



## **Joseph BETHENOD**

### **Sa vie et son oeuvre<sup>1</sup>**

Par M. G. DARRIEUS  
Ingénieur en Chef à la Compagnie Electro-Mécanique.

La mort de notre regretté collègue, survenue subitement le 21 février 1944 et dont la nouvelle, si inattendue, nous a tous consternés, frappe une fois de plus douloureusement l'Electrotechnique française, si particulièrement éprouvée dans ces dernières années. Notre ancien Président peut être, en effet, considéré comme le plus jeune et le dernier représentant de ce petit groupe de grands savants et inventeurs français autodidactes, les Potier, Maurice Leblanc, Blondel, Picou, Boucherot, qui ont tant contribué à constituer et à faire rayonner notre science dans la forme où nous la voyons enseignée aujourd'hui.

Me considérant comme désigné par un vœu surprenant, quoique exprimé avec insistance, où nous ne voulions naturellement voir, il y a un an, qu'une simple boutade et non un sinistre pressentiment, je veux remplir aujourd'hui de mon mieux le pieux devoir d'évoquer devant vous la vie et la carrière d'un collègue, maître et ami, que sa bienveillance, son affabilité et sa bonté font pleurer tous ceux qui ont eu le privilège de l'approcher.

Né à Lyon le 27 avril 1883, d'un père architecte, Francisque Bethenod, et d'une mère, Jeanne Charvet, appartenant à une famille lyonnaise honorablement connue dans la soierie pour ornements d'église, enfin neveu de M. Emile Bethenod, qui fut Président du Crédit Lyonnais, il fit ses études classiques à l'Institution des Minimes. Nous savons par lui-même que, studieux, ayant le travail facile, et bien doué pour les études littéraires, il manifesta de bonne heure un vif attrait pour les sciences et pour la mécanique, puisque, dès l'âge de 8 ans, il exécutait des dessins de locomotives qui, par l'échelle et la minutie des détails, ne pouvaient déjà plus être considérés comme l'oeuvre d'un enfant.

Entré très jeune (en 1900) en 2<sup>e</sup> année à l'Ecole Centrale lyonnaise et ayant dû renoncer ensuite, pour des raisons de famille, à préparer l'Ecole Normale supérieure, il se consacra, dès sa sortie, à l'Electrotechnique, reconnaissant tout de suite les mémoires fondamentaux et les maîtres, notamment Maurice Leblanc, Blondel et Boucherot, dont l'exemple et l'influence déterminèrent l'orientation de sa carrière. C'est ainsi qu'ayant eu l'audace et, comme il

---

<sup>1</sup> Communication présentée à la Société française des Electriciens le 2 décembre 1944.

l'ajoutait, la chance de soumettre, en 1903, à André Blondel, son premier travail sur le moteur à répulsion, il devint l'assistant de celui-ci, ce qui lui permit de s'initier pendant deux ans dans son laboratoire de Levallois et sous cette éminente direction, à la technique expérimentale, notamment à l'emploi de l'oscillographe.

Le service militaire (1906-1907) et la recommandation de Blondel le mirent en relation avec le Général (alors capitaine) Ferrié et ses collaborateurs, les lieutenants Brenot et Girardeau, ce qui, en attendant que ces derniers l'associassent, en 1910, à la fondation de la Société Française Radio-Electrique, lui procura l'occasion de participer activement à l'essor, si rapide au cours de cette période, de la télégraphie et de la téléphonie sans fil.

En 1907, après son service militaire, tout en demeurant en relations étroites avec son ancien maître Blondel, et continuant de collaborer avec le Capitaine Ferrié, il devint secrétaire de la rédaction de la revue *L'Eclairage électrique*, alors installée rue des Ecoles, dans une ambiance sérieuse et laborieuse qu'il aimait à évoquer. Cette situation, qu'il conserva deux ans, marque le début d'une contribution importante à la plus ancienne et la principale des revues françaises d'Electrotechnique, puisqu'il ne lui a pas donné moins de 20 articles de 1904 à 1909.

Lorsqu'en 1908 la revue reprit le titre de *Lumière électrique*, que portait celle à laquelle elle avait succédé en 1894, préoccupé sans doute de ne pas laisser paraître trop souvent son nom dans cette publication, il se plut à intriguer ses lecteurs en se couvrant, pendant quelque temps, du pseudonyme de Cornélius Herz, disparu du monde électrique en 1893 en même temps que la revue qu'il avait fondée, et dont les plus anciens d'entre nous ont pu connaître la personnalité entreprenante et un peu équivoque.

C'est à cette époque d'activité féconde que remontent ses principaux travaux sur l'Electrotechnique et la Télégraphie sans fil que nous allons passer en revue, en nous efforçant de les classer par sujets, bien que les deux techniques des courants forts et des courants faibles se trouvent dans son œuvre assez enchevêtrées et que, suivant une remarque qu'il a faite lui-même et dont l'histoire de la science et des inventions fournit bien d'autres exemples, plusieurs de ses succès résultent d'une heureuse transposition des dispositifs utilisés par l'une ou par l'autre.

Nous avons eu recours notamment pour cette tâche aux deux notices assez complètes qu'il a établies lui-même respectivement en 1936 et 1939 à l'occasion de sa candidature à l'Académie des sciences.

## A. — ELECTROTECHNIQUE GENERALE

### I. — *Moteurs à collecteur.*

Les premiers mémoires de J. Bethenod se rapportent aux moteurs à courant alternatif à collecteur, notamment au moteur monophasé que les premières applications de la traction électrique sur voie ferrée mettaient à l'ordre du jour, et au développement duquel se rattachent alors principalement, en France, les travaux de Maurice Leblanc, Lehmann, Roth, M. Latour et Perret.

Sa première publication, parue en octobre 1903 dans *la Houille blanche* : « Essai sur la théorie des alternomoteurs à réaction » est, en effet, consacrée à une théorie du moteur à répulsion qui tient compte, pour la première fois, des fuites magnétiques et qui, par une heureuse intuition qu'il mettait à l'origine des succès ultérieurs de sa carrière, fut sa seule introduction auprès de son futur maître, André Blondel, alors Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

D'autres études sont consacrées au fonctionnement des divers types de moteurs à collecteur, aux règles de leur dimensionnement, enfin à leurs applications.

Le premier brevet qu'il céda, acquis en 1908 par la Société alsacienne de Constructions mécaniques, pour la somme, qui lui parut alors considérable, de 1 500 francs-or, se rapportait précisément à un moteur à répulsion générateur de puissance réactive ; il évoquait l'année dernière encore la joie inoubliable que lui valut ce premier succès, début d'une active

collaboration, qui dura de 1909 jusqu'à sa mort, avec cette puissante Société, ainsi qu'avec l'Alsthom dès la fondation de cette dernière en 1928. C'est à ce titre d'ingénieur-conseil qu'il étudia, avec Edouard Roth, de 1910 à 1912, plusieurs systèmes de réglage de vitesse des rupteurs d'induction par groupe en cascade, qu'il publia en 1922, la première théorie générale du transformateur de fréquence à collecteur, et proposa divers perfectionnements pour le réglage des moteurs polyphasés à collecteur et leur freinage par autoamorçage.

Enfin deux courtes notes en 1908, relatives à la théorie de la commutation, sur laquelle il est revenu en 1934, et à la fameuse équation différentielle due à notre collègue P. Girault, constituent sa contribution à une intéressante discussion, à laquelle avaient notamment pris part H. Poincaré et M. Latour, et témoignent comme à l'ordinaire de la clarté d'esprit et du sens physique très sûr de leur auteur.

## II. — *Moteurs d'induction et machines synchrones.*

Une de ses premières inventions paraît avoir été celle qu'il réalisa lorsque s'occupant, dès 1902, pour le compte de la Maison Gelin, à Lyon, de l'étude et de la mise au point de petits moteurs destinés à la commande individuelle de machines à broder, à coudre, etc., il établit, outre un moteur universel à collecteur et un moteur d'induction triphasé à deux vitesses par changement du nombre de pôles, un moteur d'induction monophasé démarrant avec le couple normal dont le démarrage reposait sur l'obtention, par simple induction mutuelle et sans recours à des condensateurs, d'un déphasage de  $\Pi : 2$  entre circuits. La théorie de ce dispositif, rédigée en 1904, n'a été complétée et publiée qu'en 1917, au Bulletin de notre Société (*Sur les procédés de démarrage des moteurs monophasés d'induction*, t VII, 3<sup>e</sup> série, 5 Juillet 1917, p 195). J. Bethenod attachait justement une certaine importance à cette solution sur laquelle il est revenu dans une de ses dernières Notes à l'Académie des Sciences (Cf. *R. E. G.* avril 1943, p. 125), car, non seulement il en fit, en 1912, l'application à l'alimentation d'une antenne de télégraphie sans fil par un alternateur diphasé mais il en indiqua la relation avec le problème, devenu important par la suite, de l'équilibrage statique d'une charge monophasée, ou de la compensation de la puissance fluctuante qui constitue le caractère essentiel du déséquilibre d'un système polyphasé.

Il reconnut même ce résultat curieux — que mentionne seulement en quelques mots un de ses brevets<sup>2</sup>, et dont il me fit part à cette époque — que; si les enroulements par lesquels s'effectue l'accouplement magnétique variable entre les phases, sont libres de se déplacer l'un par rapport à l'autre, le réglage s'effectue automatiquement par une variation spontanée de leur induction mutuelle; mais il ne paraît pas en avoir indiqué nulle part la démonstration, qui donne comme seule condition de la stabilité que la somme des inductances propres des deux phases, défalcation faite éventuellement des capacités destinées à les compenser, demeure positive. Cette omission, qu'à l'encontre d'autres analogues, il n'a pas jugé utile de réparer par la suite, procède d'un certain détachement qui se traduit dans la rédaction de ses écrits par la tendance à une extrême concision, dont il ressentait bien le danger pour le rayonnement de ses idées, puisqu'il donnait lui-même à d'autres le conseil d'en éviter l'excès.

Plusieurs de ses travaux se rapportent aux diagrammes des machines à courant alternatif. Dès 1904, alors que les diagrammes antérieurs du moteur asynchrone aboutissaient, par additions et retouches successives, à des constructions assez compliquées, il montra qu'un seul cercle se prêtait à la représentation complète du couple, du glissement, des pertes, etc., tout en tenant compte rigoureusement de la résistance primaire. Si, par la suite, une forme encore plus simple et plus élégante a pu être donnée à ce résultat<sup>3</sup> qu'il étendit en 1906 au cas du moteur monophasé asynchrone, la découverte en appartient bien à notre regretté collègue.

Il fut l'un des premiers à reconnaître et à utiliser ce résultat général que toute substitution linéaire ou transformation homographique

---

<sup>2</sup> Brevet français n° 605.180 du 24 janvier 1925 au nom de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

<sup>3</sup> Liénard (Observations de M.), *R.G.E.*, XXII. 21 avril 1928, p. 726.

$$y = \frac{ax + b}{cx + d}$$

d'une variable  $x$  réelle ou complexe (comme le glissement), dont l'affixe décrit une droite ou un cercle, conduit elle-même à un diagramme circulaire pour  $y$ .

En 1918, il établit le premier diagramme des moteurs polyphasés tenant compte de la saturation magnétique, et sa solution, naturelle et générale, nous paraît encore préférable à celles qui ont été proposées par la suite. D'autres études sur les diagrammes de Potier et de Blondel contiennent des remarques ingénieuses, mais dont l'influence a peut-être été limitée par la forme parfois trop personnelle et peu familière aux spécialistes donnée à ces exposés. Par contre, les mémoires sur l'alternateur à résonance par capacité et sur l'autoamorçage asynchrone des machines à rotor cylindrique, quoique concis, sont remarquablement élégants et clairs et laissent toujours bien en évidence la signification physique des équations.

Ils font, en général, usage d'une combinaison particulièrement heureuse de la méthode graphique et du calcul par imaginaires, qui a paru assez originale et caractéristique de son auteur pour avoir reçu le nom de méthode semi-symbolique.

Signalons enfin la communication de janvier 1923 à notre Société sur l'amortissement des alternateurs, qui, si elle n'apporte pas de faits nouveaux, présente les résultats acquis sous une forme particulièrement simple et claire.

### III. — *Courant continu.*

Outre les études déjà mentionnées sur la commutation, J. Bethenod s'est particulièrement occupé des problèmes difficiles, notamment de régime transitoire, que soulèvent les applications spéciales du courant continu. C'est en 1911<sup>4</sup> qu'à l'occasion de la mise au point de groupes convertisseurs de grande puissance pour laminoirs réversibles, il montra comment devait être compensée par des transformateurs statiques convenables l'induction mutuelle gênante entre enroulements. Cette invention capitale, qui s'est montrée, en outre, importante pour les génératrices de soudure à l'arc, est destinée sans doute à trouver un champ d'application de plus grande portée encore, dans le domaine nouveau, à l'ordre du jour, quoique à peine exploré à l'heure actuelle, de la stabilisation des longues lignes de transmission à très haute tension, par compoundage dynamique des alternateurs (excitation rapide, excitatrice série, etc.).

Une de ses dernières notes à l'Académie des Sciences (6 décembre 1943) évoque d'ailleurs, à ce sujet, les origines de l'amplidyne et ses propres travaux remontant à 1912 sur la dynamo à 4 balais, pour courant constant, du type Rosenberg.

Les applications de l'électricité à la traction sur rails ou sur route l'ont intéressé dès le début de sa carrière, et un grand nombre de ses inventions se rapportent au fonctionnement des moteurs, au freinage électrique, à la stabilité en régime de récupération, notamment pour les trolleybus.

Dans les derniers mois de sa vie, il fondait beaucoup d'espoirs sur l'emploi d'un matériel léger à courant alternatif à 300P : s pour la transmission électrique des locomotives de grande puissance.

On lui doit une des solutions les plus simples et, aujourd'hui, parmi les plus répandues, conçue en 1914 et mise au point en 1922, pour l'éclairage des trains avec une simple dynamo à excitation shunt et un régulateur de tension.

Enfin ses travaux sur l'automobile l'ont conduit à étudier de très près leur équipement électrique, notamment les moteurs de lancement et la dynamo à 3 balais dont il a fourni la première théorie quantitative, confirmée par l'expérience, dans sa communication d'avril 1922 à notre Société.

---

<sup>4</sup> Brevet français n° 444.322 du 4 août 1911.

IV. — *Questions diverses.*

Dès 1914 il proposa, pour l'élimination des harmoniques dans *un* réseau, les filtres consistant en combinaisons d'inductances et capacités qui ont trouvé par la suite, une application étendue pour la protection des lignes à courant faible contre les perturbations dues aux commutatrices ou aux redresseurs de la grande traction.

Cette même protection a eu d'ailleurs, 25 ans plus tard, l'occasion d'intervenir à propos pour rétablir le bon fonctionnement d'une autre invention importante de Bethenod, conçue en 1920 et qui, réalisée deux ans plus tard sous le nom de système Actadis, a déjà trouvé une extension considérable en France et à l'étranger : la télécommande sans fil pilote sur les réseaux de distribution par injection de courants de fréquence musicale dont la résonance sélective provoque une série de manœuvres préparées.

Dans le même ordre d'idées, les deux solutions qu'il a proposées dès 1919 et 1920 pour la répétition, par émissions à haute fréquence, des signaux à bord des locomotives et dont la deuxième a été mise en application par les chemins de fer de l'Etat, procèdent, comme à l'ordinaire, d'un sens très sûr des réalités et sujétions pratiques qui manque à beaucoup d'inventeurs.

L'intérêt particulier que J. Bethenod n'a cessé de porter aux condensateurs dont, ainsi que nous l'a rappelé notre collègue M. André, il pressentait comme d'ailleurs Maurice Leblanc et Boucherot, le rôle capital dans l'Electrotechnique de demain, l'a conduit à en proposer et réaliser de nombreuses applications. Outre celle aux filtres et bouchons que nous avons mentionnée, et la mise évidence de propriétés curieuses de circuits analogues à ceux de Boucherot mais conduisant par la réalisation de la condition  $LC \cos^2 = 2$  ou  $1/2$ , à une intensité constante prélevée au réseau (*Ind. EL*, 10 mars et 10 avril 1939) il a montré comment la compensation, dans un transformateur ou un moteur d'induction, de l'inductance de fuites, permettait, soit de réaliser dans le circuit magnétique une induction croissante avec la charge pour réduire, par exemple les pertes à vide dans les transformateurs ruraux, soit d'élever, dans une mesure théoriquement indéfinie, si l'on néglige la résistance, le couple de décrochage.

Dans le même but, mais d'une manière plus générale, un de ses brevets les plus intéressants<sup>5</sup> se rapporte à un dispositif de compensation des forces électromotrices de self-induction, qui, reposant sur l'emploi de valves à 3 électrodes, est valable, non plus seulement, comme dans le cas des condensateurs pour un courant sinusoïdal de fréquence déterminée, mais quelle que soit cette dernière ou la forme du courant. Bien que cette invention, applicable notamment au filtrage des harmoniques perturbateurs dans un réseau, ne paraisse guère avoir reçu, jusqu'à présent, d'applications, la possibilité de réaliser ainsi même en régime transitoire, une inductance apparente nulle, voire négative, pourrait bien se montrer capitale à l'avenir dans les problèmes déjà évoqués, de compoundage et de stabilisation, par exemple des longues lignes à haute tension.

En 1938, il réussit à établir<sup>6</sup> la théorie du mode très curieux d'entretien du mouvement d'un pendule, découvert par notre collègue M. A. Soulier et présenté ici même le 3 juin 1925, au moyen d'un courant alternatif de fréquence élevée par rapport à sa fréquence propre, à l'aide d'un condensateur, mais sans aucun contact d'entretien, et suivant un mécanisme qui, ne comportant aucun rapport défini entre les deux fréquences, ne relève pas de la notion usuelle de démultiplication de fréquence.

Mentionnons encore ses contributions à la technique de la soudure à l'arc pour le compte des Sociétés Alsthom et Soudure Autogène Française ; stabilisation de l'arc par étincelle pilote à haute fréquence, dans l'air, voire même au sein d'un liquide de forte rigidité électrique (pour la fabrication d'acétylène à partir d'hydrocarbures lourds) et obtention, par une ionisation intense, d'une conductibilité de l'ordre de celle des conducteurs ordinaires : réalisation d'arcs polyphasés très stables pour la soudure à l'hydrogène atomique, application de ses études sur les circuits couplés au four à induction à haute fréquence et à l'établissement

---

<sup>5</sup> Brevet français n° 572.915 du 25 Janvier 1923.

<sup>6</sup> C. R. Acad. Sc. 7 novembre 1938, p. 847 ; repris dans la RGE du 4 mars 1939. p. 275.

d'un diagramme circulaire pour le four à arc ordinaire ; enfin, parmi les recherches que son décès prématuré laisse en cours, celles menées en collaboration avec MM. Georges et André Claude pour le compte de la Société l'Air liquide et Claude-Paz et Silva dont il était également ingénieur-conseil, sur l'excitation sans électrodes, par champ magnétique à haute fréquence, des tubes luminescents, dont il réalisa, d'autre part, sous une autre forme, l'application au balisage nocturne des lignes à haute tension.

## B. — TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

Les travaux de J. Bethenod dans le domaine de la Radiotechnique, poursuivis sans interruption et parallèlement à ceux déjà passés en revue qui se rapportent aux courants forts, ont leur origine dans son service militaire au poste de la Tour Eiffel ; le plus ancien (1907) concerne l'application du transformateur à résonance à la charge des condensateurs des postes émetteurs à étincelle, et contient la première explication du phénomène de la ferro-résonance, c'est-à-dire de l'existence, par l'effet de la saturation d'un noyau ferromagnétique, dans un circuit oscillant, de deux régimes stables, l'un à courant fort, l'autre à courant faible.

La théorie des deux réactions de Blondel lui permit d'autre part, en 1909, de rendre compte complètement des conditions de fonctionnement en résonance de l'alternateur alimentant les postes d'émission à étincelles de fréquence musicale ; la même théorie a d'ailleurs trouvé, plusieurs années plus tard, son application aux conditions d'autoamorçage des alternateurs dans la mise sous tension des longues lignes douées de capacité.

C'est à lui que sont dues l'invention, pour les postes de réception, des condensateurs variables à échelle linéaire, et la réalisation des premiers postes d'émission pour dirigeables (Clément Bayard II, 1910) puis pour avions.

Ses études sur les alternateurs à haute fréquence, qui remontent à 1907, ont abouti à la réalisation, en 1914, de la première unité pour le poste de la Doua (Lyon), et sa collaboration à la Société Alsacienne avec notamment MM. Roth et Belfils, en l'associant étroitement, vers 1917-1918, à l'étude et à la construction des puissants alternateurs à haute fréquence qui ont équipé les grands postes à ondes longues construits à cette époque (Sainte-Assise, Croix d'Hins, Saïgon, Buenos-Ayres), se traduit par une série de contributions au dimensionnement au réglage de vitesse, au couplage avec l'antenne, etc., dont l'exposé est rassemblé dans l'ouvrage qu'il publia en 1925 sur les alternateurs à haute fréquence.

C'est à cette occasion que, reprenant une étude qu'il avait fait paraître en 1909-1910 dans *Jahrbuch der drahtlosen Télégraphie und Téléphonie*, il approfondit l'étude du système de deux circuits couplés, accordés ou non, dont l'un est soumis à une force électromotrice à haute fréquence ; cette théorie, évidemment capitale dans le domaine des courants à haute fréquence, n'est pas moins digne, par son intérêt propre et son caractère général, de retenir également l'attention des techniciens du courant fort. Parmi les études qu'il lui a consacrées, nous mentionnerons particulièrement une note publiée en novembre 1923 dans *l'Onde électrique* (n° 23, p. 617) sur la « Réception sur antenne aperiodique », car elle est bien caractéristique de la manière habituelle et des préférences de son auteur.

Très courte, comme beaucoup d'autres analogues, elle vise à établir, d'une manière très simple, par le seul principe de la conservation de l'énergie, la Possibilité d'une série de réglages donnant tous le même effet sur le détecteur. La concision et l'élégance de l'exposé, au cours duquel les faits élémentaires et essentiels demeurent bien en vue, peuvent faire illusion, mais outre que l'on peut douter que le résultat aurait pu être découvert par cette voie, alors que l'auteur l'avait effectivement obtenu auparavant par la méthode symbolique (*Lumière électrique*, 2 octobre 1915, p. 1), cette démonstration simplifiée d'un petit problème de calcul des variations qui exigerait que fût précisé, d'une manière plus serrée, le domaine respectif des diverses variables en jeu, ne paraît pas probante. Ce cas rappelle d'ailleurs la déduction élémentaire, également élégante et séduisante, que Maxwell avait pensé pouvoir tirer, pour les équations de Lagrange d'un système électromécanique, du seul principe de conservation de l'énergie ; par une bien bénigne d'ailleurs, et à certains égards, bienheureuse méprise

puisqu'elle nous a valu cette courte introduction à la Mécanique analytique, (*Scientific Papers*, t. II, p. 308) que Maxwell a reproduit dans son *Traité d'Electricité et de Magnétisme* (t. II, p. 228) et qui, si elle manque de rigueur, n'en demeure pas moins merveilleusement suggestive et propre à la fois à faire comprendre et sentir la signification physique des notions fondamentales de cette difficile et abstraite théorie.

Comme dans ces mémoires sur les circuits couplés, ou sur le transformateur sans fer, Bethenod se tient, en général, dans l'ensemble de son œuvre électro-technique, même pour les courants forts, et plus fidèlement encore que son maître Blondel, à la seule considération des inductances totales  $L_1L_2M$ , du coefficient de dispersion

$$S = 1 - \frac{M_2}{L_1L_2}$$

de Blondel, ou des inductances de fuites totales  $N_1 = S L_1$  etc., auxquelles reste- attaché le nom de Boucherot, et que le traitement algébrique des relations entre les flux et les courants, aussi bien que la considération des régimes en court-circuit introduisent si naturellement.

Corrélativement, suivant un exemple qui remonte à Maxwell lui-même, et auquel de trop rares auteurs comme Fallou se sont ralliés, il utilise systématiquement les coefficients d'équivalence

$$\frac{M}{L_1} \quad \text{et} \quad \frac{L_2}{M}$$

dont le rapport est  $1 - S$ , et dont le rapport des nombres de spires

$$\frac{n_2}{n_1}$$

qu'ils encadrent en général, ne constitue, même complété par les facteurs de bobinage, qu'une expression approchée parfois difficile à préciser, ou conduisant à des paradoxes. Leurs carrés, ou plus rigoureusement s'il est tenu compte des résistances, les facteurs tels que

$$\frac{(wM)^2}{Z_1} \quad \text{ou} \quad \frac{w^2M^2}{Z_2}$$

permettent de ramener respectivement à l'un ou à l'autre enroulement, la résistance (avec le signe +) et la réactance (avec le signe —), de l'autre.

Cette méthode appliquée uniformément aux diverses machines conduit, comme il l'a montré en 1915 pour le transformateur, à en représenter le fonctionnement par un même type de diagramme, dépendant d'un minimum de grandeurs ayant chacune une signification physique immédiate et claire, et pouvant être déterminées expérimentalement par les essais usuels, les plus naturels et les plus simples, sans aucune de ces approximations fréquentes, au demeurant superflues, et dont le domaine de validité est variable ou incertain, qui restreignent la portée de tant d'autres travaux.

Cette attitude indépendante, mais toujours large et élevée à l'égard même d'humbles problèmes, ainsi que la préoccupation de les rattacher toujours aux grands principes, l'ont souvent conduit, par exemple à l'occasion du calcul des forces mutuelles dans les systèmes électromagnétiques, à des conséquences et à des aperçus intéressants.

C'est ce souci constant de portée et de généralité des résultats, fruit d'une forte culture scientifique ainsi que d'un sens profond et sûr des faits essentiels, qui contribue à rendre l'étude d'une œuvre comme celle de Bethenod si fructueuse et digne d'être proposée aux efforts des débutants.

Alors que tant de travaux techniques, d'accès aisé, mais de conception étroite, que leur valeur précaire voue à un prompt oubli, rappellent ces listes de questions consacrées par lesquelles la paresse des étudiants prétend limiter les surprises des examens, les imperfections mêmes ou les lacunes de l'œuvre des maîtres restent fécondes par les voies qu'elles tracent et les perspectives qu'elles ouvrent.

Mentionnons enfin deux mémoires parus en 1916 dans la *Lumière électrique* (14 octobre et 16 décembre) sur les courbes caractéristiques et la stabilité des régimes, dont le deuxième point, de départ de très nombreuses publications, constitue la première étude théorique sur l'emploi des triodes comme générateurs autoexcitateurs.

### C. — MÉCANIQUE TECHNIQUE AUTOMOBILE

Bien que Bethenod se soit toujours intéressé à la mécanique, l'intérêt qu'il portait à cette branche de son activité, notamment aux transports et à la mécanique automobile est allé constamment en croissant ; se jugeant trop catalogué comme électricien, il aimait même, en ces derniers temps, à se déclarer surtout mécanicien.

C'est ainsi qu'en dehors de contributions, dont quelques-unes ont été mentionnées, à l'équipement électrique des voitures, dynamos d'éclairage, moteurs de démarrage, théorie et dimensionnement des systèmes d'allumage notamment par batterie et bobine d'induction, il mit en évidence en 1900 l'intérêt de l'étagement en série géométrique des boîtes de vitesse, inventa, en 1915, un carburateur à pompe d'accélération favorisant les reprises, fut un des promoteurs des culasses avec soupapes en tête, prédit l'avenir réservé aux châssis avec moteur à l'arrière, et publia, dans le *Bulletin de la Société des Ingénieurs de l'Automobile*, à la fondation de laquelle il avait participé et dont il était vice-président, diverses études sur les amortisseurs de voitures, la suspension élastique des moteurs, l'influence d'un vent transversal, les vibrations des ressorts de soupapes, des vilebrequins, etc.

Son souci constant du concret et du pratique le conduisit souvent à réaliser toi-même ses idées, comme cette petite voiture à accumulateurs qui assurait, en ces derniers mois, ses déplacements dans Paris, et que beaucoup d'entre nous se rappellent sans doute.

C'est à l'occasion d'un problème de propulsion par jet d'eau, posé à notre collègue M. Bergeron, qu'en collaboration avec ce dernier et André Blondel, qui présenta leur compte rendu à l'Académie, il mit en évidence et expliqua le comportement paradoxal du tourniquet hydraulique en débit inversé, qu'il étudia lui-même expérimentalement sur un modèle de fortune essayé dans sa salle de bains.

Il eut, en 1932, l'occasion de rappeler qu'il avait déjà émis, en 1904, l'idée, qui a reçu par la suite un si grand développement, d'une accumulation hydraulique de l'énergie. Pour l'utilisation du vent qui n'a cessé de l'intéresser, il a également proposé l'accumulation thermique relativement peu coûteuse, sous forme d'eau chaude, et il montra, en 1938, l'intérêt d'une combinaison ingénieuse, sur un bateau de pêche ou de plaisance, d'un générateur mû par moulin à vent et d'une batterie actionnant l'hélice avec, par exemple, un petit moteur hors-bord.

L'attention avec laquelle il suivait le progrès des moteurs thermiques lui faisait prédire le plus grand avenir à la turbine à combustion, bien qu'il ne partageât pas l'optimisme général à l'égard de certaines formes nouvelles de son association avec la machine à piston.

### D. — RECHERCHES DIVERSES ET HISTOIRE DES SCIENCES

Aimant la science pour elle-même et séduit de bonne heure par le prestige des maîtres qui l'ont édifiée et dont il était de taille à mesurer le rôle prééminent J. Bethenod s'est toujours intéressé à leur histoire. Ayant su dès le début de sa carrière, se reporter aux sources, et appris ainsi à connaître, sans intermédiaires, les œuvres classiques de ces grands physiciens et mathématiciens, qui au début du siècle dernier, ont fondé la Physique moderne, il aimait à en rechercher les éditions originales.

La grande figure, d'ailleurs si attachante d'Ampère, son compatriote lyonnais, était pour lui l'objet d'une vénération particulière, qui se manifesta notamment lorsqu'il se trouva chargé, à l'occasion du Cinquantenaire de la Société de Physique en 1923, d'organiser la Section rétrospective de l'Exposition du Grand Palais où il réussit à rassembler, outre la fameuse table

du Collège de France, un grand nombre d'appareils et d'instruments ayant servi à des savants et à des inventeurs des temps anciens et modernes.

Certaines expériences curieuses sur les répulsions électrodynamiques empruntées à Elihu Thomson, et rarement reproduites à grande échelle, s'y trouvaient aussi présentées, comme la lévitation et la rotation d'un gros œuf en aluminium dans un champ, tournant.

En 1936, à Lyon, pour le Centenaire de la mort d'Ampère, il reconstitua, mais sous la forme saisissante que pouvaient leur donner les moyens puissants dont nous disposons aujourd'hui, les expériences si simples qui permirent à cet illustre savant d'édifier en quelques années une si large part de l'Electro-dynamique, notamment celle du cavalier à cheval sur deux rigoles remplies de mercure, que représentaient, pour un courant de quelques centaines d'ampères, deux rails parallèles portant en travers un cylindre conducteur. La présidence de la division historique du Congrès international de l'Electricité, en 1932, lui fournit l'occasion d'un mémoire très complet sur la fameuse Exposition internationale d'Electricité de 1881 dont il décrit attentivement le contenu, encore plein pour nous d'enseignements, et analyse l'influence sur le développement de la Science et de la Technique.

En 1933, il retraça, dans *Radio-Electricité* (1<sup>er</sup> septembre), les origines de la T.S.F. et revint sur ce sujet en 1938 dans une conférence (25 novembre) à la Semaine internationale contre le Cancer. Une causerie au Club du Faubourg, le 26 mars 1931 sur « la Science et la Technique américaines jugées par un Européen », lui fournit l'occasion d'une analyse fine et pénétrante des enseignements et des impressions que lui avaient laissés un récent voyage aux Etats-Unis.

Mais c'est surtout dans les nombreuses biographies de savants et d'inventeurs qu'il s'est donné pour tâche d'écrire, et dont plusieurs se rapportent à des chercheurs plus ou moins méconnus, que se révèlent à la fois son amour de la vérité et son généreux souci de faire rendre à chacun ce qui lui est dû.

C'est ainsi qu'à l'occasion du Cinquantenaire des premières réalisations du transport à distance de l'énergie électrique (*R.G.E.*, 21 décembre 1935), il rédigea une notice contenant un certain nombre de détails inédits sur la vie de Lucien Gaulard, l'infortuné inventeur français du transformateur.

La *Revue générale de l'Electricité* du 9 février 1918 contient une notice de lui sur Paul Jegou, et le *Journal de la Société des Ingénieurs de l'Automobile* (novembre 1937) publia celle qu'il écrivit à la mémoire de l'ingénieur mécanicien, Némorin Causan, précurseur méconnu.

En 1932 (*R.G.E.* 13 février), par une de ces attentions spontanées, délicates et désintéressées dont il avait le secret, qui lui ont conquis tant de sympathies et dont je lui fus profondément reconnaissant, il consacra à l'Amiral Darrieus une notice nécrologique, par laquelle il affirmait notamment les titres de mon père à l'invention, en 1893, alors qu'il commandait le sous-marin *Gymnote*, de l'accumulateur alcalin à électrolyte invariable, mis au point ultérieurement, par Edison.

Le Bulletin de juin 1938 de notre Société contient d'autre part une communication sur la vie et l'oeuvre du célèbre savant et inventeur yougoslave Nikola Tesla, ce précurseur extraordinairement fécond dans tant de domaines de l'Electrotechnique moderne, comme les moteurs à champ tournant, les courants à haute fréquence, etc., qu'il considérait comme le véritable créateur, avec Hertz, de la télégraphie sans fil.

A la fin de la même année, le décès d'André Blondel lui fournit l'occasion de rendre à son ancien maître l'hommage fidèle et dévoué d'une notice très détaillée, pour laquelle nul n'était plus qualifié que l'élève et l'assistant, devenu à son tour l'émule du grand savant et ingénieur.

Les mêmes titres incontestables l'ont conduit à se charger de la notice sur les travaux et la vie de Paul Boucherot qu'il présentait ici même il y a un an (Séance du 4 décembre 1943, *Bulletin de la S.F.E.*, novembre 1943, p. 354).

Une mention spéciale est due à la notice sur Olivier Heaviside, publiée à la fois dans notre Bulletin (mars 1925) et aux *Annales des P.T.T.* (juin 1925), car c'est probablement la plus complète qui ait été consacrée à l'illustre physicien mathématicien anglais, mort en 1925, et avec lequel il avait entretenu une correspondance suivie. Le caractère ombrageux et aigri du

grand savant ainsi que son isolement dans une retraite prématurée n'avaient pas détourné la sympathie de Bethenod, qui considérait les travaux fondamentaux, malheureusement peu accessibles, d'Heaviside, comme contenant déjà tout l'essentiel de la pupinisation.

Bien qu'il ait étudié lui-même de très près, comme son maître Blondel, la fameuse méthode opérationnelle, que son génial auteur eut tant de peine à faire admettre des mathématiciens de l'époque, il ne semble pas que Bethenod en ait guère fait un usage personnel. Comme nous ayons déjà eu maintes occasions de le constater, il préférait toujours et recherchait en chaque question la démonstration la plus élémentaire, parce qu'il la jugeait, à l'exemple de tant de grands savants, comme Maxwell en particulier qui insistait volontiers sur ce point vers la fin de sa vie, la plus propre à faire ressortir l'aspect physique et essentiel des choses. Nul moins que lui ne s'est montré sujet à se laisser éblouir par le prestige de ces méthodes modernes puissantes, mais difficiles, dont il était cependant bien à même de mesurer les ressources, et dont il reconnaissait justement les mérites dans les questions qui en relèvent légitimement ; mais, bien qu'au point de vue général il en reconnût la valeur philosophique, son grand bon sens et son souci constant des proportions raisonnables ainsi que du rendement pratique, le gardaient de la tentation de les compromettre sans utilité, dans des tâches inférieures.

Il rejoignait en cela un de ses émules américains, Slepian, dont la carrière de savant et d'inventeur, par sa diversité et la nature des sujets traités (notamment les études sur le déséquilibre des phases ou sur les arcs), présente de grandes analogies avec celle de Bethenod, et qui a écrit il y a quelques années dans *l'Electric Journal (A parable on Tensor Analyste)*, décembre 1936, p. 541 et mars 1937, p. 115) une parabole assez plaisante mettant en garde contre les abus auxquels, en cette matière, l'amour-propre ou la vaine satisfaction tirée de la difficulté vaincue (« Ne sutor ultra crepidam ») risquent d'entraîner les intéressés, notamment étudiants et professeurs.

#### JOSEPH BETHENOD — L'HOMME — SA VIE

Le rapide examen que nous venons de faire d'une œuvre considérable qui ne comprend pas moins de 150 publications, nous a déjà fait reconnaître, avant tout, parmi d'autres traits du caractère de J. Bethenod, sa remarquable puissance de travail. Cette activité laborieuse et féconde prenait sa source dans une curiosité sans cesse en éveil, une sympathie prête à imaginer ou à accueillir tout progrès véritable d'où qu'il vînt, enfin un enthousiasme soutenu jusqu'à la fin pour la carrière technique qu'il avait librement embrassée.

Si nous l'avons entendu, en de rares occasions, se plaindre d'être surchargé, jamais il ne s'est laissé submerger ni disperser ; son horreur du bâclé ou de l'inachevé et sa conscience scrupuleuse lui faisaient accepter les renoncements inévitables pour se consacrer entièrement à la tâche du moment, avec la tranquillité d'esprit que reflétaient sa démarche et sa conversation également posées.

Si quelques vilenies ou ingratitude de la part de certains collaborateurs de la première heure ne lui ont pas été épargnées, elles ne lui inspiraient aucune récrimination, et n'ont altéré en rien sa sérénité et son égalité d'humeur.

Un caractère enjoué et un optimisme qui se traduisaient dans le sourire bienveillant, jamais sarcastique, que nous évoquons encore si aisément, mais aussi certaines manifestations d'indépendance à l'égard d'un conformisme qu'il jugeait sans doute trop étroit, ont pu lui faire reprocher, notamment dans sa province d'origine, une fantaisie excessive ; mais celle-ci, plus apparente que réelle, comme il l'assurait lui-même, demeura toujours tempérée, en même temps qu'une imagination très développée, par le vieux bon sens lyonnais qu'il entendait conserver fidèlement.

Plus de 300 brevets attestent ses étonnantes facultés d'invention. Leur rédaction, le plus souvent très concise, dépourvue de tout développement superflu, quoique parfaitement appropriée à son but pratique, témoigne de l'expérience qu'il avait de ces questions de propriété industrielle ; mais on n'y rencontre pas cette tendance abusive à accaparer ou à

barrer le chemin aux tiers, qui a pu être justement reprochée à d'autres grands inventeurs parmi ses contemporains.

Si une pareille production comporte inévitablement un déchet assez considérable, et si, comme il l'a lui-même souligné, des recherches parfois prématurées n'ont abouti qu'à lui assurer des antériorités à l'égard de chercheurs moins aventureux, le rendement de l'ensemble de cette oeuvre inventive n'en est pas moins exceptionnel et atteste les solides qualités qui la soutenaient.

Bethenod s'est d'ailleurs en maintes occasions, notamment dans son discours inaugural comme Président de notre Société, en 1936 (*Splendeurs et misères des inventeurs* (Bull. S. F. E., avril 1936)), puis à la Société des Ingénieurs civils de France, enfin au Club du Faubourg, attaché à réagir contre l'opinion simpliste, encore si répandue, qui, attribuant un rôle excessif à l'inspiration à laquelle s'associent souvent, chez les inventeurs malheureux, l'insuffisance, voire la paresse, sous-estime la part prépondérante qui, dans le succès mérité des bonnes inventions revient à des qualités, voire à des vertus, plus austères, comme le travail, l'étude patiente, l'application soutenue et la persévérance.

Quoique plus orienté vers la théorie, il avait fait assez de laboratoire, et était demeuré toujours assez près des ateliers et de l'expérimentation — dont il connaissait bien les difficultés et les limites, et qu'il aimait à pratiquer lui-même dans toute la mesure possible —, pour ne jamais s'égarer dans des rêveries ou des chimères.

Mais si son goût et son sens sûr des réalités concrètes, et des possibilités pratiques d'exécution l'éloignaient des vaines spéculations, il pouvait, à l'occasion, se montrer d'un naturel plus contemplatif qu'on n'eût cru au premier abord.

En dehors des œuvres d'Ampère, de Maxwell et d'Heaviside, il s'était intéressé à celle, abondante mais touffue, et assez délaissée aujourd'hui, de Wronski, cette figure curieuse de mathématicien-philosophe-voyageur, dont les traités d'algèbre supérieure perpétuent le souvenir.

Lorsqu'il y a près d'un an, ses amis se réunirent autour de notre Président d'honneur, M. Louis de Broglie, pour lui offrir son épée d'académicien, tout en exprimant la joie sincère que lui avait apporté, en couronnement de sa carrière, son élection l'année précédente à l'Académie des Sciences, il parut regretter de n'avoir pas donné plus de temps dans le passé à la recherche désintéressée, mais il se ressaisit bien vite en déclarant modestement, qu'ayant toujours eu de la chance dans sa vie, il aurait mauvaise grâce à n'être pas complètement satisfait.

C'est sans doute cette bonne conscience d'avoir rempli sa vocation en accomplissant une œuvre utile étayée sur une conception juste, un jugement droit, un ferme bon sens et la docilité à la leçon des faits, qui l'incita de bonne heure à servir encore en en faisant partager les bienfaits.

Si, comme le rappelle notre collègue H. André, créer était pour lui une distraction et un plaisir, sa passion pour la vérité comme pour toutes les formes, même les plus humbles, du progrès technique, son enthousiasme extraordinaire pour les nouveaux appareils, lui faisaient saluer et accueillir avec sympathie les recherches et les découvertes des autres, notamment des jeunes qu'il savait encourager et aider efficacement avec une magnifique constance et un complet désintéressement.

Si, malgré ses efforts, il n'eut pas la satisfaction d'émouvoir en temps utile en faveur d'Heaviside la grande industrie électrique qui avait si largement profité de ses travaux, il sut maintes fois faire reconnaître et réparer certains oublis à l'égard de ceux de ses jeunes collègues qu'il honorait de son estime. Il se réjouissait déjà de pouvoir, à l'Institut, continuer et étendre cette œuvre bienfaisante, que ses amis de l'Académie des Sciences ont eu la touchante pensée de poursuivre en réalisant déjà certaines des intentions de leur très regretté collègue.

Ayant appris la situation difficile de la veuve de Gaulard, il se dépensa pour lui faire obtenir une pension, et sa fidélité à la mémoire de Blondel s'est étendue aux relations qu'il a tenu à conserver jusqu'à son dernier jour avec les collaborateurs et les anciens serviteurs de son maître vénéré ; tandis que tous ceux qui l'ont connu dans les nombreuses sociétés dont il

était le conseil ont pu constater la bonhomie, l'attention bienveillante et la simplicité qui y marquaient ses rapports avec le personnel subalterne le plus humble.

Si l'occasion ne lui a naturellement pas manqué de participer à des travaux de comités, comme ceux de la Commission Electrotechnique internationale, il s'est défendu de leur donner trop de temps et n'a pas joué ainsi dans ces organismes le rôle que lui assignaient son expérience et son autorité. Il était d'ailleurs un peu sceptique à l'égard de leur efficacité et je l'ai même entendu un jour, au sortir d'une séance particulièrement décevante, qualifier cette activité de « déwattée ».

Si cette appréciation sommaire peut être injuste à l'égard de ceux qui se dévouent à une tâche souvent ingrate, qu'elle leur serve du moins comme rappel des conditions de largeur et de sûreté de vues, mais aussi de prudence et circonspection, dont dépendent la solidité et la durée des œuvres de normalisation. Quelle distance à cet égard entre la portée et le rayonnement des décisions historiques en matière d'unités électriques de l'Association britannique ou du petit Congrès de Paris en 1881, et l'utilité contestable ou précaire de certaines règles trop inspirées parfois de préoccupations intéressées ou contingentes !

Bethenod fit toutefois une exception en faveur des questions de vocabulaire qui l'ont toujours intéressé, et il prit notamment une part active à l'élaboration du premier vocabulaire électrotechnique français. Rappelons qu'il est l'auteur du terme « onduteur », qui a heureusement prévalu en France, pour désigner les mutateurs continu-alternatif, et qu'il fit campagne à plusieurs reprises pour le remplacement par auto-inductance du terme self-inductance qui prête à abréviation relâchée.

Cette prédilection pour les questions de langage, qu'il considérait à juste titre comme si importantes pour la précision et la rectitude de la pensée, est évidemment en relation avec le talent littéraire qu'il avait montré dès son enfance et dont témoigne le style limpide et agréable de ses écrits. Se sachant doué de ce côté, et enviant, comme il le disait avec humour l'an dernier à propos de son ami Pierre Benoît, le rôle du romancier, il projetait d'écrire à son tour un roman, *Joseph*, sorte d'autobiographie dont nous devons bien regretter qu'elle n'ait pas vu le jour.

Marié sur le tard avec la compagne selon son cœur, il fut toujours, d'autre part, pour sa mère, comme l'attestent ses parents et comme il pouvait le souligner lui-même, un fils parfait, ainsi qu'un frère dévoué et désintéressé pour sa sœur qu'il avait mariée à son collègue et ami Marius Latour.

S'il avouait ne pas aimer les enfants, il admirait sincèrement les familles nombreuses et s'inclinait devant l'abnégation de ceux et de celles qui se vouent à leur éducation.

Préoccupé, particulièrement dans ses dernières années, de resserrer les liens qui le rattachaient à son milieu d'origine, bien qu'il n'y comptât plus de proches parents, il professait volontiers vénération et gratitude pour les maîtres religieux auxquels il avait dû sa formation intellectuelle et morale, bien qu'il n'eût pas suivi la vocation ecclésiastique dont il évoquait encore plaisamment l'an dernier un développement supposé, comme une troisième possibilité qui lui eût été offerte, d'accès à l'Institut.

Si, chez Joseph Bethenod, les qualités du cœur rayonnent manifestement dans sa vie, bienfaisante et exempte d'erreur... du moins essentielle, ajoutait-il modestement, elles montrent leur retentissement jusque dans son œuvre scientifique elle-même, heureusement empreinte de sagesse et de modération. Alors qu'il a pu relever parfois chez d'éminents émules les aberrations auxquelles risquent de conduire l'esprit de système et le parti pris, son éclectisme et sa sympathie spontanée pour les idées des autres l'ont gardé de cette sorte de fautes. Tant il est vrai que, dans l'âme, une et immortelle, la cœur et l'esprit sont si étroitement unis que la paix et la sérénité de l'un répandent leurs bienfaits sur l'autre, tandis que les passions comme l'orgueil ou l'attachement excessif à son propre sens étendent leurs ravages jusqu'au pur domaine de la raison à la recherche de la vérité.

Si nous ne connaissons plus le clair regard de notre regretté collègue, ni sa poignée de main si chargée de cordiale attention, il demeure parmi nous par son exemple et par son œuvre féconde et stimulante qui constituera longtemps encore un méritable enseignement,

tandis que nous conserverons fidèlement son souvenir comme celui, non seulement d'un grand ingénieur et savant, mais d'un bon serviteur de notre pays, enfin d'un généreux et charitable homme de bien.

En terminant cette notice que nous aurions voulu plus complète, nous nous faisons un devoir d'exprimer notre gratitude à tous ceux qui, répondant à notre appel, ont bien voulu contribuer à notre documentation, notamment MM. X. Morand, M. Koebler, A. Boudineau, de la Société des Ingénieurs de l'Automobile, Ch. Wolff, J. Maureaud, rédacteur en chef *d'Autovolt*, ainsi que nos collègues MM. H. Giroz, M. Blondin, Belfils, Gratzmuller, Yadoff et tout particulièrement P. Toulon et H. André qui ont eu à cœur de nous apporter, à la mémoire de leur maître et ami, le précieux appoint de leurs reconnaissants souvenirs.

\* \*

A la suite de l'article qu'on vient de lire, nous croyons devoir rappeler les diverses fonctions qu'a occupées J. Béthenod :

Membre du Conseil de la Société des Ingénieurs Civils de France comme membre de la VI<sup>e</sup> section (industries électriques) dont il devint Président en 1942 et ainsi faisait partie du Bureau des I.C.F.

Fut Président de la Société française des électriciens ;

Vice-Président de la Société des ingénieurs de l'automobile ;

Officier de la Légion d'honneur ;

Membre de l'Académie des Sciences, Belles Lettres et Arts de Lyon ;

Membre de l'Académie des Sciences (Institut de France) ;

Membre du Conseil d'Administration de l'Ecole Centrale Lyonnaise.