

NOTICES NÉCROLOGIQUES OU BIOGRAPHIQUES  
SUR LES MEMBRES OU LES CORRESPONDANTS

*Notice nécrologique sur* GEORGES DARRIEUS

*Membre de la Section des Sciences mécaniques,*

par M. Robert Legendre

Le grand ingénieur et savant français Georges Darrieus nous a quittés le 15 juillet 1979, dans la 91<sup>e</sup> année de son âge. Il fut l'inspirateur d'un grand nombre des innovations qui favorisèrent l'essor de la production et de la distribution d'énergie électrique et ses conceptions furent exploitées dans le monde entier. Parallèlement, il faisait bénéficier de l'étendue de son savoir et de la finesse de son jugement de nombreuses générations d'ingénieurs.

Ayant été, dès le début de ma carrière et bien souvent ensuite, l'un de ceux qui recevaient ou sollicitaient ses bienveillants conseils, j'espère être en mesure de dégager, sans trop d'imperfection, les traits les plus saillants d'une existence consacrée aux grandes réalisations industrielles et à la science.

Georges Darrieus était l'aîné des huit enfants de l'Amiral Gabriel Darrieus. Ce brillant marin et inventeur fut Commandant du premier sous-marin français, le *Gymnote*. Il dirigea les perfectionnements de ce nouveau type de navire, notamment en montrant l'utilité pour la finesse du pilotage en immersion de la mise en place, près de l'étrave, d'un gouvernail de plongée, dit barre avant. Il contribua à une meilleure conception des accumulateurs de sous-marins, installés dans une atmosphère confinée et soumis à des décharges rapides en plongée; il inventa les accumulateurs alcalins qui furent perfectionnés plus tard par Edison. Il fut : Chef de Cabinet militaire, Professeur à l'École de Guerre, Préfet maritime, Membre de l'Académie de Marine. Il méritait d'être aimé et admiré par ses enfants qui éprouvaient aussi amour et reconnaissance envers leur mère. Celle-ci savait leur assurer la continuité d'une solide éducation intellectuelle et morale lors des fréquentes absences d'un officier de marine.

Georges Darrieus, manifestant un goût précoce pour l'industrie, s'orienta vers l'École Centrale des Arts et Manufactures où il fut un brillant élève, s'intéressant vivement aux enseignements de Paul Appell et Émile Picard. Au cours de son service militaire dans l'artillerie, il obtint l'autorisation d'acquérir une licence de physique dans l'Institut électrotechnique de Toulouse, dirigé par Charles Camichel. En 1912, il s'engagea à la Compagnie Électromécanique dont il était encore le conseil à la veille de sa mort. Au cours de près de 70 ans de service, il contribua au développement considérable de cette compagnie, licenciée de la société suisse Brown Boveri. Il fut aussi le conseiller écouté de cette dernière société qui prit la tête d'un puissant groupe international.

Il avait déjà commencé à exercer vigoureusement son métier d'ingénieur, prenant des responsabilités et déposant un premier brevet de grand avenir, lorsqu'il fut mobilisé comme lieutenant d'artillerie. Avec la grande souplesse d'adaptation dont il fit preuve tout au long de sa vie, il exerça immédiatement son imagination en se distinguant de ses camarades déconcertés par une guerre de position pour laquelle ils ne s'étaient pas préparés. Les batteries d'artillerie sont vite repérées par l'ennemi si elles n'ont pas une grande mobilité au voisinage de l'infanterie clouée dans les tranchées. Il est donc important

de tirer vite, souvent sans visibilité directe, et avec précision. Georges Darrieus perfectionna les méthodes de géodésie et topographie pour accélérer leur mise en œuvre, puis il découvrit que les tables de tir tenaient compte des effets de la pression et de la température sur la densité de l'air, mais non des effets de la température sur la célérité du son. Le rôle du nombre de Sarrau, dit plus souvent nombre de Mach, est aujourd'hui familier, mais les artilleurs avaient négligé des phénomènes de peu d'effet pour un tir de campagne ajusté empiriquement. Il convient ici de reproduire intégralement le texte accompagnant la nomination de Georges Darrieus dans l'Ordre de la Légion d'Honneur :

« Officier d'élite, joignant à une culture scientifique très étendue les plus hautes valeurs morales. Commandant d'une batterie sur le front, a découvert, après des études remarquables, une loi de balistique importante. N'a cessé d'être pour ses subordonnés un bel exemple de courage et de devoir. Une blessure, a déjà été cité deux fois ».

Ces quelques phrases situent déjà remarquablement bien, l'homme, le savant, le réalisateur.

Démobilisé en 1919, il revient à la Compagnie Électromécanique. Il déborde rapidement du cadre d'activité d'un fournisseur de matériel pour devenir le conseil des sociétés de production et de distribution d'électricité et l'un des plus imaginatifs des ingénieurs de conception et d'innovation du groupe Brown Boveri.

Il s'intéresse d'abord à l'organisation et aux méthodes d'exploitation des grands réseaux qui commencent à se développer. Il démontre que la compensation de la puissance réactive des lignes à courant alternatif permet d'envisager une extension infinie du maillage. Il fait comprendre que la tension peut être maintenue sensiblement constante sur de grandes distances, ce qui, à l'époque, est de nature à surprendre les électriciens habitués aux chutes de tension sur des lignes à courant continu. Le mode de fonctionnement qu'il préconise est aujourd'hui celui de tous les grands réseaux d'interconnexion dans le monde.

Il évalue ensuite le nombre des postes de compensation en montrant qu'ils peuvent être relativement espacés et assurer néanmoins une propagation quasi instantanée de la phase apparente. Il optimise l'inertie des turboalternateurs d'un réseau en fixant un niveau suffisant pour assurer la stabilité par un couplage judicieusement conçu. Il définit un réglage rationnel de la fréquence et de la répartition des charges entre les centrales, dit fréquence phase, dont les bases sont aujourd'hui connues sous le nom de théorème de Darrieus. Il établit une méthode très générale de prévision des effets de perturbations variées sur un réseau qui l'amène à concevoir un moyen d'excitation rapide des alternateurs, limitant les risques de décrochage.

Par ailleurs, il s'intéresse aux lignes de transport en intervenant énergiquement pour l'accroissement de la tension. Il calcule le comportement mécanique des lignes et de leurs supports pour en réduire le coût et accroître la sécurité. A cette occasion, il invente un système de support articulé à la base qui satisfait aux deux objectifs et pare aux aléas du vent, de la neige et du givre. Il participe aussi aux études d'électrification des chemins de fer en trouvant des moyens pour écarter les difficultés particulières aux réseaux spéciaux qu'il faut concevoir.

Parallèlement, il apporte des idées neuves lors des projets de diverses machines électriques.

Reprenant et perfectionnant son invention de 1914, il provoque l'étude, la construction et les essais en Suisse des moyens de réglage de la vitesse qu'il avait conçus, exploitant un couplage en cascade qui se révèle pleinement satisfaisant et prêt pour de larges applica-

tions industrielles. Étudiant les mécanismes de commutation il établit une théorie, rendant compte des faits observés et constituant un guide pour les projeteurs. Il imagine un bobinage simple qui, grâce à des connexions équipotentielles, assure la commutation dite : à cage d'écureuil.

Approfondissant l'étude des grands alternateurs et analysant les phénomènes qui se manifestent lors d'un court circuit, il explique le mécanisme de l'amortisseur et les particularités des oscillogrammes enregistrés, mettant à la disposition des bureaux d'études une méthode de calcul qui comporte la résolution de l'équation de la chaleur de Fourier. Il procède à une étude exhaustive de la stabilité des grands réseaux électriques et montre les avantages considérables que présente pour les gros alternateurs, une excitatrice, excitée elle-même en série et il engage avec succès la Compagnie Électromécanique dans le développement de ce type d'excitation.

Amené à concevoir une station d'essais des disjoncteurs, il imagine un alternateur d'un type entièrement nouveau, adapté à la brutalité du fonctionnement qui est exigé de lui. Plus tard, il inspire l'étude, au bénéfice du Commissariat à l'Énergie atomique, d'un alternateur dont le rotor, pesant une tonne est capable de supporter le quasi choc d'un arrêt en un centième de seconde, à partir d'une vitesse de rotation de 100 tr/s. Cette remarquable machine destinée à des essais de fusion nucléaire contrôlée, permet de concevoir un groupe plus puissant, capable de fournir des impulsions, correspondant à une puissance de 100 MW soutenue pendant une seconde, à la cadence d'un tir toutes les 4 mn. En raison de l'étendue de ses connaissances, il n'éprouve aucune difficulté à s'adapter aux études d'accélérateurs d'électrons et inspire des projets de cyclotrons, bétatrons, synchrotrons. Il systématise enfin les projets de transformateurs et participe à l'étude des locomotives électriques.

En mécanique des fluides, son action s'exerce dans deux directions sensiblement différentes mais dont les points communs se manifestent dans les projets de la Compagnie Électromécanique.

L'une de ces directions prolonge les travaux qui l'avaient illustré pendant la guerre de 1914. Il systématise ses résultats au cours des années qui suivent l'armistice de 1918 en fournissant aux artilleurs les lois de comportement des projectiles supersoniques. Il établit de nouvelles tables de tir, tenant compte de la rotation et de la nutation des obus et recommande des méthodes d'essais sur les polygones de l'Armée et de la Marine. Il invente un projectile sans traînée d'ondes, analogue au biplan de Büsemann. Il établit des projets de souffleries subsoniques ou supersoniques et fournit, pour ces dernières, un procédé de calcul de leurs tuyères de détente, relevant de la méthode des caractéristiques mais assorti d'un ingénieux moyen de raccordement dans le domaine transsonique qui s'établit aux cols des tuyères. Il forme plusieurs des ingénieurs qui seront plus tard les constructeurs des souffleries supersoniques. Celles-ci deviennent nécessaires à l'aéronautique, dès que le franchissement de la célérité du son par les avions est prévisible. Beaucoup d'ingénieurs, mettant en œuvre l'aérodynamique qui leur fut enseignée, ne se doutent pas que bien des notions de base furent imaginées, ou introduites en France avec des apports originaux, par Georges Darrieus.

La seconde direction des recherches en mécanique des fluides intéresse les turbomachines, telles que les turbines à vapeur des centrales électriques, les compresseurs axiaux, les turbines à gaz.

Pour les turbines à vapeur, il est l'un des premiers à ne pas se satisfaire d'une analyse unidimensionnelle de l'écoulement. Il s'intéresse aux grilles d'aubes qui sont des schémas

bidimensionnels des ailettes, puis à l'évolution de la circulation le long de l'envergure d'une ailette et à l'équilibre radial.

Les compresseurs axiaux furent inventés par Parsons qui ne réussit pas à construire des machines de rendement acceptables. Georges Darrieus, étudiant le mécanisme de la compression, beaucoup plus délicat que celui de la détente et s'appuyant sur les nouvelles connaissances du comportement des ailes portantes, reconnut qu'il n'y a pas d'obstacle insurmontable à concevoir une machine satisfaisante. L'étude et la construction de prototypes, conduites selon ses vues, eurent des succès éclatants qui assurèrent une avance importante et durable à son groupe pour les applications industrielles. La première de ces applications bénéficia précisément aux compresseurs pour souffleries subsoniques et supersoniques relevant du premier ensemble de recherches. Vinrent ensuite les premières turbines à gaz, associant un compresseur axial à une turbine, qui trouvèrent un emploi à la suralimentation des chaudières à combustion sous pression, dites Velox; puis les turbines à gaz de suralimentation des moteurs à explosion et des moteurs Diesel; enfin les turbines à gaz autonomes, généralement utilisées à l'entraînement d'alternateurs d'appoint ou pour sites isolés. Tous les grands réacteurs d'aviation modernes sont équipés de compresseurs axiaux qui prolongent les succès de Georges Darrieus.

En 1936, la Marine militaire décide de commander deux turbines à gaz expérimentales de 10 000 ch, l'une à la Société Rateau, l'autre à la Compagnie Électromécanique. La première sera saisie par l'occupant en 1940. La construction de la seconde fut poursuivie partiellement dans le secret, mais les essais, difficiles à cacher ne furent entrepris qu'après la guerre et la mise au point nécessaire fut rapidement abandonnée en raison des énormes progrès coûteusement effectués en Angleterre et en Allemagne pendant les hostilités, certains de ces progrès prolongeant les productions connues du groupe Brown Boveri. Il importe de souligner que la machine de la Marine bénéficiait de brevets, pris par Georges Darrieus, pour la protection thermique des aubes de la turbine par des films d'un air relativement froid, prélevé au refoulement du compresseur. Les dispositions technologiques avaient fait l'objet de patientes recherches théoriques et de nombreuses expériences sur grilles d'aubes, visant à une optimisation raffinée pour que le prélèvement d'air au compresseur ne compromette qu'une faible partie du bénéfice assuré par une température de foyer très élevée. Toutes les turbines des turboréacteurs d'aviation modernes bénéficient, dès que leur puissance est assez notable, de systèmes de refroidissement qui dérivent directement des idées de Georges Darrieus.

La fertilité de l'imagination de cet inventeur est bien illustrée par la conception d'une machine tournante complètement différente des précédentes et sans parenté avec celles qui étaient en usage pour l'exploitation de l'énergie des vents. Aujourd'hui encore, le Canada construit des éoliennes conformes à un brevet ancien de Georges Darrieus. Ce dernier, trop averti des réalités économiques, n'attachait pas un prix exceptionnel à l'emploi d'une source d'énergie fort aléatoire, surtout à une époque de plein essor de l'industrie du pétrole, mais il savait toujours trouver du temps pour résoudre les petits comme les grands problèmes qui lui étaient posés; il comprit que la difficulté du projet d'une éolienne classique, constituée par un moulinet à axe horizontal orientable, perché en haut d'un pylone, était la réalisation économique d'une structure assez robuste pour résister aux tempêtes. Il inventa une éolienne à axe de rotation vertical, acceptant n'importe quelle direction du vent. Il remplaçait ainsi un échafaudage fragile par un mat vertical léger mais rigide et haubanné.

Un autre exemple de son ingéniosité est fourni par l'infléchissement qu'il donna à la conception de la machine frigorifique à vapeur d'eau de Maurice Leblanc dont la charge lui fut transmise après le décès de l'inventeur. Un autre spécialiste des turbomachines se serait contenté d'utiliser un compresseur classique, éventuellement quelque peu adapté, et aurait dégagé sa responsabilité d'un échec. Georges Darrieus, analysant les difficultés avec méthode, rapidité et clairvoyance, comprit que l'énorme viscosité cinématique de la vapeur d'eau à basse pression interdisait l'accès à un rendement acceptable pour une machine non étanche. Il conçut alors une machine volumétrique extrêmement originale, réalisant un rapport de compression de 10 à grand débit au travers de deux rotors, et ceci sans utiliser des garnitures d'étanchéité.

Ses études de thermodynamique sont liées à celles des turbomachines et beaucoup d'entre elles visent l'accroissement du rendement thermique des centrales. Il diffusa largement ses idées par des publications qui eurent un grand retentissement international.

En liaison avec Émile Jouguet et Henry Le Chatelier, il montra l'intérêt pratique de la notion d'énergie utilisable d'un combustible, différente des divers pouvoirs calorifiques conventionnels. Il fit évoluer le cycle de la vapeur par multiplication des soutirages de vapeur aux turbines à basse pression et des étages de réchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières. Il développa la notion de flux d'entropie, qui n'est pas indispensable mais se révèle très commode pour établir un parallèle entre deux accroissements d'entropie par irréversibilité : l'un est provoqué par le travail intérieur de la viscosité, le second résulte de la transmission de chaleur sous gradient de température. Ce dernier se trouve séparé de la variation d'entropie de signe variable, qui est conservative à chaque instant et peut être considérée comme l'effet propre de l'échange de chaleur. Il faut observer que la première Note sur le flux d'entropie remonte à 1917 et qu'elle est le fruit de ses réflexions lors des séjours qu'il fit dans les hôpitaux pour soigner ses blessures successives.

Il s'est intéressé aux mécanismes de la combustion turbulente et les conclusions qu'il a dégagées s'appliquent aussi bien à l'interprétation des variations de la vitesse de déflagration lors des accidents dans les mines qu'à la compréhension des mécanismes de combustion dans les foyers des chaudières ou de déflagration et d'explosion dans les moteurs à essence alimentés par carburateurs.

Les rapides commentaires ci-dessus ne peuvent donner qu'une idée sommaire d'une activité d'ingénieur multipliant les conceptions originales et déposant plus de 50 brevets, tous de qualité assurée par la critique des services spécialisés d'une société importante. Plus de 700 publications ou notes intérieures au groupe Brown Boveri, d'étendues très diverses, traitent aussi bien du choix de dispositions technologiques soigneusement critiquées, que de la conception de grands équipements ou de questions scientifiques. Certains de ses exposés magistraux furent des révélations pour de nombreux ingénieurs mécaniciens ou électrotechniciens et eurent une influence importante sur l'évolution de leurs carrières.

Toute son œuvre technique est imprégnée de science. Il avait lu dans les textes originaux les travaux de Gibbs, Maxwell, Lord Kelvin, Lord Rayleigh et les avait suffisamment approfondis pour être instantanément en mesure d'indiquer leurs domaines d'application. Il ne se reportait pas moins à Ampère et connaissait parfaitement l'œuvre de physicien de Henri Poincaré. Il travaillait en liaison avec Émile Jouguet, Émile Barillon, Henri Villat, Henry Le Chatelier. Il se tenait informé des travaux de Lorentz et d'Einstein qu'il

était en mesure de commenter brillamment en esquissant leur incidence sur les recherches appliquées. Ses publications sur l'évolution de la physique fondamentale débordent toutefois largement du cadre de la vulgarisation scientifique et contiennent des aperçus originaux, illustrant ses dons à faire saisir par des images simples les conséquences de phénomènes complexes. Son apport à la physique fut reconnu publiquement et à deux reprises par notre confrère Louis de Broglie, s'exprimant en ces termes :

« Vous êtes aussi un physicien de haute valeur qui n'a jamais perdu le goût des vues générales et des hautes spéculations scientifiques. Jusque dans vos études à caractère plus technique, on retrouve chez vous le physicien d'envergure ».

Il disait encore :

« Unissant à une connaissance approfondie de la pratique industrielle le goût de la recherche scientifique, M. Darrieus est un exemple de ces techniciens de haute classe, peut-être trop rares en France, qui, établissant une liaison féconde entre la science pure et la science appliquée, les maintiennent en contact pour le plus grand profit de l'une et de l'autre ».

Georges Darrieus était déjà deux fois Lauréat de l'Académie des Sciences, de la Société des Ingénieurs Civils de France, de l'Office national des Recherches et Inventions, lorsqu'il fut élu, en 1946, dans la Section des Applications des Sciences à l'Industrie. Il fut Président de la Société Française des Électriciens en 1947, de la Société des Ingénieurs Civils de France en 1952, de la Société d'Encouragement à l'Industrie nationale en 1955. Il était titulaire de la Croix de Guerre de 1914-1918 et il avait éminemment mérité d'être élevé à la dignité de Commandeur de la Légion d'Honneur pour ses services civils et militaires exceptionnels, en temps de paix comme en temps de guerre.

Georges Darrieus était simple et modeste. Il était cependant ferme dans ses opinions, qu'il défendait sans jamais élever la voix. Une attitude maladroite ou un manque de déférence le laissait quelques instants silencieux et son regard exprimait peine et commisération plutôt que colère. Bienveillant, parce que profondément bon et altruiste, il discernait les qualités des hommes et cherchait à les mettre en valeur. La banalité et la médiocrité ne méritaient pas de retenir son attention; il savait en faire abstraction pour dégager d'un exposé une petite idée constructive ou même un détail qu'il avait jugé valable.

Même lorsqu'il était encore chargé de lourdes responsabilités, son bureau s'ouvrait pratiquement sans délai à quiconque de sérieux venait lui demandait conseil. Il n'ignorait pas combien son temps était précieux mais il se faisait un devoir de ne pas faire attendre, pour l'intérêt de sa société et pour l'intérêt général.

Malgré l'ascendant qu'il avait acquis sur son entourage et auprès de nombreux services publics, malgré aussi son regard expressif révélant une volonté contenue, il conservait un fond de timidité assorti à sa modestie et soutenait, par sympathie, ceux dont les scrupules donnaient prise aux critiques d'hommes superficiels mais plus hardis : un jeune ingénieur présentant les résultats de ses premiers travaux était-il contredit avec insolence et décontenancé, il élevait le débat pour faire entendre à l'interpellateur, sans l'humilier, l'importance des nuances; il montrait ensuite que les résultats présentés étaient perfectibles et promettaient des développements utiles.

Sa puissance de travail était considérable. Elle était alimentée par l'enthousiasme et par cette curiosité intellectuelle qui conduit à ne rien négliger de ce qui peut être utile.

Même lorsqu'il dirigeait un grand nombre d'ingénieurs et de dessinateurs, il n'hésitait pas à dessiner lui-même ou à construire des maquettes avec une grande habileté manuelle. L'idée ne lui venait pas que de tels travaux étaient indignes de lui, ou plutôt, il ressentait l'importance, pour sa fécondité, de conserver une pleine activité de savant et d'ingénieur, passant d'aperçus sur la physique moderne ou la topologie au dessin ingénieux d'une bobine électrique. Un classement des valeurs lui paraissait vain, s'il n'avait pas pour critère l'utilité du travail consciencieux, achevé et bien fait.

Son intelligence était vive et profonde. Il n'était pas de ceux qui parlent vite et sans réfléchir. Il savait écouter, qualité rare, et dès qu'une question lui était clairement exposée, il surprenait son interlocuteur en généralisant, imaginant des solutions et situant où des informations complémentaires pouvaient être recueillies; lorsque l'accroissement de sa surdité commençait à l'isoler, il n'avait rien perdu de sa vivacité d'esprit et donnait de judicieux conseils à ceux qui continuaient à le consulter.

Dans sa famille, Georges Darrieus entretenait la tradition de vertus assez profondes pour se dispenser de se conforter par l'intolérance. Avec l'assistance d'une femme dévouée, décédée quelques mois avant lui, il éleva ses six enfants selon les stricts principes moraux et religieux que lui avaient transmis ses parents.

Que ses enfants soient assurés que l'Académie s'associe à leur peine et regrette la disparition d'un savant doué d'immenses qualités d'intelligence, de fécondité et de bonté. Que la fierté qu'ils en éprouvent légitimement commence à les consoler.

#### OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS

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

1° *Phénomènes de fixation — Désorption du mercure sur les argiles dans les eaux à salinité variable. Application à l'estuaire de la Loire*, par MARYVONNE FRENET (Thèse, Nantes);

2° *Diffuzionnaja zona (La zone de diffusion)*, par JAKOV E. GEGUZIN;

3° *Nestacionarnie processy matematičeskogo programirovanija (Les processus non-stationnaires de la programmation mathématique)*, par IVAN I. EREMIN et VLADIMIR D. MAZUROV;

4° *Raspredelenie sobstvennykh značenij (Distribution des valeurs propres — utilisation des opérateurs différentiels et auto-adjoints ordinaires)*, par ANATOLIJ G. KOSTJUČENKO et IŠKHAN S. SARGSIAN;

5° *Teorija nelineinykh sistem avtomatičeskogo regulirovanija i upravlenija (Théorie des systèmes non-linéaires de réglage et de commande automatique)*, par EVGENIJ P. POPOV;

6° *Teorija inercial'nykh sistem navigacij (Théorie des systèmes de navigation à inertie)*, par PAVEL V. BROMBERG;

7° *Kvantovaja mekhanika (La mécanique quantique)*, par ARSENIJ A. SOKOLOV, IGOR M. TERNOV et VLADIMIR Č. ŽUKOVSKIJ;

8° *Osnovy Kristallofiziki (Les bases de la cristallographie)*, par JURII I. SIROTIN et MARIANNA P. ŠASKOL'SKAJA;