en effet que le sang reste liquide tant qu'il est contenu dans un vaisseau (cœur, artère ou veine) dont la paroi lisse et unie n'a pas subi d'altération. Lister (1) ayant extrait les deux veines jugulaires d'un cheval, a pu pendant longtemps conserver le sang liquide dans leur intérieur, le verser d'une veine dans l'autre, prolonger l'expérience pendant plusieurs heures, sans que la coagulation se produisît.

La coagulation survient au contraire chaque fois que le sang subit le contact d'un corps étranger autre que la paroi vasculaire normale. Les aiguilles métalliques, les stylets de verre que l'on glisse à l'intérieur des vaisseaux d'un animal vivant, tous les corps solides morts ou vivants qu'on y introduit, se recouvrent en quelques minutes de dépôts fibrineux. On peut répéter ces expériences sur les veines extraites du corps et liées aux deux bouts.

Le sang peut être conservé pendant quelque temps dans des vases enduits de vaseline, d'huile ou de graisse, sans se coaguler (FREUND, 1886). Ces substances n'agissent pas sur le sang comme des corps étrangers. On peut également maintenir une goutte de sang liquide, en la recevant dans un cylindre allongé rempli d'huile de castor, dans laquelle la goutte de sang descend fort lentement. Quand la goutte est près d'atteindre le fond, on retourne le cylindre. En retournant chaque fois le cylindre en temps opportun, on empêche le contact du sang avec la paroi du vase, d'où absence de coagulation (HAYCRAFT et CARLIER 1890).

Il est probable, d'après les recherches de Mantegazza, d'Alexandre Schmidt, de Hayem (2) etc., que le phénomène initial de la coagulation, consiste dans un dépôt d'éléments figurés autres que les globules rouges (leucocytes pour Mantegazza, Alex. Schmidt, Zahn etc.), hémotoblastes pour Hayem (1877) et Bizzozero (1882) à la surface du corps étranger. Alex. Schmidt (1871) a démontré qu'il se forme aux dépens de ces éléments, un ferment (ferment de la fibrine) qui provoque la transformation du fibrinogène du plasma sanguin en fibrine.

Ferment de la fibrine ou Thrombine (ALEX. SCHMIDT 1871). — Le ferment de la fibrine prend naissance dans le sang au moment de la coagulation : il paraît se former aux dépens des globules blancs (ou des hémotoblastes) à la suite de leur contact avec un corps étranger. D'après Pekelharig (1892-1897) : le ferment de la fibrine résulte de l'union d'une *nucléine* (provenant de la nucleo albumine des leucocytes) avec la chaux qui se trouve en dissolution dans le plasma sanguin. La *combinaison de nucléine et de chaux* ainsi formée cède sa *chaux* au *fibrinogène* et transforme ce dernier en *fibrine*, composé calcaïque insoluble. La

(1) LISTER, *Proc. of the Royal Soc.*, XII, 580; F. GLÉNARD, *Comptes-rendus*, et *Thèse sur la coagulation* 1875; L. FREDERICO, *Rech. constil. plasma sang.* Gand, 1878.

(2) MANTEGAZZA, *Gazetta medica Ital.*, VI; *Ann. univ. di medicina*, 1871; Moleschott's *Unters.*, XI. — ALEX. SCHMIDT, *Arch. f. Anat. u. Physiol.*, 1861 et 1862; *Pflüger's Archiv.*, IV, p. 457; XI, p. 307; XIII, p. 157; *Die Lehre v. d. ferm. Gerinnungserscheinungen*, Dorpat, 1876; Plusieurs *Thèses* de Dorpat. — G. HAYEM, *Recherches sur l'anat. norm. et pathol. du sang*, 1878.

chaux disponible dans le plasma sanguin sert à régénérer le ferment ou nucléo-albuminate de calcium(1).

On obtient une solution très active de ferment, en dissolvant simplement de la fibrine fraîche de battage, dans une solution de chlorure de sodium à 8 %. (Procédé de GANTEE, 1879, modifié par LEA et GREEN 1884). Quelques gouttes de cette solution de ferment, ajoutées à une solution de fibrinogène, transforment ce dernier en fibrine.

Pour reconnaître si un échantillon de sang contient du ferment, on se sert du procédé de Schmidt, qui consiste à précipiter le sang par un grand volume d'alcool, à attendre que les matières albuminoïdes aient été coagulées complètement par l'alcool, à recueillir le coagulum et à le traiter par l'eau qui dissout le ferment.

Les solutions de ferment et les liquides qui en contiennent (serum), perdent leur activité par un chauffage vers $+65^{\circ}$ à $+70^{\circ}$ (GANTEE, SCHMIDT, LEA et GREEN, 1884).

La Thrombine ne préexiste pas dans le sang circulant. Introduite dans le torrent circulatoire, elle y est rapidement détruite. Aussi les solutions modérément concentrées de ferment, le sang défibriné par ex., ne provoquent en général de coagulation intravasculaire que dans le sang stagnant, compris par exemple entre deux ligatures dans une veine (HAYEM).

Fibrinogène (*Plasmine* de Denis [pro parte], *Thrombosine* de Lilienfeld?) — Le fibrinogène du plasma sanguin, ou générateur de la fibrine, est une substance albuminoïde appartenant au groupe des globulines; il se dissout dans les solutions salines diluées, d'où un excès de NaCl, de $MgSO_4$, etc., le précipite sous forme de flocons blancs (SCHMIDT.). Ses solutions se coagulent par la chaleur vers $+56^{\circ}$ (HAMMARSTEN, LÉON FREDERICQ) α [D] = $-52^{\circ}.5$ (MITTELBACH (1894)). Les globules rouges n'interviennent pas directement dans le phénomène de la coagulation. Le fibrinogène du sang existe en entier dans le plasma, qui seul possède la propriété de se coaguler.

Le procédé de coagulation par la chaleur m'a permis de démontrer la préexistence du fibrinogène dans le plasma sanguin encore liquide et contenu à l'intérieur de la veine (1878). Un segment de veine de cheval gorgée de plasma, peut être chauffé à $+55^{\circ}$, sans que le liquide perde sa limpidité et la propriété de se coaguler spontanément, dès qu'on le laisse s'écouler hors du vaisseau. Si l'on chauffe à $+56^{\circ}$, le plasma se trouble, le fibrinogène est précipité par la chaleur, et le liquide privé de cette substance ne se coagule plus. Hewson avait, paraît-il, fait des observations analogues il y a plus d'un siècle.

Préparation. — Pour préparer le fibrinogène, il faut commencer par se procurer du plasma sanguin par l'un des moyens suivants: 1° On reçoit du sang de cheval(2), au

(1) La nucléo-albumine du ferment de Pekelharing paraît identique avec le *fibrinogène A* de Wooldridge (1891), avec la *nucléohistone* de Lilienfeld (1892-1893-1895), et peut-être avec le *zymogène* de la *thrombine* de Schmidt (1892).

(2) On emploie généralement du sang de cheval, d'abord parce qu'il se coagule moins vite que celui des autres animaux, puis parce que les globules y sont fort

sortir de la veine, dans un vase entouré de glace et d'un peu de sel, de manière à le refroidir rapidement en dessous de 0°, température qui suspend la coagulation (HEWSON). On attend le

dépôt des globules rouges (que l'on accélère par l'emploi d'une machine à force centrifuge) et l'on recueille le plasma surnageant (voir fig. 11). Il contient encore un grand nombre de globules blancs, dont on le débarrasse par filtration répétée à une basse température. On peut aussi soumettre le sang peptonisé à la rotation de la machine à force centrifuge. On recueille au moyen d'une pipette le plasma peptonisé. 2° On utilise la pro-

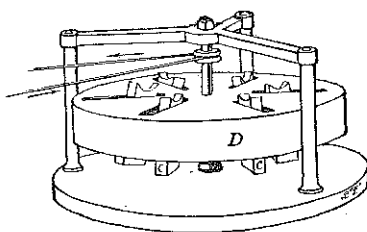


Fig. 11. — Appareil à force centrifuge pour la séparation des globules et du sérum (ou du plasma).

Le sang est placé dans les vases CC suspendus à la périphérie du disque creux D. Ce dernier est animé d'un mouvement de rotation rapide autour de son axe.



Fig. 12. — Veine de cheval suspendue verticalement : a, bouillie de globules rouges ; b, couche mince de globules blancs et d'hématoblastes ; c, plasma.

priété que le sang possède de rester liquide à l'intérieur des vaisseaux. On extrait la veine jugulaire du cheval après l'avoir liée aux deux extrémités, on la suspend verticalement. Au bout de quelques minutes, le contenu de la veine se divise en deux couches, une inférieure a, formée principalement de globules rouges, une supérieure c de plasma hyalin. Les globules blancs se rassemblent en b (voir fig. 12). 3° Le moyen le plus pratique consiste à recevoir le sang de cheval dans une solution saline qui possède la propriété de suspendre la coagulation (NaCl , MgSO_4 , Na_2SO_4) (HEWSON, DENIS). On mélange par exemple le sang au sortir de la veine, avec le tiers de son volume d'une solution saturée de MgSO_4 . On laisse déposer les globules et l'on recueille le plasma mélangé de MgSO_4 .

Le fibrinogène se précipite du plasma pur ou dilué, quand on sature ce liquide de NaCl (DENIS). Dans ce cas, il est toujours mélangé d'une forte proportion de paraglobuline qui se précipite en même temps. Ce mélange est la *Plasmine* de Denis (DENIS. *Mémoire sur le sang*, 1859). Hammarsten a conseillé de séparer ces deux globulines par précipitation fractionnée, le fibrinogène se déposant d'abord. Il mélange le plasma au MgSO_4 avec un égal volume d'une solution saturée de NaCl . Il redissout et reprécipite de la même façon plusieurs fois le fibrinogène, de manière à le débarrasser complètement de paraglobuline.

lourds, et gagnent rapidement le fond ; aussi le plasma commence à se séparer des globules, à la surface, au bout de peu de minutes. Avec le sang de bœuf par exemple, il faudrait attendre des journées entières avant que l'on puisse recueillir une couche de plasma surnageant.

Le sang de cheval, en se coagulant, offre généralement le phénomène de la *Crusta phlogistica*. Le caillot, rouge dans toute sa masse, montre à sa partie supérieure une portion exempte de globules rouges et présentant par conséquent une teinte claire, jaunâtre. La *Crusta phlogistica* ou *Couenne inflammatoire* se produit parfois chez l'homme sur le sang de malades atteints d'affections inflammatoires ; cela indique que le sang s'est coagulé fort lentement, puisqu'une partie du plasma a eu le temps de se séparer des globules.

Les solutions de fibrinogène (même exemptes de paraglobuline, HAMMARSTEN⁽¹⁾), se coagulent par l'addition de quelques gouttes de ferment. Le poids de la fibrine formée est toujours inférieur à celui du fibrinogène employé, comme je l'ai constaté ainsi que Schmidt et Hammarsten. Une petite partie du fibrinogène échapperait à la transformation, et resterait en solution, sous forme d'une globuline coagulable à $+64^{\circ}$ (HAMMARSTEN)⁽²⁾.

Les analyses élémentaires de fibrine et de fibrinogène faites par Hammarsten ont fourni des chiffres très voisins :

	C	H	Az
Fibrinogène	52.93	6.90	16.66
Fibrine	52.68	6.83	16.91
Globuline formée par une partie du fibrinogène.	52.70	6.98	16.07

(1) HAMMARSTEN, *Nov. Act. Reg. Soc. Scient. Ups.*, Sr. III, vol. X, I et XIV; *Pflüger's Archiv.*, 1876, XIV, 211; 1878, XVII, 413, XVIII, 38; 1879, XIX, 563, 622; 1880, XXII, 431; 1883, XXX, 437; *Zeits. phys. Chemie*, 1896, XXII, 333.

Un certain nombre d'exsudats pathologiques, notamment le liquide de l'hydrocèle ne se coagulent, que si on les additionne d'une solution de ferment ou d'un peu de sang exprimé du caillot (riche en ferment); ces exsudats contiennent du fibrinogène sans ferment (BUCHANAN, ALEX. SCHMIDT).

(2) Un grand nombre de faits se rapportant à la coagulation du sang (ferment de la fibrine, propriétés du fibrinogène, action du ferment sur le fibrinogène, conditions de la coagulation) ont été découverts par Alexandre Schmidt. Dans ses premiers travaux, le physiologiste de Dorpat avait édifié une théorie assez simple de la coagulation. La fibrine résultait d'après lui de l'action réciproque du fibrinogène et de la paraglobuline (qu'il appelait fibrinoplastique) sous l'influence d'un ferment formé par destruction de leucocytes (voir SCHMIDT, *Arch. f. Anat. und Physiol.* 1861, 645, 675; 1862, 428, 533; *Pflüger's Arch.* 1871, V, 431; VI, 413; 1874, IX, 353; 1875, XI, 291, 515; 1876, XIII, 93 146. *Die Lehre von den fermentativen Gerinnungserscheinungen*. Dorpat 1876; *Ann. Chim. Phys.* 1878, XIV, 134. Schmidt (*Zur Blutlehre*, Leipzig 1892; *Weitere Beiträge zur Blutlehre*, Wiesbaden, 1895) s'est occupé dans les dernières années, de déterminer l'origine du fibrinogène et de la paraglobuline, et a émis à ce sujet une théorie nouvelle, assez compliquée. Le point de départ de cette théorie, ce sont ses recherches sur la constitution chimique des leucocytes et des cellules en général. Les cellules contiennent une substance soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool, à laquelle Schmidt donne le nom de *Cytoglobine*. La *Cytoglobine* se transforme facilement en *Préoglobuline*. La *Préoglobuline* donne naissance à la *Paraglobuline*, celle-ci peut se transformer en *Fibrinogène* qui lui-même donne naissance à la *Fibrine*. D'autre part, le résidu insoluble des cellules, provenant de la préparation de la *Cytoglobuline*, résidu auquel il donne le nom de *Cytine*, se transforme facilement lui-même en *Cytoglobine*. Schmidt admet que ces différentes transformations se passent normalement dans l'organisme, et se succèdent dans un ordre déterminé, de sorte que la *Cytine* se transforme en *Cytoglobine*, la *Cytoglobine* en *Préoglobuline*, celle-ci en *Paraglobuline*, puis en *Fibrinogène*, pour aboutir au *Fibrinogène modifié* et à la *Fibrine*.

Le plasma sanguin ne serait le siège que d'une partie des transformations qui, de la *Cytine* et de la *Cytoglobine*, aboutissent à la formation de la *Fibrine*. Le plasma ne contiendrait ni *Cytoglobine*, ni *Préoglobuline*, mais seulement de la *Paraglobuline*. Le *Fibrinogène* n'y préexisterait pas, mais se formerait aux dépens de la *Paraglobuline*, sous l'influence du ferment de la fibrine. Le même ferment transformerait ultérieurement le *Fibrinogène* en *Fibrine*.

Conditions de la coagulation. — La production de la fibrine suppose la présence simultanée, en solution aqueuse, du fibrinogène, du ferment de la fibrine et d'une petite quantité d'un sel de calcium ou de strontium (GREEN 1888, ARTHUS 1890). La molécule de fibrine contient en effet du calcium (remplaçable par du strontium) qui ne préexiste pas dans le fibrinogène. Il faut également que le liquide contienne une certaine proportion de sels neutres à métal alcalin ou alcalino-terreux. La fermentation est favorisée par une température relativement élevée, mais ne dépassant pas $+56^{\circ}$, par la présence de l'hémoglobine naturelle (non cristallisée), par la mousse de platine (et en général par toutes les substances qui catalysent l'eau oxygénée), par l'oxygène de l'air, par toutes les circonstances qui activent la formation du ferment dans le sang (contact du sang avec des surfaces rugueuses. ALEX. SCHMIDT).

La production de la fibrine est retardée ou empêchée dans le sang de la saignée, par la dilution du sang avec la glycérine ou avec une grande quantité d'eau; par les alcalis ou les acides suffisamment concentrés, qui altèrent le fibrinogène; par les sels neutres (Hewson 1771) ou le sucre de canne (J. MÜLLER) en solution concentrée, qui empêchent la formation du ferment ou s'opposent à la fermentation; par le froid qui agit de la même façon; par une température dépassant $+56^{\circ}$ qui précipite le fibrinogène; par l'addition d'une petite quantité (1 %/oo) d'un oxalate ou d'un fluorure alcalin (ARTHUS) qui précipite les sels de calcium. Dans ce dernier cas, il suffit de restituer au sang une petite quantité d'un sel de calcium, pour que le liquide reprenne la faculté de se coaguler.

Le sang ne se coagule pas chez les animaux empoisonnés par le phosphore; de même dans certains états pathologiques (hémophilie) où les éléments producteurs du ferment font défaut (HAYEM). Il ne se coagule pas chez l'embryon des grands mammifères domestiques pendant les premières semaines de la vie intra-utérine, ni chez l'embryon de poulet avant le 42^e jour de l'incubation (BOLL).

Certaines substances : *Peptones* (SCHMIDT-MÜLHEIM, HOFMEISTER, ALBERTONI, FANO 1880) ou plus exactement *propeptones* (POLLITZER 1885) (0,20 par kilog. d'animal, GROSJEAN 1890), *histone* provenant des leucocytes (LILIENFELD 1892), *cytoglobine* et *préoglobuline* (SCHMIDT), *ferment diastasique* (SALVIOLI 1885, *savons alcalins* (0,07 par kilogr. d'animal, J. MUNK 1890), *extrait de sangsue* (HAYCRAFT 1884), *extrait de muscles d'écrevisse* (HEIDENHAIN 1891), *venin de vipère* (FONTANA), etc., injectées dans les veines du chien vivant, rendent le sang incoagulable. Quelques unes de ces substances agissent peut-être en se combinant aux sels de calcium du sang; d'autres en empêchant la formation du ferment de la fibrine.

Les expériences de Hofmeister (1880) et de Fano (1882) ont prouvé que l'action anticoagulante des injections de propeptone était due, non à la propeptone elle-même, mais à une substance nouvelle formée dans l'organisme vivant sous l'influence de la propeptone. En effet, la propeptone, mélangée directement *in vitro* à du sang que l'on vient de tirer, n'exerce aucune action suspensive sur la coagulation, tandis que le sang de propeptone (sang de chien auquel on a injecté de la propeptone), non seulement ne se coagule pas lui-même, mais empêche la coagulation du sang normal auquel on le mélange *in vitro*.

La propeptone qui suspend la coagulation du sang chez le chien n'exerce aucune

action si on l'injecte chez le lapin. Mais le sang de lapin, qui n'est pas sensible à l'action directe de la propeptone, l'est à un haut degré à l'action de la substance anticoagulante, formée dans l'organisme du chien sous l'influence d'une injection de propeptone. On rend en effet le sang de lapin incoagulable en l'additionnant soit *in vivo*, soit *in vitro*, de sang de chien préalablement injecté de propeptone.

Les expériences de Contojean (1895, 1896) de Gley et Pachon (1896, 1897) de Delezenne (1896) ont montré que la substance anticoagulante, due à l'action de la propeptone, se forme dans le foie. Cette substance anticoagulante empêche probablement la formation du ferment de la fibrine aux dépens des éléments figurés du sang. Le sang de propeptone muni de ses globules blancs se coagule sous une série d'influences qui détruisent les leucocytes, ou par addition de ferment de la fibrine (LEDoux, ATHANASIU et CARVALLO, contesté par DASTRE 1896).

L'injection de propeptone fait baisser considérablement la pression sanguine (paralysie vasculaire d'origine périphérique & centrale).

Au bout de quelques heures, on constate une restitution de la pression artérielle et de la coagulabilité du sang. Pendant le stade de restitution, une nouvelle injection de propeptone reste sans effet sur la pression et sur la coagulation. La première injection procure l'immunité vis-à-vis de l'action d'une seconde injection.

Lahousse avait constaté que le sang des animaux auxquels on a injecté de la peptone était extrêmement pauvre en acide carbonique. Blachstein et Grandis ont découvert que l'injection de peptone avait pour effet d'élever notablement la tension de CO_2 du sang veineux, d'où élimination plus facile de ce gaz par la surface pulmonaire, ce qui explique sa faible proportion dans le sang artériel.

La coagulation est accompagnée d'une légère élévation de la température du sang (fermentation avec passage d'un corps liquide à l'état solide) (VALENTIN 1844, SCHIFFER 1868, LÉPINE 1876, contesté par JOLYET et SIGALAS. 1893). Ainsi j'ai constaté que du plasma de cheval conservé dans la veine à la température de l'appartement, s'échauffe de quelques dixièmes de degré au moment de la coagulation, quand on le reçoit dans un gobelet (observer le thermomètre à distance au moyen d'une lunette).

La diminution dans l'alcalinité du sang, signalée plus haut, m'a paru indépendante du phénomène de la coagulation.

Cause de la fluidité du sang contenu dans les vaisseaux. —

Le sang reste liquide dans notre corps (ou dans la veine de cheval isolée), non à cause d'une action anti-coagulante de la paroi vasculaire, mais à cause de l'absence du ferment. J'extrait une veine de cheval que je suspends verticalement: le sang reste liquide. J'y ajoute quelques gouttes d'une solution de ferment ou seulement un peu de sang exprimé d'un caillot: le contenu de la veine se coagule en peu de temps. Je prépare une solution de plasmine de Denis (mélange de fibrinogène, de paraglobuline, de sel et de ferment) que je divise en deux portions; j'introduis l'une dans une veine de cheval isolée, dont je viens de laisser écouler le contenu, l'autre dans un tube de verre: le fibrinogène se coagule en même temps dans les deux échantillons. Hayem a publié des observations analogues.

Alex. Schmidt a constaté que le ferment de la fibrine injecté à dose massive dans les veines d'un animal, provoquait des coagulations intra-vasculaires, pouvant amener l'arrêt de la circulation et la mort. Il en est de même des injec-

tions d'hémoglobine en solution, qui provoquent la formation intravasculaire de ferment de la fibrine (NAUNYN). Si la quantité de ferment injectée est peu considérable, il peut ne pas se former de caillots intra-vasculaires; le ferment ne reste pas dans le sang; on constate sa diminution graduelle et sa disparition au bout de peu de temps (JAKOWICKI 1875). On s'explique de cette façon l'innocuité relative des transfusions de sang défibriné. Dans la défibrination du sang par le battage, une partie du ferment adhère à la fibrine qui se concrète, de sorte que le sang défibriné n'en contient pas beaucoup. Quoi qu'il en soit, la transfusion de sang défibriné est toujours une opération dangereuse, au cours de laquelle on a à craindre la formation de caillots intra-vasculaires, pouvant entraîner la mort du sujet transfusé.

On observe également des coagulations intra-vasculaires à la suite d'injection d'extraits de tissus (fibrinogène des tissus de Wooldridge) contenant des nucléoprotéides ou des nucléines (WOOLDRIDGE, WRIGHT, HALLIBURTON).

L'injection des colloïdes de synthèse de Grimaux (voir p. 20) produit une abondante coagulation intra-vasculaire (PICKERING et HALLIBURTON 1895). Cet effet fait défaut chez les animaux albinos (1897).

Rôle de la coagulation du sang. — La coagulation du sang constitue le principal agent de l'arrêt spontané des hémorrhagies veineuses et capillaires qui se produisent à la suite de blessures. Les bouchons de fibrine, qui se forment à la surface de la plaie, et jusqu'à l'intérieur des petits vaisseaux, empêchent tout écoulement de sang. Les hémorrhagies artérielles elles-mêmes peuvent s'arrêter ainsi spontanément. Chez les malades atteints d'hémophilie, le sang a perdu la propriété de se coaguler; aussi la moindre lésion vasculaire peut devenir mortelle chez eux. Hayem a pratiqué chez plusieurs de ces malades des transfusions de sang coagulable, non défibriné; il a vu, sous l'influence de ce traitement rationnel, disparaître les hémorrhagies dues à la fluidité persistante du sang. Hayem a constaté depuis, que la transfusion de sang défibriné avait la même action curative chez les hémophiliques.

Si l'on produit l'obstruction de l'aorte thoracique, au moyen d'un tampon que l'on introduit par une sous-clavière ou une carotide, et si on lie les artères qui naissent de la crosse de l'aorte, sauf une seule que l'on réunit par une canule avec une veine, la jugulaire, par exemple, le sang ne circulera plus qu'à travers le cœur et les poumons, sans passer par les capillaires de la circulation générale qui se trouvent exclus du circuit. Dans ces conditions, le sang ne tarde pas à perdre sa coagulabilité (LUKJANOW, CH. BOHR). Les capillaires pulmonaires semblent donc exercer sur le sang une action anti-coagulante.

Si on lève les ligatures dans cette expérience, de manière à rétablir la circulation générale, le sang reprend au bout de peu de temps, par son passage à travers la circulation générale (circulation abdominale surtout d'après BOHR), la propriété de se coaguler. Le sang serait ainsi soumis constamment à deux influences antagonistes, celle de la circulation générale qui favorise la coagulation, celle de la circulation pulmonaire qui tend à la suspendre.

Le tableau que nous avons donné de la coagulation se rapporte au sang des mammifères. Chez les vertébrés à globules nucléés (oiseaux, reptiles, batraciens,

poissons) les globules rouges paraissent jouer un rôle actif dans le phénomène de la coagulation, fournir notamment du fibrinogène.

Chez les vertébrés à globules nucléés, le sang se coagule avec une lenteur extrême (seulement au bout de plusieurs heures ou de plusieurs jours), si l'on a soin d'éviter le contact avec les tissus de l'animal (recueillir le sang au moyen d'une canule propre fixée dans une artère). Le suc des tissus de l'animal provoque instantanément la coagulation du sang. (DELEZENNE, 1896).

Chez beaucoup d'invertébrés, le phénomène de la coagulation du sang joue le même rôle que chez les vertébrés (voir plus loin).

III. SÉRUM SANGUIN.

Le sérum sanguin correspond à la partie liquide du sang après la coagulation. Il suffit donc d'effacer le fibrinogène du tableau de la page 34, qui représente la composition chimique du plasma, pour avoir celle du sérum. La petite portion de fibrinogène qui a échappé à la transformation en fibrine, se retrouve dans le sérum sous forme d'une globuline, différant de la paraglobuline par une altérabilité plus grande.

Pour obtenir du sérum pur, exempt d'hémoglobine, il faut, au moment de la coagulation du sang, prendre des précautions minutieuses pour empêcher toute trace d'eau pure de venir dissoudre une partie des globules rouges : recevoir le sang dans un vase absolument sec, chauffé au préalable à 40°, et le remplir exactement, pour empêcher la condensation de gouttelettes d'eau sur les parois du vase et leur mélange au sang. On attend que le sérum soit exprimé du caillot. Il est encore plus facile de recueillir le sang dans des vases qu'on a rincés avec une solution de chlorure de sodium (2 % par exemple), et d'attendre pareillement la rétraction du caillot.

On peut aussi s'adresser au sang défibriné, et le soumettre à une rotation rapide dans une machine à force centrifuge, pour hâter la précipitation des globules. L'opération dure alors de 15 à 30 minutes, et permet de recueillir du sérum tout à fait frais.

La densité du sérum du sang de l'homme varie de 1026 à 1029. Son alcalinité est un peu plus faible que celle du plasma : la tension de CO_2 y est par conséquent plus forte que dans le plasma.

Le sérum jouit de propriétés bactéricides marquées, qu'il perd par le chauffage.

Dans certaines infections microbiennes, le sérum jouit de propriétés bactéricides ou immunisantes qu'on met à profit dans la *Sérothérapie* (CH. RICHET).

Paraglobuline. KÜHNE, BRÜCKE (*fibrine dissoute* de DENIS, *globuline du sérum* de WEYL⁽¹⁾ et HEYNSIUS, *caséine du sérum* de PANUM, *albuminate du sérum* de KÜHNE [pro parte], *substance fibrinoplastique* de SCHMIDT.) — C'est la substance albuminoïde qu'il est le plus facile de préparer pure et en grande quantité. (Un litre de sérum de bœuf en contient 40 grammes.) La paraglobuline humide se présente sous forme de pâte blanche, finement granuleuse, très-peu altérable, se dissolvant facilement dans les solutions diluées de Am_2SO_4 , MgSO_4 ,

(1) WEYL, *Zeitschr. f. physiol. Chemie*, I, p. 72.

NaCl etc., dans lesquelles elle paraît soluble en toute proportion. Les solutions sont opalescentes (sirupeuses quand elles sont concentrées), et intégralement précipitées par saturation de MgSO_4 ou par demi saturation au moyen de Am_2SO_4 . La coagulation par la chaleur se produit vers $+75^\circ$. J'ai trouvé le pouvoir rotatoire $= -47.8^\circ$.

Préparation. L'extraction de la paraglobuline du sérum de bœuf et sa purification sont basées sur des précipitations par un égal volume d'une solution saturée de sulfate d'ammoniaque, alternant avec des redissolutions de la paraglobuline dans l'eau (KAUDER).

L'ancien procédé de préparation de la paraglobuline, consistant à diluer le sérum avec dix fois son volume d'eau et à précipiter la paraglobuline par un courant de CO_2 , ou par l'addition d'un peu d'acide acétique, donne un produit impur et peu abondant. Un bon procédé consiste aussi à précipiter la paraglobuline par saturation au moyen de MgSO_4 en cristaux (DENIS, HAMMARSTEN).

Dosage. Précipiter un volume connu de sérum par MgSO_4 , laver le précipité avec une solution saturée de MgSO_4 pour éloigner l'albumine, chauffer à $+120^\circ$ pour coaguler, laver à l'eau, l'alcool, l'éther, sécher et peser (HAMMARSTEN). Il m'a paru plus simple et plus exact de redissoudre le précipité formé par MgSO_4 dans un égal volume d'eau, et d'y déterminer la proportion de paraglobuline par le polarimètre.

Albumine. (Sérine de DENIS). — Elle présente tous les caractères généraux des matières albuminoïdes. Elle est soluble dans l'eau distillée, et les solutions salines de toute concentration. A. Gürber (1895) a réussi à la faire cristalliser en additionnant sa solution d'une quantité de Am_2SO_4 suffisante pour amener un commencement de précipitation. A chaud ($+50^\circ$), le sulfate de sodium la précipite de ses solutions (DENIS). L'albumine est précipitée à froid, lorsqu'on sature la solution par le sulfate d'ammoniaque (MÉNU, HEYNSIUS). Quelques autres sels (l'acétate de potassium, le phosphate de potassium [HALLIBURTON], le carbonate de potassium, la saturation successive au moyen de MgSO_4 , puis de Na_2SO_4) ont la même action. Enfin l'acide acétique à 0.5 — 1 % précipite l'albumine de la solution saturée de MgSO_4 qui a laissé déposer la paraglobuline (JONANSSON). Son pouvoir rotatoire $\alpha [D] = -62^\circ$ à -64° chez le cheval, le bœuf, etc., d'après Starke. J'ai trouvé -44° chez le chien.

D'après Halliburton, l'albumine du sérum est, chez la plupart des mammifères, un mélange de trois albumines différentes (α, β, γ), se coagulant respectivement à $+71^\circ$, $+77^\circ$ et $+84^\circ$. Le sang des ongulés n'en contient que deux (celles qui se coagulent à $+77^\circ$ et à $+84^\circ$). Celui des animaux à sang froid ne contiendrait que l'albumine α .

Préparation. Le sérum saturé à moitié par le sulfate ammonique, et dont on a séparé la paraglobuline par filtration, peut servir à préparer l'albumine. On la précipite en achevant de saturer le liquide au moyen de sulfate ammonique en cristaux. On peut la purifier ultérieurement, en la recueillant sur un filtre, et en la reprécipitant par le sulfate d'ammoniaque. L'aspect de l'albumine sèche rappelle celui de la gélatine.

Dosage. Le dosage de l'albumine dans le sérum se fait: 1° par différence. On détermine dans une portion de sérum, la proportion de paraglobuline, et dans une seconde portion, le poids total des albuminoïdes coagulés par l'alcool ou par la chaleur, ou le pouvoir rotatoire global. La différence entre les deux valeurs permet de calculer la proportion d'albumine. 2° directement dans le sérum saturé à moitié par le sulfate ammonique, et privé de paraglobuline par filtration.

D'après Hammarsten :

100 parties	sérum de cheval	contiennent 4,5 de paraglobuline,	2,7 d'albumine.
100	" " de bœuf	" 4,2	" " 3,3
100	" " d'homme	" 3,1	" " 4,5
100	" " de lapin	" 1,8	" " 4,4

D'après Fredericq :

100 parties sérum de chien contiennent 2,9 de paraglobuline, 3,5 d'albumine.

D'après Salvioli :

100 parties sérum de chien contiennent 2,05 de paraglobuline, 3,77 d'albumine.

IV. GLOBULES ROUGES OU HEMATIES.

Nous renvoyons aux traités d'histologie pour tout ce qui concerne l'histoire anatomique des éléments figurés du sang, ainsi que les procédés de numération des globules.

Rappelons seulement que les globules rouges du sang de l'homme sont des corpuscules en apparence homogènes, dépourvus de noyau, ayant la forme de disques légèrement excavés (Diamètre : un peu plus de $7\ \mu$. Nombre : 5 millions par millimètre cube chez l'homme; un peu moins chez la femme); ils sont mous et élastiques, et ont une tendance à s'agglutiner en piles de monnaie. Ils représentent 35 à 40 % du volume du sang.

Les 5 litres de sang que possède un homme adulte, en contiendraient 25,000 milliards, présentant une surface totale dépassant 2,500 mètres carrés, ou le quart d'un hectare. Le séjour à de grandes altitudes augmente considérablement le nombre des globules rouges qui peut monter de 5 à 8 millions par millimètre cube. En même temps le volume des globules diminue, d'où augmentation de la surface d'absorption d'oxygène, ce qui peut compenser dans l'acte respiratoire la diminution de tension de l'oxygène respiré (F. VIAULT, 1891).

La distinction que l'on a voulu établir entre l'élément *zoïde* et l'élément *oïcoïde* du globule rouge est arbitraire. Il n'y a pas lieu non plus d'opposer le *stroma* à la *matière colorante*. Chez l'adulte, les globules rouges paraissent se former surtout dans la moelle des os, aux dépens d'éléments histologiques (*érythroblastés*) entièrement différents des éléments formateurs des globules blancs (*leucoblastés*) (1). Ils se détruisent dans le foie et dans la rate.

Le tableau de la page 33 indique approximativement la composition chimique des globules rouges du sang des mammifères. Chez les autres vertébrés, ces globules contiennent en outre une forte proportion de nucléine dans leur noyau, et peut-être du fibrinogène. La densité des globules rouges est de 1080 à 1100 chez le cheval.

On ne peut songer à séparer les globules rouges par filtration : leur mollesse est telle qu'ils glissent à travers les pores du filtre le plus fin. C'est par décantation et par lavage qu'il faut les isoler. On mélange une certaine quantité de sang défibriné (de cheval, de chien) avec dix à quinze fois son volume d'une solution diluée de chlorure de sodium (à 0.9 % par ex.), on laisse aux globules le temps de se déposer, puis on décante le liquide surnageant. On hâte la précipitation des globules par

(1) O. VANDERSTRICT. Arch. de Biol., 1892.

l'emploi d'une machine centrifuge. On répète ce lavage plusieurs fois, de manière à obtenir finalement une bouillie de globules rouges exempte de sérum.

La plus grande partie du résidu sec des globules rouges est représentée par la matière colorante à laquelle Hoppe-Seyler a donné le nom d'hémoglobine. L'hémoglobine paraît unie chimiquement à quelque autre constituant du globule rouge, qui l'empêche de passer dans le plasma ou le sérum dans lequel elle est très soluble. Un grand nombre d'agents détruisent cette constitution du globule rouge, font passer l'hémoglobine en solution et rendent le sang transparent, semblable à une laque, d'opaque qu'il était (ROLLET) (1862) : action de l'eau distillée, ou des solutions salines trop diluées(1), congélation et dégel consécutif (production de cristaux de glace, qui en fondant, dissolvent les globules?), fortes décharges électriques, contact avec l'éther, le chloroforme, les acides biliaires, température de -60° , extraction des gaz par le vide, etc.

L'hémoglobine se retrouve dans le sang de tous les vertébrés (à l'exception de quelques poissons pélagiques, à corps entièrement transparent. — *Leptocephalus*) et chez un petit nombre d'invertébrés, appartenant aux groupes zoologiques les plus divers, notamment chez le ver de terre (ROLLET, 1861).

100 gr. de sang de l'homme en contiennent 13,58 gr.; chez la femme, il y a seulement 12,63 gr. d'hémoglobine pour 100 gr. de sang.

Hémoglobine et Oxyhémoglobine. — L'hémoglobine ou hémato-cristalline, matière colorante du sang, forme avec l'oxygène une combinaison peu stable: l'oxyhémoglobine. La formation de l'oxyhémoglobine dans le poumon et sa dissociation dans les capillaires de la circulation générale, présente une importance capitale au point de vue de la respiration.

Préparation de l'oxyhémoglobine d'après Hoppe-Seyler(2). Les globules rouges isolés par le procédé décrit précédemment (sang de chien, de cobaye, de cheval) sont dissous dans une petite quantité d'eau froide (après avoir été lavés

(1) Il faut admettre que les globules rouges sont en équilibre osmotique avec le plasma. Or, ce dernier liquide est *isotonique* à une solution de chlorure de sodium à 9,1 ‰ chez les mammifères, à 6 ‰ chez la grenouille (point de congélation $-0,55^{\circ}$ à $-0,56^{\circ}$ d'après WINTER, 1896).

On peut donc laver les globules du sang des mammifères avec une solution de NaCl à 9 pour mille sans altérer leur volume. Mais ils perdent de l'eau et se ratatinent dans les solutions plus concentrées, *hypertoniques* (contenant plus de 0,9 ‰ NaCl); ils gonflent en absorbant de l'eau dans les solutions *hypotoniques* (contenant moins de 0,9 ‰ NaCl). Si l'on abaisse la teneur de NaCl à 0,58 ‰, les globules commencent de plus à perdre leur hémoglobine.

Hamburger a montré qu'il en était de même pour les solutions équimoléculaires d'autres sels analogues: KNO_3 , KBr , NaI . L'hémoglobine des globules commence à diffuser dans des solutions aqueuses contenant par exemple 1 ‰ KNO_3 , 1,19 ‰ KBr , 1,5 ‰ NaI , etc. Ces nombres sont entre eux comme les poids moléculaires des sels considérés, et les solutions à 1 ‰ KNO_3 , 1,19 ‰ KBr , 1,5 ‰ NaI sont *isotoniques* à NaCl 0,58 ‰.

(2) HOPPE-SEYLER. *Med. chem. Unters* 1867-1871; *Zeitschr. f. physiol. Chemie*; PREYER, *Pflüger's Archiv*, 1868, p. 395; *die Blutkrystalle*, Iena, 1871; HEYNSIUS, *Onderzoekingen*, Leiden, 1869, etc.

avec un peu d'éther). On obtient une liqueur d'un beau rouge cerise, qui ne tarde pas à présenter un abondant dépôt de cristaux microscopiques d'oxyhémoglobine. La cristallisation est favorisée par l'addition d'un peu d'alcool ($\frac{3}{4}$ de volume).

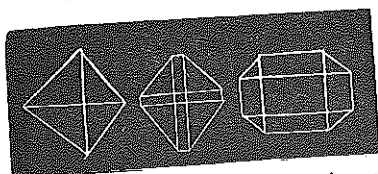


Fig. 13. — Cristaux microscopiques de l'oxyhémoglobine du Cobaye (tétraèdres simples et modifiés).

On recueille les cristaux sur le filtre et on les purifie par recristallisation. Il faut choisir les grands froids de l'hiver pour cette préparation, car l'oxyhémoglobine s'altère à l'air, dès que la température monte au dessus de 0° . Elle se transforme d'abord en une substance d'un brun sale, la *méthémoglobine*?

bine de Hoppe-Seyler (intermédiaire entre l'hémoglobine et l'oxyhémoglobine). Renfermées dans des tubes scellés, les solutions de matière colorante du sang se conservent indéfiniment, car elles ne se putréfient qu'au contact de l'air.



Fig. 14. — *a*, introduction de la solution d'hémoglobine, au moyen d'un tube effilé *c* servant d'entonnoir, dans un tube à conserver; *b*, le même tube rempli et scellé.

(Voir fig. 14). Cette conservation en vase clos réduit spontanément l'oxyhémoglobine à l'état d'hémoglobine qui ne cristallise pas. Mais le liquide extrait des tubes cristallise dès qu'on l'expose à l'air, par suite de la formation d'oxyhémoglobine. Hüfner affirme cependant avoir obtenu des cristaux d'hémoglobine réduite, en enfermant du sang humain dans des tubes scellés. Nencki et Sieber ont également obtenu des cristaux d'hémoglobine réduite.

Si l'on veut simplement observer la formation des cristaux en préparation microscopique, on dépose une goutte de sang (de cobaye ou de chien) sur le porte-objet, on attend que la dessiccation commence sur les bords, puis on ajoute une goutte d'eau et l'on couvre d'une lamelle. La préparation conservée dans un endroit frais, montre au bout de quelques minutes ou de quelques heures, des cristaux rouges d'oxyhémoglobine. On peut également faire geler le sang

(défibriné) en l'exposant au froid produit par un mélange de glace et de sel. Par le dégel, la matière rouge des globules passe en solution, et ne tarde pas à cristalliser au contact de l'air. Ces cristaux sont biréfringents.

L'oxyhémoglobine du cobaye cristallise en tétraèdres, celle du chien, du cheval, de l'homme, en longs prismes appartenant au système rhombique; celle de l'écureuil cristallise dans le système hexagonal et celle du dindon dans le système cubique.

La forme cristalline, la solubilité dans l'eau, la quantité d'eau de cristallisation et l'intensité du pouvoir colorant présentent des variations notables d'une espèce animale à l'autre. Il est donc probable qu'on a affaire à toute une série de substances distinctes, mais très-voisines les unes des autres.

L'oxyhémoglobine cristallise très-facilement chez le cobaye, le rat, le cheval, le chien, les cyprinoides, etc., difficilement chez l'homme, le lapin, le mouton, très-difficilement chez le bœuf, le porc, la grenouille.

L'oxyhémoglobine semble éprouver un changement dans sa constitution par le fait de la cristallisation. Ainsi l'hémoglobine naturelle n'est pas diffusible, elle décompose énergiquement l'eau oxygénée et active le phénomène de la coagulation du sang; tandis que la solution d'oxyhémoglobine cristallisée diffuse légèrement et qu'elle est sans action sur l'eau oxygénée et sur la coagulation.

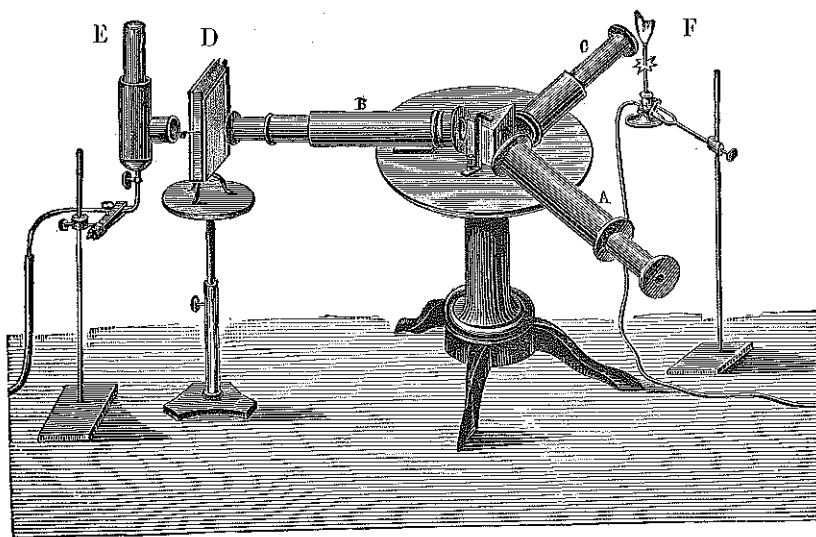


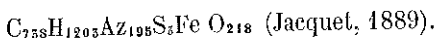
Fig. 15. — Spectroscope disposé pour l'examen du spectre d'absorption de l'oxyhémoglobine. Les rayons lumineux émanés de la lampe E, traversent la solution rouge contenue dans le vase à faces parallèles D (Hématinomètre de HORPE-SEYLER), entrent dans la tube B, par une fente étroite, sont dispersés et réfractés par le prisme et arrivent à l'œil de l'observateur par la lunette A. La lampe F, sert à éclairer une échelle graduée contenue dans le tube C. L'image de cette échelle se réfléchit à la surface du prisme et vient se peindre à côté du spectre d'absorption.

L'oxyhémoglobine du chien a la composition centésimale suivante d'après Jaquet: C 54,75; H 7,22; Az 16,38; O 20,93; S 0,568, Fe 0,336.

Pour reconnaître la présence du fer dans l'hémoglobine, on calcine, dans un petit creuset, le magma globulaire débarrassé de sérum par des lavages à la solution de NaCl et desséché. La cendre, couleur de rouille, est reprise par l'acide chlorhydrique (fig. 16). La solution chlorhydrique diluée précipite en bleu par le ferro-cyanure de potassium et se colore en rouge par le sulfo-cyanure de potassium (1).

(1) Le fer contenu dans l'hémoglobine provient en dernière analyse du fer de l'alimentation. Les sels de fer peuvent-ils être absorbés par la voie intestinale et contribuer à la néo-formation d'hémoglobine? Cette question a soulevé bien des controverses: les cliniciens la résolvent affirmativement. Les physiologistes ont constaté que le fer à l'état de combinaison organique (ferratine, carniferrine) est absorbé plus facilement que les sels de fer. (Voir S. HALL, *Archiv f. Physiol.* 1896, p. 48).

En admettant que la molécule d'oxyhémoglobine ne contienne qu'un atome de fer, son poids moléculaire serait 16669 et sa formule pourrait être représentée par



L'oxyhémoglobine appartient au groupe des Protéides de Hoppe-Seyler. Les acides et les alcalis la décomposent en une matière colorante brune, ferrifère, (*l'hématine*) et en une substance albuminoïde (albumine acide ou alcaline suivant le réactif employé). Elle est coagulée par la chaleur et décomposée par les sels de beaucoup de métaux pesants. L'oxyhémoglobine peut jouer le rôle d'un acide faible: elle décompose le carbonate de sodium dans le vide; par l'électrolyse du sang, les cristaux d'oxyhémoglobine se forment au pôle positif.

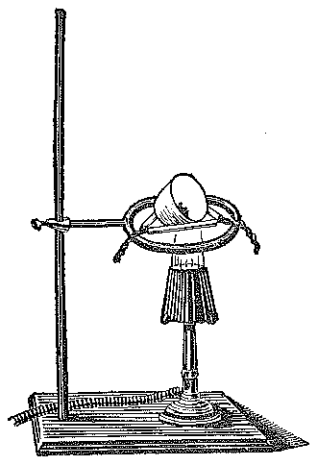


Fig. 16. — Calcination de l'hémoglobine dans un petit creuset en porcelaine.

L'hémoglobine réduite se décompose pareillement en présence des alcalis et des acides en une substance albuminoïde d'une part et en une matière ferrifère de couleur rouge, l'*hémochromogène* (ou hématine réduite) de l'autre. L'hémochromogène (rouge) au contact de l'air absorbe de l'oxygène et devient hématine (brune).

Spectre d'absorption. La teinte de l'hémoglobine réduite est plus foncée, d'un rouge moins éclatant que celle de l'hémoglobine oxygénée. Ceci nous explique pourquoi le sang artériel presque saturé d'oxygène, est d'un beau rouge vermeil, tandis

que le sang veineux qui contient beaucoup d'hémoglobine réduite est brun noirâtre. Ces différences de teinte se traduisent au spectroscope par des spectres d'absorption distincts et très caractéristiques(1). La solution de matière colorante est introduite dans un vase à faces parallèles, appelé hématinomètre (D fig. 15), et interposé sur le trajet des rayons lumineux qui partent de la lampe pour aller au spectroscope.

Une solution concentrée d'oxyhémoglobine ne laisse passer que le rouge (voir fig. 17, I). Si l'on dilue convenablement, la zone rouge s'élargit, et en même temps apparaît une zone de lumière verte entre E et F (fig. 17, II). Mais ce sont les solutions très diluées (couleur fleur de pêcher) qui donnent le spectre le plus caractéristique (fig. 17, III), présentant toutes les couleurs, sauf deux bandes d'absorption voisines l'une de l'autre et situées entre D et E. Une solution d'oxyhémoglobine de chien au dix-millième, examinée au spectroscope sous une épaisseur d'un centimètre, montre encore les deux raies d'absorption caractéristiques.

L'hémoglobine réduite, examinée en solution concentrée ou modérément concentrée, donne les spectres IV et V. En solution très diluée, l'image spectros-

(1) STOKES, *Proc. of the Roy. Soc.*, 1864; HOPPE-SEYLER, *Centralbl. f. med. Wiss.*, 1864.

copique est plus caractéristique, elle présente une seule large bande d'absorption entre D et E (Bande de STOKES, VI, fig. 17).

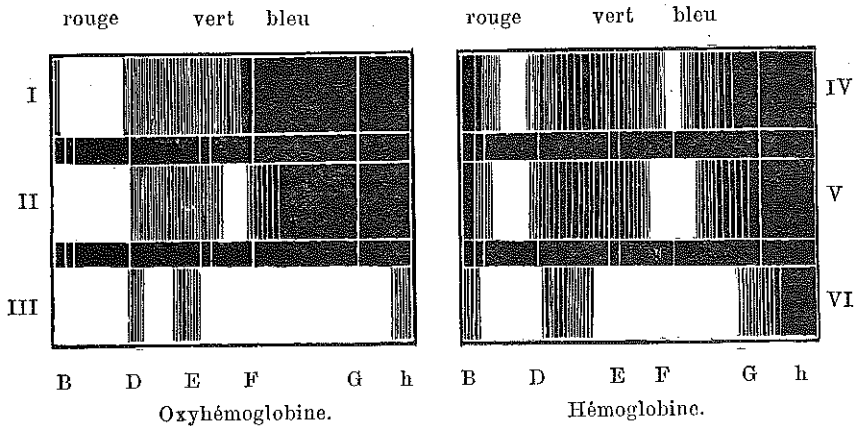


Fig. 17. — Spectres d'absorption des matières colorantes du sang.

I	Oxyhémoglobine en solution concentrée.	IV	Hémoglobine en solution concentrée.
II	" " diluée.	V	" " diluée.
III	" " très-diluée.	VI	" " très-diluée.

Combinaisons avec l'oxygène. Oxyhémoglobine. — 1 gramme d'hémoglobine se combine, d'après Hüfner (1894), à 1.34 c. c. d'oxygène (à 0° et 760^{mm} P) pour former l'oxyhémoglobine; 1 gr. d'hémoglobine contient 0^{gr} 00335 de fer d'après Jaquet (1889). Si l'on compare ces chiffres avec ceux des poids atomiques du fer et de l'oxygène, on voit que l'hémoglobine absorbe deux atomes d'oxygène pour chaque atome de fer (HOPPE-SEYLER).

La combinaison oxyhémoglobine se forme chaque fois que l'hémoglobine se trouve en contact avec un milieu contenant de l'oxygène. Mais toute l'hémoglobine ne passe pas dans ce cas à l'état d'*oxyhémoglobine*, une partie reste à l'état d'*hémoglobine réduite*. La proportion relative d'*oxyhémoglobine* et d'*hémoglobine réduite* (que l'on peut mesurer spectroscopiquement au moyen du spectrophotomètre), dépend de la température et surtout de la tension ou pression partielle de l'oxygène.

Plus la tension de l'oxygène est forte, plus il se forme d'*oxyhémoglobine*. Vient-on à abaisser même légèrement la tension de ce gaz, une partie de l'oxyhémoglobine se *dissocie* en oxygène et hémoglobine réduite. La proportion d'*hémoglobine réduite* augmentera à mesure que l'on abaisse la tension de l'oxygène.

Pour une tension d'oxygène voisine de celle de l'air atmosphérique ($\frac{1}{5}$ ou 20 % d'une atmosphère) la presque totalité de l'hémoglobine du sang (les 98.5 pour cent) est à l'état d'*oxyhémoglobine*, et seulement 1.5 % à l'état d'*hémoglobine réduite*. Ce sont à peu près les conditions du sang artériel.

Pour une tension d'oxygène de 4^{mm}. de mercure, c. à. d. d'un peu plus de

$\frac{1}{2}$ % d'une atmosphère, il y a au contraire 60 % d'hémoglobine réduite contre 40 % d'oxyhémoglobine. Ce sont à peu près les conditions du sang veineux.

Le tableau suivant représente d'après Hübner (1890) les proportions relatives d'oxyhémoglobine (pour 100) et d'hémoglobine, qui existent à $+ 35^{\circ}$, pour les tensions d'oxygène comprises entre 0 et 20 % d'une atmosphère.

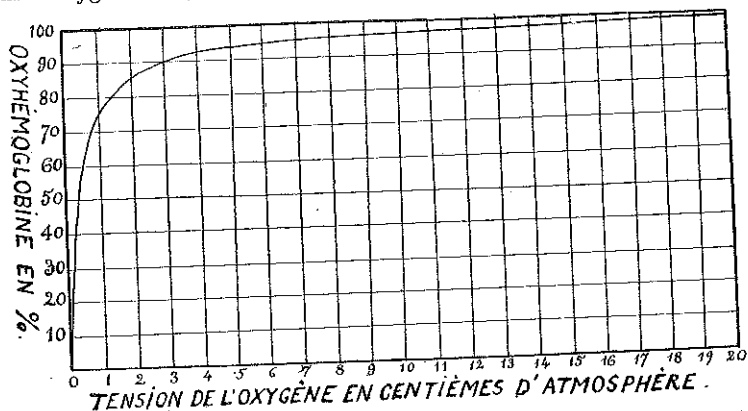


Fig. 18. — Courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine en fonction de la tension de l'oxygène.

On voit que si l'on abaisse graduellement la pression de l'oxygène, la dissociation de l'oxyhémoglobine marche d'abord fort lentement. Ce n'est guère qu'en dessous de 2 à 3 % d'une atm. qu'elle augmente sensiblement, pour s'accélérer surtout à partir d'une tension inférieure à 1 % d'une atm.

Le phénomène de combinaison ou de dissociation se produit, quel que soit le procédé employé pour augmenter ou diminuer la tension de l'oxygène. Ainsi l'oxyhémoglobine se dissocie sous l'influence du vide, d'un courant d'un gaz inerte (Az , H_2 , CO_2), d'agents réducteurs : limaille de fer, sulfure d'ammonium, sulfate ferreux en solution légèrement alcaline (sulfate ferreux + acide tartrique + léger excès de AzH_3 . STOKES), conservation en vase clos (action de la putréfaction). La combinaison avec l'oxygène se reforme avec d'autant plus de rapidité que la tension de l'oxygène est plus élevée. Ainsi s'explique la formation de l'oxyhémoglobine dans le poumon, où la tension de l'oxygène est voisine de celle de l'atmosphère (16 pour cent d'une atmosphère) et sa dissociation dans les capillaires de la grande circulation, au contact des tissus vivants, où la tension de ce gaz est inférieure à 4 pour cent d'une atmosphère.

La majeure partie de l'oxygène contenu dans le sang se trouve ainsi fixée sur les globules rouges, et presque indépendante de la tension de l'oxygène, tant que celle-ci se maintient au dessus de 3 % d'une atmosphère, conformément au tableau de la fig. 18; une très petite partie est simplement dissoute dans le sang; celle-ci seule varie proportionnellement à la pression, conformément à la loi de Dalton.

Le sang contient-il de l'ozone, et l'hémoglobine est-elle capable de transformer l'oxygène en ozone? L'expérience suivante a fréquemment été invoquée en faveur de

cette opinion : on verse une goutte d'une solution alcoolique fraîche de gayac sur du papier à filtre. Quand le papier est presque sec, par évaporation de l'alcool, on ajoute une goutte de sang ou d'une solution d'hémoglobine : il se forme immédiatement une auréole bleue tout autour de l'hémoglobine, indiquant l'oxydation du gayac par l'ozone. D'après Pflüger, les conditions sont différentes dans le sang qui circule dans les vaisseaux : si l'on observe la formation d'ozone dans le sang extrait du corps, c'est que l'hémoglobine subit une décomposition rapide et profonde au contact de l'air. D'ailleurs, comme le fait remarquer Hoppe-Seyler, la présence de l'ozone dans le sang serait incompatible avec l'intégrité de cette humeur.

Méthémoglobine. — L'oxyhémoglobine se transforme, lentement au contact de l'air, immédiatement au contact du ferri-cyanure de potassium, du nitrite de potassium ou d'amyle, etc. en *Méthémoglobine*, matière colorante brune (couleur des taches de sang desséchées à la surface du linge), à spectre d'absorption caractéristique (une bande entre C et D, et deux bandes voisines de celles de l'oxyhémoglobine). Les agents de réduction la transforment (d'abord en oxyhémoglobine?) en hémoglobine réduite. Pour Sorby, elle contient plus d'oxygène que l'oxyhémoglobine, pour Hoppe-Seyler, elle en contient moins, tandis que Hüfner et Külz admettent une égale quantité d'oxygène dans les deux composés.

La méthémoglobine a été rencontrée dans le sang des personnes empoisonnées par le chlorate de potassium. On l'a trouvée parfois dans les urines.

Autres combinaisons de l'hémoglobine. — *Hémoglobine oxycarbonée.* L'hémoglobine forme avec l'oxyde de carbone (CO) une combinaison analogue à celle qu'elle forme avec l'oxygène, un volume d'oxyde de carbone remplaçant un volume d'oxygène (L. MEYER, CL. BERNARD et HOPPE-SEYLER). L'hémoglobine oxycarbonée présente une assez grande stabilité; elle ne se dissocie qu'avec la plus grande difficulté. Il suffit de minimes traces d'oxyde de carbone dans l'air que l'on respire, pour transformer l'hémoglobine du sang en hémoglobine oxycarbonée, qui, une fois formée, est presque perdue pour la respiration et ne se charge plus d'oxygène dans le poumon. Ceci explique la toxicité de l'oxyde de carbone (empoisonnement dit par la vapeur de charbon). La transfusion du sang, et la respiration artificielle, constituent les principales chances de salut dans les empoisonnements graves par CO.

Les solutions d'hémoglobine oxycarbonée présentent un spectre d'absorption presque identique à celui de l'hémoglobine oxygénée (deux bandes noires entre D et E. La bande voisine de D ne touche pas à D, comme c'est le cas pour le spectre de l'hémoglobine oxygénée. Il reste ici entre D et cette bande, un bord lumineux jaune. — Faire l'observation spectroscopique à la lumière solaire). Elles s'en distinguent spectroscopiquement en ce que les agents de réduction et la conservation en vase clos n'ont pas d'action sur elles. L'oxyhémoglobine perd son oxygène dans les mêmes conditions, et montre alors la bande unique d'absorption de l'hémoglobine réduite. Une solution de soude (à 10 %) mélangée tiède à l'hémoglobine oxycarbonée, y produit une coloration rouge cinabre; avec l'hémoglobine ordinaire, on obtient dans les mêmes conditions une masse d'un brun sale (hématine).

On a décrit également des combinaisons de l'hémoglobine avec l'acétylène

(LIEBREICH), l'acide cyanhydrique (PREYER), le protoxyde d'azote (L. HERMANN) et l'acide carbonique (CHR. BOUR).

Dérivés de l'hémoglobine : Hématine (HOPPE-SEYLER). — $C_{52}H_{52}Az_4O_4Fe$. Matière colorante brune, ferrifère, provenant du dédoublement de l'oxyhémoglobine sous l'influence des acides ou des alcalis, ou de l'oxydation de l'hémochromogène. Les agents réducteurs faibles la transforment en hémochromogène ; les agents réducteurs énergiques (hydrogène naissant) la transforment en *urobiline* ou *hydrobilirubine*, pigment ne contenant plus de fer et très voisin des matières colorantes de la bile (Voir Bile).

L'hématine forme des sels : l'un d'eux, le chlorhydrate d'hématine (hémine, cristaux de TEICHMANN) présente une forme cristalline caractéristique (cristaux microscopiques, rhomboédriques, de couleur brune, solubles dans la soude, insolubles dans la plupart des autres réactifs — Voir fig. 19).

Examen médico-légal des taches de sang. La formation des cristaux d'hémine est utilisée en médecine légale pour reconnaître et caractériser les taches de sang.

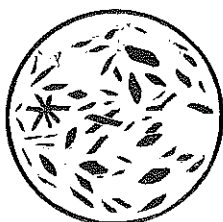


Fig. 19. — Cristaux d'Hémine en préparation microscopique. — Fort grossissement.

L'enduit brun que l'on soupçonne être du sang, est recueilli dans un verre de montre, additionné d'acide acétique glacial et d'une trace de NaCl, puis doucement chauffé au-dessus d'une flamme. Il se dépose au bout de quelques minutes une infinité de cristaux d'hémine, extrêmement petits. On examine à un fort grossissement microscopique.

On peut également chercher à observer les spectres d'absorption si caractéristiques des matières colorantes du sang. La tache suspecte est macérée dans un peu d'eau ; le liquide coloré, placé devant la fente du spectroscope, montre le spectre de la méthémoglobine (bande d'absorption dans le rouge à droite de C, et deux bandes faibles entre D et E (1)). On ajoute une ou deux gouttes de sulfure d'ammonium, pour transformer la méthémoglobine en hémoglobine, et faire apparaître la bande d'absorption unique de son spectre (fig. 17, VI). Enfin on agite le liquide à l'air : formation d'oxyhémoglobine et apparition des deux bandes d'absorption représentées fig. 17, III.

Hématoporphyrine. — $C_{55}H_{74}Az_4O_{12}$ Matière colorante ne contenant plus de fer, obtenue par Mulder par l'action de l'acide sulfurique concentré sur l'hématine. Les agents de réduction ($Zn + HCl$) transforment l'hématoporphyrine en *hydrobilirubine* qui est un dérivé des pigments biliaires (HOPPE-SEYLER). Le pigment cutané de quelques invertébrés (Astérics, ver de terre, éponges, etc.), serait d'après Mac Munn identique avec l'hématoporphyrine. L'hématoporphyrine a été retrouvée parfois dans les urines de malades qui avaient absorbé du sulfonal (Mac MUNN, HAMMARSTEN).

Hématoidine (VIRCHOW). — Dérivé de l'hémoglobine que l'on rencontre dans les anciens foyers apoplectiques, sous forme de cristaux orangés (VIRCHOW). L'hématoidine ne contient plus de fer et est considérée comme identique à la matière colorante de la bile connue sous le nom de bilirubine.

(1) Les taches de sang, desséchées à l'air, ne contiennent que de la méthémoglobine ; celle-ci se transforme facilement par les agents de réduction ou par la putréfaction à l'abri de l'air, en hémoglobine réduite.

V. ANALYSE DU SANG (1)

Dosage de l'hémoglobine. 1^o Méthode colorimétrique de Hoppé-Seyler (2). On prépare une solution normale d'hémoglobine (qui peut se conserver dans des tubes scellés : l'hémoglobine ne se putréfiant pas à l'abri de l'air.) (Les solutions de picrocarmin [RAJEWSKY, MALASSEZ,] où les verres colorés en rouge n'ont pas exactement la même teinte que l'hémoglobine) On dilue le sang avec de l'eau, jusqu'à ce que ce liquide rouge ait la même teinte (ou le même pouvoir absorbant déterminé par l'examen spectroscopique) que la solution normale. Les deux liquides contiennent alors la même quantité d'hémoglobine; il est facile de calculer la proportion contenue dans le sang non dilué. Hoppe-Seyler recommande de saturer l'hémoglobine au moyen d'oxyde de carbone et de faire la comparaison colorimétrique dans une pipette double de construction spéciale.

On a imaginé un assez grand nombre d'appareils destinés au dosage clinique de l'hémoglobine par la méthode colorimétrique. Un des plus simples est l'hémoglobinomètre de Gowers, représenté fig. 20, qui permet de faire le dosage au moyen d'une simple goutte de sang.

L'instrument se compose: d'une pipette très étroite *a*, munie d'un tube aspirateur en caoutchouc, et destinée à mesurer 20 millimètres cubes de sang (aspirer jusqu'à la marque transversale; d'un tube gradué *b*, dans lequel on introduit les 20 mm. c. de sang, et dans lequel on dilue par addition d'eau, au moyen de la pipette à eau *c*, jusqu'à ce que la teinte du mélange paraisse semblable à celle du liquide coloré contenu dans le tube étalon *d*. Le tube étalon est rempli d'une solution de picrocarmin, correspondant comme teinte à du sang humain normal, dilué au centième.

On fixe verticalement l'un à côté de l'autre, le tube gradué *b* et le tube *d*, dans un bloc de liège percé de trous; on place le tout sur fond blanc devant une fenêtre. Les divisions du tube gradué correspondent chacune à un volume (20 mm.) de sang; elles indiquent par conséquent le nombre de volumes d'eau qu'il a fallu à un volume de sang, pour que la teneur en hémoglobine soit la même que celle d'une solution de sang humain normal, au centième.

Le dosage spectroscopique au moyen du spectro-photomètre de Hüfner permet de déterminer simultanément dans une même portion de sang la teneur en hémoglobine réduite et en oxyhémoglobine. Les résultats paraissent plus exacts que par n'importe quelle autre méthode.

2^o Le dosage du fer dans le sang peut servir à déterminer la proportion d'hémoglobine. L'hémoglobine est en effet la seule substance du sang, qui contienne du fer en quantité appréciable — Elle en renferme 4,3 pour mille.

3^o On peut également doser approximativement l'hémoglobine d'après les quantités d'oxygène absorbées par le sang (capacité respiratoire des auteurs français): 1 gr. d'hémoglobine absorbe 1,68 c. c. d'O. La quantité d'O dissoute dans le plasma est faible et toujours la même: $\frac{1}{2}$ pour cent en volume.

Rissler et Schutzenberger dosent l'oxygène du sang, au moyen d'une liqueur titrée d'hydrosulfite de sodium.

Quantité totale de sang. — Détermination d'après WELCKER (1854). On recueille directement, par la saignée de la carotide, la plus grande partie du sang

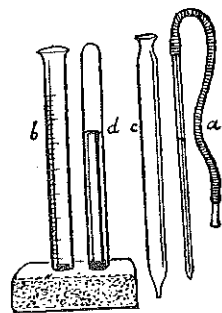


Fig. 20. — Hémoglobinomètre de Gowers.

(1) HOPPE-SEYLER, *Handbuch d. phys. u. path. chem. Analyse.*

(2) HOPPE-SEYLER, *Zeits. physiol. Chemie*, 1892, XVI, 505.

que l'on pèse (A). On injecte ensuite, dans les deux bouts de la carotide et sous pression constante, une solution aqueuse de NaCl. Cette solution lave tout l'appareil circulatoire et entraîne avec elle le sang qui restait dans les vaisseaux. On la recueille à la sortie des veines, jusqu'à ce qu'elle soit devenue incolore. (On peut également faire macérer ensuite les organes hachés au préalable.) On mélange les eaux de lavage, on les dilue au besoin. Pour déterminer la quantité de sang B qu'elles contiennent, on compare leur pouvoir colorant à celui d'une portion de sang de la saignée A, dilué avec un volume d'eau connu. $A + B$ représentent le poids du sang de l'animal. On a constaté de cette façon, sur des cadavres de suppliciés, que le sang représente environ la 13^e partie du poids du corps de l'homme.

La détermination de la quantité de sang contenue dans les organes se fait de la même façon. On isole l'organe par une ligature brusque portée à sa base. Voir plus loin les recherches d'Héger et Spehl sur la quantité de sang contenue dans le poulmon.

La quantité totale de sang contenue dans l'organisme, augmente après un repas abondant, après l'ingestion de liquides, après une transfusion etc., elle diminue par le jeûne, à la suite de transpirations abondantes, etc.

Proportion de plasma et de globules. — *Détermination par le procédé de Hoppe-Seyler.* On fait un dosage de fibrine dans une portion de sang, que l'on bat au sortir de la veine. On fait pareillement un dosage de fibrine dans une portion de plasma (obtenu par décantation au moyen de sang refroidi dans la glace). Soit a la quantité de fibrine contenue dans 100 parties de sang, b celle contenue dans 100 parties de plasma : le rapport $\frac{a}{b}$ indique la proportion de plasma contenue dans le sang.

Hedin (1889) a imaginé un appareil qu'il nomme *Hématocrite* et qui sert dans les cas cliniques à déterminer approximativement le volume des globules rouges d'un très petit échantillon de sang. Le sang mesuré, convenablement dilué et renfermé dans un petit tube gradué est soumis à la rotation rapide de l'appareil à force centrifuge. On mesure la hauteur de la couche de globules qui s'est séparée. La méthode a été modifiée par Gärtner (1892).

Proportion de substances albuminoïdes, de matières extractives, de sels, etc., du sang. — *Dosages d'après Hoppe-Seyler.* L'analyse complète du sang est une opération fort longue. Il faut recueillir quatre portions de sang A, B, C, D.

La première A de 25 à 50 gr. sert à doser la fibrine seule.

La seconde B de 10 à 20 gr. sert à faire une analyse des globules seuls. On isole les globules par des lavages à l'eau salée (voir préparation de l'hémoglobine).

La troisième C de 10 à 20 gr. sert à faire une analyse comprenant à la fois les éléments des globules et ceux du sérum.

Enfin la quatrième portion D, beaucoup plus considérable, est abandonnée au repos pour fournir du sérum. On recueille 5 à 15 gr. du sérum qui sont analysés à part.

Les portions B, C, D sont analysées de la même façon. La substance pesée dans un gobelet, est additionnée de 4 à 5 fois son volume d'alcool fort, qui précipite et coagule les matières albuminoïdes. Au bout de deux à trois jours, on recueille le précipité sur un filtre taré, on lave à l'alcool, à l'éther, puis à l'eau. Le poids du coagulum correspond aux matières albuminoïdes. L'alcool et les liquides de lavage éthers et aqueux contiennent les sels et les substances extractives. On les évapore à sec, on extrait par l'éther qui dissout seulement les graisses, la cholestérine et la lécithine. Le résidu épuisé par l'alcool fournit la glycose, l'urée, une partie des sels, etc. Chacune de ces substances peut être dosée d'après des procédés appropriés, exposés en détail dans le traité d'*Analyse chimique physiologique* de Hoppe-Seyler.

On incinère finalement pour avoir le poids des cendres solubles et insolubles.

VI. TRANSFUSION DU SANG (CARDANUS 1556. POTTER 1638. JEAN DENIS 1667); ET SAIGNÉE (1).

Chez le chien, une perte de sang variant du $1/20$ au $1/15$ du poids du corps est immédiatement mortelle. Mais la vie peut être mise en danger et l'animal peut mourir ultérieurement, à la suite d'une saignée bien inférieure aux $1/20$ du poids du corps.

Si l'on saigne un chien ou un lapin par l'ouverture des carotides, il est bientôt pris de convulsions (convulsions anémiques) qui se terminent par la mort. Paul Bert a montré que l'animal est fatalement condamné, si l'on pousse la saignée jusqu'à la production des convulsions. On ne peut le sauver qu'en lui réinjectant dans les vaisseaux son propre sang (défibriné ou non), ou le sang d'un animal de même espèce ou d'espèce très-voisine. L'opération de la transfusion du sang a fréquemment été pratiquée sur l'homme et a sauvé la vie à plus d'un blessé épuisé par hémorrhagie. Ponfick a proposé d'opérer la transfusion du sang en l'injectant dans la cavité péritonéale.

Une hémorrhagie représentant $1/30$ à $1/40$ du poids du corps, est généralement bien supportée chez le chien, et l'animal ne tarde pas à se remettre des suites de l'opération. Cependant il faut plusieurs semaines pour que les globules rouges, enlevés par la saignée, soient entièrement remplacés par des éléments de nouvelle formation. Au contraire, un petit nombre d'heures suffit en général pour ramener le plasma (et le sang) à son volume primitif.

Toute saignée est en effet accompagnée et suivie d'une résorption énergique de lymph interstitielle : le courant normal de transsudation, qui pousse le plasma à travers les parois vasculaires, dans les interstices des tissus, se trouve momentanément suspendu et remplacé par un courant en sens inverse, qui fait pénétrer dans le torrent de la circulation sanguine, les sucs empruntés aux tissus. Ce travail de résorption de lymph interstitielle a nécessairement pour effet d'augmenter proportionnellement la partie liquide du sang, de le diluer par rapport à la quantité d'hémoglobine. Aussi, lorsqu'on pratique sur le même animal une série de saignées successives, on voit le sang s'appauvrir de plus en plus en hémoglobine.

Le changement se produit avec une rapidité étonnante; il est déjà fort sensible, alors que l'intervalle qui sépare deux saignées, n'est que de 20 à 25 secondes. Le plasma sanguin s'appauvrit également en matériaux solides, puisqu'il est dilué avec une grande quantité de lymph (liquide moins concentré que le plasma). La résorption de lymph interstitielle et le drainage des tissus, qui en est la conséquence, nous expliquent la soif qui se manifeste toujours après une hémorrhagie abondante.

La proportion de fibrine diminue après la saignée, mais la coagulabilité du sang augmente considérablement (circonstance favorable à l'arrêt spontané des hémorrhagies).

La pression artérielle baisse immédiatement après une saignée, mais elle

(1) Bibliographie de la saignée dans : VINAY, *Emissions sanguines*, 1880; HAYEM, *Leçons sur les modifications du sang*, 1882; LÉON FREDERICO, *Soustractions sanguines*, 1886.

remonte bientôt (aux moins chez le chien) presque au niveau primitif. Le système vasculaire possède en effet la propriété de s'adapter jusqu'à un certain point par voie vaso-motrice au volume variable de son contenu sanguin : il y a contraction des vaisseaux, quand la masse du sang diminue par suite d'une saignée; il y a dilatation de l'arbre circulatoire, quand la masse sanguine se trouve augmentée par transfusion. Dans cette réparation de la pression artérielle, interviennent encore d'autres facteurs que la contractilité vasculaire, notamment l'accélération des battements du cœur, ainsi que la résorption extrêmement rapide de lymphé interstitielle, qui vient combler presque immédiatement le déficit de sang.

En même temps que la pression artérielle diminue, les battements du cœur s'accroissent (par diminution du tonus du pneumogastrique). La vitesse du sang diminue; les globules rouges traversent plus lentement les capillaires; ils se dépouillent plus complètement de leur oxygène dans le réseau de la circulation générale et se saturent mieux d'oxygène dans celui du poumon.

On observe, après la saignée, un léger abaissement de la température interne, quoique la production de chaleur, mesurée directement au calorimètre, ou indirectement par la quantité d'oxygène consommé, n'ait guère varié.

Après la saignée, il y a une augmentation considérable de la quantité d'azote excrétée par les urines, ce qui indique une usure exagérée des matériaux albuminoïdes du corps.

Kronecker a fait connaître de curieuses expériences dans lesquelles il ranimait des chiens saignés à blanc, par une transfusion, non de sang défibriné, mais d'un sérum artificiel, formé d'eau salée légèrement alcaline. On sait depuis longtemps qu'on peut chez la grenouille remplacer la totalité du sang, par une solution diluée de chlorure de sodium. Les « *grenouilles salées* » de cette façon continuent à vivre.

La transfusion du sang d'une espèce différente est le plus souvent nuisible, même mortelle, les globules du sang d'une espèce se dissolvant fréquemment dans le sérum du sang d'une autre espèce. Les globules du sang de lapin, par exemple, sont très-solubles dans le sérum du chien, de l'homme, du porc, du mouton, etc. Il suffit d'après Hayem d'une injection de 5 à 7 c. c. de sang de chien pour tuer un lapin d'un kilogramme. Les globules du sang de chien sont plus résistants; mais son sérum dissout facilement les globules du sang d'autres espèces. Cette dissolution des globules amène des accidents de diverse nature pouvant se terminer par la mort : l'hémoglobine dissoute provoque dans les vaisseaux des coagulations de fibrine, le résidu insoluble (stroma) des globules forme des amas granuleux qui viennent boucher les petits vaisseaux, etc.⁽¹⁾ L'hémoglobine peut également passer dans les urines.

Les propriétés globulicides du sérum s'atténuent ou disparaissent si l'on chauffe ce liquide pendant quelque temps à une température inférieure à celle de la coagulation de ses matières albuminoïdes; 60° environ (DAREMBERG, 1891; HAYEM, 1895).

Le sérum du sang d'anguille, celui de la vipère contiennent des substances toxiques à faible dose.

VII. GAZ DU SANG ARTÉRIEL ET DU SANG VEINEUX.

Le sang contient de l'oxygène, de l'anhydride carbonique et de l'azote (MAGNUS 1838). Une partie du gaz compté comme *Azote* dans le sang est de

(1) LANDOIS, *Die Transfusion des Blutes*, Leipzig, 1875.

l'Argon (P. REGNARD et TH. SCHLOESING 1897). Il y a également dans le sang des herbivores des traces de gaz combustibles : H_2 , CH_4 (GRÉHANT, DE SAINT-MARTIN, 1895). L'oxygène et l'anhydride carbonique sont en partie combinés, en partie dissous, l'azote paraît simplement dissout. Les combinaisons de l'oxygène et de CO_2 se dissocient facilement sous l'influence combinée du vide et de la chaleur. Lothar Meyer recueillait le sang directement dans un espace vide d'air, contenant de l'eau privée d'air, et chassait les gaz par ébullition (1857). Presque en même temps, Hoppe-Seyler (1854), Setschenow et Ludwig (1858) inauguraient en physiologie l'emploi de la pompe à mercure, grâce à laquelle l'extraction des gaz du sang est devenue une opération courante dans les laboratoires de physiologie⁽¹⁾.

Pompe à mercure. — La fig. 21 représente la POMPE A MERCURE de Gréhant, modifiée par Paul Bert, et généralement adoptée dans les laboratoires français. C'est une copie simplifiée de la pompe de Pflüger⁽²⁾ que l'on rencontre dans la plupart des laboratoires allemands (concurrentement avec la pompe de Ludwig). On y voit en R, le récipient destiné à recevoir le sang par le tube *t*; en AD, la pompe à mercure proprement dite, dont le rôle consiste à faire le vide au début de l'expérience par le jeu du récipient à mercure mobile D, puis à recueillir les gaz qui se dégagent du sang, et à les introduire dans la cloche *b*, sur la cuve à mercure *c*.

La pompe à mercure AD se compose d'un tube barométrique vertical fixe A, contenant du mercure, et communiquant inférieurement par un tube de caoutchouc épais, avec un réservoir à mercure D, que l'on peut faire monter ou descendre, par le jeu de la manivelle M. La partie supérieure du tube barométrique est renflée en A, de façon à produire un espace vide de grande dimension. L'ampoule A se termine supérieurement au niveau de *r* par un tube bifurqué, la branche horizontale allant au récipient à sang R, l'autre la verticale, débouchant dans la cuve à mercure *c*. Un robinet à trois voies *r*, placé dans la position 1, empêche toute communication de l'ampoule A avec l'extérieur; dans la position 2, il la met en rapport avec la cuve *c*, dans la position 3, il la met en rapport avec le récipient R.

Supposons que, le vide ayant été fait au préalable dans le récipient R, on y ait introduit par le tube *t*, 50 c. c. de sang, et qu'il s'agisse à présent d'extraire au moyen de la pompe à mercure et de recueillir, sur la cuve à mercure *c*, dans la cloche graduée *b*, les gaz provenant de ce sang. Le robinet *r* étant placé dans la position 2, on relève la boule D jusqu'en haut : le mercure coule de D en A et chasse l'air contenu en A; on laisse cet air s'échapper à l'extérieur. On ferme le robinet *r* (position 1), on abaisse D : le mercure descend de A en D, mais reste suspendu dans le tube A, à une hauteur correspondant à la pression barométrique (760^{mm} en moyenne). Le vide barométrique existe à présent dans l'ampoule A. On place le robinet *r* dans la position 3, une partie des gaz contenus dans le récipient R se précipite dans A. On referme *r* en position 1, on remonte le réservoir D; puis on ouvre *r* en position 2, en ayant soin de placer la cloche graduée *b* au-dessus de l'orifice du tube qui vient de A. Le mercure coule de D en A, chassant le gaz dans *b*. On referme *r* (position 1), on abaisse D, puis on place *r*, en position 3. Une nouvelle portion du gaz pénètre dans A. On referme *r*,

(1) Pour l'historique de la question voir : N. ZUNTZ, *Blutgase. Handbuch der Physiologie* de HERMANN, 1882; HOPPE-SEYLER, *Physiologische Chemie*, III, 1879; GSCHIEDLEN, *Physiologische Methodik*, II, 1876; PAUL BERT, *La pression barométrique*, 1878.

(2) PFLÜGER, *Ueber Kohlensäure des Blutes*, 1864.

on remonte D, on ouvre *r* en position 2, on recueille le gaz et l'on recommence le même manège, jusqu'à ce que tous les gaz dégagés en R, aient passé successivement dans la cloche *b*.

La même manœuvre de la boule mobile D et du robinet *r*, sert au début de l'expérience, avant l'introduction du sang, à vider le récipient R de l'air qu'il contient.

Le récipient R est un ballon dont le col fort long communique par un épais tube de caoutchouc(1) avec la branche horizontale du tube bifurqué de la pompe. Le ballon

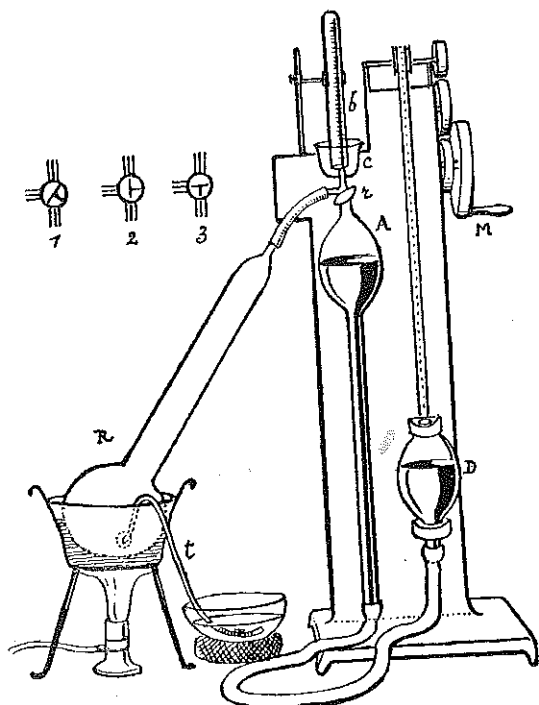


Fig. 21. — Pompe à mercure d'Alvergniat. D, boule mobile en verre, communiquant inférieurement par un tube de caoutchouc avec le tube barométrique terminé supérieurement par la boule fixe A; *r*, robinet à trois voies, fermant A dans la position 1, faisant communiquer A avec la cuve à mercure *c* dans la position 2, faisant communiquer A avec le récipient à sang R dans la position 3; *t*, tube pour l'introduction du sang, mesuré au préalable dans la pipette de la fig. 22; *b*, cloche graduée destinée à recueillir les gaz.

est plongé dans de l'eau chaude, le sang est introduit par le tube à robinet *t*. On le recueille sur l'animal vivant et on le mesure soit avec une seringue graduée, soit avec

(1) Il est bon d'entourer ce caoutchouc d'un manchon rempli d'eau ou de mercure, et de noyer pareillement tous les joints de l'appareil. De cette façon, on est sûr de la fermeture hermétique de la pompe.

le petit appareil figuré ci-contre (fig. 22). Le réservoir gradué *b* de cet appareil, rempli au préalable de mercure, communique d'une part avec le réservoir mobile *a*, et de l'autre avec le tube *c* par lequel le sang entre et sort de l'appareil. Pour faire entrer le sang, on abaisse *a*, de façon à produire une aspiration en *b*, puis on lève la pince; après avoir exactement mesuré le sang, on l'injecte dans le récipient R de la pompe à mercure.

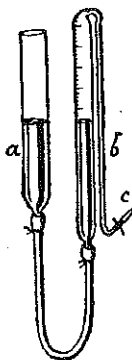


Fig. 22. — Appareil pour recueillir et mesurer à l'abri de l'air, le sang destiné à l'analyse des gaz.

b, récipient gradué, contenant du mercure, pouvant être mis en rapport, par la canule *c*, soit avec l'intérieur d'une artère ou d'une veine, soit avec le récipient de la pompe à mercure.
a, réservoir mobile communiquant avec *b*.

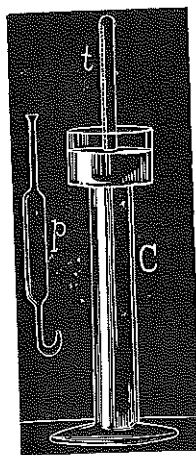


Fig. 23. — C, cuve à mercure pour l'analyse des gaz extraits du sang, employée dans les laboratoires français.

t, cloche graduée contenant le gaz à analyser.
p, pipette pour introduire la solution d'acide pyrogallique.

Le sang qui pénètre dans le récipient R de la pompe, perd immédiatement sa belle couleur rouge et mousse abondamment. Les bulles gazeuses montent et viennent crever dans le col du ballon. Sous l'influence du vide, l'azote se dégage du sang en vertu des lois de la diffusion. Il en est de même de la portion d'oxygène et d'anhydride carbonique qui se trouvait simplement dissoute dans le plasma (ou le sérum) sanguin.

La plus grande partie de l'oxygène et de l'anhydride carbonique du sang s'y trouve sous forme de combinaisons chimiques, mais de combinaisons instables, à un état voisin de la dissociation⁽¹⁾. Sous l'influence du vide, l'oxyhémoglobine des globules se décompose entièrement en oxygène et hémoglobine réduite. L'anhydride carbonique du sang paraît en grande partie combiné à l'alcali du plasma et des globules. Différentes substances du sang, notamment l'hémoglobine semblent jouer vis-à-vis du carbonate de sodium le rôle d'acides faibles. En

(1) DONDEERS, *Pflüger's Archiv.*, V., p. 20.

leur présence, ce sel se dissocie également sous l'influence de la chaleur et du vide.

Ces combinaisons (oxyhémoglobine et CO_2 uni à l'alcali etc.), se maintiennent dans notre sang, grâce aux petites quantités d'oxygène et de CO_2 simplement dissoutes dans le plasma et les globules, et qui y conservent la tension de ces deux gaz à un certain niveau, supérieur au point de dissociation.

Analyse des gaz. — Les gaz recueillis dans la cloche graduée *b* de la pompe à mercure, constituent un mélange de CO_2 , d'O et d'Az que l'on analyse d'après les procédés volumétriques. La marche suivie dans les laboratoires de physiologie français est expéditive et des plus simples. Les résultats ne sont pas très exacts, mais suffisent cependant dans la plupart des cas. On opère sur la petite cuve à mercure C, représentée fig. 23. On absorbe successivement dans le même tube gradué, CO_2 par un bâton de potasse caustique; puis l'oxygène par une solution de pyrogallate de potassium. La diminution de volume observée après l'action de chacune de ces substances absorbantes, correspond respectivement aux volumes disparus de CO_2 et d'O. Ce qui reste après ces deux opérations est compté comme azote. Il faut noter chaque fois soigneusement la température et la pression du gaz. Pour la pression, on note la hauteur du baromètre et l'on fait toutes les mesures gazeuses à la pression de l'atmosphère; à cet effet, il suffit de faire coïncider le niveau du mercure à l'intérieur et à l'extérieur du tube gradué *f*.

Dans les laboratoires allemands, les analyses de gaz du sang se font d'après une méthode plus exacte mais infiniment plus lente (voir Bunsen, *méthodes gazométriques*). CO_2 s'absorbe également par la potasse, O est dosé par explosion : on ajoute un volume d'hydrogène pur, suffisant pour brûler tout l'oxygène, et l'on provoque l'explosion du mélange par l'étincelle électrique. Le tiers du volume disparu par le fait de l'explosion et de la condensation de la vapeur d'eau produite, est compté comme oxygène. L'opération se fait dans un eudiomètre, tube fermé supérieurement, portant deux fils de platine soudés dans sa paroi, entre lesquels jaillit l'étincelle électrique qui doit provoquer l'explosion. Toutes les lectures de volume gazeux se font à distance, au moyen d'une lunette mobile sur un pied vertical (cathétomètre). (Voir plus loin au Chapitre de la respiration, les méthodes usitées pour l'analyse de l'air de l'inspiration et de l'expiration.)

Pflüger a trouvé de cette façon que 100 centim. cubes de sang de chien fournissent environ 60 c. c. de gaz (à 0° et 760^{mm}P), le sang veineux contenant moins d'oxygène et plus de CO_2 que le sang artériel.

	O.	CO_2 .	Az. (et Argon)
100 vol. de sang artériel contiennent	20-24 vol.	39 vol.	1.5 vol.
100 vol. de sang veineux contiennent	8-12 vol.	46 vol.	1.5 vol.

Les analyses isolées des gaz du sang entier, comparées à celles des gaz du sérum (ou du plasma), montrent que la presque totalité de l'oxygène est fixée sur les globules; l'anhydride carbonique se trouve en partie dans les globules, mais en plus grande quantité dans le sérum, à l'état de combinaisons instables et de dissolution. L'azote paraît dissout à la fois dans les globules et le plasma.

Le sang, pendant son passage à travers les capillaires du poumon, se charge donc d'oxygène et se débarrasse d'une partie de son CO_2 ; pendant son passage à travers les capillaires du corps, il perd une partie de son oxygène et absorbe de l'anhydride carbonique.

Toutes les influences qui agissent sur la respiration pulmonaire ou sur celle des tissus, modifient indirectement la composition gazeuse du sang. Aussi les chiffres cités précédemment ne sont que des moyennes. (Pour la tension des gaz du sang, voir plus loin au chapitre de la respiration pulmonaire, l'article traitant de la théorie des échanges gazeux dans les poumons.)

Dans le cordon ombilical du fœtus, le sang qui arrive au placenta par les artères ombilicales est relativement pauvre en oxygène (2 à 6 vol. p. 100) et riche en acide carbonique (47 vol. p. 100). Celui qui revient du placenta par la veine ombilicale s'est chargé d'oxygène (6 à 11 vol. p. 100) et ne contient plus que 40 vol. p. 100 de CO_2 (COHNSTEIN et ZUNTZ 1884, BUTLE 1893).

VIII. LYPHME ET CHYLE.

Une partie du plasma sanguin transsude à travers les parois vasculaires, et se répand dans les interstices des tissus. Ce liquide, plus ou moins modifié au contact des éléments vivants (lymphe), est ensuite repris par les origines des lymphatiques, circule lentement dans les vaisseaux incolores, et finit par retourner au système veineux et par se mélanger de nouveau au sang d'où il était parti. A mesure qu'elle progresse, la lymphe se charge de leucocytes, notamment à son passage à travers les ganglions lymphatiques. Mais un certain nombre de ces leucocytes préexistent dans la lymphe, et proviennent du sang. Ils sortent des capillaires en s'insinuant à travers la paroi de ces vaisseaux, et tombent ensuite dans les interstices des tissus, où ils se mélangent à la lymphe. Le phénomène de l'émigration des globules blancs prend des proportions colossales dans l'inflammation suppurative (WALLER, COHNHEIM).

Les leucocytes jouissent de la propriété d'englober activement les corpuscules solides qu'on met à leur portée : granules de carmin ou autres, fragments de globules rouges, bactéries etc. D'après la théorie de la *Phagocytose* (CARL ROSER, MERCHNIKOFF), les leucocytes, et un certain nombre de cellules analogues du tissu conjonctif, sont les défenseurs naturels de l'organisme contre l'agression des microbes. Les leucocytes accourent en grand nombre là où se produit une invasion de micro-organismes étrangers : ils les dévorent et les digèrent. La formation des globules de pus par émigration des leucocytes à la surface des plaies exposées à l'air n'est qu'un épisode de cette lutte des phagocytes contre les microbes.

On admettait généralement, jusque dans ces dernières années, avec l'école de Ludwig (Expériences de Ludwig et Tomsa) que la lymphe est un produit de filtration du plasma sanguin, formé sous l'influence exclusive de l'action mécanique de la pression sanguine. A cette explication purement physique, Heidenhain (1) oppose la théorie de la *Sécrétion* de la lymphe, d'après la quelle ce liquide serait fabriqué, sécrété par l'activité des cellules endothéliales vivantes qui constituent la paroi des capillaires sanguins.

Heidenhain (1891) fait observer que la quantité de lymphe fournie par une fistule du

(1) *Pflüger's Archiv*, 1891, II, p. 209.

canal thoracique n'est pas en rapport avec les variations de valeur de la pression aortique, que la lymphe peut même continuer à se produire, après obstruction complète de l'aorte thoracique.

Il a découvert qu'il existe toute une série de substances dont l'injection intravasculaire augmente considérablement l'écoulement de la lymphe par la fistule du canal thoracique. Il distingue deux groupes de ces substances *lymphagogues*.

Les *lymphagogues* de la première catégorie n'ont pas d'action sur la pression sanguine (extrait de muscles d'écrevisse, de têtes de sangsue, etc.) ou tendent même à diminuer cette pression (propeptone). Ils agiraient comme excitant sur l'endothélium des capillaires et provoqueraient de la part de ces cellules une augmentation de sécrétion de lymphe. Cette lymphe formée exclusivement aux dépens du plasma sanguin, est plus riche en albumine que la lymphe sécrétée auparavant, tandis que sa teneur en sels ne change pas. Ces lymphagogues n'agiraient plus si l'endothélium vasculaire est altéré, par exemple à la suite d'une obstruction temporaire (durant une heure) de l'aorte thoracique.

Le second groupe des lymphagogues est constitué par des substances cristalloïdes (sucre, chlorure de sodium et autres sels), dont l'injection intravasculaire provoque une augmentation de lymphe aux dépens, non du plasma sanguin, mais des liquides interstitiels. Il y a un drainage de liquide, qui s'opère aux dépens des éléments des tissus, et qui se fait au profit de la lymphe et du sang. Ici, le sucre, le sel semblent sortir des vaisseaux suivant les lois de la filtration et de la diffusion, et se répandant dans les interstices des tissus, y attirer l'eau de ces derniers en vertu de leur pression osmotique.

Hamburger (1893-1897) est arrivé à des résultats analogues dans ses études sur la lymphe du tronc cervical du cheval. Cette lymphe recueillie dans des conditions physiologiques différentes (repos, marche, mastication, travail de traction) présente chaque fois une composition spéciale, différente, qui ne dépend nullement de la composition du plasma sanguin qui a donné naissance à cette lymphe. La pression osmotique (pouvoir d'attraction pour l'eau) de cette lymphe est d'ailleurs plus grande que celle du sérum de la jugulaire.

Starling (1894), Cohnstein (1895), Popoff (1895) etc. ont fait à la théorie de la sécrétion des objections sérieuses. Citons en quelques-unes. Après occlusion de l'aorte thoracique, la pression de la veine porte, et notamment la pression intrahépatique, se trouve à peine diminuée. Les conditions de la formation de la lymphe par filtration mécanique existent donc toujours au niveau des capillaires du foie. Or Starling a démontré par la ligature des lymphatiques du foie, que le peu de lymphe que fournit encore le canal thoracique après occlusion de l'aorte, provient exclusivement du foie. Il a montré que s'il n'y a pas parallélisme entre les variations de pression artérielle et les variations de l'écoulement de la lymphe du canal thoracique, ce parallélisme existe en général entre ces dernières variations et celles de la pression des capillaires des organes abdominaux. Or c'est cette dernière seule et non la pression artérielle, qui règle l'importance de la filtration de la lymphe.

Quant à l'action des injections de propeptone etc., elle peut s'expliquer en admettant une action physique directe de la propeptone sur les parois des capillaires dont la perméabilité serait augmentée. Cohnstein a montré que le sang additionné de propeptone filtrait plus facilement à travers une membrane organique. Et Popoff admet que la propeptone augmente la pression dans la veine porte.

La composition chimique de la lymphe, et son indépendance vis à vis de la composition chimique du plasma ou du sérum, peuvent dépendre d'échanges chimiques entre la lymphe et les éléments histologiques des tissus. L'argument aurait une plus grande valeur, s'il s'appliquait au liquide tel qu'il transsude à travers la paroi des capillaires. Mais il n'en est pas ainsi: la lymphe que nous recueillons a parcouru un long trajet, et a dû se modifier en route. C'est par l'intermédiaire de la lymphe, en effet, que se font tous les échanges nutritifs, respiratoires et autres, entre le sang d'une part et les éléments vivants de nos tissus de l'autre. De plus, il est bien difficile

de pouvoir comparer un échantillon de lymphé avec l'échantillon de sérum correspondant; le sang et la lymphé se modifient constamment. Il faudrait savoir exactement le temps (fort long) qui s'est écoulé entre le moment où la lymphé est recueillie et celui où elle s'est formée, pour retrouver parmi les échantillons de sang recueillis, ceux qui correspondent à la lymphé analysée.

C'est à des recherches nouvelles à décider entre l'ancienne théorie mécanique de LUDWIG et la théorie physiologique de HEIDENTAIN.

La composition chimique de la lymphé ne diffère pas qualitativement de celle du plasma sanguin; elle contient à peu près la même proportion de sels; mais elle est beaucoup plus pauvre en matériaux solides organiques que le plasma sanguin. La diminution porte spécialement sur les matières albuminoïdes. D'après les analyses de C. SCHMIDT, DE NASSE, etc. la lymphé du cheval et du chien contient de 95 à 96 p. % d'eau, de 4 à 5 p. % de matériaux solides, dont environ 3 à 3 1/2 p. % de matières albuminoïdes. Celle de l'homme est encore plus riche en eau: 98 % d'après HENSEN. Certaines substances peuvent à un moment donné exister en plus grande quantité dans la lymphé que dans le sang. Ainsi un excès de sucre introduit dans le sang, passe en peu de temps pour la plus grande partie dans la lymphé. Les analyses des gaz de la lymphé faites au laboratoire de LUDWIG par HAMMARSTEN, ont fourni les chiffres suivants: 100 c. c. de lymphé contiennent environ 0.4 c. c. d'oxygène, 40 c. c. de CO₂ et 1.5 c. c. d'azote.

Le *Chyle* représente la lymphé qui revient de l'intestin, mélangée à des produits résorbés de la digestion intestinale. A jeun, son aspect et sa composition chimique le rapprochent beaucoup de la lymphé. Pendant la digestion d'un repas riche en graisse, le chyle présente un aspect laiteux, dû à une infinité de globulins de graisse émulsionnée. On peut y trouver jusqu'à 14 pour % de graisse, d'après ZAWILSKI. Tant que le canal thoracique déverse dans le sang ce liquide graisseux, le plasma et le sérum montrent également un aspect trouble, laiteux. Cet excédant de graisse disparaît du sang en peu d'heures. Il se dépose sans doute dans le tissu adipeux, le foie etc.

IX. SANG ET LYMPHE DES ANIMAUX INVERTÉBRÉS.

Les liquides nourriciers des animaux invertébrés sont formés comme ceux des vertébrés, d'eau, de sels, de matières albuminoïdes, de substances organiques diverses et de gaz. Dans la plupart des cas, les éléments figurés sont peu abondants et se rapprochent des leucocytes. La proportion de sels ne montre pas la même constance que chez les vertébrés. J'ai constaté que chez les crabes, par exemple, le sang contient sensiblement la même proportion de sels que l'eau de mer dans laquelle ils vivent. On peut à volonté faire varier cette proportion du simple au quadruple, en plaçant l'animal dans de l'eau de mer diluée par addition d'eau douce, ou concentrée par évaporation. Le milieu intérieur se montre ici beaucoup moins indépendant des conditions du milieu extérieur que chez les vertébrés. La proportion de matériaux organiques, varie considérablement d'une espèce animale à l'autre. Le sang de certains mollusques lamellibranches ne contient que des traces d'albuminoïdes, tandis que le sang du poulpe m'en a fourni près de 10 %.

L'hémoglobine existe (généralement en dissolution dans le plasma) dans le sang d'un certain nombre d'animaux invertébrés, appartenant aux groupes zoologiques les plus divers, notamment chez beaucoup d'annelides, le ver de terre par exemple (ROLLET). Chez d'autres annélides, l'hémoglobine est remplacée par une substance verte, la *chlorocruorine* (RAY LANKESTER) qui forme avec l'oxygène une combinaison

analogue à l'oxyhémoglobine. KRUKENBERG a décrit dans les corpuscules sanguins des Siponcles un pigment respiratoire brun, l'*hémérythrine*. Chez le poulpe, une substance bleue, cuprifère à laquelle j'ai donné le nom d'*oxyhémocyanine*, joue le même rôle respiratoire que l'oxyhémoglobine du sang des vertébrés (fait déjà entrevu par PAUL BERT). J'ai retrouvé l'hémocyanine chez plusieurs crustacés et mollusques gastéropodes; elle existe également dans le sang du scorpion et de la limule.

Le sang de beaucoup d'animaux invertébrés se coagule au sortir des vaisseaux, par suite de la prise en masse de substances analogues à la fibrine. Une température suffisamment élevée empêche la coagulation. Le sang des insectes présente en outre un phénomène des plus intéressants : il s'y forme, au moment de la coagulation, une substance incolore, brunissant à l'air. Une température de $+50^{\circ}$ empêche également ce phénomène (LÉON FRIEDERIGO).

CHAPITRE III.

CIRCULATION DU SANG⁽¹⁾.

Idée générale de la circulation. — Pour accomplir les échanges nutritifs et respiratoires auxquels il préside, le sang doit renouveler constamment sa provision d'oxygène et de substances alimentaires et se débarrasser aussi des déchets organiques provenant des différents organes; il ne peut rester un instant en repos au contact des organes; il se meut incessamment dans un système de canaux élastiques fermés de toutes parts (vaisseaux), de manière à faire pour ainsi dire la navette entre les différents organes d'une part et les surfaces d'échange du corps (poumon, intestin, rein) de l'autre. Partant du cœur, il parcourt un trajet circulaire fort long qui le conduit successivement à travers les artères, les capillaires et les veines du corps, le fait repasser par le cœur, puis le chasse dans les artères, les capillaires et les veines du poumon pour le ramener enfin à son point de départ (WILLIAM HARVEY, 1619). Puis le même cycle recommence.

Le cœur est le *moteur central* de la circulation, l'organe dont l'activité incessante entretient le mouvement du liquide nourricier. On peut comparer son action à celle d'une pompe double (cœur droit, cœur gauche) qui aspire le sang du côté des veines pour le lancer avec force dans les artères. Le sang circule en vertu de l'inégalité de pression produite et entretenue par

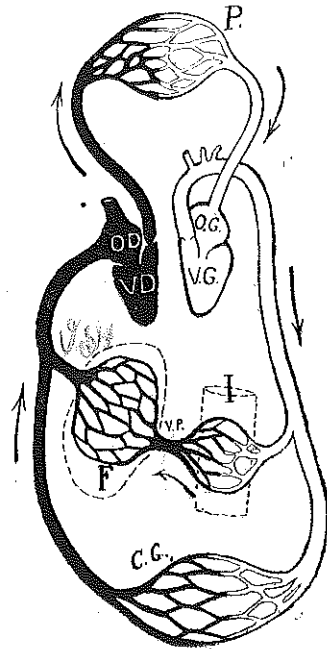


Fig. 24. — Schéma de l'appareil circulatoire de l'homme : OD, oreillette droite; VD, ventricule droit; P, poumon; OG, oreillette gauche; VG, ventricule gauche; I, intestin; F, foie; CG, capillaires de la circulation générale.

Les flèches indiquent la direction du cours de sang.

(1) HARVEY, *Circulation du sang*, trad. CH. RICHET; 1879, VOLKMANN, *Hämodynamik*, 1850; MAREY, *Circulation du sang*, 1881; Article *Blutbewegung* (ROLLETT), dans le grand *Handbuch der Physiologie*, de HERMANN, 1880, vol. IV, partie I, p. 146; R. TIGERSTEDT, *Physiologie des Kreislaufes*, Leipzig, 1893.

les contractions rythmiques du cœur, entre les grosses veines aboutissant au cœur, où règne une pression négative, et l'origine du système artériel où règne une augmentation de pression. Le liquide doit s'écouler de l'endroit de forte pression (artères), à travers les capillaires, vers celui à basse pression (veines), jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Pendant la vie, l'équilibre ne peut être atteint, puisque le cœur puise constamment du sang du côté des veines pour le fouler du côté des artères.

La fig. 24 représente schématiquement l'ensemble de l'appareil circulatoire. La disposition anatomique du cœur et des gros vaisseaux, la structure des valvules situées de chaque côté entre l'oreillette et le ventricule (valvules auriculo-ventriculaires) et des valvules sigmoïdes de l'aorte et de l'artère pulmonaire, déterminent le sens dans lequel se fait le cours du sang (voir les traités d'anatomie descriptive). L'oreillette droite du cœur reçoit le sang veineux, qui revient de toutes les parties du corps par les deux veines caves; elle envoie ce sang au ventricule droit, qui le chasse à son tour par l'artère pulmonaire dans le réseau des capillaires du poumon. Pendant son passage à travers le poumon, le sang veineux se charge d'une nouvelle provision d'oxygène et se débarrasse de l'excès de CO_2 qu'il contenait. C'est à l'état de sang vermeil, de sang artériel, qu'il revient du poumon à l'oreillette gauche par les quatre veines pulmonaires. De l'oreillette gauche, le sang passe dans le ventricule gauche, d'où il est projeté dans l'aorte; et de là, par les différentes artères, il gagne les capillaires de la circulation générale, où il redevient sang veineux, se dépouillant de l'oxygène apporté du poumon et se chargeant de CO_2 contenu dans les tissus. Le sang achève son mouvement circulaire en retournant au cœur par les deux veines caves.

Historique. — Les anciens n'avaient qu'une connaissance incomplète et en grande partie erronée de la disposition anatomique du cœur et des vaisseaux. HIPPOCRATE (460 av. J. C.) et ARISTOTE (300 av. J. C.) croyaient que les artères contenaient de l'air et se continuaient en s'effilant avec les tendons (qu'ils confondaient d'ailleurs avec les nerfs). Le cœur et les veines contenaient seuls du sang. Ce sang, partant du cœur ou du foie, suivait dans les veines une direction centrifuge, pour se rendre aux différents organes, où il était censé s'arrêter pour présider à la nutrition. GALIEN (né à Pergame en 131 après J-C) reconnut la présence du sang dans les artères, mais il continua à accepter l'explicable erreur de ses prédécesseurs, concernant la direction prétendument centrifuge du cours du sang dans les veines. Les anciens n'ont donc eu aucun soupçon du mouvement circulaire du sang, qui le ramène constamment à son point de départ.

Les anatomistes de la Renaissance, VÉSALE, SERVET (circulation pulmonaire), EUSTACHE (1563), FABRICE D'AQUAPENDENTE (1574, valvules des veines), CÉSALPIN (1569, direction centripète du cours du sang dans les veines) redressent une à une les erreurs des anciens et préparent le terrain sur lequel WILLIAM HARVEY devait fonder la doctrine classique de la circulation du sang. Le livre célèbre dans lequel HARVEY décrit pour la première fois complètement le double cycle de la circulation est intitulé: *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus* (Francfurti, 1523. Trad. française de CH. RICHTER, Paris, 1879). Le mouvement du sang à travers le cœur, les artères et les veines de la grande circulation et de la circulation pulmonaire est décrit d'une façon aussi exacte que détaillée d'après les résultats des nombreuses vivisections et observations de l'auteur. HARVEY admit la communication entre les artères et les veines, mais sans pouvoir en donner une démonstration directe. Les capillaires furent découverts par MALPIGHI en 1661, quatre ans après la mort de HARVEY.

Parmi les principales découvertes réalisées depuis HARVEY jusqu'à nos jours dans le domaine de la circulation, citons celle des chylières (ASELLI, 1622) et des lymphatiques, celle du rôle du poulmon dans l'hématose (LOWER, 1740, LAVOISIER, 1799), celle des nerfs cardiaques, des nerfs vasomoteurs (CLAUDE BERNARD, 1849,) et surtout l'application de la méthode graphique (LUDWIG, 1847) à l'étude du mouvement du cœur et des vaisseaux (CHAUVEAU et MAREX, 1863).

I. MÉTHODE GRAPHIQUE(1).

Les mouvements des organes de la circulation du sang sont à la fois si rapides et si complexes, qu'il a fallu pour leur étude, recourir à des procédés spéciaux d'investigations, parmi lesquels la méthode graphique tient incontestablement le premier rang. L'emploi des appareils enregistreurs a permis d'analyser rigoureusement ces mouvements, et d'en fixer les phases trop fugitives. Comme ces appareils sont devenus d'un emploi courant, non seulement en hémodynamique, mais encore dans les autres parties de la physiologie, il nous a paru utile de faire précéder l'étude de la circulation, par quelques considérations générales sur la méthode graphique et sur l'emploi des appareils enregistreurs.

Courbes graphiques. — C'est DESCARTES (1630) qui nous a appris à représenter géométriquement, à traduire en courbe les relations que présentent deux quantités variables, dont l'une est fonction de l'autre.

Dans la plupart des phénomènes que nous étudions en physiologie, le temps intervient comme l'un des éléments. On peut, dans ce cas, considérer le temps comme une grandeur qui croît d'une manière régulière, et à laquelle on a l'habitude de rapporter les valeurs successives de l'autre variable. Supposons qu'il s'agisse de représenter graphiquement les variations diurnes de la température interne de l'homme. Nous prendrons les coordonnées rectangulaires OX et OY (fig. 25) avec un réseau de lignes qui leur soient parallèles, afin de faciliter la construction de la courbe. Le temps, variable indépendante, se comptera sur l'axe des x : chaque division de cette abscisse

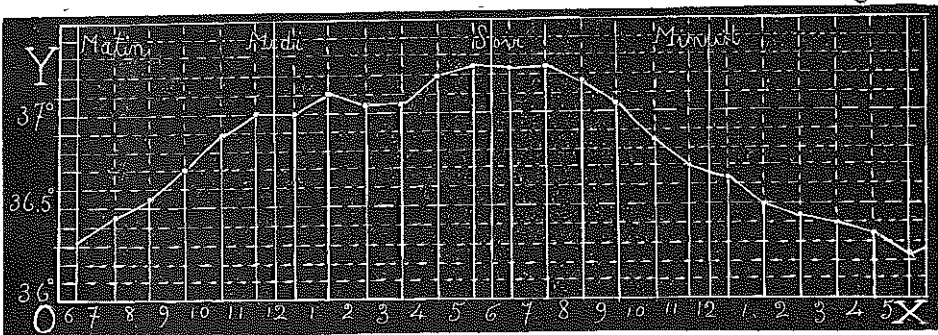


Fig. 25. — Courbe représentant les variations diurnes de la température axillaire de l'homme. Les chiffres de la ligne OX indiquent les heures de la journée. Les lignes parallèles à OY indiquent par leurs hauteurs relatives, la valeur de la température à ces différentes heures. (Courbe construite par LANDOIS, d'après les chiffres de JÜRGENSEN.)

horizontale OX, correspondra à la durée d'une heure. Les degrés de température se mesureront sur les ordonnées, et nous conviendrons que chaque dixième de degré

(1) MAREY, *La Méthode graphique*, 1878; LANGENDORFF, *Physiologische Graphik*, 1891.

(au-dessus de $+36^{\circ}$) correspondra à une des divisions de la ligne des y . A chacune des divisions de l'abscisse OX , nous élèverons une ordonnée dont la longueur sera proportionnelle à la température observée à l'heure correspondante. En joignant les extrémités de ces ordonnées, nous obtiendrons une courbe dont les inflexions permettront, au premier coup d'œil, de saisir l'allure générale des changements de température interne, pendant les vingt-quatre heures. En clinique, on fait un usage fréquent de ces tableaux graphiques. On y représente par des courbes, la marche de la température, le nombre des pulsations et des respirations, aux différentes périodes d'une maladie.

Prenons un autre exemple, celui d'un muscle qui se contracte, qui se raccourcit sous l'influence d'une excitation extérieure. HELMHOLTZ a montré que le raccourcissement

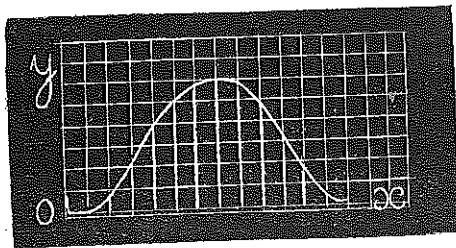


Fig. 26. — Graphique représentant les phases de la contraction musculaire. Les divisions de la ligne ox représentent des centièmes de seconde. La longueur des ordonnées parallèles à oy est proportionnelle au degré de raccourcissement du muscle.

du muscle n'est pas instantané. A partir du moment où le muscle est excité, il s'écoule encore quelques millièmes de seconde, avant qu'il commence à se raccourcir. Le stade de raccourcissement s'opère d'abord lentement, puis plus rapidement; il dure environ 5 centièmes de seconde, puis le muscle reprend sa longueur primitive, en repassant pendant environ 5 centièmes de seconde, par un stade d'allongement, présentant les mêmes phases que le stade de raccourcissement, mais se succédant en sens inverse. Il est facile de traduire en graphique ces différentes périodes du raccour-

cissement du muscle pendant sa contraction, comme le montre la fig. 26. L'abscisse horizontale ox sera divisée en parties égales, chacune d'elles correspondant à un centième de seconde. Sur cette abscisse, et parallèlement à oy , nous élèverons des perpendiculaires, dont la longueur sera proportionnelle au degré de raccourcissement du muscle à chacune des divisions du temps. En joignant les extrémités de ces ordonnées, nous obtiendrons la courbe du raccourcissement, qui nous renseignera à première vue sur les différentes phases du phénomène.

Toutes les relations de grandeur, tous les phénomènes à phases plus ou moins compliquées, peuvent être avec avantage représentés par des courbes analogues. Ces courbes ont le mérite de dispenser d'une longue description et de se graver plus facilement dans la mémoire que des séries de chiffres.

*Segnius irritant animos demissa per aurem
Quam quæ sunt oculis submitta fidelibus et quæ
ipse sibi tradit spectator.*

(HORACE, *Ars poetica*.)

Appareils enregistreurs. — Mais la méthode graphique a depuis longtemps réalisé un progrès décisif; la courbe de la contraction musculaire que nous avons construite au moyen de données numériques concernant le degré de raccourcissement du muscle, cette courbe nous pouvions l'obtenir sans connaître au préalable ces données (HELMHOLTZ 1850).

Il existe, en effet, un moyen très simple de forcer le muscle qui se contracte, à tracer lui-même la courbe de son raccourcissement. Le muscle M (fig. 27) étant fixé supérieurement par une de ses extrémités, armons l'autre extrémité d'un pinceau mobile l trempé dans l'encre. Ce pinceau, ou toute autre pointe écrivante l , sera mis

en contact avec la surface P du papier, destinée à recueillir le graphique (fig. 27). Si le papier P restait immobile, le muscle, au moment de sa contraction, souleverait le pinceau pour le laisser ensuite retomber, et celui-ci se bornerait à tracer un trait vertical. Pendant que le muscle exécute sa contraction, déplaçons devant lui le papier, en lui imprimant, dans un plan vertical, un mouvement horizontal d'une vitesse uniforme, et suffisante pour que chaque centième de seconde corresponde à une longueur appréciable de papier. Grâce à l'emploi de cet appareil enregistreur, le mouvement si rapide du muscle laissera sur le papier une trace durable, s'inscrira sous forme d'une courbe en tout semblable à celle de la fig. 26. Cette courbe permettra d'analyser le mouvement dans ses moindres détails. Nous pouvons, sur le même papier, inscrire également un trait de repère indiquant le moment où le muscle a été excité. Si nous connaissons en outre la vitesse de translation de la plaque P, nous pouvons rapporter chaque partie de la courbe à la fraction de temps qui lui correspond.

L'emploi des appareils enregistreurs a été introduit en physiologie par LUDWIG (1847). L'illustre physiologiste de Leipzig imagina d'inscrire sur un cylindre tournant, les variations de la pression intra-artérielle, au moyen d'un manomètre à mercure muni d'un flotteur écrivant (Kymographe). Peu de temps après, VIERORDT décrivait un appareil (Sphygmographe) destiné à enregistrer les pulsations artérielles chez l'homme; et HELMHOLTZ construisait le premier Myographe. MAREY, qui introduisit et vulgarisa en France les appareils enregistreurs employés en physiologie, a travaillé sans relâche à les perfectionner.

On connaît aujourd'hui un grand nombre d'appareils enregistreurs, mais ils se ramènent tous à un petit nombre de types. Nous indiquerons les plus employés, en passant successivement en revue la surface qui reçoit le graphique, la pointe qui écrit, la transmission du mouvement à cette pointe et le contrôle chronographique des appareils enregistreurs.

La SURFACE RÉCEPTRICE, destinée à enregistrer le graphique est plane, rectangulaire, dans quelques instruments destinés à des usages spéciaux et limités. (Sphygmographe de MAREY pour l'inscription du pouls, Myographes pour l'étude de la contraction musculaire). Mais dans les appareils enregistreurs employés couramment, la feuille de papier sur laquelle s'inscrivent les courbes, est enroulée à la surface d'un cylindre en métal, animé d'un mouvement de rotation régulier.

La fig. 28 nous montre le cylindre enregistreur de MAREY, que tous les physiologistes français employent. Le cylindre tourne, d'un mouvement uniforme, autour d'un axe mû par un mécanisme d'horlogerie (à ressort) contenu dans la caisse placée à droite. Le régulateur à ailettes, qui surmonte la caisse, assure l'uniformité du mouvement de rotation. L'appareil est muni de trois axes présentant chacun une vitesse différente. (Un tour ou 40 centimètres de papier en 1 1/2 seconde, en 7 secondes ou en 60 secondes.) Suivant qu'on veut enregistrer des mouvements lents ou rapides, on choisit l'une ou l'autre de ces vitesses. On recouvre le papier d'une mince couche de noir de fumée, en promenant sous lui, la flamme d'une petite

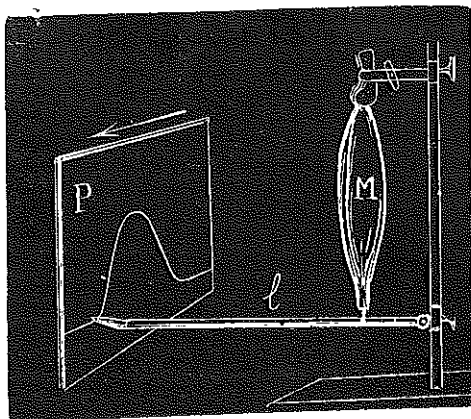


Fig. 27. — Schéma du Myographe. Le muscle M soulève en se raccourcissant le levier l, dont la pointe armée d'un pinceau trace, sur la plaque mobile P, la courbe du raccourcissement.

lampe à essence de térébenthine. La pointe effilée chargée d'inscrire la courbe, gratte le noir presque sans frottement, et laisse un trait blanc sur fond noir.

La fig. 29 représente le cylindre enregistreur de LUDWIG, adopté dans presque tous les laboratoires allemands. Le mécanisme d'horlogerie, contenu dans la caisse C, fait

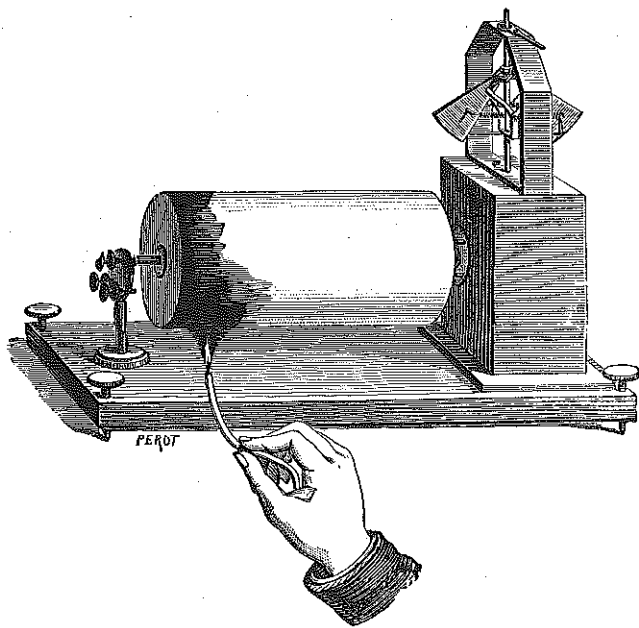


Fig. 28. — Cylindre enregistreur de MAREY, muni du régulateur de FOUCAULT. L'appareil est représenté au moment où l'on noircit le papier à la fumée. (MAREY, *Méthode graphique.*)

tourner le cylindre A, par l'intermédiaire du disque à friction D. On varie la vitesse de rotation du cylindre A, en haussant ou descendant au moyen de la vis V la roulette qui frotte contre ce disque. La vis V' peut faire monter ou descendre ce cylindre, de manière à amener successivement toutes les zones du papier en regard de la plume qui trace les courbes. Ici aussi l'on écrit sur papier enfumé. Les cylindres enregistreurs de MAREY et de LUDWIG peuvent à volonté se placer verticalement ou horizontalement.

LUDWIG a construit également un autre appareil enregistreur, dans lequel une bande de papier sans fin se déroule devant le style écrivant. Dans ce cas, on ne peut songer à enfumer le papier; le style écrivant est muni d'une plume creuse (pipette en verre) contenant un brin de fil imbibé d'encre colorée. Le frottement entre la pointe et le papier est un peu plus considérable, mais on a l'avantage de pouvoir prolonger l'inscription pendant un temps pour ainsi dire indéfini. En outre, on n'est pas obligé, lorsqu'on veut conserver les courbes, de les fixer au moyen d'un vernis comme c'est le cas pour les graphiques sur papier enfumé. Cet appareil est donc utile pour l'inscription de phénomènes de longue durée, mais n'exigeant pas une exactitude absolue des détails du tracé. Enfin d'autres modèles d'enregistreurs fort parfaits sont dus à E. HERING, MORAT, HÜRTHLE, etc.

LE STYLE qui trace le graphique sur la surface enfumée est ordinairement un levier

léger (en jonc) terminé par une pointe effilée (taillée dans un copeau de baleine ou de plume d'oie). Dans quelques cas, l'organe dont il s'agit d'étudier le mouvement, agit directement sur le levier, ou par l'intermédiaire de pièces métalliques fort courtes. C'est le cas pour la plupart des myographes, pour le sphygmographe direct de MAREY,

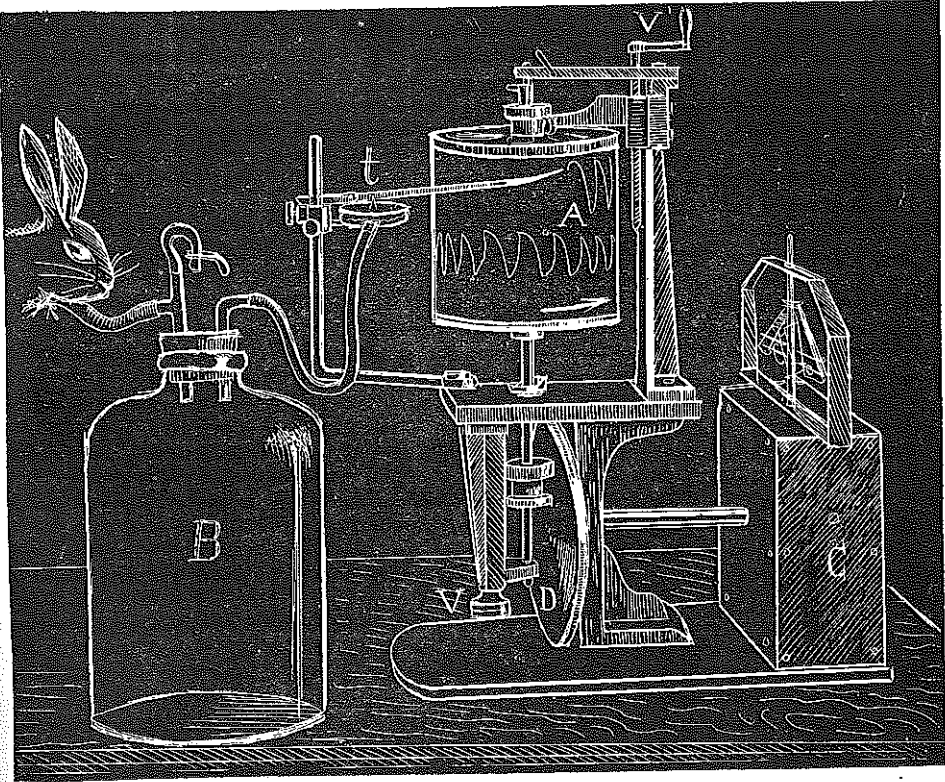


Fig. 29. — Cylindre enregistreur de Ludwig, disposé pour l'inscription des mouvements respiratoires.

pour les cardiographes qui inscrivent les pulsations du cœur de grenouille, etc. Dans beaucoup d'expériences, il est bien plus commode de transmettre à distance le mouvement que l'on veut inscrire. Il serait même impossible, quand il s'agit d'étudier simultanément les mouvements de différents organes, de les amener tous dans le voisinage immédiat de l'appareil enregistreur. On a recours alors aux procédés de transmission dont nous allons nous occuper.

Transmission des mouvements à distance. — 1° TRANSMISSION PAR LES LIQUIDES. Lorsqu'il s'agit d'enregistrer les variations de pression d'un liquide (le sang à l'intérieur des artères par exemple) on peut transmettre les oscillations de pression à un manomètre à mercure, par l'intermédiaire de tubes remplis de liquide. Les mouvements de la colonne de mercure se communiquent par un flotteur à la plume chargée de les enregistrer. (Voir plus loin à l'article *pression sanguine*, la figure représentant le manomètre enregistreur.)

2° TRANSMISSION PAR L'AIR. Ce procédé imaginé par UPHAM (1859) et BUISSON (1861) a été repris et porté à un haut degré de perfection par MAREY. Supposez deux ampoules en caoutchouc mince a et t (fig. 30) remplies d'air, et communiquant l'une avec l'autre, par l'intermédiaire d'un tube également rempli d'air. Tous les mouvements de compression, tous les chocs que vous imprimerez à l'ampoule a , auront pour effet de chasser une partie de l'air qu'elle contient, dans l'ampoule t , qui présentera chaque fois un mouvement d'expansion. Fixons un levier inscripteur sur l'ampoule t de

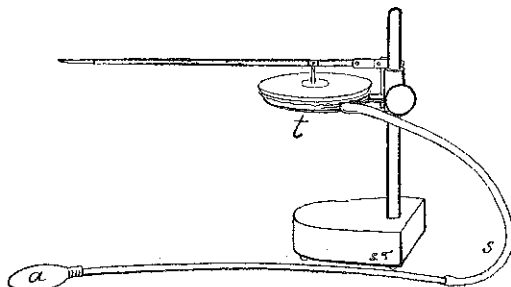


Fig. 30. — Schéma de la transmission des mouvements par l'air.
 a , ampoule creuse en caoutchouc, reliée par le tube s au tambour à levier t .

manière à ce qu'il suive exactement tous ses mouvements, il est clair que le levier lié à l'ampoule t , subira le contre-coup de tous les mouvements imprimés à a et les indiquera dans le graphique qu'il inscrira sur le cylindre enregistreur. Il suffira de relier l'ampoule a , avec le corps dont on veut étudier les mouvements, de manière à ce que ces mouvements agissent sur la masse d'air renfermée en a , pour qu'ils se transmettent à l'ampoule t , et au levier inscripteur qui les traduira en graphique.

Le tambour à levier de MAREY réalise, de la façon la plus heureuse, cette transmission par l'air à un levier inscripteur. Supposez que l'ampoule à air t , dont il vient d'être question, soit formée d'une capsule métallique largement ouverte par le haut, mais

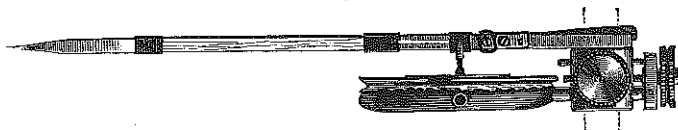


Fig. 31. — Tambour à levier de MAREY, se disposant facilement à côté d'autres appareils inscripteurs (MAREY, *Méthode graphique*).

complétée par une membrane en caoutchouc extensible. La masse d'air, renfermée dans la capsule, communique par un tube avec la première ampoule a . Tous les mouvements que l'on imprime à l'ampoule a , se communiquent à la capsule t , et à sa membrane. Celle-ci actionne un long levier muni d'une pointe écrivante. La fig. 30 représente schématiquement la disposition du tambour à levier, relié à une ampoule en caoutchouc. Les fig. 31 et 32, empruntées à MAREY, montrent les détails de la construction du tambour à levier.

La fig. 33 montre deux tambours à levier conjugués. DONDERS (1867) a constaté que, dans ce cas, les moindres mouvements imprimés au style du premier tambour, se transmettent fidèlement au style du second.

3° TRANSMISSION A DISTANCE PAR L'ÉLECTRICITÉ. Certains mouvements peuvent être signalés à distance par l'électricité, au moyen d'un électro-aimant muni d'un style écrivant. Les choses doivent être disposées de manière que le mouvement, dont on veut noter l'instant précis, agisse sur le circuit d'une pile, soit pour le fermer

soit pour l'ouvrir. On intercale sur le même circuit un signal électrique, chargé d'inscrire les moments de fermeture et de rupture du courant. Le signal électrique n'est autre qu'un électro-aimant capable d'attirer, lorsque le courant passe, une petite

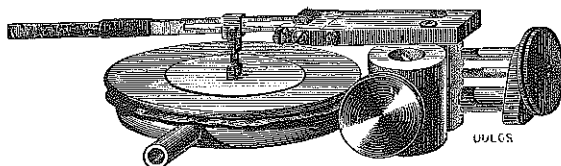


Fig. 32. — Détails de la construction du tambour à levier (MAREY, *Méthode graphique*).

masse de fer munie d'une pointe écrivante. Dès que le courant cesse, la masse de fer et la pointe retombent, d'où inscription des moments de rupture et de fermeture du courant.

A l'aide du signal électrique de MARCEL DEPREZ, représenté fig. 34 et basé sur ce principe, on peut inscrire à distance une foule de phénomènes intéressants, noter par exemple sur les graphiques de contraction musculaire, le moment précis de l'excitation du muscle; inscrire sur un tracé de respiration ou de circulation, le moment où l'on sectionne un nerf (névrotome de FRANÇOIS FRANCK) ou celui où on l'irrite; obtenir une

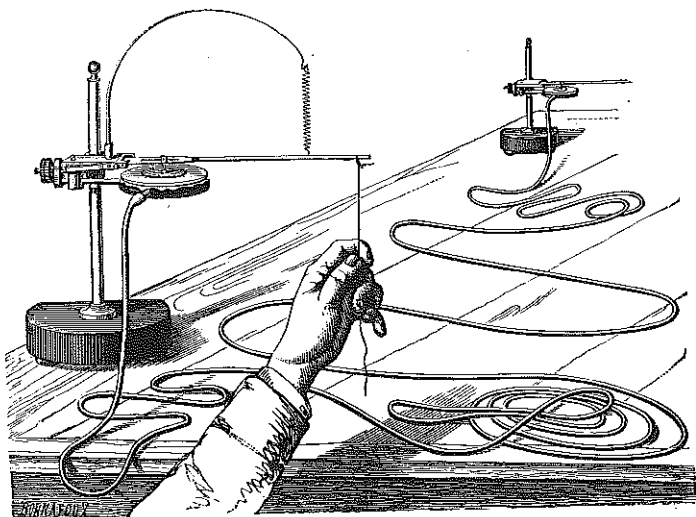


Fig. 33. — Deux tambours à levier conjugués. Tous les mouvements imprimés au premier tambour se transmettent au second (MAREY, *Méthode graphique*).

inscription des flux électriques de la torpille, etc. etc. Enfin le signal électrique rend de grands services dans le contrôle chronographique de la vitesse du mouvement des appareils enregistreurs.

Inscription du temps et contrôle de la vitesse des appareils enregistreurs. — Pour savoir à quelle fraction de temps correspond chaque portion du graphique que l'on a recueilli, il est nécessaire de connaître la vitesse avec laquelle le papier chemine devant la plume écrivante, et de contrôler la régu-

larité de cette vitesse. Les chronographes, ou appareils qui fournissent un graphique du temps, remplissent ce double but.

Pour les déplacements relativement lents, on peut se servir d'une horloge à secondes munie d'un levier effilé, qui reçoit un petit choc à chaque mouvement du balancier. Ces chocs s'inscrivent directement sur le papier de l'appareil enregistreur, sous forme de petits traits. L'espace qui sépare deux traits successifs, correspond à la durée d'une seconde. On peut également transmettre le mouvement de l'horloge à distance,

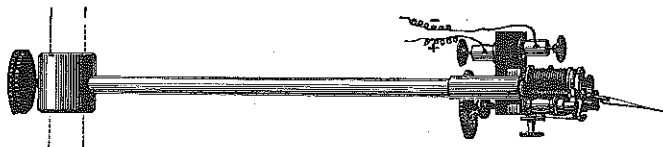


Fig. 34. — Signal électro-magnétique de MARCEL DEPREZ (demi-longueur).

au moyen du signal électro-magnétique. LUDWIG a fait construire une horloge dont le cadran rotatif ferme un courant électrique toutes les 1, 2, 3.. secondes, et agit de cette façon sur un électro-aimant inscripteur : la plume de celui-ci dessine un trait sur le cylindre, toutes les 1, 2, 3.. secondes.

Pour l'étude des mouvements rapides et fugitifs, on recueille les graphiques sur des

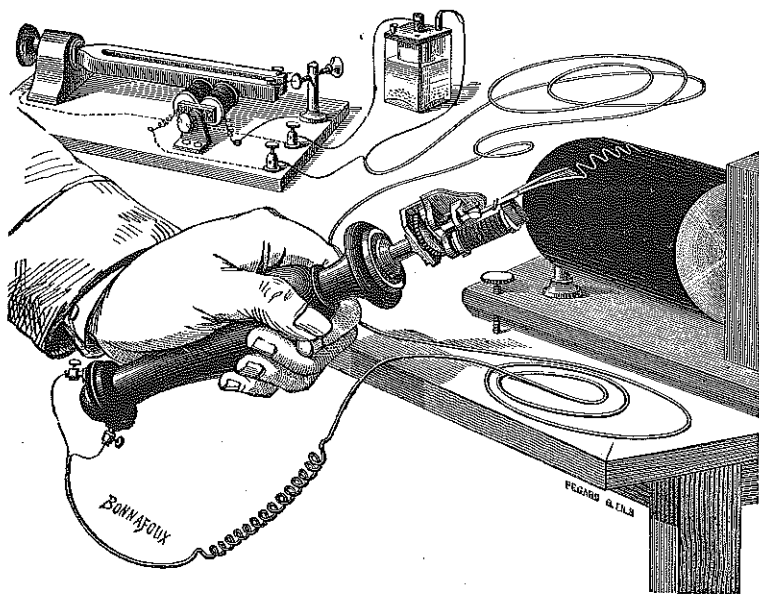


Fig. 35. — Chronographe tenu à la main et donnant continuellement 100 vibrations doubles par seconde (MAREY, *Méthode graphique*).

surfaces se mouvant avec une grande vitesse. On inscrit alors en regard du graphique physiologique, un tracé des vibrations d'un diapason faisant 25, 50, 100, 200 vibrations à la seconde. L'une des branches du diapason est munie d'une pointe flexible, que l'on approche de la surface enfumée, et qui y laisse une ligne sinueuse très-régulière, dont chaque ondulation représente une vibration, c'est-à-dire $1/25^e$, $1/50^e$, $1/100^e$, $1/200^e$ de seconde.

La présence d'un diapason volumineux est souvent gênante dans le voisinage immédiat de l'appareil enregistreur : il est plus commode de transmettre les vibrations à distance. On peut employer la transmission par l'air : l'une des branches du diapason agit alors sur une masse d'air renfermée dans une capsule métallique, recouverte d'une membrane de caoutchouc; cette capsule communique, par un tube en caoutchouc, avec un tambour à levier de MAREY, dont le style suit tous les mouvements du diapason et les inscrit sur le cylindre de l'appareil enregistreur.

Le plus souvent, on transmet les mouvements du diapason à la plume d'un signal électrique (fig. 35 et 36). Le diapason interrupteur D (fig. 36) est intercalé dans le circuit de la pile électrique P, ainsi que la bobine du signal électrique S. L'une des branches du diapason porte un fil de platine *f*, qui, à chaque mouvement vibratoire du diapason, vient fermer le circuit en touchant la borne *b*, puis l'interrompt en s'en éloignant. Supposons que l'on emploie un diapason de 100 vibrations doubles

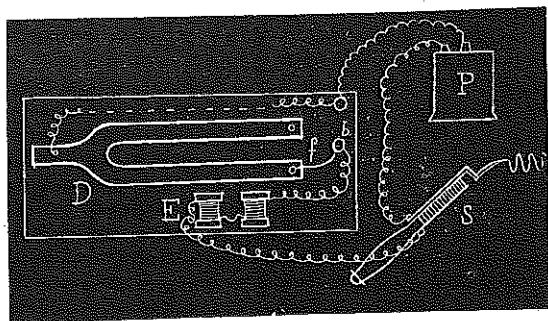


Fig. 36. — Schéma du chronographe électrique avec diapason interrupteur. — P, pile; S, signal électro-magnétique; D, diapason interrupteur du courant. L'interruption se produit entre la borne *b* et le fil de platine *f*. E, électro-aimant chargé d'entretenir les vibrations du diapason.

à la seconde, le courant électrique sera fermé et interrompu cent fois, et viendra agir sur le signal électrique, dont l'électro-aimant attirera, cent fois par seconde, la pièce de fer qui porte le style; celui-ci tracera autant de zigzags que le diapason exécute de vibrations. Le courant passe également à travers un double électro-aimant E, destiné à entretenir les vibrations du diapason. La branche en fer du diapason une fois ébranlée, est attirée 100 fois par seconde par l'électro-aimant E, aussi longtemps que le courant passe.

On associe généralement un graphique du temps, aux courbes que l'on inscrit sur l'appareil enregistreur. Les deux styles inscripteurs sont placés alors exactement l'un au dessous de l'autre.

La méthode graphique est absolument indispensable, quand il s'agit d'étudier la concordance entre plusieurs phénomènes qui se passent simultanément dans différents organes. Chacun de ces organes transmet ses mouvements à un tambour à levier; les différents tambours à levier sont placés les uns à côté des autres, et inscrivent leurs graphiques sur le même cylindre enregistreur. Lorsqu'on a soin, dans l'enregistrement des phénomènes, de ne rien omettre d'essentiel, d'inscrire une courbe du temps, de marquer les moments où l'on excite un nerf, ou ceux où l'on modifie les conditions de l'expérience, les graphiques obtenus représentent un véritable procès-verbal de chaque expérience, et en relatent les différentes péripéties bien plus fidèlement que ne le ferait une longue description.

Inscription photographique. — Lorsque l'objet dont il s'agit d'enregistrer les mouvements, présente un déplacement de masse trop faible pour agir efficacement

sur les leviers ou les plumes des appareils enregistreurs ordinaires, on a recours avec avantage à l'inscription photographique du déplacement de l'ombre du mobile. L'objet est vivement éclairé au moyen de la lumière électrique (ou oxy-hydrique), et l'ombre est reçue, à travers une fente étroite, dans une chambre photographique, contenant une surface sensible, se déplaçant d'un mouvement uniforme devant la fente. On peut employer comme surface sensible, le cylindre enregistreur ordinaire, recouvert de papier au gélatino-bromure d'argent. Le papier impressionné par la lumière est détaché du cylindre, développé dans un bain approprié, lavé à l'hyposulfite de sodium, et finalement passé au bain d'alun, puis séché. C'est un négatif, c'est-à-dire que l'ombre, dont il s'agit d'enregistrer les déplacements, protège le papier et laisse par conséquent une trace blanche sur fond sombre. S'il s'agit de mouvements très rapides, on recueillera le tracé sur une plaque sèche au gélatino-bromure, plus sensible que le papier.

CZERNIAK, MAREY, PAGE et SANDERSON, TARGHANOFF, BELLARMINOFF, CYBULSKI, HERMANN, etc. ont eu recours à ce procédé. Je l'ai employé pour enregistrer photographiquement, au moyen de l'électromètre de LIPPMANN, les variations électriques du cœur du chien, concurremment avec le tracé cardiographique.

MAREY a donné le nom de PHOTOCRONOGRAPHIE, à une méthode d'enregistrement photographique un peu différente, et applicable surtout dans le cas où il s'agit de déterminer les mouvements rapides et étendus d'un corps dont aucun obstacle matériel ne doit entraver le déplacement (vol des oiseaux, course et marche de l'homme ou des quadrupèdes). Cette méthode consiste à prendre, sur une même plaque sensible, immobile, au moyen de temps de pose excessivement courts (par ex. $\frac{1}{20000}$ de seconde), et à des intervalles de temps égaux, une série de photographies instantanées de l'objet en mouvement. On obtient ainsi, les unes à côté des autres, les images successives représentant l'objet aux différentes phases de son mouvement. Les résultats sont d'autant plus parfaits que l'objet à photographier est plus vivement éclairé, et que le fond obscur sur lequel il se détache, se rapproche davantage du noir absolu. Le vol des oiseaux, les différentes allures de l'homme et du cheval, ont été analysés par MAREY et par MUYBRIDGE, au moyen de la Photochronographie ou de procédés analogues. — Onimus avait employé en 1865 une méthode voisine de la Photochronographie, pour fixer sur la même plaque photographique, les images du cœur, aux différentes phases de sa contraction.

II. CIRCULATION CARDIAQUE.

Rythme du cœur. — Chaque pulsation, chaque révolution cardiaque comprend trois phases successives : 1° *pause*, c'est-à-dire repos des oreillettes et des ventricules ; 2° contraction ou *systole* des oreillettes ; 3° contraction ou *systole* des ventricules. Nous commencerons par la phase de repos ou pause.

1^{re} PHASE. Repos ou pause (*fga fig. 37*). Les deux oreillettes se remplissent passivement de sang veineux, qui leur est amené, à droite par les veines caves, à gauche par les veines pulmonaires. La cause principale de cette aspiration du sang vers les oreillettes, c'est la pression négative qui règne dans le thorax (voir CH. de la RESPIRATION), et qui se transmet à travers les parois flasques et molles des oreillettes (1).

A une certaine distance du cœur, le sang des grosses veines présente au con-

(1) La pression a été mesurée par ADAMKIEWICZ et JACOBSON dans le péricarde chez le chien, le mouton, etc. Elle a toujours été trouvée négative : — 3 à — 5^{mm} de mercure.

traire une pression positive; il en est de même des racines des veines pulmonaires, qui sont situées en dehors de l'action du vide thoracique : aussi ces veines n'ont-elles pas de valvules à leur embouchure dans le cœur.

La pression négative qui se développe à l'intérieur des ventricules, immédiatement après leur contraction (*vacuité postsystolique* de MAREY), se transmet également au contenu des oreillettes, et contribue à y faire affluer le sang veineux, au début de la diastole (relâchement) ventriculaire (voir fig. 37, *g*).

Pendant toute la durée de la pause, les oreillettes augmentent donc de volume par l'afflux du sang veineux, d'où augmentation graduelle de pression se traduisant par une légère inclinaison ascendante du tracé du manomètre inscripteur mis en rapport avec l'intérieur des oreillettes.

Pendant toute la durée de la pause, les valvules auriculo-ventriculaires restent ouvertes; les ventricules se remplissent également de sang, et la courbe de pression ventriculaire se relève légèrement comme celle de l'oreillette.

La pression reste cependant inférieure à la pression atmosphérique (0 du manomètre) (voir fig. 37).

2° PHASE. *Systole ou contraction simultanée des deux oreillettes* (repos des ventricules). La contraction des oreillettes débute dans la partie des grosses veines immédiatement voisine du cœur; elle chemine sous forme d'onde péristaltique vers les oreillettes, qu'elle envahit ensuite subitement. Les deux oreillettes se contractent en même temps, ainsi que les auricules, chassant leur contenu liquide dans les ventricules, à travers les orifices auriculo-ventriculaires. La durée de la systole auriculaire est fort courte, comparée à celle des deux autres phases d'une révolution cardiaque (*ab* fig. 37). La pression sous laquelle le sang est chassé hors des oreillettes, est peu considérable; aussi ne reflue-t-il pas vers les veines avoisinantes, mais pénètre dans les ventricules, où règne à ce moment une pression négative.

La légère augmentation de pression qui correspond à la systole de l'oreillette se propage au contenu du ventricule et se traduit, sur les graphiques de pression tant auriculaires que ventriculaires, par une petite colline *ab* (fig. 37).

3° PHASE. *Systole ou contraction simultanée des deux ventricules* (diastole ou repos des oreillettes).

Pendant la systole des oreillettes, les ventricules se remplissent de sang. Puis les deux ventricules se contractent avec énergie et se durcissent brusquement. Sous l'influence de l'augmentation de pression qui en résulte et qui s'exerce dans tous les sens, les bords flottants des valvules auriculo-ventriculaires sont projetés les uns contre les autres, de façon à empêcher tout reflux vers les oreillettes. La traction exercée par les cordes tendineuses, et la contraction des muscles papillaires, maintiennent en place les bords de ces soupapes, assurent leur occlusion hermétique, et empêchent leur renversement du côté de l'oreillette. Les muscles intrinsèques de ces valvules, jouent peut-être un rôle actif dans leur fermeture (PALADINO, 1876).

La fermeture des valvules auriculo-ventriculaire et leur projection du côté de l'oreillette produit un véritable choc sur le contenu sanguin de cette dernière cavité, d'où relèvement passager du tracé de pression auriculaire (*bb'*, tracé de