

De tels succès sont les fruits d'un travail collectif, commenté par le C.N.E.S. La présente intervention vise à souligner le rôle fondamental de l'appareil de haute précision Cactus (capteur accélérométrique capacitif triaxial ultra-sensible) développé avec ténacité pendant 14 ans à l'Office national d'Études et de Recherches aérospatiales (O.N.E.R.A.).

Les objectifs furent fixés, en vue d'applications à la navigation par inertie, par M. Pierre Contensou, l'actuel Directeur général de l'O.N.E.R.A. La référence choisie était la capacité de l'appareil à détecter l'accélération provoquée par la pression de radiation solaire. La précision se révèle aujourd'hui supérieure d'un ordre de grandeur.

Pour obtenir un tel résultat, et pour oser proposer aux géophysiciens et astronomes une coûteuse expérience sur satellite, il fut nécessaire d'éliminer de nombreuses causes d'erreurs, risquant de noyer dans un intolérable bruit de fond la minuscule grandeur à détecter. Les expériences en tour d'impesanteur ne pouvaient pas suppléer l'analyse méthodique des phénomènes dont la manifestation en vol était prévisible : bombardements divers, charge électrostatique, etc.

Une preuve particulièrement saisissante du succès est la capacité de l'accéléromètre à détecter, pendant la nuit, l'anisotropie de son propre rayonnement thermique.

Il est vraisemblable que de nombreuses applications d'intérêt scientifique ou militaire suivront cette brillante démonstration.

NOTICES NÉCROLOGIQUES OU BIOGRAPHIQUES SUR LES MEMBRES ET LES CORRESPONDANTS

*Notice nécrologique sur JACQUES DUCLAUX,
Membre de la Section des Sciences chimiques,*

par M. René Wurmser

La disparition de Jacques Duclaux le 13 juillet 1978 a suivi de peu l'hommage, extrêmement discret selon son désir, qu'il avait reçu de notre Compagnie à l'occasion de son centenaire. Il était né le 14 mai 1877 à Lyon. Son père Émile Duclaux y était professeur à la Faculté des Sciences et devait d'ailleurs dès l'année suivante être nommé à Paris pour y continuer, dans le laboratoire de la rue d'Ulm, sa mémorable collaboration avec Pasteur. Il avait épousé une fille du mathématicien Charles Briot. Jacques n'avait que 2 ans quand elle mourut. Émile Duclaux demeura longtemps inconsolable. Il ne se remaria que 20 ans plus tard avec la poétesse anglaise Mary Robinson, veuve elle-même de l'orientaliste James Darmesteter. Ce furent M^{me} Briot et sa fille, épouse du physicien et membre de l'Académie des Sciences Eleuthère Mascart, qui veillèrent sur l'enfance de Jacques Duclaux et de son frère aîné.

Très jeune, Jacques Duclaux manifeste son attrait pour la chimie. Ses études sont d'ailleurs si brillantes qu'il passe son baccalauréat à 15 ans, avec dispense d'âge, et entre premier à l'École normale supérieure à 18 ans. Il est encore premier à l'agrégation de physique.

A cette époque où l'on ne circule pas couramment d'un continent à l'autre, existe une fondation, due au fameux mécène Albert Kahn, qui décerne des bourses dites du tour du monde. Jacques Duclaux obtient l'une d'elles et voyage pendant près de 2 ans.

A son retour il entre au laboratoire de l'École normale comme agrégé préparateur et entreprend le travail qui constituera sa thèse de doctorat, soutenue en 1904. L'année suivante il épouse Germaine Appell, fille du recteur Paul Appell. Bientôt il sera père de trois enfants, Mathilde, Françoise, Jean.

Aux approches de la trentaine, il a déjà établi les bases de la théorie des colloïdes qui est son œuvre majeure. Elles sont nettement exposées dans sa thèse. Bien que physicien et chimiste de formation c'est à cause de son intérêt biologique qu'il a choisi ce sujet pour son premier travail. Était-il attiré par l'éclat des découvertes pastoriennes, proches encore, et auxquelles son père avait participé de façon si féconde? Quoi qu'il en soit il ne cessa jamais de méditer sur les caractéristiques physicochimiques des phénomènes vitaux.

Il a été frappé par les idées de Graham sur le rôle physiologique des colloïdes et l'utilité de leur étude pour éclairer les phénomènes de la vie. Ce point de vue lui paraît avoir été négligé, notamment en ce qui concerne le pouvoir catalytique de ce que l'on appelait alors les diastases. Il pense que l'étude des propriétés physiques, les seules habituellement envisagées, ne suffit pas et qu'il faut entreprendre des investigations d'ordre chimique. Il n'attaque pas directement le problème de la catalyse. Ni la physique ni la chimie ne sont assez avancées pour cela. Si l'on espère comprendre la nature des diastases et au-delà celle de la matière vivante une étape lui paraît être la détermination des propriétés générales des solutions colloïdales.

Jacques Duclaux entreprend ce travail où il ira aussi loin que le permettent les techniques et les connaissances fondamentales en ces premières années du siècle. Les colloïdes naturels sont des mélanges que l'on ne sait pas séparer et qui par conséquent ne se prêtent pas à une expérimentation précise. Seuls des colloïdes synthétiques tels que l'hydrate ferrique, les sulfures, les ferrocyanures peuvent être obtenus à un degré de pureté convenable. C'est donc sur eux qu'il fait porter ses analyses.

Il réussit à écrire les équations chimiques correspondant à la formation de ces colloïdes par des réactions de double décomposition entre des cristalloïdes. Or, telles qu'elles apparaissent dans ces équations, les formules représentant les particules ne sont pas exactement celles que l'on attend de la loi des proportions multiples. Une particule contient en effet, à l'état dissimulé, une petite quantité d'un des réactifs employés à sa fabrication et qui n'a pas subi la double décomposition. Ce n'est pas une impureté mais au contraire la partie active du colloïde dont dépendent les propriétés les plus importantes de celui-ci. La composition de la particule varie d'ailleurs de façon continue avec les modes de préparation et il existe entre elle et le liquide interparticulaire un échange de radicaux constituant un véritable équilibre chimique. L'action coagulante des électrolytes provient de la substitution de certains de leurs ions aux parties actives des particules.

A partir de ces premiers résultats, Jacques Duclaux développe sa théorie chimique des colloïdes. Dans de nombreux travaux il se donne pour but, selon sa propre expression, de « montrer les analogies et non pas les différences entre les solutions colloïdales et les solutions ordinaires ».

On admettait que la pression osmotique d'une solution colloïdale est nulle. Il prouve le contraire, et montre expérimentalement qu'on observe pour les colloïdes la relation thermodynamique existant entre la pression osmotique et l'abaissement de la température de congélation. La pression osmotique d'une solution colloïdale, rapportée à une concentration conventionnelle, mesure sa stabilité.

Un autre rapprochement des solutions ordinaires et des solutions colloïdales résulte de la mise en évidence de la conductibilité électrique de ces dernières, contrairement encore une fois à la notion courante. Grâce à l'ultrafiltration Jacques Duclaux parvient à montrer que les solutions colloïdales dans l'eau sont toutes conductrices, que les colloïdes sont donc des électrolytes et qu'ils doivent être étudiés comme tels. La charge des particules provient de l'ionisation de leur partie active. Résultat capital à l'appui de sa théorie. Celle-ci cependant rencontrera une longue opposition de la part des chimistes colloïdistes, la plupart continuant à ne considérer, comme origine des charges, que l'adsorption d'ions venus du solvant et négligeant la spécificité chimique des substances.

Ces travaux sont interrompus par la guerre. Jacques Duclaux, mobilisé comme sergent de territoriale, devient chef d'une section de repérage au son. Il est ainsi amené à résoudre un important problème théorique posé par la superposition d'une onde sonore provenant du canon et d'une onde de choc provenant du projectile. Il reçoit la Croix de guerre en 1915, est nommé lieutenant et finalement affecté au laboratoire de Chimie de guerre de L.-J. Simon.

De retour à l'Institut Pasteur, il entame un nouveau chapitre de l'étude des colloïdes. Rappelons que c'est pour le rôle biologique de ces substances qu'il s'y est intéressé. Parce que certaines de leurs propriétés les rapprochent des « diastases », mais aussi parce qu'elles sont le matériau universel des constructions vivantes. A ce point de vue l'étude des propriétés générales des colloïdes, telle qu'il l'a accomplie sur les colloïdes minéraux, ne suffit plus. Il faut l'étendre aux substances naturelles susceptibles de former, dans certaines conditions, des filaments, des membranes, bref des structures. Une série de travaux sur la cellulose donne d'importants résultats surtout dans leurs applications. Une approche plus directe vers la connaissance des milieux cellulaires est l'étude des gels réversibles. Duclaux suggère que leur comportement peut être expliqué en admettant qu'ils sont constitués par deux substances dont l'une forme avec le solvant des solutions véritables tandis que l'autre est insensible à l'action de ce solvant. Mais il n'a pas eu le temps de vérifier cette conception qu'elle est brillamment confirmée par deux savants américains.

Il travaille en effet dans des conditions difficiles, obligé à certains moments de sacrifier une partie de son temps à des conseils industriels, presque toujours sans aide. Les biologistes étaient généralement prêts à reconnaître l'importance de la chimie physique pour l'avenir de leur discipline mais peu enclins à lui céder des postes et à encourager de jeunes chercheurs à s'y préparer.

La solitude dans laquelle il travaillait, je me souviens d'en avoir été frappé, en 1919, quand pendant quelques semaines il m'accueillit dans son laboratoire de l'Institut Pasteur pour y effectuer une préparation où l'adsorption avait un rôle important. Une seule pièce, immense mais sans équipement, en fait une ancienne salle de machines. Était-ce la parcimonie de la direction qui était excessive ou la rigueur de caractère de Jacques Duclaux qui, en réclamant de meilleurs moyens, aurait craint de profiter du prestige de son nom et des amitiés qu'il avait dans cette maison? Quoi qu'il en soit il ne disposa d'un laboratoire convenable qu'à partir de 1930 quand il s'installa à l'Institut de Biologie physicochimique comme chef du Laboratoire des colloïdes. Il avait 52 ans.

Peut-être pensait-il que dans d'autres circonstances il aurait développé lui-même ou vu se développer autour de lui l'étude chimique de l'état colloïdal dont il était l'initiateur et qui progressait dans les laboratoires étrangers. Il avait tiré de ses expériences de 1905 sur la

conductibilité des solutions colloïdales la conclusion que les colloïdes aqueux sont tous des électrolytes. Mais ce n'est que 14 ans plus tard, en Amérique, que parurent les premiers travaux effectués à ce point de vue sur les protéines et qui comptent parmi les plus connus de Jacques Loeb.

La notion même que l'absorption des ions d'un électrolyte précipitant résulte de leur substitution par les radicaux du colloïde était, 15 ans après que Jacques Duclaux l'ait établie, reprise et présentée comme nouvelle. « Un homme seul » écrit-il dans un exposé de titres « ne peut rien pour la diffusion de ses propres idées, surtout lorsque 4 années de guerre et 10 d'après guerre ont passé sur lui ».

Ces mots datent de 1931, l'année même où il est nommé professeur de Biologie générale au Collège de France. Il mène désormais de front ses activités d'enseignement et de recherche. Le laboratoire du Collège, un pavillon promis à la démolition, ne lui offre pas de moyens nouveaux. C'est à l'Institut de Biologie physicochimique qu'il poursuit ses études sur la cellulose. Staudinger vient de montrer qu'il est possible d'obtenir par des réactions de polymérisation tous les intermédiaires entre certains composés de bas poids moléculaire et des composés de très haut poids moléculaire formés de ce qu'il appelle des macromolécules. Cette conception cadre avec les idées de Jacques Duclaux dont le but a toujours été de faire entrer l'étude des colloïdes dans la chimie ordinaire. Bien plus, la conception de macromolécule ressort de toute son œuvre. Il a montré lui-même 20 ans plus tôt, on s'en souvient, qu'on peut par une suite de réactions de double décomposition obtenir à partir de petites molécules inorganiques des particules colloïdales atteignant des dimensions considérables et qui sont, au nom près, des macromolécules. Il les a traitées comme telles dans l'interprétation de ses mesures de pression osmotique. Pour lui, ce qui reste à faire est précisément d'étendre aux colloïdes organiques le même type d'expérimentation afin d'assurer le fondement physique de la notion de macromolécule. Dès 1934 une série d'expériences portant sur la nitrocellulose montre que l'on obtient dans des solvants variés une même valeur limite de la pression osmotique quand croît la dilution, que par conséquent les macromolécules de nitrocellulose sont des unités bien définies.

L'auteur de ce travail décisif, Alma Dobry, contribuera par la suite à de nombreux progrès dans le même domaine. Mariée avec Jacques Duclaux en 1940, elle lui succédera en 1959 dans la direction du laboratoire de Chimie macromoléculaire de l'Institut de Biologie physicochimique.

Si l'étude fondamentale des colloïdes constitue l'œuvre maîtresse de Jacques Duclaux il fit beaucoup d'incursions dans d'autres domaines. Je ne peux que mentionner, pour en montrer la diversité, des recherches sur les radiations ultraviolettes qui ont été marquées par de très ingénieuses innovations techniques, des études sur la constitution de l'eau, la chaleur spécifique des corps composés, l'intervention de la chimie dans la théorie du rayonnement calorifique, la théorie des gaz réels. Rien que sur ce dernier sujet ont paru une quarantaine de publications dont la première remonte à 1924 et la dernière est de 1977.

Une autre question qui pendant des années a intéressé Jacques Duclaux est la transparence de l'atmosphère sur laquelle les idées courantes lui paraissaient trop simples. C'était pour lui un travail de vacances. Il faisait ses expériences, quand le temps le permettait, en Auvergne dans sa propriété familiale d'Olmet. Il y était parfois aidé par son fils Jean, alors jeune physicien, que Jacques Duclaux eut la douleur de perdre dans la force de l'âge, laissant le souvenir de son activité exceptionnellement courageuse au temps de l'occupation.

Enfin parmi les problèmes pratiques dont Jacques Duclaux s'est occupé certains sont à l'origine d'inventions remarquables. Par exemple celle du verre triplex dont malgré le succès industriel il ne tira qu'un avantage dérisoire. Ou encore celle d'un appareil pour produire de l'eau chaude en captant l'énergie solaire, qui date d'avant la dernière guerre, et qui ne fut pas exploitée.

A partir de sa nomination au Collège de France Jacques Duclaux consacra à l'enseignement une grande part de son activité. Il entreprit de rédiger à lui seul un *Traité de Chimie physique appliquée à la biologie* dont parurent deux volumes qui forment avec son livre bien connu *Les Colloïdes* une source irremplaçable de données et d'idées sur les substances macromoléculaires en solution.

En dehors de ces ouvrages spécialisés il a laissé de nombreux écrits. Entre 1907 et 1911 il collabora à la *Revue du Mois*, fondée par Émile Borel et qui avait une large audience dans le milieu des universitaires et anciens élèves des grandes écoles. Une *Chimie populaire à l'usage des Curieux*, et un exposé sur les applications du calcul des probabilités, *La Science de l'incertitude* sont de remarquables réussites de vulgarisation. Je citerai enfin *L'homme devant l'univers* qui a pour objet de montrer comment la science a permis aux hommes de dominer leur « petitesse et leur insignifiance » à l'échelle du Monde et de créer une « supernature » moins défectueuse : un grand livre d'optimisme raisonné.

L'importance qu'il a lui même donnée à la critique et le talent qu'il y a déployé ont parfois brouillé la vraie figure de Jacques Duclaux. En tête d'un de ses ouvrages qui a eu le plus de retentissement *La chimie et la matière vivante* paru en 1910, on lit « La seule manière vraiment scientifique de traiter la matière vivante consisterait à écrire au-dessous du titre : on ne sait rien et à renvoyer à une seconde édition qui pourrait paraître dans 20 ou 50 ans ». Cette phrase a alerté les philosophes. Émile Meyerson y a vu un désenchantement à l'égard des tentatives de réduction des processus biologiques à des processus purement physiques, peut-être même une teinte de vitalisme. Il nota néanmoins que Jacques Duclaux « si peu porté à juger d'un œil favorable les conquêtes passées, ne doute cependant point que l'avenir ne nous réserve, dans cet ordre d'idées, de grandes clartés ».

Il semble bien que pour Jacques Duclaux connaître quelque chose sur la matière vivante était avoir un peu pénétré dans le domaine de passage du non vivant au vivant. Sans déprécier l'effort des devanciers on doit admettre qu'aux débuts du siècle rien ne leur permettait d'étudier en physicochimistes une propriété vraiment caractéristique de la vie. Quand, dans l'introduction de son *Traité* Jacques Duclaux insiste sur la différence entre la chimie de laboratoire et la chimie vivante ce n'est pas pour tracer une limite à la recherche expérimentale. Au contraire il suggère une voie entièrement nouvelle, qui fait penser à la biochimie submoléculaire d'aujourd'hui. Dans un dernier livre *Du chaos à l'homme* écrit après les grandes découvertes des années 1950-1969 qui ont transformé la biologie, mais en la laissant néanmoins surtout descriptive, il fait le récit des étapes déjà franchies pour rattacher les phénomènes vitaux aux propriétés fondamentales de la matière. Il se fie aux audacieux. « Quelque long que reste le chemin que nous avons à faire, nous avons la satisfaction », dit-il, « de nous sentir sur la bonne voie et de penser qu'elle est à notre mesure ».

Dans ces ouvrages, qui sont d'un grand écrivain, Jacques Duclaux a montré combien il savait concilier les exigences de son esprit critique et son attrait pour les conceptions aventurées. Il tenait d'ailleurs pour essentielles ces qualités chez l'homme de science.

Résolument antidirigiste en matière de recherche son souci dominant était d'aider les esprits créateurs. A l'Institut de Biologie physicochimique, où il a travaillé pendant près d'un demi-siècle et fait partie des conseils de direction et d'administration il était toujours prêt à soutenir les initiatives comportant une vraie nouveauté et les chercheurs isolés dont l'imagination le séduisait.

Rarement la disparition d'un homme si âgé laisse un vide si apparent. C'est que Jacques Duclaux a prolongé bien au-delà de l'ordinaire son activité scientifique. Son dernier mémoire date d'un an avant sa mort.

Travailleur infatigable, soucieux de sa totale indépendance, Jacques Duclaux, malgré les nombreuses relations qu'il tenait de son milieu familial, paternel et maternel, a mené une existence retirée. Très tôt il cessa de fréquenter le club des boursiers du Tour du Monde apprécié par tant de normaliens et même le salon de Mary Duclaux, un des plus interdisciplinaires centres intellectuels de Paris. Toute sa vie pourtant, il est resté accueillant, prêt à faire profiter de son étonnante mémoire, merveilleux causeur dont l'humour — souvent agressif à la vérité — était infiniment spirituel et amusant.

Il était président d'Honneur de la Société de Chimie physique qu'il avait contribué à fonder, président d'Honneur aussi de la Société chimique de France, ancien membre du Conseil de l'Institut international de Chimie Solvay, Docteur Honoris causa de l'Université libre de Bruxelles. Son œuvre de pionnier avait fini par être internationalement reconnue. Il dut être particulièrement sensible, au moment de son centenaire à des messages tels que ceux de la Faraday division de la Chemical Society et de la Deutsche Bunsengesellschaft für physikalische Chemie.

Jacques Duclaux est entré en 1939 à l'Académie des Sciences où son père, à qui il ressemblait par tant de traits, a laissé lui-même un souvenir inoubliable. Élu dans la section des membres libres, il choisit de passer lors de notre réorganisation à la section de chimie, où l'appelaient ce qui avait été l'idée guide de sa recherche. Il l'avait exprimée lui-même : « le fait chimique est la base de presque tout ». Quand, dans les toutes dernières années, ne quittant plus guère son domicile, il avait dû renoncer à assister à nos séances, il n'avait pas pour autant cessé de s'y intéresser et il faisait connaître avec sa verve coutumière ses avis sur nos problèmes. Pour sa part l'Académie lui avait unanimement manifesté ses sentiments en lui décernant la plus haute distinction qu'elle peut conférer à un chimiste : la médaille Lavoisier.

Au nom de notre Compagnie, j'adresse à M^{me} Duclaux et à la famille de Jacques Duclaux l'expression de notre profonde sympathie.

PLIS CACHETÉS

A la demande de l'auteur, le pli cacheté accepté en la séance du 27 juin 1977 et enregistré sous le n° 15.839 est ouvert par M. le **Président**. Le document qui en est retiré sera soumis à l'examen de la Section des Sciences mécaniques.

OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *Notice sur la vie et l'œuvre du Professeur Robert Debré*, par M. R. DUBOIS-MANNE, in Bulletin et Mémoires de l'Académie royale de Médecine de Belgique;