

REVUE
DE
L'UNIVERSITÉ
DE LYON

I

LYON
AU SECRÉTARIAT DE LA REVUE
QUAI CLAUDE-BERNARD, 18
FÉVRIER
1931

Bibliothèque Maison de l'Orient



134727

SOMMAIRE

- D^r G. FLORENCE, *Leçon inaugurale du cours de chimie biologique*
P. BARATIER, *la Loi syndicale anglaise et le Bill de réforme de 1930.*
G. DÉJARDIN, *les Cellules photoélectriques (propriétés, construction, applications).*
A. MICHA, *le Chrétien de Troyes de M. G. Cohen.*
H. CARDOT, *la Genèse des rythmes dans l'activité nerveuse et motrice.*
-

COMITÉ DE RÉDACTION

- A. PAUPHILET, *président*; H. CARDOT, J. LAMEIRE, A. POLICARD,
P. VILLARD, M^{me} MESSONNIER, *secrétaire.*
-

Les manuscrits non insérés ne sont pas retournés. Ils restent à la disposition des auteurs pendant six mois.

Les manuscrits doivent être dactylographiés à double interligne et *ne varietur.*

CONDITIONS D'ABONNEMENT

POUR 1931

Les Abonnements sont d'une année et partent du 1^{er} janvier.

France, Paris, Départements et Colonies.

Un an, 25 francs (Tarif réduit à 15 francs pour les membres de l'Enseignement, les étudiants et les membres de la Société des Amis de l'Université de Lyon).

Etranger.

Un an, 35 francs pour les pays ayant adhéré aux conventions du Congrès de Stockholm.

Un an, 40 francs pour tous les autres pays.

LE NUMÉRO 6 FRANCS

Compte Chèques-Postaux, Lyon 332-82.

Pour la publicité, s'adresser à M. F. CARTIER, rue de la Martinière, 1, Lyon. Tél. BURDEAU 61-60.

REVUE DE L'UNIVERSITÉ DE LYON



REVUE

DE

L'UNIVERSITÉ

DE LYON

1931

TOME IV

LYON

AU SECRÉTARIAT DE LA REVUE

QUAI CLAUDE-BERNARD, 18

1931

REVUE DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

PARAISANT CINQ FOIS PAR AN

SECRETARIAT GÉNÉRAL DE LA REVUE

18, quai Claude-Bernard, LYON

LEÇON INAUGURALE

DU

COURS DE CHIMIE BIOLOGIQUE

MONSIEUR LE RECTEUR,
MONSIEUR LE DOYEN,
MESDAMES,
MESSIEURS,

Il y a vingt ans, presque jour pour jour, je frappais à la porte du laboratoire de chimie biologique. J'étais alors jeune interne et des hommes comme Raphaël Lépine, Jules Courmont, Weill, Devic, Roque, Pic m'initiaient à la médecine. Tout me séduisait dans cette science au sein de laquelle j'avais été élevé : le problème toujours renouvelé de la clinique, la recherche du diagnostic, l'étude de l'évolution, en un mot, tout cet ensemble qui fait de notre art une des plus captivantes manifestations de l'esprit.

L'avouerais-je ? Le contact avec le laboratoire fut rude. Le « climat » y était, en effet, tout autre. Ici, plus de dissertations au lit du malade, où chacun est libre de discuter la valeur d'un symptôme observé et même celle d'un diagnostic, mais la lutte difficile et lente contre une technique rebelle, qui, dès le début,

vous impose ses rigoureuses disciplines; plus de publications fréquentes, précédées par des présentations dans nos sociétés médicales, où le jeune interne s'exerce à l'éloquence devant un auditoire aussi bienveillant qu'inattentif, mais, de temps en temps, une publication à allure modeste, où quelques lignes résumant un travail de plusieurs mois, insérées dans un journal scientifique ouvert aux seuls initiés.

Et cependant, je fus conquis. Encouragé par les conseils d'un maître incomparable qui s'efforçait de me faciliter l'initiation à une science alors neuve pour moi, je compris qu'une fois vaincues les difficultés du début, s'ouvrirait devant moi un vaste horizon; je compris que beaucoup de problèmes, posés par la clinique dans tous les domaines, ne pouvaient trouver leur solution que dans la recherche expérimentale rigoureuse; et puis, je me mis à aimer cette atmosphère de laboratoire silencieuse et calme, éloignée des bruits du dehors. Ma résolution fut prise: tel le héros de Huysmans, je quittai le siècle et j'entrai dans la règle.

Mes chers collègues,

Vous tous qui furent mes maîtres, vous avez suivi mon évolution, vous l'avez comprise et encouragée; votre vote unanime, il y a quelques mois, a consacré mon effort. Il m'a confié l'outil admirable qu'est le laboratoire forgé par mon maître vénéré, pendant une carrière de quarante années. Aucune parole ne peut traduire la reconnaissance que je vous dois. Seuls mes actes et la conduite de ma vie en attesteront la profonde sincérité.

Monsieur le Recteur,

1
Votre présence à cette leçon est pour moi un honneur qui me touche profondément. Il m'est d'autant plus sensible qu'il

dépasse mon humble personne, pour attester la bienveillante et agissante sympathie que vous avez toujours manifestée pour tout ce qui touche à la culture scientifique expérimentale. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Messieurs,

Si je remonte bien haut dans le passé, une image revient à mon esprit, précise quoiqu'irréelle dans le lointain où je l'évoque : c'est celle de l'enfant que j'ai été, s'amusant dans les jardins de notre ancienne Faculté et puis, interrompant ses jeux, pour courir à la rencontre de son père qui lui tendait les bras en souriant.

Permettez-moi, Messieurs, d'évoquer la figure si originale et si douce à la fois de celui que je viens de nommer et qui fut mon premier maître. Beaucoup d'entre vous l'ont connu, et vous comprendrez l'émotion profonde qui m'étreint à la pensée de la joie infinie qui lui eût été réservée s'il avait pu vivre cette heure. Elle eût été pour lui un apaisement à une douleur que vingt-cinq années n'avaient pu atténuer, douleur d'autant plus vive qu'elle était plus dissimulée. Il avait cherché dans l'étude un refuge et un oubli. Tout passionnait cette intelligence ouverte à toutes les manifestations de l'esprit, et ceux qui l'ont approché ont pu apprécier le savoir encyclopédique de ce liseur infatigable que servait une prodigieuse mémoire. C'est bien à lui que s'appliquent les mots de Montaigne : « Ses livres ont porté secours à sa vie et c'est la meilleure munition qu'il ait trouvée à cet humain voyage ». Ses chers livres, je les conserve avec une pieuse vénération. Ils m'entourent et rien ne saurait mieux qu'eux me rappeler l'exemple magnifique d'une vie qu'aucune idée mauvaise n'a jamais effleurée. S'il m'est permis d'avoir une ambition, c'est bien celle de m'élever un jour à une pareille sérénité dans le savoir et la dignité.

Mon père, dont cependant toute la carrière se passa dans les

laboratoires, avait pour la clinique une admiration sans bornes, Il jugeait, avec raison, que nulle autre discipline ne développait mieux l'esprit d'observation et d'initiative et qu'il ne pouvait y avoir préparation meilleure à la recherche scientifique expérimentale. « Qui sait prendre une observation, disait-il, sait rédiger le protocole d'une expérience ». Il exigea de moi une éducation clinique consacrée par le concours d'internat, et seulement alors m'orienta vers le laboratoire. L'affection profonde qui l'unissait à son camarade de concours d'agrégation, reçu le même jour que lui, élevé au titulariat le même jour, la haute estime dans laquelle il tenait ses travaux et sa remarquable maîtrise, fixèrent tout naturellement son choix et son conseil et c'est, accompagné par lui, que je vins pour la première fois dans le laboratoire du Professeur Hugounenq. Je ne devais plus le quitter.

Messieurs,

Il est dans le serment d'Hippocrate une pensée infiniment touchante: « Je placerai celui qui m'a appris l'art au même rang que l'auteur de mes jours ». Nulle ne peut mieux traduire l'affection filiale que j'ai pour celui auquel je dois tant. Tout à l'heure, quand je parlerai de la science qu'il a illustrée, je dirai son œuvre, car on ne peut évoquer cette science sans le rencontrer à chaque pas. Cependant je pensais que ce jour me permettrait de lui apporter publiquement, dans la mesure où une telle expression est possible, l'hommage de mon inaltérable attachement. Un sentiment dont vous comprendrez toute la délicatesse et qui souligne encore la suprême élégance de sa vie morale l'éloigne aujourd'hui de cet amphithéâtre. Mais sa pensée est parmi nous et nous le rend présent.

Il me semble que j'ai bien le droit de le voir devant moi, à cette place, et laissant parler mon cœur, de lui dire très simplement:

Maître,

Je vous dois tout : vous m'avez pris par la main, vous m'avez guidé, vous m'avez encouragé, vous m'avez, avec une patience inlassable, initié à une science difficile entre toutes ; j'ai trouvé, depuis le jour où j'ai été près de vous, un appui vigilant et que j'ai senti d'autant plus sûr qu'il ne s'extériorisait jamais en formules vaines. Les heures que j'ai passées à vos côtés resteront les plus belles de ma vie et vous comprendrez avec quelle mélancolie poignante j'évoque ces journées où nous avons travaillé côte à côte tous les deux dans le même enthousiasme. Croyez-moi, j'ai compris les directives que vous me tra-chiez avec une discrétion et un tact infinis, les conseils que vous me donniez pour la conduite de toute ma vie. Il n'est pas, pour un homme, de fortune plus grande que d'avoir le bonheur de rencontrer un maître tel que vous, et je pense à la réponse du philosophe Cléanthe à son disciple : « Comment ferais-je pour « commettre le moins de fautes possible ? ». Et Cléanthe répondit : « En t'imaginant que dans tout ce que tu feras, je serai « toujours près de toi ».

Ainsi, votre présence restera parmi nous, imprégnant ce laboratoire que vous avez tant aimé, et c'est en m'efforçant de continuer votre œuvre que je pourrai vous apporter la seule récompense digne de vous.

Excusez, maître, ces quelques paroles. Il fallait qu'elles fussent dites. Elles expriment bien mal les sentiments qui sont en moi. Mais ces sentiments, pour votre délicatesse, doivent demeurer profonds et presque silencieux comme les battements d'un cœur. Et je puis me porter garant que les cœurs de ceux qui m'écoutent, et qui tous admirent et respectent la ligne si droite de votre vie, battent à l'unisson avec le mien.

Messieurs,

Lorsque l'on donne aux mots leur sens exact, le terme de chimie biologique paraît un paradoxe. L'association de ces deux mots surprend, dont l'un définit une science fixée par des lois mathématiques et dont l'autre s'applique, au contraire, à cet ensemble ondoyant et divers qu'est la vie, et rien de plus étrange en effet, au premier abord, que les idées chimiques dans leur application à un animal ou à un végétal.

Ce qui fait la beauté, j'allais dire le charme de la chimie, c'est l'harmonie de son architecture. Tout, dans cette science, est fait pour séduire l'esprit. Les lois rigoureuses sur lesquelles elle repose lui confèrent cette solidité dans le raisonnement qui est la source des plus pures joies intellectuelles et qui trouve son expression la plus haute dans la pratique des mathématiques. La traduction, par des formules, des réactions de la matière est bien une des manifestations du génie humain. Ces formules sont nées de l'observation des analogies. Elles apportent dans cette science qui a pour objet l'étude de la nature même des choses, ces spéculations élevées qui l'apparentent aux conceptions algébriques. La technique, enfin, qui les matérialise, est, elle-même, quand les difficultés du début sont vaincues, une source de satisfactions dont un vrai chimiste ne se lasse jamais.

Mais lorsque la chimie essaye d'aborder par les méthodes qui lui sont propres l'étude de la matière vivante, elle se heurte immédiatement à des difficultés en apparence insurmontables. Dès qu'elle touche aux organes si divers et disposés cependant pour une fin commune, aux tissus élémentaires mêmes, formés de fibres et de cellules, ceux-ci perdent leurs caractères essentiels. Ils semblent s'évanouir et toutes les tentatives pour reproduire par l'art la variété infinie de leurs états et de leurs métamorphoses restent infructueuses. C'est cette antithèse entre la chimie et la biologie qui donne à la science qui nous occupe

sa surprenante figure. C'est bien là la suite de la lutte entre les deux grandes doctrines qui se sont toujours affrontées: la conception philosophique mathématique des physiciens d'Ionie, préoccupés d'arriver à une explication mécanique de l'Univers et les théories empiriques expérimentales de l'École égyptienne.

Il est hors de doute, quoiqu'en pensent certains, que leur jonction se fera un jour au sein des sciences biologiques et que cette union sera infiniment féconde. Ce sont les raisons qui autorisent cet espoir que je voudrais exposer aujourd'hui.

Si l'on parcourt les revues scientifiques des cinquante dernières années, on ne peut pas ne pas être frappé par la part toujours plus grande qu'occupent les chapitres consacrés à la chimie biologique. Accueillie au début comme une parente pauvre, cette science a pris actuellement une importance telle que vers elle semblent converger toutes les autres disciplines. Le fait s'explique aisément: Ce que l'usage appelle la chimie organique, c'est-à-dire la chimie du carbone, est en réalité, comme son nom l'indique, la chimie des organes. Les premiers chimistes dits organiciens faisaient de la chimie biologique sans le savoir, et la chimie elle-même n'est-elle pas née du rêve immortel de la fabrication des êtres vivants, de la synthèse de l'*élixir de longue vie* ou de la préparation de la *panacée universelle*?

La chimie moderne a d'ailleurs été créée par des savants appartenant à la grande famille médico-pharmaceutique: Rouelle, pharmacien à Paris, maître de Lavoisier; Proust, pharmacien à la Salpêtrière; Vauquelin, directeur de l'École de Pharmacie de Paris et maître de Chevreul, Soubeiran, Pelletier, Caventou; Scheele, l'illustre chimiste suédois; Moissan, professeur à la Faculté de Pharmacie de Paris. Mais cette chimie biologique, alors naissante, perdit son caractère à la suite de la découverte de Berthelot sur les méthodes de synthèse chimique.

Berthelot, en levant la barrière de la force vitale par laquelle on prétendait séparer le domaine de la chimie de celui des com-

posés formés dans la cellule vivante, a orienté la chimie vers des voies nouvelles. En montrant la possibilité de créer des composés organiques au départ des éléments eux-mêmes, en combinant ceux-ci par étapes successives pour aboutir finalement non seulement aux éléments naturels, mais à quantité d'autres substances que la vie ne produit pas, il a doté cette science d'un outil merveilleux.

Le champ de ses investigations est devenu pour ainsi dire illimité, et la chimie moderne, avec les développements féconds de la théorie atomique, avec les recherches des laboratoires, avec l'extension continuelle de ses applications à l'industrie, à l'agriculture, et les conséquences qui en découlent dans tous les domaines, cette chimie est devenue un des facteurs essentiels de l'évolution du monde, et l'on a pu dire qu'elle caractérisera l'époque actuelle.

Cette évolution de la chimie devait avoir sa répercussion dans l'étude des phénomènes vitaux et marquer la première étape de la chimie biologique, étape particulièrement féconde qu'il importe de connaître, car elle montre la voie où nous nous engageons aujourd'hui.

Cette première étape a été essentiellement analytique : les chimistes se sont efforcés de connaître la constitution des organes ou des tissus des animaux ou des plantes. Ils ont disséqué, par des moyens chimiques, les molécules si complexes qui les caractérisent, ils ont fragmenté cette mosaïque pour en extraire les pierres ; mais, disons-le dès maintenant, ils en ont, en même temps, détruit les dessins : suivant le mot saisissant d'Hugouenq : « ils en ont donné une image brisée ».

Cependant les bénéfices de ces recherches furent considérables et, dans les matériaux ainsi accumulés, la physiologie, qui est en somme, en biologie, la synthèse des sciences physico-chimiques et leur application, a pu puiser les éléments de ses plus beaux progrès.

Prenons quelques exemples :

Chacun connaît ces substances que l'on appelle les albumines, et l'on sait la diversité de leur aspect depuis le blanc d'œuf à allure visqueuse jusqu'à la soie brillante et chatoyante. Ces albumines sont constituées par des molécules chimiques extrêmement lourdes et complexes, et l'effort des chimistes biologistes, pendant près de quarante années, s'est attaché à fragmenter ces molécules pour en extraire des produits plus simples, dont la formule pourrait être établie. Il serait trop long d'exposer les difficultés de toutes sortes auxquelles se sont heurtés les savants qui ont entrepris cette œuvre, mais tous ceux qui, actuellement, parcourent les étapes de leurs efforts, ne peuvent qu'admirer la foi inlassable dont ils ont fait preuve, en ne se laissant pas rebuter par une recherche ingrate entre toutes. Ils étaient soutenus par l'idée que de la solution du problème dépendait l'explication d'une quantité de faits obscurs, et, convaincus, comme l'a dit Hugounenq, que « le jour où l'histoire des albumines serait élucidée dans toutes ses parties, la biologie générale, la physiologie, la pathologie même deviendraient des sciences exactes ».

Ces vues ont eu une confirmation éclatante. La grande question des hormones, par exemple, ces messagers chimiques, ne se peut comprendre que par l'étude des produits de dégradation des albumines qui leur servent de squelette. De même, bien avant que le terme de vitamine ne fut créé, l'étude physiologique de certaines de ces substances avait démontré l'importance capitale de leur structure moléculaire, les effets nocifs de leur carence. Enfin, un des plus gros problèmes et des plus passionnants qui se posent actuellement au biologiste est bien celui du mécanisme de l'immunité. Les réactions qui le commandent sont des réactions chimiques entre albumines, et les beaux travaux modernes de Bordet, de Landsteiner, de Nicolle, de Vincent reposent sur les données apportées par les Kossel, les

Fischer, les Hugounenq. N'est-ce d'ailleurs pas un fait digne de remarque que de voir la bactériologie être née dans les laboratoires de chimie? C'est l'étude de la dissymétrie moléculaire qui, à la suite d'inductions géniales, a doté la science de la notion d'immunité, et toute la bactériologie contemporaine a été créée par des travaux fondamentaux de chimistes et de physiciens: Pasteur, Duclaux, Chamberland, Ehrlich, Arrhenius. Comme nous le verrons tout à l'heure, la physico-chimie, avec ses lois précises et mathématiques, apportera certainement la solution du problème.

Un autre exemple, non moins net, montrera l'importance capitale des travaux de la chimie pure dans l'explication des phénomènes biologiques. Toute substance vivante, depuis la plus humble cellule jusqu'au tissu le plus hautement différencié, abandonne, par sa combustion, un résidu minéral appelé cendres. Ces cendres, jusqu'à ces dernières années, avaient été considérées comme quantité négligeable, et seuls les travaux de Bunge en Allemagne, d'Hugounenq en France avaient attiré l'attention sur leur répartition dans l'économie, sur leur accumulation progressive pendant le développement du fœtus. Dans le domaine des végétaux, Raulin, avec une intuition prophétique, avait montré l'importance capitale de traces de certaines d'entre elles, comme le zinc, dans le développement d'humbles moisissures. Puis, presque en même temps, deux grands chimistes français, Sabatier dans le domaine de la chimie pure, Gabriel Bertrand dans le domaine biologique, établissent leur rôle capital dans tous les phénomènes de synthèse.

La catalyse, ce phénomène physique si particulier et si mystérieux dont les applications ont révolutionné l'industrie moderne, est essentiellement sous la dépendance des éléments minéraux les plus disparates d'ailleurs. Et, de même, les catalyseurs biologiques que sont les ferments sont tous formés par un substratum organique enveloppant un noyau minéral, le man-

ganèse, le zinc, le nickel, le cobalt même. Etendue au domaine végétal, cette notion doit bouleverser toute la question des engrais et des terres arables. Le jour où seront connues les répartitions de ces éléments minéraux dans la cellule elle-même, un progrès considérable sera fait dans l'explication du mécanisme de son fonctionnement. Les travaux de Policard sur la micro-minéralisation des tissus nous ouvrent à nous, chimistes, une voie certainement féconde.

Ces exemples pourraient être étendus à tous les autres constituants de la cellule. Des substances, en nombre prodigieux, ont été ainsi extraites et classées dans le domaine des albumines, des graisses ou des sucres. La plupart ont pu être reproduites; nul doute que ceux qui ont échappé jusqu'à présent à la synthèse ne soient un jour recréés de toutes pièces.

Mais au fur et à mesure que la chimie apportait des éléments nouveaux dans l'explication de la structure morphologique, elle posait, en même temps, des problèmes de plus en plus variés. Certains même semblaient échapper à son domaine, et il ne pouvait en être autrement, car, qui dit réaction chimique définit une transformation ayant un commencement et une fin, aboutissant à un état stable; qui dit réaction vitale, au contraire, envisage une série de transformations incessantes, la vie étant essentiellement labile et changeante. Leur solution ne pouvait se trouver que dans une conception nouvelle des faits, et ce sera la gloire de la biologie moderne d'avoir contribué à la fusion des deux disciplines de la physique et de la chimie dans la science de la physico-chimie si riche en espérances.

« La physique, dit Duhem, n'est pas une explication, c'est un système de propositions mathématiques qui ont pour but de représenter aussi complètement et aussi exactement que possible un ensemble de lois expérimentales ». Aucune autre science ne pouvait donc mieux qu'elle, associée à la chimie, étudier l'acte vital.

On sait les admirables progrès réalisés de nos jours dans la voie de l'unification totale de la théorie des phénomènes physiques, englobant en une vue unique ceux qui ont été primitivement rattachés aux théories particulières de la gravitation, de la lumière, de l'électricité, du magnétisme. C'est là l'œuvre magnifique réalisée par une pléiade de grands penseurs : les Lorentz, les Einstein, les Louis-Victor de Broglie, et l'on comprend l'ambition de la biologie moderne de s'intégrer dans ces sciences pour bénéficier de leurs disciplines et pour être entraînée avec elles vers leurs hautes destinées.

Cette discipline nouvelle n'en est qu'à ses débuts et déjà les résultats obtenus sont d'un intérêt capital.

Sa plus belle conquête est bien d'avoir fixé les lois physiques qui commandent le milieu au sein duquel se passent les réactions vitales ; il est piquant de voir que la plus précise des sciences a fait revivre la vieille théorie humorale dont nos pères avaient pressenti l'importance, donnant de curieuse façon raison à la phrase pénétrante de Jules Romains : « Entre la vérité et l'erreur scientifiques, ce n'est souvent qu'une question de date ».

Lorsque l'on envisage en une vue d'ensemble les phénomènes vitaux, on est frappé par le fait que la prodigieuse diversité de leurs réactions se produit au sein d'un milieu étonnamment fixe. Ce milieu, qui est bien l'humeur des anciens, doit répondre à des lois immuables que la physico-chimie a fixées.

Elle a montré dans le domaine de la médecine, qui nous occupe, le mécanisme compliqué qui est mis en œuvre pour maintenir la fixité de ce milieu en but aux attaques incessantes du monde extérieur dans lequel il est plongé. Et nombre de faits cliniques se sont trouvés éclairés par ces conceptions, que seule la discipline physico-chimique pouvait démontrer.

Est-il besoin de rappeler que toute la théorie des œdèmes, la pathogénie des néphrites, leur thérapeutique ont été modifiées par la notion de l'équilibre osmotique, montrant le rôle

capital de certains sels et en particulier du chlorure de sodium ?

Et n'est-ce pas un fait digne de remarque que de voir la balance mesurant la rétention hydrique d'un albuminurique avoir plus d'importance au point de vue pronostic que le dosage de l'albumine dans l'urine du malade ?

Ces notions actuellement classiques ont été acquises grâce à la physico-chimie qui leur a donné une base inébranlable.

Mais la physico-chimie, poussant plus loin encore l'étude du milieu intérieur, a dissocié les molécules chimiques elles-mêmes pour en étudier les particules constituantes, les électrolytes qu'elle a appelés les ions ; de là, est née cette magnifique conception de l'équilibre acido-basique des humeurs qui devait modifier complètement nos notions sur le diabète, les néphrites, les chocs.

N'est-il pas surprenant de voir actuellement le pronostic d'un diabétique bien plus sûrement établi par la mesure de la réserve alcaline de son sérum que par le dosage de sa glycosurie, le passage du sucre à travers le rein n'étant plus qu'un épiphénomène de valeur secondaire ?

La colloïdo-biologie, enfin, tout entière du domaine de la physico-chimie, est à la base des faits les plus importants de la physiologie et de la clinique. C'est elle qui expliquera le mécanisme intime des phénomènes diastatiques dont Claude Bernard a dit qu'ils doivent contenir en définitive le secret de la vie ; c'est en elle que se rejoignent les deux disciplines chimique et physique, l'une apportant la connaissance de la structure de la micelle, l'autre établissant les lois mathématiques qui permettent à cette micelle de se maintenir à l'état de dispersion extrême. D'ailleurs, l'action des ferments et celle des infiniment petits chimiques arriveront sans doute un jour à se rejoindre, comme l'a démontré Hugounenq. Pour lui, le ferment est formé d'un principe minéral à l'état de division extrême, adsorbé par

un support organique colloïdal, support permettant au principe minéral d'agir à l'état de traces grâce à cette très grande dispersion du colloïde. Il y aurait là comme une sorte de scintillement expliquant la prodigieuse activité de la diastase.

Tout le problème chimique de l'immunité repose sur la théorie colloïdale, et il est peu de conception à la fois plus hardie et plus juste que celle qui compare la bactérie à une micelle subissant les mêmes lois physico-chimiques, chargées comme elle électriquement, et dont la stabilité des émulsions dépend d'une différence de potentiel entre les éléments microbiens et le milieu lui-même. Les belles expériences de Northrop et de Dekruif montrent que les suspensions des bacilles traitées par l'antisérum spécifique correspondant se comportent à l'égard des électrolytes comme toutes les particules submergées et que l'agglutination ne se produit pas lorsque la suspension bactérienne et le sérum agglutinant sont débarrassés des sels par simple dialyse. N'est-ce pas là ramener la phase de la guérison d'une affection à un acte purement physico-chimique ?

Et si, armé des techniques physiques, l'on avance encore plus loin dans le domaine de la chimie biologique, des mondes nouveaux se révèlent jusque-là insoupçonnés.

L'étude spectrographique des molécules chimiques a montré que l'absorption des rayons ultra-violetts était liée à un changement de forme de la molécule, dont les éléments constitutants, les atomes, étaient doués de vibrations électroniques constantes formant, comme le dit Jean Perrin, un fourmillement prodigieux de mondes nouveaux, ou même que la molécule chimique tout entière était animée d'un mouvement de rotation perpétuelle. Les beaux travaux de Victor Henri, de Dhéré, de Baly ont ouvert ainsi à la biologie une voie immense. Ces techniques ont non seulement permis de poser des formules de substances chimiques qui, sans elles, échappaient à l'analyse, mais encore elles ont jeté sur le rôle de certaines de ces molécules un jour insoupçonné.

L'exemple le plus saisissant est bien celui de la vitamine D, une des dernières venues, et une des plus importantes non seulement par sa valeur thérapeutique considérable, mais du fait des problèmes nouveaux qu'elle pose à l'esprit. Une substance, la cholestérine, qui, jusqu'à ces dernières années, était considérée comme une matière excrémentitielle, acquiert après exposition aux rayons ultra-violetts par une lampe aux vapeurs de mercure des propriétés anti-rachitiques. Or, en même temps qu'apparaît la propriété biologique, la molécule, jusque-là inerte, subit des modifications. Son point de fusion est abaissé, comme l'ont démontré Steinbock et Hugounenq, ses réactifs habituels ne la précipitent plus, et en même temps apparaît un caractère mystérieux : cette substance est devenue capable d'impressionner à distance la plaque photographique ; elle émet un rayonnement. Enfin, fait d'une portée inestimable, son pouvoir d'absorption de la lumière ultra-violette est modifié. Plus son pouvoir anti-rachitique est prononcé, et plus la propriété absorbante est accusée, démonstration éclatante du rapport étroit qui existe entre la constitution chimique des corps et leurs propriétés biologiques. On voit donc combien est passionnante cette question de l'activation d'une substance chimique. Cette acquisition momentanée d'une propriété vitale, agissant à distance par une simple transformation moléculaire, est, certes, une des plus belles conquêtes de la biochimie moderne.

Messieurs,

Un humoriste a dit : « Quand un philosophe vous répond, on ne comprend plus ce qu'on lui avait demandé » ; j'ai bien peur, de mon côté, de faire dire à ceux qui me font l'honneur de m'écouter : « Quand un chimiste vous explique sa science, on ne sait même plus de quoi il s'agit », et l'on serait tenté de répéter la fin du délicieux sonnet que Claudius Popelin adressait à

Joseph Bertrand, professeur de mathématiques à l'Ecole polytechnique :

Mais toi, foulant, pensif, un solide terrain
Tu poursuis ta recherche en la forêt des nombres
Qu'entoure et que protège un triple mur d'airain.

La chimie porte bien son nom de science hermétique ; elle ne se dévoile que devant les seuls initiés et il est bien difficile de la vulgariser. Le grand physicien E. Picard a dit avec beaucoup de finesse : « Pour comprendre les théories relativistes, il est plus simple d'apprendre les mathématiques que de vouloir s'en passer » ; on peut dire de même : « pour comprendre les possibilités de la chimie, il est indispensable de la connaître ».

La méconnaissance, bien excusable du reste, de cette science, de ses méthodes, de ses techniques, est cause que nos travaux sont souvent si mal compris. Le clinicien, dont le but est d'aboutir à un résultat immédiat, est par la formation même de son esprit, peu adapté à comprendre les efforts d'une science dont les buts lui paraissent si lointains. Certes, chacun se plaît à reconnaître les bénéfices qu'elle a apportés à la clinique. Les progrès réalisés dans les techniques analytiques ont permis ces élégantes micro-méthodes, couramment employées à l'heure actuelle et grâce auxquelles il est possible de suivre pas à pas les réactions humorales du malade.

Sans vouloir en rien diminuer l'importance de la clinique pure et des qualités d'observation qu'elle suscite, il nous sera bien cependant permis de rappeler les recherches modernes de laboratoire parmi lesquelles la chimie tient une si grande place : le dosage de l'urée dans l'azotémie, la constante d'Ambard, le coefficient de Maillard, l'étude de la glycémie par le dosage du sucre sanguin, le métabolisme basal, la recherche de la réserve alcaline, et bien d'autres encore qui sont de pratique courante.

Mais à côté de ces applications, dont la mise au point a cepen-

dant demandé un effort considérable, le laboratoire se doit d'avoir des visées plus hautes. Il lui appartient d'entreprendre en toute sérénité, des recherches, même si ces dernières ne paraissent avoir aucune conséquence pratique immédiate. On ne peut, à priori, prévoir l'importance d'un fait bien observé et noté, les répercussions qu'il peut avoir sur les découvertes et les applications ultérieures.

Il y a quarante ans, un chimiste amateur, Auer, dans un laboratoire de Vienne, s'amusait à étudier les terres rares. Il remarqua l'incandescence de la thorine et, de cette découverte, allait résulter le bouleversement de toute l'industrie du gaz, industrie qui peut ainsi lutter encore victorieusement contre l'électricité.

Cavendish étudie la combinaison de l'oxygène et de l'azote sous l'influence de l'étincelle électrique. Ces expériences reprises plusieurs années plus tard allaient permettre la formation synthétique de l'acide nitrique, synthèse qui ruine actuellement le Chili dont les gisements de nitrate sont délaissés.

Deux alternatives s'offrent à l'homme de laboratoire, ou bien marcher avec sécurité sur une route bien tracée en cueillant quelque brin d'herbe qui reste toujours sur le bord du chemin; il rassemblera une gerbe d'honnête apparence, même si elle devait être constituée par de la folle avoine sans grande valeur.

Beaucoup plus hasardeux, mais combien plus passionnant est de s'engager, après réflexion, dans un chemin encore inexploré. On y fait des faux pas, on revient en arrière, on risque même de s'égarer, mais qu'importe? Il faut être soutenu par l'idée que c'est là seulement que l'on a des chances de trouver le fait nouveau, riche de conséquences.

Et puis, il faut compter sur l'imprévu.

Les artisans céramistes ont un mot charmant: après une chauffe, à l'ouverture du four, l'on trouve parfois le vase recouvert par un émail magnifique, dans lequel la lumière se joue

en teintes irisées ou comme imbibée de paillettes d'or. Le fait est dû au hasard heureux, à la cuisson dont la température et la durée ont été exactement suffisantes. Les artisans disent : « c'est un bonheur ».

En science aussi, il y a ce bonheur ; mais il faut savoir le saisir : Liebig, étudiant les eaux mères des marais-salants, trouve une substance rouge qu'il met dans un flacon de son laboratoire, sans y attacher d'autre importance, lui ayant attribué une formule fausse.

Ce n'est que plusieurs années plus tard qu'un jeune chimiste de Montpellier, Balard, ignorant la découverte de Liebig, retrouve la même substance. Il l'analyse, reconnaît en elle un élément, la classe dans la famille des halogènes : c'est le brôme.

En 1863, le chimiste français Béchamp obtient un corps cristallisé en traitant de l'aniline par de l'acide arsénique dans certaines conditions de température. Béchamp signale ce corps nouveau, lui donne une formule, fausse, du reste ; et le corps tombe dans l'oubli.

En 1905, un savant anglais, sir Thomas, orienté par les travaux de Gautier, a l'idée de reprendre le composé de Béchamp et de l'utiliser contre les trypanosomiasés qui déciment les colonies anglaises de l'Afrique centrale.

Le succès est éclatant. Le corps se montre d'une remarquable activité, aussi bien sur les trypanosomiasés animales que sur la maladie du sommeil. C'est l'atoxyl, la base de toute la chimiothérapie, qui a permis la découverte du Salvarsan et du Stovarsol.

Mais la condition indispensable à l'heure actuelle pour avancer dans la voie scientifique est de comprendre que les grandes découvertes ne peuvent plus être faites par l'homme isolé. Les grands artistes, les Michel Ange, les Léonard de Vinci, ont toujours fait coopérer tous les arts dans leurs œuvres. Il en est de même pour les scientifiques. Il faut comprendre que les diverses

disciplines physique, chimie, physiologie, bactériologie sont solidaires les unes des autres : leur territoire d'action et de recherche se confondent à leur extrême limite. Pour progresser sur la route difficile, elles doivent marcher l'une à côté de l'autre et pour ainsi dire la main dans la main.

Elles sont toujours vraies les paroles que prononçait, le 24 décembre 1901, le grand chimiste allemand Emile Fischer à l'occasion du cinquantenaire scientifique de Marcellin Berthelot :

« Dans les sciences expérimentales, les grands progrès accomplis par l'acquisition de faits nouveaux et le perfectionnement incessant des méthodes d'observation ont eu cette conséquence fâcheuse, mais inévitable, de rétrécir de plus en plus le cercle d'études dans lequel un savant se sent véritablement chez lui ».

Les grands problèmes qui restent à résoudre en médecine et en biologie ne le seront que par une collaboration intime, où chacun, sans abandonner en rien l'originalité qui lui est propre, apportera sa contribution.

Examinons quelques-uns de ces problèmes :

Dans la lutte contre la maladie, la question des antiseptiques est des plus importantes et en même temps des plus complexes.

Les bactériologistes ont réparti les microbes pathogènes en deux grandes classes : les microbes appartenant au règne végétal : les cocci et les bacilles ; les microbes appartenant au règne animal : les trypanozomes et les spirochètes par exemple. La chimio-thérapie a vaincu ces derniers. Les résultats admirables obtenus par les arsenicaux, la thérapeutique bismuthique et tout dernièrement par le corps extraordinaire qu'est le 309 Fourneau constituent une des plus belles conquêtes de la chimie moderne. La syphilis tend à disparaître grâce à eux et aurait disparu complètement si des mesures législatives avaient aidé la conquête thérapeutique. Les trypanosomiasés ont considérablement diminué, et l'exemple du Congo belge, où la lutte a été entreprise systématiquement avec l'Atoxyl, la Tryparsamide,

le 309 Fourneau, montre quel succès éclatant peut être obtenu. Mais dès que la chimio-thérapie appliquée à la lutte contre les agents microbiens du règne végétal les méthodes qui lui ont donné de tels résultats, elle se montre impuissante. Elle se heurte, en effet, à une difficulté qui n'a pas encore pu être vaincue, malgré des faits du plus haut intérêt : l'école allemande de Morgenroth, étudiant certains dérivés de la quinine, fait varier sur la molécule de cette dernière quelques groupements fonctionnels, a préparé des substances d'une puissance antiseptique considérable, l'optoquine, l'encupine, la vucine.

A la dose de 1 pour 300.000, ces substances stérilisent une culture. Mais elles ne se montrent actives que sur une culture *in vitro*. Dès qu'elles sont utilisées sur l'animal vivant, elles perdent toute action sur le microbe, même si on les emploie à des doses considérables.

Ce fait nouveau pose un problème extrêmement curieux qui exigera pour sa solution le concours de toutes les disciplines : le bactériologiste devra dire si le microbe a varié morphologiquement ou biologiquement, le chimiste préparera d'autres corps dans cette série ou dans toute autre où il pensera avoir quelques chances de trouver une substance active, le biologiste enfin étudiera les modifications que ce médicament subit certainement dans l'économie et qui le rendent inactif, ou s'efforcera d'expliquer les réactions biologiques de l'organisme infecté sur le microbe ou la substance chimique. Le chimiste ne peut aborder isolément une telle étude sans aller à un échec ; seule l'union étroite des disciplines permettra d'aboutir à un résultat.

Il en est de même pour le paludisme. Chacun sait que seule la quinine se montre active sur l'hématozoaire. Dès le début, un problème chimique se pose. Ne peut-on créer de toutes pièces un médicament plus actif que la quinine ? Les Allemands l'ont résolu par la Plasmochine qui est cependant loin d'être parfaite. La Plasmochine est un dérivé proche de la quinine ; il est possible

que, dans une toute autre voie, on trouve un médicament plus actif et moins toxique. C'est là l'œuvre du chimiste. Mais ces médicaments ne peuvent s'essayer que sur l'oiseau et en particulier le canari, qui s'infecte avec une grande facilité avec le « *plasmodium relictum* » très voisin du « *plasmodium vivax* » de Laveran. L'aide des bactériologistes est donc indispensable.

La question du cancer est du même ordre. Il est certain que le jour où tous les efforts seront coordonnés, où toutes les recherches seront dirigées dans le même sens, où toutes les ressources seront mises en commun, la solution sera prochaine. Le pays qui aura, le premier, compris cette nécessité aura certainement la gloire et le mérite d'avoir vaincu un des plus terribles fléaux de l'humanité.

Messieurs,

Un hasard veut que la première leçon inaugurale ayant lieu dans cette Faculté nouvelle, ait trait à une science expérimentale entre toutes. Ce hasard prend la valeur d'un symbole. Ceux qui ont créé ce monument ont voulu qu'il soit avant tout un ensemble qu'aucune cloison étanche ne diviserait. Ils ont eu raison et leur idée a été profondément juste. Les locaux magnifiques qui ont été dévolus au laboratoire de chimie biologique touchent à la bactériologie, à l'hygiène, à l'histologie, ils se trouvent au centre de la physiologie et de la pharmacologie. Pouvait-on rendre à la science qui nous occupe un plus éclatant hommage ? Le fait de l'intégrer à un ensemble ne la diminue pas, bien au contraire. Il en marque l'importance, et c'est à ceux qui ont la grande responsabilité de son orientation de se montrer dignes d'un tel honneur.

Et c'est pourquoi je me tourne vers vous, jeunes étudiants, et vous demande votre appui. Je désire sans doute que vous veniez à cet enseignement pour y apprendre la pratique de la

chimie appliquée à la clinique ; je m'efforcerais de vous présenter dans ce but les techniques les plus sûres et les plus commodes qui vous permettraient de faire vous-mêmes plus tard les recherches utiles à votre profession. Mais, surtout, je voudrais vous montrer combien cette science est belle quand on l'envisage d'un point de vue élevé, et vous donner ce sentiment que vous trouverez là les joies intellectuelles les plus pures. Venez dans nos laboratoires : ils vous sont grand ouverts. Rien n'est plus fécond que la collaboration des maîtres et des élèves. Les uns apportent leur ardeur au travail et la jeunesse parfois hardie de leurs conceptions ; les autres leur raison et le fruit de leur expérience.

Mais pour que vous soient évitées les désillusions du début qui ont écarté tant de jeunes intelligences, je tiens à vous prévenir : le sol dans lequel vous tracerez votre sillon est rude et ingrat. Vous ne verrez sans doute pas, vous-même, germer et croître la graine que vous aurez semée. Qu'importe ! Pensez à ces obscurs artisans médiévaux à qui revient la gloire impérissable d'avoir bâti les cathédrales.

Chacun, travailleur anonyme, œuvrait laborieusement à sa modeste place, sans connaître le dessin général de l'édifice et sachant bien qu'il ne le verrait pas terminé.

Mais, jour par jour, grandissait le monument fait de pierre et de foi. Un moment venait enfin où la cathédrale magnifique élevait dans le ciel le sublime élan de ses flèches jumelles, comme une prière et comme une invocation.

Pr. G. FLORENCE.

LA LOI SYNDICALE ANGLAISE

ET LE BILL DE RÉFORME DE 1930

Le développement moderne des trade-unions anglaises date de la révolution industrielle de la fin du XVIII^e siècle. Leurs progrès se heurtèrent sur le terrain juridique, d'une part (au moins à l'origine), à des textes législatifs spéciaux, d'autre part, et surtout, à ces anciennes règles coutumières qui, sans avoir été jamais codifiées, ont été lentement dégagées et formulées par les juges: les règles de la « common law ».

Le Parlement, inquiet de la croissance rapide de ces nouveaux groupements, vota d'abord une série de textes répressifs; néanmoins, devant l'agitation qu'ils provoquèrent, ces textes furent abrogés dès 1824. La situation des unions demeurait pourtant des plus précaires; en effet, à raison des restrictions à la liberté du travail consacrées par leurs statuts, ces organismes étaient illégaux aux yeux de la loi commune, illégalité qui leur interdisait l'accès du prétoire. Si, par exemple, le trésorier d'une trade-union détournait les fonds sociaux qui lui étaient confiés, aucun recours n'était ouvert. Ce ne fut qu'à la suite de la réforme électorale de 1867 que le Parlement vota un Acte assurant la protection des fonds syndicaux. Quelque temps plus tard était votée la première grande loi syndicale anglaise, celle du 29 juin 1871. Désormais, les restrictions à la liberté du travail, consa-

créées par les statuts d'une union, ne pouvaient entraîner aucune poursuite criminelle à l'encontre de ses membres et ne compromettaient plus la validité desdits statuts. En un mot, les unions étaient légales. La bataille, toutefois, n'était qu'à moitié gagnée, et deux décisions judiciaires devaient bientôt ouvrir les yeux des syndicalistes sur les rigueurs que la loi commune leur réservait encore : ce furent les deux arrêts célèbres de la Compagnie des Chemins de fer du Taff Vale, et de *Quinn v. Leatham* ; ces arrêts condamnaient les unions en cause à des dommages et intérêts, pour faits de grève retenus comme délits civils, et, dans la première espèce, le montant de la condamnation atteignait 23.000 livres. C'est dire que les unions, bien que légalement reconnues, étaient menacées de condamnations pécuniaires ruineuses. L'agitation recommença et, une fois de plus, le Parlement intervint ; il vota, sur l'initiative du ministre libéral Campbell-Bannermann, l'Acte du 21 décembre 1906, « l'une des lois sociales les plus hardies qui aient été votées ». Cet Acte de 1906 mettait les fonds des trade-unions à l'abri de toutes poursuites fondées sur des actes commis par leurs représentants au cours de la préparation ou de la conduite d'une grève, à la seule exception des crimes ou délits de droit commun ; il légitimait le « picketing » pacifique et exemptait de toute responsabilité ceux qui, au cours d'une grève, induisaient des tiers à rompre les contrats les liant à leurs adversaires (dans la plupart des conflits du travail, en effet, chacun des adversaires primitifs s'efforce d'isoler son antagoniste, de l'« encercler » économiquement et, dans ce but, de contraindre les tiers en rapports commerciaux avec lui, à prendre parti) ; en outre et surtout, la section quatrième de la loi disposait que les tribunaux ne pourraient dorénavant connaître d'aucune action dirigée contre une trade-union soit par des ouvriers, soit par des patrons, à raison d'un délit civil quelconque. L'immunité ainsi acquise, les unions pouvaient régir en toute sécurité le marché du travail.

Mais l'activité syndicale n'est pas seulement corporative et professionnelle ; elle est encore politique, et de façon d'autant plus efficace que les doctrines professées sont moins révolutionnaires. Or, on sait que les dépenses encourues par les candidats aux élections législatives sont en Angleterre particulièrement élevées. Depuis longtemps les Trade-unions s'étaient préoccupées de couvrir tout ou partie des frais engagés par les candidats agréés par elles, et constituaient pour cela, au moyen de prélèvements sur les cotisations des adhérents, un fond dit politique. Le fameux arrêt Osborne, rendu par la Chambre des Lords en 1910, déclara pareils prélèvements contraires aux principes de la « common law ». Paralysés par cette jurisprudence, les unions s'adressèrent à leur protecteur traditionnel, le Parlement, et le 7 mars 1913 l'activité politique des groupements ouvriers était législativement sanctionnée. En vertu du nouveau texte, lorsque la majorité des membres d'un syndicat se prononçait en faveur de la constitution d'un fonds politique, les membres dissidents qui n'entendaient pas verser à ce fonds devaient signifier expressément leur volonté et notifier à l'union leur refus de contribuer ; faute de quoi ils demeuraient tenus. C'est le système dit du « contracting out », en vertu duquel le silence des syndicalistes équivaut à leur adhésion.

On peut dire que l'Acte de 1913 marque l'apogée de la puissance syndicale dans le domaine juridique ; légalement reconnues depuis 1871, à l'abri de toutes poursuites civiles fondées sur faits de grève ou délit civil depuis 1906, les unions voient alors consacrer leur activité politique. Il ne fallut rien moins que la grève générale de 1926 pour provoquer une réaction. Jusqu'à cette date, on peut souscrire au jugement porté par Mr Henderson, ministre actuel des Affaires étrangères qui, au cours des débats de 1927, s'exprimait en ces termes : « On peut avancer sans crainte que l'histoire parlementaire du trade-unionisme fut celle d'une reconnaissance toujours plus étendue,

d'un pouvoir et d'une influence sans cesse accrus sous la sanction légale »¹. Mais le 4 avril 1927, le Gouvernement Baldwin, dont la majorité aux Communes était écrasante, déposait un projet qui restreignait sensiblement les pouvoirs des unions. Le projet, modifié sur certains points, devint la « loi sur les conflits du travail et les trade-unions » de 1927, par laquelle la souveraineté syndicale fut fortement battue en brèche. La loi déclarait illégale toute grève si cette grève « a quelque objet différent de ou s'ajoutant à la conduite d'un conflit du travail au sein du métier ou de l'industrie auxquels les grévistes appartiennent ; et constitue une grève dont le but ou les conséquences prévisibles sont d'exercer une contrainte sur le Gouvernement soit directement, soit par les souffrances qu'elle inflige à la communauté... », clause qui souleva immédiatement la question de la légalité des grèves « de sympathie ». Aucune décision judiciaire n'est d'ailleurs intervenue sur ce point depuis 1927. La section 3 de l'Acte s'efforçait d'autre part de prévenir toute intimidation des trade-unionistes dissidents, et donnait de l'intimidation une définition très large, couvrant l'appréhension raisonnable « d'un préjugé causé à une personne relativement à ses affaires, ses occupations, son emploi ou autre source de revenus ».

Quant au fonds politique, le système du « contracting in » supplantait celui du « contracting out », aucun syndiqué n'étant tenu de verser, à moins qu'il n'ait expressément notifié sa volonté de le faire : on opposait ainsi aux syndicats la force d'inertie dont ils avaient bénéficié depuis 1913.

Défense était en outre faite aux fonctionnaires à titre permanent d'adhérer à aucune organisation professionnelle non exclusivement composée de fonctionnaires de la Couronne.

Enfin, les autorités municipales et de Comtés ne devaient en

1. Parliamentary Debates, vol. 205, n° 54, col. 1483.

aucun cas subordonner l'admission d'un candidat à un emploi public, à son affiliation à un syndicat.

Telle est l'économie générale de l'Acte de 1927 ; pour la première fois depuis le milieu du siècle dernier, le Parlement intervenait pour limiter les droits des groupements ouvriers tant à l'égard de la collectivité qu'à l'égard de leurs propres membres. La résistance fut acharnée. Dès que le projet fut connu, les dirigeants du parti travailliste prenaient envers leurs électeurs l'engagement de le combattre de toutes leurs forces et de le transformer autant que faire se pourrait, la majorité conservatrice leur interdisant tout espoir de l'écarter en bloc. En outre, ils promettaient de provoquer son abrogation ultérieure ; Mr Mac Donald, dès le mois d'avril 1927, disait : « Il est néanmoins une chose que nous pouvons faire et que nous ferons : dès que le pays nous aura confié le pouvoir, nous effacerons du code cette honteuse souillure ».

En fait, ce ne fut pas avant le 18 octobre 1930 que le gouvernement travailliste tint sa promesse en déposant un bill de réforme devant le Parlement. Le bill se proposait non pas d'abroger purement et simplement l'Acte de 1927, mais d'en remanier les dispositions essentielles.

Il se préoccupait d'abord de définir la grève illégale et substituait à la clause précitée de l'Acte de 1927, le texte que voici :

« Toute grève ou lock-out dont le premier objet est autre que la poursuite d'un but relatif à l'emploi ou au non-emploi ou aux conditions d'emploi ou de travail d'une personne quelconque (qu'elle soit ou non employée dans le métier ou l'industrie affecté par la grève ou le lock-out) sera illégal... ».

Puis, après avoir énuméré les sanctions pénales attachées à la conduite d'une grève illégale, il formulait la réserve suivante :

« Nul ne sera considéré avoir commis une infraction prévue par la présente section ou par la loi commune, pour l'unique raison :

« a) de l'illégalité en vertu de la présente section de toute grève ou lock-out, excepté à raison d'actes commis après que la grève ou le lock-out aura été déclaré illégal par la Haute Cour en vertu de la présente loi... ».

Le projet donnait ensuite de l'intimidation une définition beaucoup plus restrictive que celle de 1927; la voici :

« ...Intimider signifie causer à une personne quelconque l'appréhension raisonnable d'un préjudice personnel, pour elle-même, pour un membre quelconque de sa famille, ou pour l'une quelconque des personnes qu'elle a sous sa garde, ou d'un acte de violence ou d'un dommage causé à ses biens ou aux leurs ».

D'autre part, en ce qui concerne les contributions au fonds politique, l'affiliation des fonctionnaires aux Trade-Unions, les pouvoirs des autorités locales, le projet revient purement et simplement aux règles légales antérieures à l'Acte de 1927.

L'importance de ces dernières modifications éclate à première vue, après ce que nous avons dit plus haut. Quant à la nouvelle définition de la grève illégale (dont l'importance pratique est peut-être moins grande que celle des textes applicables aux cotisations politiques par exemple), elle fut vivement critiquée, non sans raison. Ainsi que le faisait remarquer un haut magistrat, Lord Buckmaster, dans une lettre au *Times*, il est très difficile d'isoler le « premier objet » d'une grève de quelque ampleur; en outre, aucun acte commis avant l'arrêt de la Haute Cour ne pouvait donner lieu à poursuites; or semblable décision ne peut intervenir qu'au bout de plusieurs semaines, c'est-à-dire beaucoup trop tard pour modifier la marche des événements. Tels sont les traits essentiels du projet dont la Chambre des Communes vota la seconde lecture fin janvier, à une majorité de vingt-sept voix, grâce à l'abstention de quarante-neuf députés libéraux; néanmoins, si le parti libéral soutenait le projet dans son principe, il critiquait la plupart des solutions concrètes adoptées, notamment la procédure de déclaration d'illé-

galité, le système du « contracting out », le statut des fonctionnaires et des autorités locales, si bien que l'un des libéraux dissidents, Sir John Simon, au terme d'une intervention remarquable, pouvait conclure que le Bill succomberait aux multiples amendements soumis à l'appréciation de la Commission à laquelle il allait être renvoyé. La suite des débats vient de justifier sa prophétie ; en effet, le 26 février, la Commission votait par 27 voix contre 31, un amendement libéral modifiant la première clause du projet ; l'amendement frappait d'illégalité toute grève dont les conséquences compromettraient l'état sanitaire ou la sécurité de la nation en paralysant les services indispensables tels que les fournitures alimentaires, le service des eaux ou de l'éclairage. L'Attorney General avait déclaré que le Gouvernement ne pourrait accepter le texte ainsi transformé, plus rigoureux, disait-il, à l'égard des unions, que le texte de 1927 lui-même, et Mr Hayday, Président du Congrès des Trade-Unions avait, de son côté, très vivement critiqué la nouvelle rédaction. Le 3 mars, l'Attorney General déclarait que le Gouvernement renonçait au projet.

Pareil échec est significatif. C'est sur la question de la légalité d'une grève générale que le projet travailliste vient d'échouer, preuve certaine que le Parlement britannique n'a pas oublié les événements de mai 1926. La victoire eût-elle été plus facile si le Gouvernement s'était contenté de proposer l'abrogation pure et simple de l'Acte de 1927, sans tenter de résoudre le redoutable problème de la légalité d'un conflit industriel généralisé ? Peut-être ; mais les débats ont révélé que le désaccord entre travaillistes et libéraux s'étend à l'ensemble du régime légal des groupements ouvriers, et la législation de 1927 apparaît à l'heure présente plus stable et plus solide qu'au lendemain de sa promulgation.

P. BARATIER.

LES CELLULES PHOTOÉLECTRIQUES ¹

(PROPRIÉTÉS, CONSTRUCTION, APPLICATIONS)

PHÉNOMÈNES PHOTOÉLECTRIQUES. — L'émission de charges électriques négatives sous l'influence de la lumière ultraviolette a été mise en évidence par Hallwachs (1888), guidé par certaines observations antérieures de Hertz (1887). On doit donc attribuer à ces physiciens la découverte du phénomène sur lequel est basé le fonctionnement des cellules photoélectriques modernes.

D'autres expérimentateurs (Righi, Stoletow) ont montré que l'effet Hertz-Hallwachs, ou effet photoélectrique, peut donner naissance à un véritable courant. Il suffit pour cela de disposer en face d'une plaque métallique, soumise à l'action du rayonnement, une seconde électrode servant à recueillir les charges émises par la surface éclairée. Si l'on maintient, au moyen d'une batterie de piles, l'électrode réceptrice à un potentiel positif déterminé par rapport à la plaque, le circuit est traversé par un courant permanent: *il y a transformation de l'énergie rayonnante en énergie électrique.*

Les cellules actuelles ont conservé exactement cette disposition, mais elles utilisent les propriétés photoélectriques remarquables, découvertes par Elster et Geitel, des métaux alcalins: sodium, potassium, césium. Tandis que la plupart des métaux

1. Conférence faite le 29 novembre 1930 à Saint-Etienne devant le groupe du Sud-Est de la Société Française des Electriciens.

ne sont sensibles qu'aux radiations ultraviolettes, les éléments alcalins possèdent une sensibilité photoélectrique importante sous l'action de la lumière ordinaire, comprenant des radiations du *spectre visible*. Cette sensibilité varie d'ailleurs considérablement avec la longueur d'onde (couleur) du rayonnement incident, supposé monochromatique¹.

Les charges négatives abandonnées par les métaux sous l'influence du rayonnement sont constituées par des *électrons*, c'est-à-dire par des corpuscules identiques aux grains d'électricité négative qui forment les rayons cathodiques ou qui sont émis par les filaments incandescents (cathodes des lampes réceptrices de T. S. F.). On a constaté en effet que, pour toutes ces particules négatives, la charge spécifique e/m (quotient de la charge par la masse)² est absolument la même et reste indépendante du mode de production.

En résumé, l'effet photoélectrique de Hertz-Hallwachs consiste dans l'expulsion d'électrons de la couche superficielle d'un métal sous l'influence d'un rayonnement de composition convenable, comprenant des radiations de *fréquence suffisamment élevée*.

Ce phénomène obéit aux lois générales suivantes :

1^o Le courant photoélectrique total, c'est-à-dire le nombre d'électrons libérés par unité de temps, est proportionnel au flux lumineux incident. La proportionnalité ne cesse d'être rigoureuse que si des effets secondaires se superposent au phénomène principal (cellules à atmosphère gazeuse).

2^o La vitesse d'émission des électrons dépend uniquement de

1. La longueur d'onde λ est inversement proportionnelle à la fréquence ν des vibrations lumineuses, conformément à la relation : $\lambda = \frac{c}{\nu}$ (c désigne la vitesse de propagation de la lumière dans le vide, soit 300.000 kilomètres par seconde). Le spectre visible comprend les radiations dont la longueur d'onde est comprise entre 0 $\mu,4$ (violet extrême) et 0 $\mu,8$ (rouge extrême).

2. La charge et la masse de l'électron sont désignées respectivement par e et m .

la longueur d'onde de la lumière excitatrice. Elle augmente régulièrement lorsque la longueur d'onde diminue, en restant grossièrement proportionnelle à la racine carrée de la fréquence. Les variations de l'intensité d'éclairement, même dans le rapport de 1 à 1000, sont absolument sans influence sur la vitesse maximum des photoélectrons.

En somme, des phénomènes élémentaires *complètement indépendants les uns des autres* semblent se produire au voisinage de la surface du métal, suivant une *loi commune* dépendant seulement de la fréquence du rayonnement. Lorsque l'éclairement est plus intense, ces phénomènes individuels deviennent plus nombreux, mais chacun d'eux conserve exactement les mêmes caractères. La théorie ondulatoire du rayonnement (théorie électromagnétique de la lumière) ne permet nullement d'expliquer le rôle capital joué par la fréquence, dont dépendent l'existence même de l'effet photoélectrique et l'énergie cinétique des électrons libérés. Au contraire, la théorie des *quanta de lumière* ou *photons* interprète d'une manière extrêmement simple le mécanisme de l'émission photoélectrique.

Cette théorie attribue à la lumière une structure corpusculaire et admet que l'énergie rayonnante ne peut exister que sous forme de *quanta* complets de valeur égale à $h\nu$. Nous désignons ici par ν la fréquence du rayonnement et par h une constante universelle, extrêmement petite, appelée constante de Planck. La conception des photons nous ramène donc à l'ancienne théorie newtonienne de l'émission, qui est simplement complétée par la relation de proportionnalité entre l'élément d'énergie rayonnante (quantum) et la fréquence. Nous considérons un faisceau lumineux comme une trombe de quanta distincts ou photons se déplaçant dans le vide avec la vitesse c : 300.000 kilomètres par seconde.

Pour extraire un électron d'une substance déterminée, il faut toujours dépenser un certain travail w . Dans tous les cas, il

existe donc une fréquence critique, appelée limite ou *seuil photoélectrique*, au-dessous de laquelle l'expulsion de l'électron n'est pas possible; c'est la fréquence dont le quantum $h\nu_0$ est précisément égal à w . Si la fréquence incidente est supérieure à ν_0 , l'électron pourra être libéré avec une énergie cinétique égale à l'énergie disponible. En raisonnant ainsi, on obtient la célèbre formule d'Einstein:

$$\frac{1}{2} m v^2 = h\nu - w = h(\nu - \nu_0)$$

Dans cette équation, v désigne la vitesse *maximum* des photoélectrons. On conçoit, en effet, que d'autres pertes d'énergie (provenant en particulier de chocs à l'intérieur du métal) puissent intervenir pour diminuer la force vive des électrons.

Malgré la hardiesse des hypothèses qui ont servi à l'établir, l'équation précédente a été vérifiée expérimentalement d'une manière rigoureuse (Millikan), aussi bien pour les rayons X que pour la lumière ordinaire ou ultraviolette.

L'effet photoélectrique de Hertz est un phénomène essentiellement superficiel, dépendant d'ailleurs étroitement de l'état de la surface émettrice et des modifications résultant de la présence de certains gaz, comme l'oxygène, la vapeur d'eau, difficiles à éliminer complètement, même si l'on expérimente dans un excellent vide. En étudiant l'émission photoélectrique de films très minces de rubidium déposés sur du verre, Ives et Johnsruud ont montré qu'il suffit de réaliser une couche monoatomique (c'est-à-dire ayant l'épaisseur d'un seul atome de rubidium, soit moins de un millionième de millimètre) pour obtenir un courant photoélectrique d'intensité normale. Ainsi, l'absorption des quanta de radiation se produit au voisinage immédiat de la surface et les propriétés de la masse du métal restent complètement inaltérées. Toutefois, lorsqu'un rayonnement pénètre à l'intérieur d'une substance solide, ou au sein d'une

masse gazeuse, des phénomènes de dissociation électronique ou de photoionisation peuvent être observés. La loi quantique qui régit l'effet de surface s'applique encore dans ces conditions, chaque électron libéré correspondant toujours à l'absorption d'un quantum $h\nu$. Nous n'examinerons pas ces effets de volume et nous laisserons également de côté les variations de résistance ohmique de certains corps, comme le sélénium, sous l'influence du rayonnement.

CELLULES PHOTOÉLECTRIQUES. — Une cellule photoélectrique est généralement constituée par une ampoule de verre renfermant deux électrodes :

1° Une *cathode* à surface photosensible, obtenue le plus souvent en déposant un métal alcalin sur une partie de la paroi interne de l'ampoule ou sur une plaque métallique (cuivre, argent, etc.) de forme et de dimensions appropriées.

2° Une *anode* formée d'un anneau, d'un treillis ou d'un simple fil métallique.

Chaque électrode est reliée par un fil conducteur traversant l'ampoule à une borne ou à une broche extérieure. Les « passages métalliques » à travers le verre doivent être évidemment parfaitement étanches. La cellule est souvent fixée sur un « culot » analogue à celui des lampes réceptrices de T. S. F. Au cours de la fabrication de la cellule, le verre de l'ampoule est soumis à une température élevée et non uniforme. De plus, il ne doit pas être attaqué chimiquement par la vapeur du métal alcalin. Pour ces diverses raisons, on renonce à l'emploi du cristal et on utilise généralement des verres spéciaux, tels que les borosilicates (pyrex), le verre de Thuringe, etc.

La forme de l'ampoule (sphérique, cylindrique, tubulaire, etc.) est subordonnée aux facilités de construction et dépend des conditions d'emploi de la cellule. Dans l'un des modèles les plus anciens et les plus connus, la fenêtre destinée au passage du

rayonnement est circulaire et de dimensions relativement petites par rapport à celles de l'ampoule sphérique. On cherche ainsi à favoriser les réflexions successives, de manière à accroître l'intensité du courant photoélectrique. En réalité, pour les cathodes courantes (potassium traité par l'hydrogène), cet effet de « corps noir » ne se produit pas sensiblement. Les radiations les plus actives sont fortement absorbées par la couche cathodique, et la lumière qui se réfléchit plusieurs fois n'excite qu'une faible partie du courant.

On sait que les radiations ultraviolettes de longueur d'onde suffisamment courte sont fortement absorbées par le verre sous une épaisseur de l'ordre du millimètre. Les cellules ordinaires à ampoule de verre ne sont donc pas adaptées à l'étude de ces radiations. De plus, la sensibilité photoélectrique des métaux alcalins (sauf pour le sodium) devient elle-même insuffisante dans la région ultraviolette. Pour réaliser un dispositif utilisable dans cette région, il faut donc éviter l'absorption du rayonnement et employer comme cathode un métal convenable: sodium, cadmium, uranium, thorium ou cérium. C'est pourquoi les cellules sensibles à l'ultraviolet comportent généralement une ampoule de silice fondue transparente, ou tout au moins une fenêtre de quartz destinée au passage du rayonnement et fixée au moyen d'un ciment approprié.

Un artifice très simple et très économique permet d'éviter complètement l'emploi du quartz et les inconvénients qui en résultent (prix élevé, difficultés de construction). L'expérience a montré, en effet, qu'il suffit de diminuer considérablement l'épaisseur de la paroi de verre pour supprimer pratiquement l'absorption du rayonnement ultraviolet dans un large domaine spectral (par exemple, pour l'ensemble des radiations émises par l'arc au mercure à enveloppe de quartz). Dans le cas des cellules photoélectriques, il est facile de souder sur le corps de l'ampoule de verre un tube latéral terminé par une paroi très

mince (demi-boule soufflée) et protégée contre les chocs. Avec les borosilicates, ou le verre de Thuringe, une épaisseur de quelques centièmes de millimètre convient pour obtenir une excellente transparence dans toute l'étendue de l'ultraviolet ordinaire, jusque $\lambda = 0 \mu, 22$ environ. S'il s'agit d'une cathode de cadmium ou d'uranium, la sensibilité apparente dans la région la plus éloignée du spectre visible sera atténuée et limitée en augmentant convenablement l'épaisseur de la fenêtre. On pourra donc réaliser aisément certaines conditions requises pour l'emploi des cellules en photothérapie.

Un second procédé permet d'étendre considérablement le champ spectral dans lequel les cellules ordinaires à ampoule de verre, sans paroi mince, sont utilisables. Il consiste à déposer sur la fenêtre de l'ampoule une mince couche de substance fluorescente (huile minérale, vaseline, esculine incorporée à de la gélatine, etc). Cette substance doit être choisie de manière à donner, sous l'action des radiations ultraviolettes, un rayonnement de fluorescence susceptible de traverser la paroi de verre et d'agir sur la cathode photosensible. Les huiles de graissage (fluorescence bleue) donnent d'excellents résultats avec les cellules courantes à cathode de potassium.

La paroi de verre destinée à recevoir la cathode doit être recouverte d'une pellicule métallique adhérente qui assure le contact électrique et qui facilite le dépôt du métal alcalin. On argente en général une portion de la paroi interne, mais il est encore plus facile de produire sur le verre un revêtement de magnésium, obtenu par volatilisation dans le vide de parcelles de ce métal. Lorsque le métal alcalin est déposé en couche extrêmement mince (c'est-à-dire sous forme de film dont l'épaisseur est de l'ordre des dimensions moléculaires), la sensibilité spectrale, qui caractérise l'activité des radiations de longueurs d'onde différentes, dépend dans une très large mesure de la nature et de l'état d'oxydation du support. On obtient, par exemple, des

résultats nettement différents en déposant un film de sodium ou de potassium sur du magnésium parfaitement brillant ou oxydé superficiellement. Pour réaliser une certaine distribution spectrale de la sensibilité, il est donc parfois nécessaire d'oxyder superficiellement le support métallique (cas de l'argent, du cuivre et du magnésium). On y parvient en introduisant de l'oxygène dans l'ampoule, sous faible pression, et en faisant passer la décharge d'une bobine d'induction pendant un certain temps.

L'introduction du métal alcalin s'effectue très simplement dans le cas du sodium et du potassium. Le métal commercial est nettoyé avec le plus grand soin, puis soumis dans le vide à plusieurs distillations successives, avant d'être admis à l'intérieur de l'ampoule. L'opération est conduite de manière à obtenir soit un dépôt massif, soit un film très mince sur le support métallique. On utilise également un procédé ingénieux basé sur la conductibilité électrolytique du verre, et permettant d'introduire à travers l'ampoule des atomes de sodium provenant d'un bain de nitrate de sodium fondu en contact avec la paroi externe. Pour les cellules au césium, il est plus commode de préparer ce métal à l'intérieur de l'ampoule elle-même. Par exemple, on fixe sur l'anode une petite capsule de nickel renfermant un mélange de bichromate de césium et de zirconium. Le césium est obtenu à l'état de vapeur en chauffant la capsule de l'extérieur au moyen d'un petit four à haute fréquence.

Dans les cellules courantes au potassium, la couche épaisse du métal alcalin est presque toujours soumise à un traitement particulier destiné à accroître la sensibilité générale (Elster et Geitel). On introduit dans l'ampoule de l'hydrogène pur et sec sous une pression de l'ordre du millimètre de mercure. On fait ensuite passer à travers ce gaz une décharge lumineuse au moyen d'une petite bobine d'induction, ou d'une batterie d'accumulateurs de quelques centaines de volts. On produit ainsi, au bout d'un temps très court, une modification de la surface catho-

dique correspondant à un accroissement considérable de la sensibilité photoélectrique, et caractérisée par un changement de couleur très remarquable. La surface prend une coloration variable suivant la nature du dépôt et les conditions de la décharge (bleu d'acier, bleu clair ou grisâtre s'il s'agit de gouttelettes très fines du métal alcalin). L'hydrogène ionisé, qui prend naissance dans la décharge, semble jouer un rôle important dans cette transformation (Suhrmann).

Nous avons déjà fait remarquer que le courant photoélectrique est obtenu en intercalant entre les deux électrodes une source de tension, par exemple une batterie d'accumulateurs de 100 à 200 volts. On produit ainsi un champ accélérateur qui entraîne les électrons émis par la cathode lorsque celle-ci est éclairée. Si les électrodes sont bien isolées, la cellule ne laisse passer aucun courant dans l'obscurité. On place également dans le circuit de la cellule une résistance de protection (de l'ordre du mégohm) et un galvanomètre sensible permettant de mesurer l'intensité du courant.

On utilise actuellement deux types de cellules: celles dont l'ampoule est rigoureusement vide et celles dont l'ampoule est remplie d'un gaz inerte (argon pur) sous une pression de quelques dixièmes de millimètre de mercure. Dans ce dernier cas, le courant photoélectrique est amplifié à l'intérieur même de l'ampoule grâce au phénomène bien connu de l'ionisation par choc. Les photoélectrons viennent bombarder les atomes d'argon et les dissocient en donnant naissance à de nouveaux électrons et à des ions positifs. Le déplacement de ces centres électrisés supplémentaires, sous l'action du champ électrique, apporte une contribution importante au courant total qui traverse le circuit.

Les cellules des deux catégories se différencient très nettement par leurs « caractéristiques ». Quand on applique une tension croissante à une cellule à vide, l'intensité du courant, qui

augmente tout d'abord rapidement, finit par atteindre une valeur limite constante (courant de saturation) lorsque tous les électrons sont captés par l'anode. Au contraire, avec une cellule à atmosphère gazeuse, l'intensité du courant total croît de plus en plus rapidement et, pour une certaine tension (potentiel d'illumination), il se produit au sein du gaz une décharge lumineuse qui risque d'ailleurs de détruire la cellule ou de faire varier sa sensibilité.

Une cellule à atmosphère gazeuse fournit évidemment un courant beaucoup plus intense qu'une cellule à vide possédant une cathode de même nature et recevant le même flux lumineux. Pour les cellules au potassium dans le vide, par exemple, l'intensité obtenue en éclairant la cathode avec de la lumière blanche (lampe électrique à filament de tungstène) atteint au plus un microampère par lumen. La présence de l'argon permet d'accroître cette intensité dans le rapport de 1 à 10 ou 20, l'amplification dépendant d'ailleurs de la tension appliquée.

Les cellules à vide sont donc beaucoup moins sensibles, mais cet inconvénient est racheté par une grande stabilité et une permanence presque absolue des courbes caractéristiques. De plus, le courant produit sous une tension déterminée est rigoureusement proportionnel à l'éclairement. Pour les cellules à gaz, au contraire, la proportionnalité ne peut être admise que si le courant total est relativement peu intense, c'est-à-dire si l'éclairement, ou le potentiel accélérateur des électrons, reste suffisamment petit.

L'une des propriétés fondamentales de la cellule photoélectrique est l'absence d'inertie. Les variations du courant traduisent instantanément les fluctuations d'intensité lumineuse. On le constate aisément, par exemple, en coupant périodiquement, avec un obturateur approprié, le faisceau qui tombe sur la cathode. Un récepteur téléphonique, placé dans le circuit de la cellule, donne avec une grande pureté le son dont la hauteur

correspond exactement à la fréquence des interruptions. L'effet photoélectrique permet donc de suivre et d'enregistrer un phénomène lumineux très rapidement variable (films sonores, photo-télégraphie, télévision). Toutefois, dans le cas des cellules à atmosphère gazeuse dont la cathode reçoit un flux lumineux périodiquement variable, le rapport de l'amplitude du courant à celle de l'éclairement diminue beaucoup à mesure que la fréquence augmente (jusqu'à 50.000 périodes par seconde dans les expériences de Metcalf). En d'autres termes, l'amplification due à la présence du gaz ne reste pas constante en régime périodique rapide. Ces variations de la « sensibilité dynamique » des cellules à gaz sont évidemment liées au phénomène de l'ionisation par choc, mais le mécanisme qui les produit n'est pas complètement élucidé.

Le courant fourni par une cellule photoélectrique dépend de l'intensité et de la composition spectrale du flux lumineux qu'elle reçoit. Le rayonnement étant supposé monochromatique, on appelle « émission » le rapport (exprimé, par exemple, en ampères par watt) du courant de saturation primaire (cellule à vide) au flux reçu par la cathode. La sensibilité est loin d'être uniforme dans toute l'étendue du domaine spectral susceptible d'agir sur une cathode déterminée. Pour les métaux alcalins, qui présentent l'effet photoélectrique « sélectif », la variation de l'émission avec la longueur d'onde est représentée par une courbe « en cloche » (courbe de sensibilité à énergie égale) dont le maximum se déplace vers les grandes longueurs d'onde à mesure que le poids atomique augmente. Les longueurs d'onde correspondant au maximum de l'effet sélectif ont les valeurs suivantes (dépôt massif de métal pur):

Na: 0 μ , 340 K: 0 μ , 435 Rb: 0 μ , 475 Cs: 0 μ , 540

Les cellules au potassium sont donc surtout sensibles dans le

violet et le bleu, tandis que les cathodes de césium permettent d'étudier la partie la moins réfrangible du spectre visible.

Les autres métaux (cadmium, uranium, etc.) présentent l'effet photoélectrique « normal » : la sensibilité croît constamment vers l'ultraviolet à partir du seuil photoélectrique.

Nous avons déjà mentionné la sensibilité spectrale particulière des films très minces de métaux alcalins déposés sur un support convenablement traité. D'autre part, l'effet sélectif est, en général, profondément modifié par la présence accidentelle ou l'introduction de certains gaz. L'étude systématique de ces variations a permis d'étendre largement le domaine de sensibilité des cellules ordinaires et de réaliser des cathodes sensibles aux radiations de grande longueur d'onde du spectre visible et du début de l'infrarouge. Les sources courantes de lumière blanche (lampes à filament de tungstène) donnent un rayonnement dont l'intensité varie considérablement avec la longueur d'onde : la plus grande partie de l'énergie est transportée par les radiations rouges et infrarouges. L'extension de la sensibilité des cellules dans cette partie du spectre permet donc d'obtenir des courants photoélectriques beaucoup plus intenses.

A cet égard, l'amélioration la plus nette a été réalisée en faisant agir la vapeur de césium sur une plaque d'argent oxydée superficiellement, et en soumettant la cathode ainsi préparée à un traitement thermique approprié (Koller, Campbell). La surface photosensible est probablement constituée par un film monoatomique de césium adhérant fortement au support métallique par l'intermédiaire d'une couche d'atomes d'oxygène. La sensibilité s'étend dans l'infrarouge au-delà de $\lambda = 1 \mu$ et le courant débité atteint 20 microampères par lumen (dans le vide). Les cellules de ce type sont donc particulièrement bien adaptées à la projection des films sonores.

On obtient une sensibilité un peu moins étendue en déposant un film de potassium sur du cuivre oxydé superficiellement. Il

existe dans ce cas deux maxima d'émission au voisinage de $\lambda = 0 \mu,420$ et $\lambda = 0 \mu,600$ (Campbell). Les résultats sont encore moins satisfaisants en prenant comme support du métal alcalin (sodium, potassium) une pellicule de magnésium oxydé, mais les cellules ainsi préparées semblent remarquablement stables. Dans tous les cas, l'oxydation du support favorise le développement de la sensibilité dans la région des grandes longueurs d'onde.

Les cellules au sodium obtenues par introduction du métal à travers l'ampoule, en utilisant la conductibilité électrolytique du verre, peuvent aussi être sensibilisées en faisant agir l'oxygène sur le dépôt cathodique (Selényi). Enfin, l'oxygène intervient sans aucune doute dans la sensibilité des cellules au baryum préparées par Case.

La surface de toutes ces cathodes spéciales est très vraisemblablement formée d'une succession de couches monomoléculaires (Cs ou K, O). Dans ces conditions, le travail d'extraction et la probabilité d'expulsion des électrons sont complètement modifiés.

Olpin a étudié les variations de sensibilité du sodium et du potassium en faisant agir sur ces métaux les gaz dégagés par de la fleur de soufre (vapeur d'eau, gaz sulfureux), la vapeur d'eau et un grand nombre de matières organiques (colorants, benzine, etc). La sensibilité photoélectrique ne correspond nullement au spectre d'absorption du corps sensibilisateur. Dans la plupart des cas, on observe en effet un renforcement notable de l'émission pour les grandes longueurs d'onde, même avec des substances incolores comme la benzine ou la vapeur d'eau. De plus, on peut interpréter la nouvelle distribution spectrale de la sensibilité en superposant à la courbe normale du métal une courbe additionnelle de même forme (courbe en cloche) décalée vers le rouge par rapport à la précédente. La différence des maxima des deux courbes correspond sensiblement à l'une des fréquences

caractéristiques de vibration des liaisons atomiques O-H, C-H ou N-H. Des déplacements analogues ont été observés avec les cathodes de potassium et de sodium sur magnésium oxydé.

Dans le cas des métaux alcalins, le travail de sortie, correspondant à l'extraction de l'électron, est compris entre 1 et 2 volts¹. Pour obtenir une sensibilité importante dans l'infrarouge, le seuil photoélectrique doit être suffisamment éloigné dans cette région. Il est donc nécessaire, conformément à l'équation d'Einstein, de diminuer considérablement le travail de sortie. On peut y parvenir en renonçant à libérer les photoélectrons dans le vide ou dans un gaz raréfié, mais en les produisant au voisinage de la surface de séparation d'un métal et d'un corps semi-conducteur. Par exemple, on dispose entre deux électrodes planes de cuivre une très mince couche d'oxyde cuivreux, formée d'un petit nombre d'assises moléculaires et présentant ainsi une résistance électrique très faible. L'une des électrodes (grille à mailles fines, feuille extrêmement mince) est suffisamment transparente pour permettre à la lumière d'agir sur le corps semi-conducteur et de libérer des électrons près de la surface de séparation Cu—Cu²O, caractérisée par un travail de sortie très faible égal à 0,19 volt. Si l'on réunit les deux électrodes par un fil conducteur et si l'on éclaire le dispositif, une force électromotrice prend naissance et un courant traverse le circuit sans qu'il soit nécessaire d'y introduire une source auxiliaire de tension. Cette cellule très particulière, étudiée par Lange, semble posséder tous les avantages des cellules ordinaires aux métaux alcalins (absence d'inertie, proportionnalité du courant au flux lumineux) et pourra sans doute remplacer avantageusement ces dernières dans un grand nombre d'applications. La transformation de l'énergie rayonnante en énergie électrique

1. Le travail d'extraction peut s'écrire sous la forme: $w = eV$, e désignant la charge de l'électron et V une certaine différence de potentiel. On peut donc représenter ce travail par la différence de potentiel équivalente et, par conséquent, l'exprimer en volts.

s'effectue en effet avec un rendement très supérieur. De plus, le seuil photoélectrique est voisin de $\lambda = 6 \mu,6$ et le maximum de sensibilité correspond à $\lambda = 1 \mu$ environ. L'action du rayonnement solaire, par exemple, permet d'obtenir sans aucune amplification une puissance suffisante pour faire tourner un très petit moteur électrique.

Les courants débités par les cellules ordinaires aux métaux alcalins sont, en général, de l'ordre du microampère. Ils sont mesurés, au laboratoire, au moyen d'électromètres ou de galvanomètres sensibles. Pour les applications industrielles, il est absolument nécessaire de les amplifier. On utilise dans ce but des amplificateurs à lampes triodes dont la description est en dehors du cadre de cet exposé.

APPLICATIONS. — Nous examinerons en premier lieu les applications qui présentent le plus grand intérêt d'actualité: projection des films sonores, transmission électrique des images (phototélégraphie) et des objets animés (télévision). La première est d'ailleurs de beaucoup la plus importante au point de vue commercial: il existe actuellement aux Etats-Unis plus de 20.000 salles de spectacle équipées pour la présentation des films sonores.

1° *Films sonores.* — La synchronisation parfaite et automatique du son et de la projection se trouve réalisée en enregistrant les effets visuels et audibles sur le même film. On réserve sur l'un des bords du film, entre les images et les encoches destinées à l'entraînement, une bande ayant seulement 3 millimètres de largeur. C'est sur cette bande que le son est enregistré par l'un des deux procédés suivants, dont nous indiquerons seulement le principe.

Dans le procédé à « opacité ou densité constante », la « bande sonore » est partagée en deux régions claire et sombre, ayant

chacune une opacité uniforme et séparées par une ligne sinu-
euse, dont les dentelures correspondent précisément aux vibra-
tions sonores (Fig. 1). Le microphone chargé de recueillir ces
vibrations donne naissance à un courant modulé qui, après am-
plification, actionne un oscillographe. Le miroir de cet appareil,
convenablement éclairé, produit sur la bande sonore un spot
lumineux mobile dont les déplacements traduisent fidèlement
les fluctuations du courant. La largeur variable de la région im-

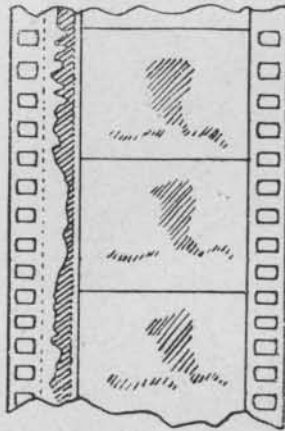


FIG. 1

pressionnée par la lumière est donc liée rigoureusement à l'am-
plitude et à la fréquence des vibrations sonores.

La seconde méthode d'enregistrement, dite à « opacité ou
densité variable », consiste à dérouler le film devant une fente
fine éclairée par une lampe à luminescence spéciale. Cette lampe
renferme un gaz ou un mélange gazeux (néon, hélium) suscep-
tible de s'illuminer sous tension et de donner une lumière suffi-
samment actinique. La tension appliquée à la lampe est modulée
par le courant du microphone et, dans ces conditions, les vibra-
tions sonores produisent des fluctuations de la luminescence du
gaz. Il en résulte des variations correspondantes de l'impression
photographique, dans le sens de déroulement du film. Mais

l'opacité obtenue après développement est uniforme sur toute la largeur de la bande sonore (Fig. 2).

Il existe plusieurs types de dispositifs permettant de projeter le film et de reproduire le son d'une manière parfaitement con-

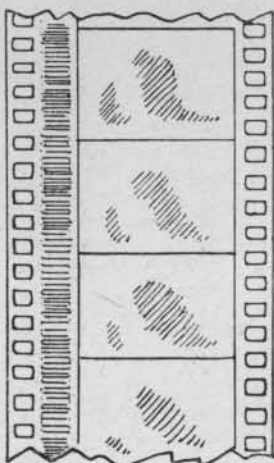


FIG. 2

cordante. L'un des plus employés est représenté par la fig. 3. On concentre sur la fente F, au moyen du condenseur C, la lumière émise par le filament S d'une lampe à incandescence

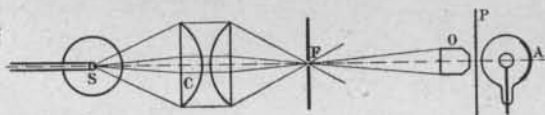


FIG. 3

d'un modèle spécial. L'objectif de microscope O projette sur le film P une image réduite de la fente, formant un trait lumineux très fin s'étendant sur toute la largeur de la bande sonore. Le flux lumineux qui traverse le film dépend, suivant le procédé d'enregistrement utilisé, de la largeur de la partie sombre ou de l'opacité uniforme de la région très étroite occupée par l'image de la fente. La cellule photoélectrique A, placée derrière le film, tra-

duit électriquement les variations d'intensité lumineuse. Le courant qu'elle produit est amplifié et envoyé dans un haut-parleur.

Avec les appareils ordinaires de projection, l'enregistrement sonore doit être décalé légèrement (d'environ 40 centimètres de film) par rapport à la succession des images, de manière à permettre le déroulement continu de la bande sonore et le déplacement saccadé du film devant l'objectif.

Le flux lumineux reçu par la cellule est extrêmement faible et développe, par exemple, une puissance de 0,01 microwatt. Si le fonctionnement du haut-parleur nécessite une puissance de 20 watts, l'énergie disponible doit donc être multipliée par 2 milliards. Une telle amplification ne s'obtient pas sans grandes difficultés, et de nombreuses précautions doivent être prises pour éliminer les perturbations d'ordre électrique et mécanique.

Pour reproduire fidèlement les fréquences musicales les plus élevées, il faut évidemment que la région éclairée de la bande sonore soit très étroite. On se contente actuellement de réduire la largeur du trait lumineux à quelques centièmes de millimètre. Dans le dispositif établi récemment par Dunoyer, on projette simplement sur le film, au moyen d'un bon objectif, l'image réduite (0,01 mm.) d'un filament incandescent rigoureusement rectiligne. La lumière est ainsi beaucoup mieux utilisée et on évite les multiples inconvénients résultant de l'emploi de fentes plus ou moins fines.

2° *Phototélégraphie*. — Le problème de la transmission électrique des images a été résolu sans avoir recours à l'émission photoélectrique. Toutefois, l'emploi des cellules a permis de simplifier et de perfectionner les dispositifs émetteurs, dont il existe actuellement plusieurs types. Dans tous les cas, l'image est explorée au moyen d'un faisceau lumineux, et les variations de teintes ou tonalités sont traduites par les changements d'intensité d'un courant photoélectrique.

Le document à transmettre est enroulé sur un cylindre qui tourne en avançant le long de son axe, de manière que chaque point décrive une hélice. Dans certains dispositifs (Belin, etc), on éclaire fortement le dessin sur une étendue relativement grande, dont on projette une image exacte sur un diaphragme placé devant la cellule photoélectrique (Fig. 4). Celle-ci ne reçoit donc que la lumière diffusée par une très petite surface (cercle

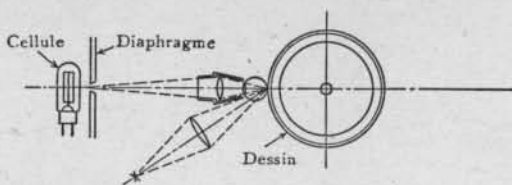


FIG. 4

de 0,25 millimètre de diamètre, par exemple) correspondant à l'ouverture du diaphragme.

Dans d'autres appareils, le diaphragme qui permet de définir et de limiter l'élément du dessin transmis à un instant donné est placé sur le trajet de la lumière incidente (Fig. 5). L'ouverture

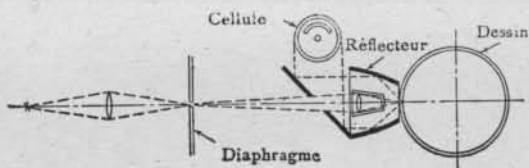


FIG. 5

sert de source secondaire pour illuminer une très petite portion bien définie de l'image, autour de laquelle est disposé un miroir parabolique dont le foyer coïncide avec le point éclairé. La lumière diffusée est rassemblée par ce réflecteur de manière à donner un faisceau parallèle qui vient tomber sur la cellule, après réflexion sur un miroir plan convenablement orienté.

L'intensité du courant photoélectrique dépend de la tonalité correspondant à la tache d'éclaircissement: il est maximum pour

un blanc, minimum pour un noir et prend une valeur intermédiaire pour les demi-teintes. Pour diverses raisons, l'exploration du dessin se fait assez lentement : une image rectangulaire de 13 sur 18 centimètres, par exemple, sera transmise en quelques minutes. On se trouve donc en présence d'une difficulté importante relative à l'amplification du courant photoélectrique.

En effet, lorsque le spot lumineux se déplace sur une surface de tonalité uniforme (blanche, noire ou grise), le courant reste constant et ne pourrait être amplifié fidèlement sans grandes complications. Il est en fait beaucoup plus commode d'amplifier un courant alternatif rapidement variable. C'est pourquoi on rend le courant *pulsatoire* en coupant périodiquement le faisceau incident un très grand nombre de fois par seconde. Par exemple, on dispose sur le trajet de la lumière une disque présentant une série d'ouvertures sur la périphérie et tournant à grande vitesse (cet obturateur n'est pas représenté sur les figures schématiques 4 et 5). Le courant alternatif ainsi produit sert en quelque sorte de support pour les modulations résultant des changements de teinte.

La transmission peut s'effectuer sur une ligne téléphonique dans laquelle on envoie le courant photoélectrique (après amplification) au moyen d'un transformateur convenable. S'il s'agit d'une transmission sans fil, l'onde porteuse est modulée par le courant fourni par l'appareil émetteur, en remplaçant le microphone de l'installation radiotéléphonique par un transformateur.

Les appareils de réception ne comportent pas de cellule photoélectrique. Leur rôle est exactement opposé à celui des dispositifs émetteurs : ils sont en effet construits de manière à transformer en variations de teinte les fluctuations du courant qu'ils reçoivent. Par exemple, ces fluctuations sont utilisées pour modifier plus ou moins l'intensité d'un faisceau lumineux qu'on fait agir ensuite sur un film photographique mobile. Ce résultat est obtenu par l'intermédiaire d'un oscillographe ou d'une lampe à

luminescence analogue à celles qui servent dans l'enregistrement des films sonores. Le fonctionnement des appareils d'amateurs est basé sur le changement de coloration qui accompagne l'électrolyse d'une solution aqueuse de ferrocyanure de potassium et de nitrate d'ammonium. La solution précédente imprègne un papier enroulé sur un cylindre, sur lequel vient s'appuyer un stylet traversé par le courant redressé. Pour obtenir une reproduction correcte du document transmis, le déplacement du film ou du papier doit être rigoureusement synchronisé avec le mouvement du cylindre de l'appareil émetteur.

Télévision. — Le problème de la télévision ne diffère pas essentiellement de celui que nous venons d'étudier. Il s'agit, en effet, d'accélérer considérablement la transmission des images de manière à présenter en définitive une série de vues quasi-instantanées d'un projet animé. La persistance des impressions lumineuses sur la rétine donnera l'illusion d'un mouvement continu. Pour opérer dans ces conditions, les cellules photoélectriques deviennent absolument indispensables. Il faut en outre modifier complètement le procédé d'analyse et les dispositifs optiques utilisés dans la transmission électrique des images.

La principale difficulté réside dans la nécessité d'explorer très rapidement l'objet à « téléviser ». En phototélégraphie, une surface de 1 décimètre carré est transmise en quelques minutes. Si l'on veut profiter de l'inertie rétinienne, il faut réduire la durée d'exploration complète à moins de $1/10$ de seconde (par exemple: $1/16$ de seconde). Dans le cas de la télévision, on obtient heureusement une reproduction suffisante, c'est-à-dire une définition acceptable, en se contentant d'une analyse beaucoup plus grossière.

La méthode d'exploration la plus courante et la plus simple a été proposée par Nipkow dès 1887. L'organe essentiel est un disque métallique portant une série d'ouvertures circulaires ou

carrées (de 24 à 60 trous, dans les procédés actuels), disposées à égale distance le long d'une spirale, entre deux cercles concentriques. La distance au centre du disque varie, d'un trou à l'autre, d'une quantité égale au diamètre d'une ouverture. L'image de l'objet à « téléviser » (le visage humain, par exemple) est projetée sur une portion du disque comprise dans l'espace annulaire occupé par les trous (Fig. 6). La hauteur maximum de l'image doit être égale à la différence des rayons des deux cercles, tandis que la distance de deux trous consécutifs correspond à la largeur de cette image. Quand on fait tourner rapidement (750 tours à

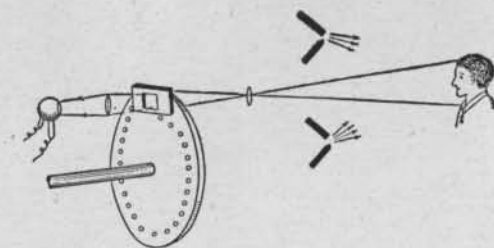


FIG. 6

la minute) le disque devant la cellule photoélectrique, chaque ouverture traverse l'image une fois par tour et celle-ci se trouve ainsi découpée en bandes jointives parallèles. A un instant donné, la lumière qui agit sur la cellule provient donc d'un élément relativement petit de l'objet fortement éclairé. En un tour complet, toute la surface de l'image se trouve balayée, et les variations d'intensité lumineuse sont traduites par une suite définie d'impulsions électriques. Le flux qui tombe sur la cellule, provenant de l'image d'un objet non lumineux par lui-même, est évidemment très faible, et ce mode d'exploration n'est guère utilisé pratiquement. Cependant, en juillet 1928, Baird a pu téléviser par ce procédé des objets éclairés simplement par la lumière du jour.

On obtient un dispositif analyseur aussi efficace et pratiquement réalisable en inversant la marche de la lumière, comme l'a

proposé Ekström en 1910. Au lieu d'explorer l'image avec un disque de Nipkow, on utilise celui-ci comme illuminateur projetant sur l'objet lui-même une tache lumineuse intense et mobile (Fig. 7). On analyse ainsi directement l'objet, élément par élément, et on reçoit alors la lumière diffusée par sa surface sur une ou plusieurs cellules placées à proximité. Il y a un double avantage à opérer ainsi :

1° On peut éclairer très fortement l'élément qui est transmis à un instant donné. Il serait impossible de soumettre l'ensemble

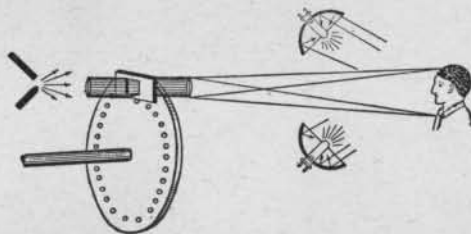


FIG. 7

de l'objet à un éclairage aussi considérable, surtout s'il s'agit de transmettre l'aspect du visage humain. Le sujet n'est affecté que par l'irradiation moyenne. On peut donc utiliser un éclairage punctiforme très intense et mobile, qui correspond cependant à une moyenne relativement faible et parfaitement supportable.

2° D'autre part, il devient possible d'employer des cellules de très grandes dimensions, munies le cas échéant de réflecteurs, et même de grouper plusieurs cellules en parallèle pour recueillir un flux lumineux plus important.

Parmi les récepteurs susceptibles d'être utilisés, nous signalerons seulement celui qui comporte une lampe à néon renfermant une électrode rectangulaire plane dont toute la surface s'illumine sous l'action d'une tension suffisante. L'intensité de la luminosité est contrôlée par les variations du courant provenant de l'appareil émetteur : les fluctuations du courant photoélec-

trique produisent des variations de brillance de la gaine lumineuse. On fait tourner devant le tube à néon un disque de Nipkow percé du même nombre d'ouvertures que celui du poste de transmission. Si les deux rotations sont rigoureusement synchronisées, on voit alors une reproduction correcte de l'objet se dessiner sur la plaque lumineuse.

C'est en se basant sur les principes précédents qu'on a pu, au cours des dernières années, réaliser pratiquement la télévision d'objets variés et, en particulier, du visage humain. Les dispositifs les plus perfectionnés sont ceux de Baird (1^{re} démonstration, à Londres, le 27 janvier 1926) et de la Bell Telephone Co (27 avril 1927). Les expériences de Baird ont été répétées en éclairant le sujet avec des rayons infrarouges et, par conséquent, invisibles. Le sujet reste donc dans l'obscurité absolue, et son image infrarouge est projetée sur le disque de Nipkow (premier mode d'exploration) tournant devant une cellule spéciale sensible aux radiations utilisées. Un appareil du même genre (« noctovisor » de Baird) permet de déceler à travers le brouillard des objets lumineux éloignés (feux de navires, phares d'aérodrome, etc), grâce à la facilité avec laquelle les rayons infrarouges peuvent traverser d'épaisses couches de brume.

En modifiant convenablement le dispositif de transmission, il est possible de téléviser un film cinématographique se déroulant d'une manière continue (télécinéma), et de transmettre en même temps le son qui l'accompagne (tele-talkies). Enfin, la télévision d'objets colorés, avec reproduction approximative des couleurs, a été réalisée en employant un disque explorateur dont les ouvertures sont distribuées sur trois spirales différentes et recouvertes par des filtres colorés. Chaque série de trous correspond à l'une des trois couleurs fondamentales : bleue, verte et rouge. A la réception, il faut utiliser à la fois un tube à néon et une lampe renfermant un mélange d'hélium et de vapeur de mercure, qui fournissent les radiations nécessaires à la repro-

duction trichrome. Un dispositif stéréoscopique, donnant la sensation du relief, a été également construit par Baird.

Applications diverses. — Elles sont actuellement si nombreuses et si variées que nous devons nous contenter de les mentionner rapidement, sans aucun détail d'ordre technique. Ces applications se rapportent à la mesure des flux d'énergie rayonnante (photométrie) ou à la mise en évidence de variations plus ou moins rapides d'intensité lumineuse.

Au sujet de la photométrie des radiations visibles, nous ferons cependant les deux remarques suivantes :

1^o En associant des écrans absorbants à une cellule appropriée (césium, potassium sur cuivre oxydé), il est possible de reproduire presque exactement la sensibilité spectrale de l'œil humain. On réalise ainsi un récepteur qui possède la même sélectivité que la rétine, c'est-à-dire un véritable « œil électrique ».

2^o En disposant en parallèle deux cellules de sensibilités spectrales différentes, munies de filtres absorbants convenables, on peut obtenir une « émission » effective à peu près constante, c'est-à-dire une sensibilité presque uniforme dans un large domaine spectral. Ce dispositif permet donc la comparaison énergétique directe de deux faisceaux de couleurs différentes.

Dans les usines de lampes à incandescence, les photomètres visuels sont fréquemment remplacés par des appareils à cellule, avec lesquels on effectue rapidement et presque automatiquement les vérifications et les opérations de contrôle nécessaires à la bonne marche d'une fabrication.

Les colorimètres à cellule photoélectrique sont employés pour apprécier les différences de teinte les plus faibles, les nuances les plus difficiles à saisir directement par l'œil (échantillonnage des tissus). D'autres appareils analogues donnent des indications précises sur le degré de blancheur du papier ou sur le degré de brillant d'un tissu (soie ou coton mercerisé).

Les cellules au cadmium ou à l'uranium sont utilisées en photothérapie pour le dosage des radiations ultraviolettes et la vérification des sources qui les produisent (arcs au mercure). Enfin, le récepteur photoélectrique est employé en photométrie stellaire, particulièrement dans l'étude des étoiles variables.

Dans un grand nombre de déterminations photométriques et spectrophotométriques, et particulièrement dans les mesures d'absorption, il est commode et quelquefois indispensable de remplacer l'œil par la plaque photographique. Cette technique est d'un usage courant en spectroscopie, lorsqu'il s'agit d'analyser dans les plus minimes détails le rayonnement émis ou absorbé par un certain corps. On est ainsi conduit à déterminer avec précision l'opacité ou « densité » des clichés obtenus, et on a souvent besoin de reconnaître les variations de cette opacité sur une très petite étendue. Les appareils qui permettent d'obtenir ce résultat sont les *microphotomètres*; les plus sensibles et les plus précis (Chalonge-Lambert, Koch, etc.) sont équipés avec une cellule photoélectrique servant à mesurer la fraction de lumière transmise par le cliché.

Nous signalerons encore les appareils à cellule employés pour enregistrer les variations de la lumière du jour, et pour « intégrer » la quantité de lumière émise par une certaine source pendant un temps donné.

L'absence de toute inertie permet d'employer la cellule pour déceler ou enregistrer un phénomène pratiquement instantané (passage d'une étoile au méridien, réglage d'horloges astronomiques, chronométrage, etc). Certains dispositifs sont établis de manière à contrôler l'entrée ou la sortie des véhicules (à l'entrée d'un tunnel, par exemple), à commander un système de signalisation aux croisements de routes, à compter ou à trier certains objets fabriqués en grande série, à provoquer l'arrêt instantané d'un mécanisme (en cas d'avarie ou de fonctionnement dangereux), à produire automatiquement l'ouverture d'une porte de

vant laquelle se présente une personne, etc, etc. Il existe enfin des appareils à cellule servant à la détection des fumées (avertisseurs d'incendie) et à la protection contre le vol.

Ces brèves indications suffisent pour montrer l'intérêt pratique qui s'attache aux perfectionnements de construction et de conditions d'utilisation des cellules photoélectriques. On peut prévoir qu'à bref délai la cellule photoélectrique sera aussi connue et peut-être aussi couramment employée que les lampes détectrices et amplificatrices utilisées actuellement en téléphonie sans fil.

Georges DÉJARDIN,
*Professeur de Physique à la Faculté des Sciences
de l'Université de Lyon.*

LE CHRÉTIEN DE TROYES

DE G. COHEN

M. Gustave Cohen, auteur d'ouvrages solides et élégants sur le Théâtre religieux au Moyen Age, vient de publier une étude d'ensemble sur Chrétien de Troyes. Etude que l'on attendait, le grand romancier médiéval n'ayant eu, jusqu'à cette heure, les honneurs d'un ouvrage qui le fit connaître au grand public. Les travaux de G. Paris, de MM. Wilmotte et Faral, ceux de Fœrster surtout, n'atteignent pas un public que rebutent les arcanes de la philologie et de l'érudition; et, par ailleurs, les nombreuses adaptations des romans de Chrétien parues ces dernières années ne permettaient pas de se faire une idée précise et complète de son talent.

M. Cohen étudie d'abord les origines du roman courtois dans la « triade » classique du roman de Thèbes, du roman d'Enéas et du roman de Troie; puis, après avoir tenté d'établir une biographie approximative du poète, d'après les renseignements assez vagues que nous trouvons dans ses textes ou d'après les hypothèses qu'on en peut tirer, il examine les œuvres une à une : analyse détaillée où il donne à chaque instant la parole au conteur pour nous faire entendre les passages les mieux venus ou les plus significatifs; analyse accompagnée de réflexions judicieuses et fines et suivie de remarques plus méthodiques sur les

sources du roman, sa signification profonde, sa place dans l'œuvre de Chrétien, ses procédés de composition et ses moyens d'expression.

Car le critique a voulu tracer une courbe d'évolution des idées de Chrétien, telles qu'elles se dégagent de la suite de ses romans. Après les œuvres de jeunesse, le *Philomela*, adaptation d'Ovide que Chrétien a beaucoup lu, après le *Guillaume d'Angleterre*, sorte de conte populaire où apparaissent déjà les futures qualités du romancier, après le *Tristan* dont il ne nous reste, hélas ! rien, voici posé avec *Erec et Enide*, le premier en date des romans arthuriens, le problème de la « récréance » ou du renoncement à la prouesse pour l'amour, que Chrétien résoud par la subordination de celui-ci à celle-là. Voici avec *Cligès* que M. Cohen définit après Fœrster un anti-*Tristan*, le problème de l'amour et du mariage auquel Chrétien donne une réponse nettement contraire à la doctrine provençale de l'amour courtois, en opposant la conduite de son héroïne Fénice à celle d'Iseut qui accepte le partage de son corps entre son ami et son amant. Mais le *Lancelot* est une apologie (sincère ou de commande ?) des théories courtoises dans toutes leurs exagérations et leurs intransigeances. Sur l'invitation de sa protectrice, Marie de Champagne, qui lui a fourni son sujet, notre auteur glorifie le pouvoir absolu, tyrannique de la maîtresse ou « *domna* », la soumission totale du chevalier à sa dame, l'obéissance à ses ordres et à ses volontés, même au prix d'un apparent déshonneur. L'Yvain concilie les théories chères à la Cour de Champagne avec les idées personnelles de l'écrivain : le Chevalier au Lion à côté de la ferveur pour la femme aimée maintient son idéal de gloire et d'aventure et remplit également ses devoirs d'amant et ses devoirs de chevalier. Enfin, avec son *Perceval*, Chrétien nous donne le poème de la foi, de la recherche du Gral qui n'est autre que celle de Dieu et nous mène au seuil du mysticisme : mais au seuil seulement, car cette dernière œuvre, inter-

rompue par la mort, est émouvante et mystérieuse comme une cathédrale inachevée. La chevalerie purement mondaine des romans antérieurs, exhibition sportive destinée à conquérir la femme aimée, ou exaltation de l'individu, païenne en sa nature, se nuance désormais de sentiment religieux : la charité et la foi animent le chevalier redresseur de torts, défenseur de la femme, libérateur de l'opprimé.

Peut-être paraît-il exagéré de représenter Chrétien comme un véritable romancier à thèse, une « sorte de Bourget du XII^e siècle », même si l'on reconnaît que certaines conclusions idéologiques se dégagent facilement du récit ; mais ce qu'il est avant tout — et M. Cohen l'a bien montré au cours de ses savoureux chapitres —, c'est un conteur de belles aventures, doué d'une prodigieuse imagination, un peintre délicat de la femme, le premier de ces maîtres en psychologie amoureuse qui, de Racine à Stendhal et à Proust, devaient illustrer notre littérature. Son œuvre constitue un document fort précieux pour l'histoire de la société et de la sensibilité françaises ; en elle transparait l'idéal esthétique, sentimental et social de la seconde moitié du XII^e siècle. Et c'est l'œuvre aussi d'un écrivain de premier ordre, qui manie cette langue primitive avec une souplesse incomparable et qui, selon l'expression de son contemporain, Huon de Méri, « verse le beau français à pleines mains ».

A. MICHA.

LA GENÈSE DES RYTHMES

DANS

L'ACTIVITÉ NERVEUSE ET MOTRICE

Parmi les manifestations motrices que nous présentent les animaux, certaines se succèdent suivant des rythmes assez bien caractérisés. A ce sujet, chacun de nous peut immédiatement songer aux mouvements respiratoires et aux contractions cardiaques. Mais dans l'un et l'autre de ces cas, comme dans d'autres fonctionnements moteurs rythmiques observables chez l'être vivant, nous nous trouvons généralement en présence d'un complexe, comprenant, à côté des agents d'exécution, les fibres musculaires, des conducteurs nerveux qui relient les muscles à des amas de cellules nerveuses ou centres, eux-mêmes en rapport par d'autres fibres nerveuses avec diverses régions de l'organisme, en particulier avec des organes sensoriels.

Des questions vont alors immédiatement se poser à notre curiosité.

Les manifestations motrices rythmées que nous observons sont-elles propriétés inhérentes des fibres musculaires, ou bien, au contraire, celles-ci obéissent-elles passivement et docilement

à des ordres rythmés qui leur sont envoyés par le système nerveux ?

Ensuite, supposé connu l'agent responsable du rythme, faut-il lui attribuer cette vertu singulière d'entrer en activité automatiquement et périodiquement, indépendamment des contingences de l'ambiance, ou, au contraire, sa mise en jeu est-elle chaque fois conditionnée par des modifications du milieu qui l'entoure ? Autrement dit encore, possède-t-il en lui la cause de son automatisme, ou bien son fonctionnement rythmé lui est-il imposé du dehors, auquel cas la notion d'automatisme s'estompe singulièrement ?

En l'état actuel des choses, il semble impossible de donner à ces questions des réponses générales et partout valables. Ce sont des cas particuliers qu'il faut en réalité considérer, et pour chacun d'eux analyser les faits. C'est ce que, très rapidement, je me propose de faire ici.

★

Examinons d'abord le cas du rythme respiratoire.

Voilà une série de muscles, d'ailleurs identiques par leur structure à ceux des autres muscles fixés sur le squelette. Ils vont d'une façon coordonnée et un certain nombre de fois par minute entrer en jeu pour augmenter les dimensions du thorax, chez les Mammifères ; ou bien, chez les Poissons, pour créer rythmiquement des modifications des cavités buccale et branchiale. Ainsi ils assurent le renouvellement du milieu extérieur au niveau de la surface d'échanges respiratoires.

L'analyse physiologique montre facilement qu'ils n'ont en propre aucune caractéristique les différenciant des autres muscles du squelette. Comme ceux-ci, ils sont sous la commande de centres nerveux par l'intermédiaire de nerfs moteurs. La section de ces derniers abolit leurs contractions, entraîne leur para-

lysie. Les propriétés de rythmicité et d'automatisme ne résident donc pas en eux. Elles résident dans les centres nerveux, et même dans une région très circonscrite de ceux-ci, dont la situation, déjà indiquée par les observations de Galien, a été bien précisée ensuite par les recherches de Legallois et de Flourens.

Dans cette partie du système nerveux central, intermédiaire entre le cerveau et la moelle et qu'on nomme le bulbe, il y a, en effet, une petite portion de substance nerveuse qui est responsable des phénomènes moteurs de la respiration. Elle est localisée dans la région que les anatomistes ont appelé le calamus scriptorius, sur le plancher du quatrième ventricule cérébral. La destruction de cette région entraîne l'arrêt immédiat des mouvements respiratoires et la mort de l'animal par asphyxie.

C'est donc de ce centre respiratoire que partent, à des intervalles à peu près réguliers, les ordres lancés vers les muscles de l'inspiration et provoquant leur contraction. C'est lui qui fonctionne de façon rythmique, et c'est pour lui seulement que l'on peut parler de la propriété d'automatisme.

On peut, en effet, l'isoler du reste du cerveau par une section au-dessus du bulbe, de la plus grande partie de la moelle par une section au niveau de la sixième vertèbre cervicale. On peut enfin sectionner les fibres nerveuses sensibles qui parviennent à cette région bulbaire, et notamment les nerfs pneumogastriques qui en renferment d'importantes. Voilà donc ce centre respiratoire isolé des autres masses nerveuses qui auraient pu agir sur lui, ne recevant plus aucune des excitations sensibles recueillies par les récepteurs périphériques. Il n'est plus en liaison qu'avec les muscles inspireurs par l'intermédiaire de nerfs moteurs. Eh bien ! il n'en continue pas moins à commander rythmiquement les contractions du diaphragme ou des autres muscles de l'inspiration.

Quels facteurs entretiennent donc son activité et font qu'il

envoi d'une façon régulière, chez le lapin en moyenne 50 fois par minute, des ordres de mise en activité aux centres moteurs qui lui sont subordonnés et qui commandent à leur tour les muscles de l'inspiration ?

Les physiologistes ont été amenés, puisque c'est le but même de leur discipline, à rechercher parmi les facteurs d'ordre physique ou chimique ceux qui pouvaient intervenir en l'espèce.

On sait que les échanges respiratoires au niveau des surfaces pulmonaires ou branchiales, échanges rendus précisément possibles grâce aux mouvements d'inspiration et d'expiration, ont pour effet d'enrichir le sang en oxygène et de le débarrasser de l'acide carbonique qu'il contient en excès. Des variations de sens inverse vont s'accomplir quand ce sang, artérialisé dans le poumon ou la branchie, va irriguer les cellules des divers tissus. Il en revient appauvri en oxygène, chargé d'acide carbonique et de divers produits de déchet du fonctionnement cellulaire, en particulier d'acide lactique produit par le muscle, lorsque celui-ci a fourni un effort très intense. En un mot, il est devenu du sang veineux.

On a été ainsi amené à penser que c'est lorsque le sang, irriguant la région bulbaire et en particulier le centre respiratoire, a acquis un degré de veinosité suffisant qu'il excite les cellules nerveuses respiratoires. Ainsi se trouverait déclanchée l'inspiration qui ramène pour quelque temps le sang circulant à un moindre degré de veinosité, insuffisant pour exciter le centre. Puis, les cellules continuant sans cesse dans tout l'organisme en travail, la veinosité du sang atteint de nouveau le seuil de l'excitation, d'où nouvelle inspiration, suivie de repos, et ainsi de suite.

Une expérience célèbre en physiologie appuie cette façon de voir. Elle est due au professeur belge Léon Fredericq et est connue sous le nom d'expérience des circulations céphaliques croisées.

Etant donnés deux animaux, A et B, chiens ou lapins, la technique imaginée par le physiologiste belge consiste à sectionner les vaisseaux qui irriguent la tête chez chacun de ces animaux, et, avec des précautions opératoires sur lesquelles nous n'avons pas à nous arrêter, à anastomoser les bouts cardiaques des vaisseaux de l'animal A aux bouts céphaliques des mêmes vaisseaux de B. Réciproquement, les bouts cardiaques des vaisseaux de B sont anastomosés aux bouts céphaliques de A. Une fois ces anastomoses réalisées, la tête de A reçoit désormais le sang qui s'est artérialisé dans le poumon de B et réciproquement la tête de B est irriguée par le sang venant du corps et des poumons de A. On lie alors la trachée de A, de façon à ce que le sang ne puisse plus, dans le poumon de cet animal, se transformer en sang artériel. Il en résulte que tout le corps de A, irrigué par un sang qui ne peut plus s'artérialiser, va se trouver en état d'asphyxie. Seule la tête, avec la région bulbaire qu'elle contient, reste irriguée par du sang normal qui s'est artérialisé dans les poumons de B. Réciproquement, l'animal B a tout son corps ravitaillé en sang normal, puisque l'air continue à pénétrer librement dans ses poumons. La tête seule, et avec elle le bulbe, reçoit du sang asphyxique venant du corps de A.

Or, que constate-t-on en observant les deux animaux? C'est que A dont tout le corps est en péril d'asphyxie conserve une respiration tranquille et régulière. Il suffit donc pour que la respiration reste normale que le bulbe continue à être irrigué par un sang normal. Au contraire, chez B, dont la trachée est restée parfaitement libre, chez lequel les échanges respiratoires pulmonaires peuvent avoir lieu normalement, on voit tout de suite la respiration se précipiter, les mouvements devenir pénibles et convulsifs, bref, toute l'image, au point de vue des mouvements respiratoires, d'un animal en état d'asphyxie. Il a suffi que la région du bulbe soit irriguée par un sang fortement veineux

pour déclancher l'excitation respiratoire caractéristique de l'état asphyxique.

Ce qui se passe dans cette expérience ne serait que l'exagération de ce qui a lieu dans les conditions normales: dans ce dernier cas, les mouvements respiratoires se déclanchent en réponse à une veinosité légère du sang au niveau du centre nerveux.

Mais veinosité du sang, cela veut dire proportion augmentée d'acide carbonique, proportion diminuée d'oxygène. Laquelle de ces deux modifications chimiques est prépondérante pour régler la mise en activité des cellules nerveuses respiratoires?

Il n'est pas exagéré de dire que cette question, comme bien d'autres, a préoccupé plus d'une génération de physiologistes sans recevoir de réponse péremptoire et définitive. Il paraît toutefois que ces facteurs sont en jeu l'un et l'autre dans la régulation respiratoire, mais que le point de vue qui consiste à envisager seulement les modifications chimiques qui s'accomplissent dans le sang est trop étroit et insuffisant pour rendre compte de tout ce qui concerne la régulation de l'automatisme respiratoire. Ceci ressort en particulier des récentes et précises recherches du physiologiste américain Gesell, et nous allons prendre une idée très sommaire de sa théorie.

D'après Gesell, il faut considérer aussi les modifications chimiques dont les cellules nerveuses elles-mêmes sont le siège. Comme toute cellule vivante, elles ont besoin d'oxygène, elles produisent de l'acide carbonique. Elles produisent aussi, comme le font les cellules musculaires sur une plus grande échelle, de l'acide lactique, produit terminal d'une série de transformations chimiques libérant de l'énergie, transformations que les biochimistes commencent à connaître assez bien et qui ont pour point de départ le glycogène. Normalement, dans le muscle, cet acide lactique peut être brûlé et transformé en acide carbonique et en eau, pourvu que le ravitaillement en oxygène soit assuré d'une façon suffisante, ou que la production d'acide lactique,

c'est-à-dire le travail musculaire, n'ait pas été trop intense. De même au niveau de la cellule nerveuse, l'acide lactique sera plus ou moins facilement détruit, facilement quand le sang est riche en oxygène, difficilement quand il est pauvre. L'acide carbonique formé par ces mêmes cellules nerveuses sera plus ou moins facilement entraîné par le sang, difficilement quand celui-ci est déjà très chargé en ce même produit. Les deux facteurs de la veinosité du sang interviennent donc bien tous deux pour régler le taux des acides carbonique et lactique imprégnant le centre nerveux et formés par lui.

On peut ainsi, en définitive, dégager l'essentiel de ces faits en disant que la cellule nerveuse est incitée à l'activité dès que la quantité des acides qui l'imprègnent atteint une certaine valeur.

Nous pouvons encore exprimer ceci autrement en adoptant un langage plus moderne. Il aura l'avantage de nous montrer que finalement, parmi des facteurs en apparence multiples, il n'y en a qu'un qui compte pour la régulation de l'automatisme respiratoire.

Les divers acides, lorsqu'on les envisage en solution aqueuse, comme ils le sont dans les humeurs et les liquides cellulaires, ont cette propriété commune de se dissocier plus ou moins complètement en leurs ions constitutifs et de fournir tous le même ion porteur d'électricité positive, le même cation, H^+ . Seul, l'ion chargé négativement, l'anion diffère d'un acide à l'autre. Pour l'acide carbonique CO^2H^2 , la molécule qui se dissocie donne deux cations H^+ , et un anion $CO^3=$, porteur de deux charges électriques négatives ; pour l'acide lactique, il y a mise en liberté d'un ion H^+ et d'un anion $CH^3-CHOH-COO^-$. L'acidité réelle et effective d'une solution acide est déterminée par la concentration des ions H^+ libres dans cette solution. Eh bien ! l'analyse des faits physiologiques montre que le facteur de la régulation respiratoire doit être en définitive la valeur de la concentration des ions H^+ au niveau des cellules nerveuses.

Il va sans dire que d'autres mécanismes interviennent dans la régulation de la respiration. En particulier l'activité du centre respiratoire peut être modifiée dans un sens ou dans l'autre par des phénomènes réflexes. Mais nous n'avons pas à examiner ceux-ci dans cet exposé où nous nous préoccupons seulement de l'activité automatique du centre respiratoire lorsqu'il est isolé des autres masses nerveuses et des organes sensitifs périphériques. Même dans la régulation automatique, c'est-à-dire en faisant abstraction de tous les influx nerveux afférents générateurs possibles de réflexes respiratoires, des facteurs d'importance secondaire peuvent aussi intervenir à côté du facteur principal (concentration des ions H^+) pour modifier l'activité du centre. Ainsi, il paraît bien acquis que l'excitabilité des cellules nerveuses respiratoires vis-à-vis de la concentration des ions hydrogène est susceptible de variations suivant les proportions relatives d'autres ions présents à ce moment, et notamment des ions fournis par les sels les plus communs du milieu intérieur: cations Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , anions provenant de la décomposition des chlorures, phosphates, etc. De même la mise en jeu des cellules du centre dépendra évidemment de la température qui règne à leur niveau, c'est-à-dire de celle du sang qui les irrigue. Si cette température s'élève, il est à présumer que le travail chimique, le métabolisme des cellules nerveuses va se trouver augmenté; l'imprégnation acide sera plus rapide et le rythme des mouvements respiratoires devra s'accélérer. C'est en effet ainsi que les choses se passent, en faisant abstraction du procédé de régulation par voie réflexe, dans le phénomène de la polypnée thermique analysé jadis par Charles Richet.

★

Abandonnons ce premier exemple pour en examiner un autre non moins important, le rythme cardiaque.

Pour l'organe que nous considérons maintenant, il est encore très légitime de parler d'automatisme, puisque le cœur extrait de l'organisme, pourvu qu'il soit irrigué par un liquide convenable et placé à une température favorable, continue à pulser pendant de longues heures, et parfois des journées, suivant un rythme parfaitement régulier. Il est automatique en ce sens qu'il paraît avoir, en première analyse, tout ce qui est nécessaire au maintien de son activité.

Pendant bien longtemps une querelle a séparé en deux camps les physiologistes.

Comme il existe dans le cœur à la fois des cellules musculaires et des fibres et cellules nerveuses, on pouvait légitimement se demander lequel de ces deux éléments, nerveux ou musculaire, était responsable de l'automatisme cardiaque. C'était l'élément musculaire pour les physiologistes que l'on qualifiait de myogénistes, c'était les cellules nerveuses intra-cardiaques pour les neurogénistes.

Ici, comme dans bien des cas, aucun des deux camps ne possédait une vérité générale.

Il n'y a guère à citer comme cas où s'applique la théorie neurogène que celui de la *Limule*, grand Articulé marin chez lequel la contraction cardiaque est normalement commandée par des ganglions nerveux placés le long du cœur. La suppression de ceux-ci supprime l'activité du cœur.

Mais par ailleurs nous savons fort bien qu'il existe des cœurs ou des appareils à contractions automatiques analogues qui sont dépourvus de tout élément nerveux et qui, cependant, donnent des pulsations régulières.

Depuis longtemps on a fait remarquer que le cœur de l'embryon des Oiseaux est déjà le siège d'une activité rythmique fort apparente, alors qu'il est encore privé de tout élément nerveux. Par les techniques employées pour la culture des tissus, on peut même obtenir *in vitro* à partir du cœur embryonnaire

des vertébrés, des cultures de cellules contractiles qui présentent des mouvements rythmiques (Burrows).

Chez certains Mollusques, au cours du développement apparaissent très tôt des organes pulsatiles embryonnaires assurant, avant que le cœur ne se constitue, la circulation du milieu intérieur et qui sont dépourvus de cellules nerveuses. Chez les Mollusques adultes, il est des espèces où l'on peut dans le cœur démontrer très nettement l'existence de cellules nerveuses, toujours peu nombreuses d'ailleurs. Mais dans bon nombre d'autres cas, l'histologie est impuissante à faire la preuve de la présence de tels éléments. Chez l'Escargot en particulier, certaines cellules supposées jadis de nature nerveuse ne se révèlent pas comme telles avec les techniques modernes. En outre, il faut tenir compte du fait, démontré dans mon laboratoire, que tout fragment du cœur de cet animal, quelle que soit la région dont il provient (oreillette, base, pointe ou région médiane du ventricule), peut, lorsqu'il est isolé et placé dans un liquide convenable, avoir un fonctionnement rythmique, comme le cœur total. En admettant même qu'il existe des cellules nerveuses, elles ne peuvent être qu'en nombre très restreint, puisqu'elles échappent à des investigations histologiques soigneuses. En prélevant de petits lambeaux de l'organe, très diversement orientés, on a donc toute chance d'en rencontrer qui ne renferment point d'élément nerveux. Cependant tous se comportent de façon identique au point de vue du fonctionnement rythmique. Ce fait rend donc tout-à-fait douteuse la participation d'éléments nerveux à l'activité automatique.

Pour le cœur du Vertébré adulte qui, lui, renferme un système de ganglions nerveux bien connus, la question paraît se trancher d'une façon un peu différente. En plus des éléments nerveux et des fibres musculaires constituant la majeure partie du muscle cardiaque, les études anatomiques ont révélé un tissu spécial, réparti en amas ou nœuds et en travées ou faisceaux. Ce tissu

est formé de cellules contractiles, donc musculaires, mais de structure moins différenciée que les fibres myocardiques ordinaires. A ce tissu, appelé nodal ou conducteur, on a été amené à attribuer un rôle de premier plan dans la genèse des contractions rythmées.

L'un des principaux amas ou nœuds du tissu conducteur est situé en quelque sorte à l'entrée du cœur, c'est-à-dire dans la région où vient affluer le sang veineux : c'est le nœud sinusal. Or, on sait depuis longtemps que la région en question, tant chez le Mammifère que chez la Grenouille, est celle où débute la contraction qui se propagera ensuite aux divers étages du cœur. C'est aussi, sur le cœur agonique, l'endroit où persistent le plus longtemps les signes de l'activité rythmique.

Si l'on divise le cœur par des sections, on constate que les parties que l'on sépare ainsi du nœud sinusal cessent de battre rythmiquement ou tout au moins ne battent plus que suivant un rythme très lent. Celles, au contraire, qui restent en relation avec lui conservent leur fonctionnement normal. L'oreillette droite, par exemple, lorsqu'on l'isole avec le nœud sinusal tout proche pulse régulièrement et rapidement. L'oreillette gauche isolée, peu ou point pourvue en tissu nodal, reste au contraire inerte ou ne donne que des contractions rares et irrégulières. Le ventricule reste d'abord inerte, puis pulse ensuite sur un rythme très lent. On admet ainsi que la région sinusale, et en particulier le nœud de tissu nodal qu'elle contient, est l'entraîneur normal du cœur. C'est elle qui a l'automatisme le plus développé et qui propage et impose son rythme à tout l'organe. Les régions dénuées de tissu nodal sont aussi à peu près dépourvues d'automatisme. Si le ventricule isolé bat encore sur un rythme lent, c'est qu'il contient tout de même une portion du tissu conducteur, sous forme d'un faisceau (faisceau de His des Mammifères ou faisceau de Gaskell des Vertébrés inférieurs) qui part de l'oreillette droite pour s'épanouir vers la région

ventriculaire. Mais l'automatisme du tissu nodal deviendrait d'autant moindre qu'on s'éloigne davantage du nœud sinusal. Et si l'on isole du reste du cœur la pointe du ventricule seulement, le lambeau obtenu reste cette fois parfaitement inerte.

Ainsi, dans cette actuelle conception, la propriété d'automatisme n'aurait rien à voir avec les cellules des ganglions nerveux du cœur. La signification physiologique de ceux-ci devrait plutôt être rapprochée de celles des fibres nerveuses qui, émanant du système nerveux central, empruntent les voies des nerfs sympathiques ou parasympathiques et interviennent, non pour créer le rythme cardiaque, mais pour, dans une certaine mesure, l'accélérer ou le freiner suivant les circonstances.

Les cellules du tissu nodal étant en définitive des cellules contractiles, nous concluons qu'ici la propriété d'automatisme est bien l'apanage d'une fibre musculaire.

Certains auteurs ont songé, comme dans le cas du centre respiratoire, que la mise en jeu périodique de ces cellules musculaires du myocarde pourrait être conditionnée par un processus chimique. Deux savants, un Allemand, Haberlandt et un Belge, Demoor, ont soutenu cette théorie avec éclat dans ces dernières années. D'après eux, le système nodal du cœur, et en particulier le nœud sinusal qui tient sous sa dépendance l'automatisme et le rythme de l'organe, agiraient sur le myocarde par l'intermédiaire de certaines substances qu'ils sécrèteraient. Ils en trouvent la preuve dans ce fait que ces substances, solubles dans l'alcool et surtout dans l'eau, peuvent être expérimentalement extraites du tissu nodal et notamment du nœud sinusal. En effet, en laissant battre pendant un certain temps les parties du cœur riches en tissu nodal dans un peu de solution saline de Ringer ou de Locke, on obtient ainsi un liquide qui se montre capable de déclencher, quand on l'ajoute à une portion de myocarde exempte de tissu nodal, comme l'oreillette gauche, une activité rythmique normale.



Une question doit être effleurée ici pour souligner combien la notion d'automatisme, lorsqu'on va au fond des choses, est difficile à définir.

Le cœur entier ou simplement sa région sinusale nous apparaissent comme des organes automatiques en première approximation. En effet, lorsqu'ils sont isolés, ils continuent à battre normalement (encore faut-il qu'ils soient placés dans des conditions ambiantes convenables). La pointe du ventricule ou l'oreillette gauche dans ces mêmes conditions restent inertes ou ne donnent que de rares pulsations. Nous disons qu'elles sont dénuées, ou presque, d'automatisme. Cependant les voilà qui pulsent régulièrement et rapidement si, au liquide qui les baigne, nous ajoutons des substances actives de Demoor ou d'Haberlandt. Il en sera encore ainsi si nous les soumettons à l'action d'un courant constant: elles pulseront rythmiquement et régulièrement pendant le passage de celui-ci. Il peut enfin en être de même si nous imprimons à ces lambeaux cardiaques une distension, une traction. Disons-nous que, partant de systèmes à peu près dénués d'automatisme, nous avons réalisé des systèmes automatiques? Non, peut-être, car nous avons ajouté un facteur extérieur que nous connaissons bien et qui est arbitrairement choisi. Cependant, si nos organes ne sont pas, dans les conditions normales, soumis à l'action du courant constant, ils subissent bien dans l'organisme une certaine distension, du fait du sang qui les remplit. Peut-être aussi, comme le veulent Haberlandt et Demoor, reçoivent-ils constamment des substances actives. Alors, en tendant une oreillette droite, en l'imprégnant de substances actives, nous n'avons fait que nous rapprocher des conditions normales permettant à l'automatisme de se manifester.

Voici le cœur de l'Escargot. La plupart du temps, quand on l'extrait de l'animal et qu'on le laisse vide et non tendu, il ne bat pas ou ne bat que rarement. Est-il donc dépourvu d'automatisme? C'est ce que certains auteurs n'hésitent pas à affirmer pour le cœur de divers Mollusques. Mais si on modifie le procédé opératoire et qu'on dilate l'organe en y introduisant un peu de liquide, ou bien qu'on exerce sur lui une légère traction constante comparable à celle qu'il subit quand il est en place dans l'organisme, fixé par ses deux extrémités aortique et veineuse, il pulse très régulièrement. Son automatisme était-il latent tout à l'heure? Enfin, si nous changeons la composition du liquide qui le baigne nous modifions presque à notre gré son mode d'activité, comme j'ai eu l'occasion de le montrer dans des publications antérieures. En particulier, il suffit dans certains cas d'augmenter, dans la solution qui le baigne, la proportion des ions K par rapport aux ions Na pour passer d'un régime de contractions rapides et peu amples à un régime de très grandes systoles espacées. Quel est donc, de ces rythmes si différents, celui qui révèle le vrai automatisme de l'organe? Et la même question se pose aussi pour le cœur isolé des Vertébrés dont le mode d'activité dépend lui aussi de la façon la plus étroite de la composition du liquide de perfusion, comme on le sait depuis longtemps, depuis les magistrales recherches de Sydney Ringer notamment.

N'allons pas plus avant dans cette voie semée d'objections. Ce serait peut-être chercher une mauvaise querelle, car c'est un peu une querelle de mots. Mais elle est possible parce que la notion d'automatisme à laquelle on fait si volontiers appel est, je crois, une notion dangereuse, si on ne la considère pas comme une étiquette masquant ce que nous ignorons encore.

De fait, la propriété essentielle des systèmes que nous considérons, c'est la rythmicité, c'est-à-dire la faculté pour l'objet excitable de répondre successivement, à des intervalles de temps

bien réglés, à l'action des facteurs ambiants, ces derniers pouvant eux-mêmes agir en permanence et avec une intensité constante.

Cette propriété de la rythmicité, nous l'avons trouvée dans la cellule nerveuse du centre respiratoire, dans la cellule contractile du cœur. On la retrouve à vrai dire un peu partout dans l'appareil neuro-moteur.

Sur les muscles locomoteurs en particulier, on peut constater un fonctionnement rythmique autonome, c'est-à-dire complètement indépendant du système nerveux, dans quelques cas bien choisis.

Chez certains animaux inférieurs, Annélides par exemple, des muscles lisses, considérés comme dépourvus de toute cellule nerveuse, montrent des contractions ou des oscillations du tonus plus ou moins bien rythmées.

Citons aussi les très complètes et démonstratives études de Wintrebert sur les contractions rythmiques des muscles de l'embryon des Sélaciens, alors que ces muscles n'ont pas encore été atteints par le système nerveux.

Enfin, chez le Vertébré adulte, le muscle strié du squelette peut donner, lorsqu'il est isolé et placé dans certaines solutions salines, des contractions se succédant à des intervalles bien réguliers, pendant un temps plus ou moins long (Loeb, Mines et autres). Dans ces cas, cependant, il ne semble pas péremptoirement démontré que le point de départ des excitations rythmées est bien d'origine musculaire. Il n'est pas impossible qu'il corresponde à l'excitation chimique des fibres nerveuses motrices incluses dans le muscle. Car l'aptitude à répondre à un stimulus continu par des réactions rythmées, on la retrouve encore comme propriété de la fibre nerveuse, non pas seulement lorsqu'il s'agit de fibres sensibles dont on excite les terminaisons sensorielles, mais aussi lorsqu'il s'agit d'une fibre soumise en un point quelconque de sa longueur à une cause d'excitation permanente.

Sur ces derniers points, il faut citer principalement les constatations du physiologiste anglais Adrian et de ses collaborateurs.

Pour leurs recherches, ils ont mis au point une instrumentation délicate, comportant un oscillographe et un amplificateur à lampes et permettant de recueillir et d'enregistrer sur un film les influx conduits par les nerfs en réponse à l'action de divers excitants agissant sur les terminaisons sensorielles.

Certaines des expériences d'Adrian ont porté d'abord sur les influx qui cheminent dans le nerf optique quand la rétine est soumise à l'excitant lumineux.

Il faut disposer d'une longueur de nerf suffisante pour y placer deux électrodes qui recueillent et conduisent vers l'oscillographe l'onde électrique nerveuse qui est pour le physiologiste le test perceptible du passage de l'influx. Aussi choisit-on un animal chez lequel le nerf en question est assez long et d'un facile accès. En l'espèce, ces inscriptions ont été prises sur le Congrè.

Dans bien des cas, ce que l'on recueille ainsi et ce que l'on enregistre sur le film photographique, en réponse à une illumination de la rétine, c'est une succession irrégulière d'ondes électriques qui subsistent un certain temps en diminuant peu à peu de fréquence. La complexité de ces tracés s'explique facilement. En effet, le nerf sur lequel on opère comporte un grand nombre de fibres, dont chacune peut être parcourue par des influx; et si ces diverses fibres ne fonctionnent pas d'une façon parfaitement synchrone, il peut se produire des interférences ou, au contraire, des additions de leurs réactions individuelles, d'où, finalement, un tracé global complexe.

Ce sont encore des images du même ordre que l'on recueille quand on opère sur le nerf sciatique, chez la grenouille par exemple. Dans ce cas, on peut exciter les terminaisons de diverses fibres sensibles de ce nerf en étirant l'un des muscles

qu'il innerve. Cette action mécanique fait sentir ses effets sur les terminaisons sensibles contenues dans le muscle, et l'on recueille, par des électrodes placées sur le trajet du sciatique, une succession irrégulière d'influx, comme ci-dessus.

Mais l'analyse physiologique va gagner beaucoup en intérêt et en précision s'il est possible de mettre en jeu, non plus un grand nombre de fibres sensibles, mais seulement un très petit nombre ou même une seule.

On y parvient par un choix convenable de l'objet excitable.

Ainsi au niveau des tendons digitaux du chat, il existe des corpuscules tactiles, les corpuscules de Pacini, qui sont facilement accessibles, et il en est de même pour la branche du nerf digital qui les innerve. Si l'on exerce sur l'un de ces corpuscules une pression constante, le nerf digital est parcouru par une série d'influx se succédant à intervalles plus ou moins réguliers.

Un petit muscle de la grenouille, le sterno-cutané, ne renferme guère plus de trois ou quatre corpuscules sensitifs ; et ce nombre peut être réduit à un seul si on opère seulement sur un lambeau de ce muscle. En soumettant ce lambeau à une tension constante, par exemple en le chargeant d'un poids déterminé, on recueille alors sur le nerf une belle série d'influx rythmés.

Des phénomènes analogues peuvent s'observer quand ce ne sont plus les terminaisons nerveuses qui sont soumises à l'action permanente d'un excitant, mais un point quelconque situé sur le trajet des fibres nerveuses.

Par exemple, lorsqu'un nerf de Mammifère a été sectionné, il est souvent parcouru à partir de la section par des influx se succédant selon une fréquence rapide, par exemple 150 et plus à la seconde.

Ces faits font pressentir que, dans un très grand nombre de cas au moins, les influx afférents qui parviennent aux centres nerveux sont sériés, groupés en trains d'influx successifs plus

ou moins régulièrement rythmés. Il est non moins douteux que les cellules motrices de ces centres peuvent renvoyer vers les muscles, non des influx isolés, mais des successions d'influx rythmés, notamment quand elles commandent des contractions musculaires du type tétanique qui sont précisément celles qui interviennent dans les actes moteurs volontaires.

*

Tous les exemples qui précèdent indiquent que le mode d'activité rythmique peut se retrouver à tous les étages du complexe neuro-moteur: terminaisons sensorielles et fibres sensibles, cellules des centres nerveux, fibres motrices et fibres musculaires elles-mêmes. Ils nous montrent aussi en toute netteté la propriété qu'a l'élément excitable, quel qu'il soit, de répondre d'une façon rythmée à un stimulus, même permanent et d'intensité constante, de même que la pointe isolée du cœur ou l'oreillette gauche répondent ainsi à l'action du courant constant ou à la distension.

Quelle interprétation générale, c'est-à-dire s'appliquant à tout élément excitable, nerveux ou musculaire, peut-on donner de cette propriété? Celle qui est actuellement admise par les physiologistes s'appuie sur l'existence bien démontrée de la période réfractaire.

Pendant une partie de sa systole, le cœur est réfractaire aux excitations qui lui parviennent. Il n'y réagit en aucune façon, tandis qu'il répond par une extrasystole à toute excitation suffisamment forte qui l'atteint en dehors de cette période. C'est là un fait fondamental démontré par Marey sur le cœur des Vertébrés. Et cette même propriété peut être mise en évidence facilement aussi sur le cœur d'un Invertébré comme l'escargot, ainsi que je l'ai indiqué jadis. La fibre du muscle

strié du squelette a aussi une période réfractaire, mais ici extrêmement brève, et il en est de même de la fibre nerveuse. En ce qui concerne cette dernière, des expériences précises ont, en effet, montré que, quand elle vient d'être parcourue par un influx, elle n'est pas immédiatement capable d'en conduire un second. Cette même période réfractaire se retrouve certainement pour les cellules nerveuses.

Lorsque nous considérons de tels éléments excitables soumis à un excitant d'intensité constante, dès la première réponse de l'élément, tout se passe, en vertu de la période réfractaire, comme si momentanément le stimulus était interrompu. Dès que l'état réfractaire se dissipe, c'est comme si le stimulus était appliqué une seconde fois: nouvelle réponse, nouvelle période réfractaire et ainsi de suite. C'est ainsi que l'on explique comment la pointe du ventricule cardiaque bat rythmiquement pendant le passage d'un courant constant. C'est à la période réfractaire que Charles Richet et Broca ont fait appel jadis pour expliquer les réactions des cellules nerveuses de l'écorce cérébrale en réponse à l'excitation électrique. C'est encore la période réfractaire qu'Adrian invoque pour expliquer les influx rythmés parcourant les fibres nerveuses en réponse à un stimulus d'intensité constante agissant sur les terminaisons sensorielles. C'est donc là un moyen d'explication très généralement accepté par les physiologistes, sans soulever, à notre connaissance, de critiques. Et cependant il est permis de s'étonner que cette notion n'ait point été soumise à une discussion plus serrée, car, après tout, quelques difficultés peuvent bien être envisagées.

Il paraît douteux que l'état réfractaire d'un élément excitable se dissipe subitement suivant une loi de tout ou rien. En tous cas, si l'on examine un complexe formé de tels éléments, le cœur par exemple, on constate facilement que la phase réfractaire paraît d'autant plus étendue qu'on emploie pour la déli-

miter un excitant d'intensité plus faible. Elle se réduit au contraire d'une façon nullement négligeable quand l'excitant d'épreuve est fort. Ceci est très évident notamment sur le cœur de l'escargot. Par conséquent, quand la phase réfractaire se dissipe après un premier fonctionnement sous l'effet d'un courant constant, tout ne se passe pas absolument comme si l'excitant avait été interrompu et réappliqué ensuite brusquement. Tout doit, au contraire, se passer comme si l'excitant revenait agir progressivement sur l'objet à exciter.

Or il est un autre fait, démontré par les physiologistes, c'est que si l'on applique à un objet excitable un stimulus dont l'intensité croît avec une suffisante lenteur, on n'obtient point d'excitation. Un courant galvanique appliqué à un nerf et dont on fait croître l'intensité suivant une loi linéaire par exemple peut, sans exciter, atteindre des intensités très élevées. Il suffit que l'intensité s'élève en fonction du temps suivant une pente inférieure à une certaine pente limite, caractéristique d'ailleurs du tissu excitable étudié.

Il est donc permis de se demander si, lorsque l'état réfractaire se dissipe, la valeur croissante du stimulus comme excitant est bien suffisante pour déclencher effectivement une nouvelle excitation. Il est possible qu'il en soit ainsi. Mais l'on peut à bon droit s'étonner qu'on acquiesce sans contrôle à cette opinion et que les physiologistes qui, si souvent, ont eu recours au mode d'explication que nous venons de voir, n'aient pas cherché à préciser d'une façon plus étroite le rapport qui peut exister entre la pente limite du tissu considéré et la rapidité plus ou moins grande suivant laquelle disparaît l'état réfractaire.

Une autre question peut être posée. Lorsque l'élément nerveux ou musculaire entre en jeu de façon rythmée, quels sont à chaque fois les phénomènes intimes dont il est le siège ?

Nous sommes ici encore complètement dans le domaine de l'hypothèse, et cette question est liée au problème du processus

même de l'excitation. Un grand nombre de physiologistes, à la suite de Nernst, inclinent à penser, pour toute une série de raisons que nous ne développerons pas ici, qu'il se produit au moment de l'excitation une modification de l'équilibre normal des électrolytes ou plutôt des ions résultant de la dissociation de leurs molécules. Et parmi ces ions, il convient de considérer surtout les ions H et OH fournis par la dissociation des acides et des bases et les ions alcalins et alcalino-terreux, Na, K, Ca, Mg, fournis par les sels les plus abondamment représentés dans les organismes.

Nous soulignons tout à l'heure ce fait que l'activité d'un organe rythmique comme le cœur était étroitement dépendant de la présence des sels et de leurs proportions relatives, que l'activité rythmique de la cellule respiratoire était réglée en première ligne par les ions H ; mais elle dépend aussi de la présence ou de l'absence des autres ions Na, K, Ca, Mg, de même que l'activité cardiaque est aussi influencée par les ions H et OH du milieu ambiant. De telles constatations et d'autres nombreux résultats expérimentaux, au premier rang desquels il faut placer ceux de J. Loeb, indiquent que, très certainement, le fonctionnement rythmique est étroitement conditionné par les substances minérales.

★

La plupart des physiologistes cherchent à trouver, des phénomènes vitaux qu'ils étudient, une représentation dans le monde inanimé. Ils aiment à construire des schèmes purement mécaniques, physiques ou chimiques pour rendre compte des manifestations aperçues dans le monde organisé. Dans le cas qui nous occupe en ce moment, ils n'y ont point manqué, et voici, par exemple, une tentative de ce genre.

Partant de cette idée que l'influx nerveux peut être une modification chimique qui se propage le long de la fibre et dont nous pouvons seulement déceler la variation électrique concomitante, un physiologiste américain, Lillie, s'est proposé de construire un modèle de nerf artificiel.

Certains fils de fer, corde à piano par exemple, conviennent bien pour ce but. Plongé dans l'acide nitrique concentré, un tel fil devient passif, c'est-à-dire qu'il se recouvre d'une couche d'oxyde qui le met ensuite à l'abri de l'action de l'acide nitrique dilué. Plongé dans une solution d'acide de dilution convenable, cette corde reste donc inaltérée. Mais si l'on porte, en un point de sa surface, par exemple vers l'une de ses extrémités, une excitation mécanique ou électrique, on voit immédiatement se produire une modification visible à l'œil et qui se propage avec une certaine vitesse vers l'autre extrémité. Cette modification consiste en la production d'un oxyde inférieur du fer avec dégagement de produits nitreux, et sa propagation s'explique de la façon suivante. Au point excité, on a, momentanément, détruit la très fine couche d'oxyde de fer et cette région va fonctionner comme anode vis-à-vis de la région voisine porteuse de la couche d'oxyde encore intact. La conséquence de ce courant local est la réoxydation du point excité avec mise en liberté de gaz nitreux aux dépens de l'acide (par exemple $\text{HNO}_3 + 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{NO}_2 + 5\text{H}$) et, au contraire, la réduction de l'oxyde porté par la région voisine grâce aux ions H ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H} = 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{Fe}$) provenant également de la dissociation de l'acide nitrique. Cette région va à son tour fonctionner comme anode vis-à-vis des suivantes et ainsi de suite de proche en proche. Le processus de réoxydation demandant un certain temps pour atteindre son terme, quand le fil a répondu à une première excitation, il y a une période réfractaire pendant laquelle de nouvelles excitations restent sans réponse. Puis il reprend son état et ses propriétés initiales. Bien entendu, lors de

la propagation de proche en proche de la modification chimique que nous venons de voir, il est possible de recueillir sur ce nerf artificiel une variation électrique qui n'est pas sans analogie avec celle que donne un nerf lors de la propagation d'un influx. Par divers autres points, le nerf artificiel se comporte d'une façon analogue au nerf naturel. Pour ce qui nous occupe ici, il est intéressant de souligner que, dans certaines conditions expérimentales, lorsqu'une région du fil est soumise à une cause permanente d'excitation, le reste de sa longueur peut être rythmiquement parcouru par des modifications chimiques qui se propagent comme il vient d'être dit en se succédant suivant un certain rythme.

D'autres modèles relevant de la même tendance ont été réalisés. En particulier, on peut appliquer les propriétés des lampes à néon montées en parallèle avec un condensateur pour réaliser des perturbations électriques régulièrement rythmées. En couplant convenablement à l'aide de lampes triodes trois de ces systèmes ainsi réalisés on obtient un dispositif qui reproduit d'une façon fort fidèle les phénomènes électriques dont le cœur pulsant est le siège (van der Pol et van der Mark). Ce modèle purement physique permet d'obtenir des électrocardiogrammes artificiels en tous points identiques à l'électrogramme d'un cœur normal. Ils peuvent même, au gré de l'expérimentateur, imiter les diverses modalités anormales que le clinicien constate dans les cas pathologiques.

Bien entendu, ces modèles ne présentent sans doute que des analogies grossières avec ce qui se passe en réalité dans les systèmes vivants excitables. Ils ont l'avantage de faire image et de montrer que, pour interpréter les faits biologiques, point n'est besoin de parler un autre langage que celui du physicien ou du chimiste. Bref, ils ont surtout le mérite de tendre vers le but ultime de l'investigation physiologique et de répondre au besoin qu'a tout physiologiste digne de ce nom de ne voir dans le phé-

nomène vital qu'il étudie que la mise en jeu des seuls facteurs physico-chimiques, dans un milieu dont la composition et la structure, prodigieusement complexes, sont, il est vrai, encore pleines d'inconnues pour lui.

H. CARDOT,
*Professeur à la Faculté des Sciences
de l'Université de Lyon.*

Le gerant, PAUPHILET.

Imp. M. AUDIN, 3, rue Davout, Lyon.

