

HENRI HÉMAR

**La loi des appels de courant dans une société de distribution d'électricité.
Essai de décomposition des courbes de charge**

Journal de la société statistique de Paris, tome 87 (1946), p. 109-113

http://www.numdam.org/item?id=JSFS_1946__87__109_0

© Société de statistique de Paris, 1946, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société statistique de Paris » (<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

IV

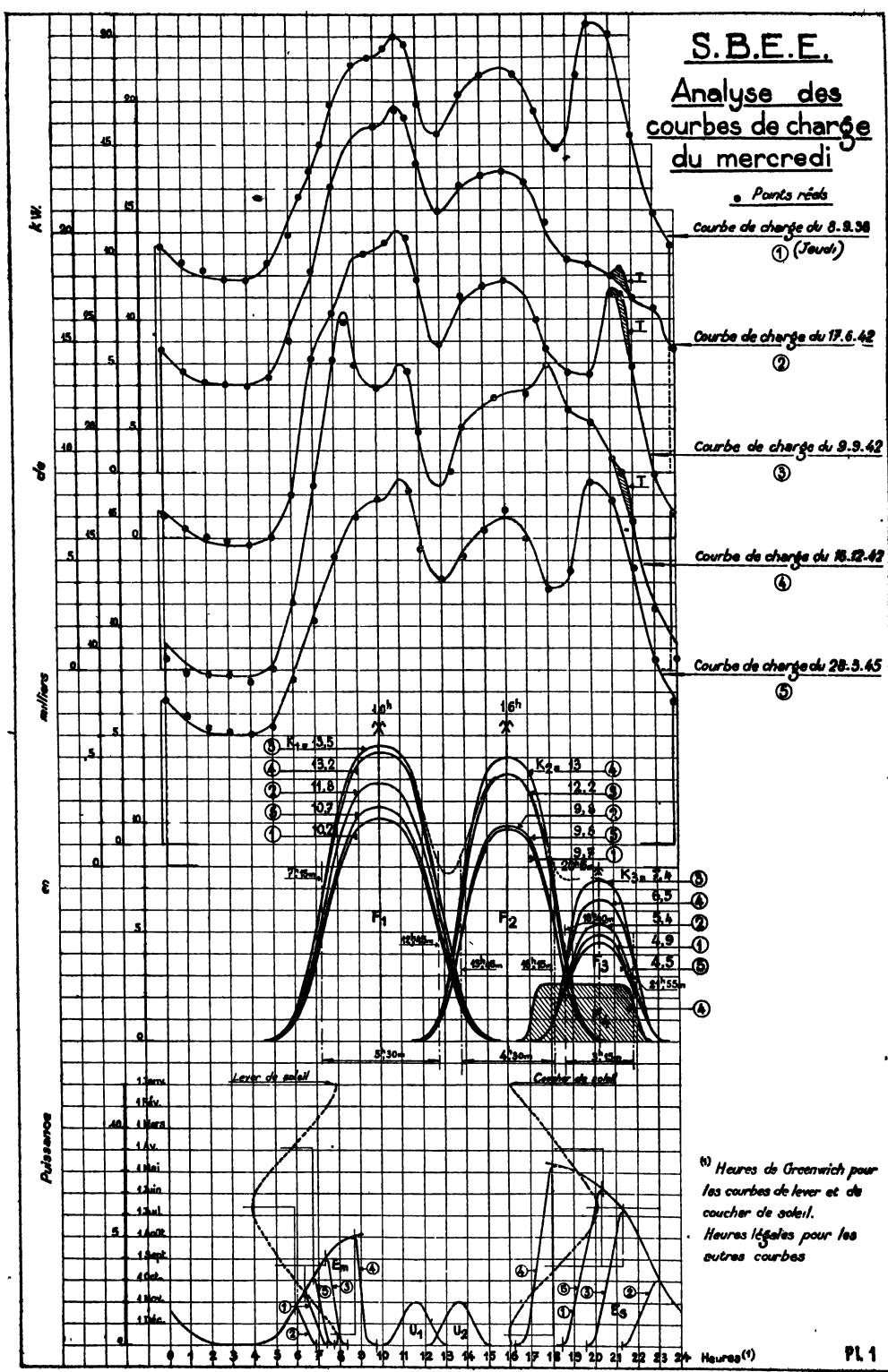
LA LOI DES APPELS DE COURANT DANS UNE SOCIÉTÉ DE DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ ESSAI DE DÉCOMPOSITION DES COURBES DE CHARGE

On sait que lorsqu'on juxtapose jour après jour au cours d'une année les courbes de charge d'un réseau de distribution, on obtient un ensemble assez harmonieux que l'on a baptisé du nom de montagne (1).

L'examen de cette montagne fait immédiatement ressortir, outre des variations hebdomadaires que nous laisserons de côté dans cette étude, trois parties : une infrastructure, une superstructure indépendante des heures de lever et de coucher du soleil et une superstructure qui en dépend étroitement.

Nous avons reproduit sur la planche I quelques courbes de charge de la *Société béthunoise d'Éclairage et d'Énergie* pour des jours ouvrables et même plus spécialement pour le jour ouvrable type, à savoir le mercredi, les courbes de charge des mardi, jeudi et vendredi en différant d'ailleurs assez peu.

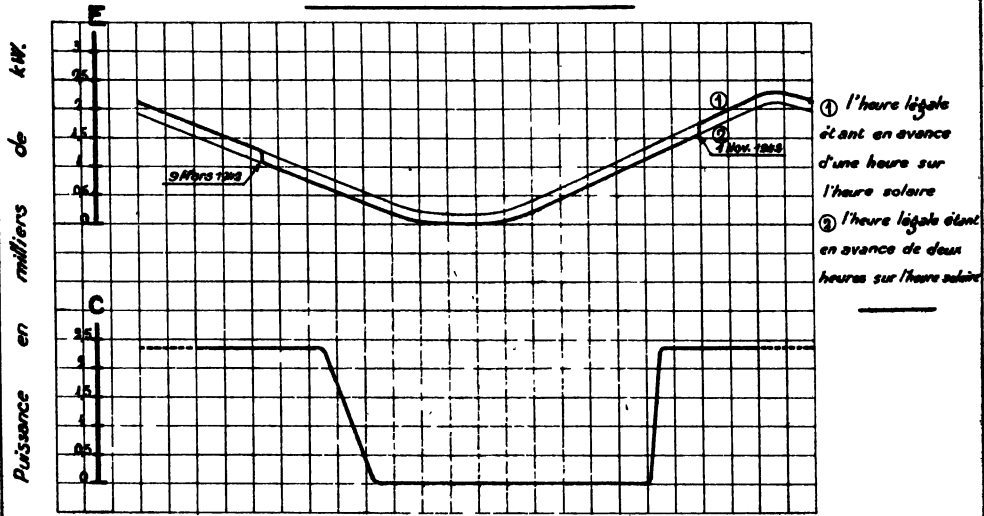
(1) Cf. en particulier la communication de M. Robert Conte faite à la *Société de Statistique de Paris* le 19 mai 1943. On y trouvera la reproduction de la montagne de charge de Paris pour l'année 1938.



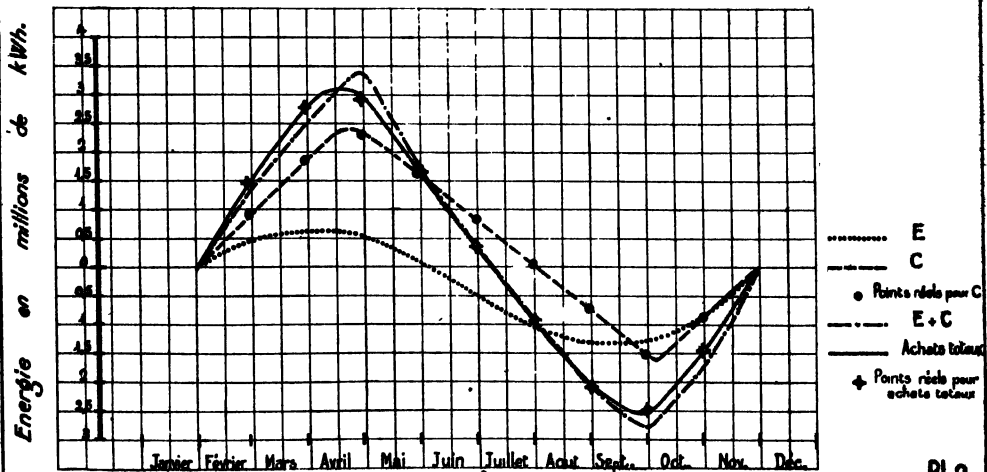
Graphique I,

S. B. E. E.

Variations des puissances moyennes journalières de E et de C
au cours de l'année 1942
en généralisant les données obtenues pour les mercredis



Variations des achats cumulés de E et de C
généralisés comme ci-dessus et des achats totaux au cours
de l'année 1942, janvier et décembre exceptés



Pl. 2

Graphique II.

Considérons les courbes de charge des mercredis voisins du solstice d'été, par exemple celle du 17 juin 1942; au cours de la matinée, nous sommes frappés par l'allure symétrique de la montée de la puissance appelée entre 7 et 9 heures et de sa descente entre 11 et 13 heures.

Si nous laissons de côté l'excroissance de 11 heures et si nous pensons à la loi des grands nombres, nous isolons aisément, non pas une courbe de Gauss, mais une figure ressemblant à un pain de sucre et formée de deux courbes symétriques en S, intégrales de deux courbes de Gauss. Nous isolons deux figures semblables dans l'après midi et dans la soirée.

Nous sommes même amenés, tout au moins jusqu'à nouvel ordre, à arrêter les courbes en S qui forment ces trois pains de sucre à des valeurs très proches des asymptotes, correspondant à $x = \mp 2$ de la courbe de Gauss $y = e^{-x^2}$. C'est à la forme géométrique précise en résultant que nous réserverons désormais l'appellation de pain de sucre.

Il se trouve que la superstructure de la courbe de charge d'un jour ouvrable quelconque voisin du solstice d'été se trouve presque complètement analysée entre le lever et le coucher du soleil si nous nous contentons d'ajouter à 11 h. 30 et à 12 h. 30 deux autres petits pains de sucre.

Ces cinq pains de sucre nous font évidemment penser, pour les trois premiers à de la force motrice du matin, de l'après midi et du soir et pour les deux derniers à des usages ménagers. Aussi vient il naturellement à l'esprit que nous retrouverions les éléments de cette superstructure sur la courbe de charge d'un jour ouvrable quelconque si nous savions éliminer la puissance appelée du fait de l'obscurité entre le coucher et le lever du soleil.

Nous avons fait l'hypothèse que cette puissance, tout au moins en première approximation, n'était soumise dans le temps, à une heure déterminée, qu'à des variations de grande amplitude : les heures d'ouverture et de fermeture des établissements industriels sont les mêmes un jour que la veille, les ménagères vaquent chaque jour à la même heure aux mêmes occupations, etc...

Nous avons en outre cru pouvoir constater, d'une part que les consommations du soir commençaient trois quarts d'heure avant le coucher du soleil et qu'elles n'atteignaient toute leur valeur qu'une heure après son coucher, et, d'autre part, que les consommations du matin atteignaient leur valeur maximum à l'heure du lever du soleil et qu'elles ne cessaient complètement qu'une heure après son lever.

On trouvera sur la planche I la construction que nous utilisons sans aucun changement depuis 1838 à la *Société Béthunoise* et on constatera que nous arrivons ainsi à isoler aisément dans des courbes de charge relatives à des époques très différentes et avec des décalages différents de l'heure légale sur l'heure solaire les trois pains de sucre qui nous étaient tout d'abord apparus sur les courbes de charge voisines du solstice d'été. On pourra même observer que nous nous contentons de trois variables, à savoir : les hauteurs respectives de ces pains de sucre.

Leur existence apparaît du moins bien établie et sans doute y a-t-il lieu de considérer la courbe elle même des puissances appelées du fait de l'obscurité comme délimitant la somme, sinon de pains de sucre proprement dits, du moins d'un nombre plus ou moins grand de surfaces limitées par des courbes en S.

Il en résulte que dans un réseau de distribution d'électricité, la fréquence des mises en route et des arrêts se répartit, pour une tranche de consommation déterminée, suivant la courbe en cloche. D'une manière moins précise, mais plus imagée, nous pouvons dire que les usagers ferment et ouvrent leurs interrupteurs suivant la loi des grands nombres.

* * *

Le mécanisme de la composition d'une courbe de charge étant ainsi mis en évidence, il est clair que nous sommes armés pour suivre la vie d'un réseau et en relever les péripéties.

C'est ainsi qu'on peut remarquer sur la planche I les surfaces T qui apparaissent sur les courbes de charge de l'année 1942 : il s'agit de toute évidence de l'écoute de la T. S. F. de Londres.

On s'est déjà rendu compte qu'il est possible de déterminer avec une grande précision les conséquences d'un changement d'heure; on peut aussi mettre en évidence les conséquences des différentes mesures de restrictions. La *Société Béthunoise* avait été amenée en décembre 1942 à restreindre les consommations d'une partie de sa clientèle entre 17 et 20 heures : on voit sur la planche I la réduction de consommation F_4 qui en est résultée. Au début de l'année 1946, la *Société Béthunoise* a demandé à sa clientèle industrielle de reporter dans toute la mesure du possible sur la matinée ses consommations de l'après-midi : il en est résulté un écartement des deux courbes en S du pain de sucre du matin.

D'une manière générale, ce serait d'ailleurs évidemment une erreur de considérer que seules les hauteurs des trois principaux pains de sucre constituent des variables.

Il serait, par exemple, intéressant, grâce à une étude plus poussée, de se rendre compte jusqu'à quel point la mise en route de la tranche de consommation caractérisée par le pain de sucre du matin se produit toujours autour de 7 h. 15.

En sens contraire, notre méthode nous permettrait de rechercher si les hauteurs respectives des trois pains de sucre du matin, de l'après midi et du soir ne sont pas elles-mêmes soumises à certaines lois.

A titre d'illustration des possibilités qui nous sont offertes dans ce domaine, nous croyons intéressant de présenter les constructions que nous avons effectuées sur la planche II.

Nous y avons fait figurer la courbe des puissances moyennes journalières correspondant, pour les mercredis de l'année 1942, aux énergies consommées du fait de l'obscurité. Comme il s'agit évidemment en grande partie d'éclairage, nous avons généralisé à tous les jours de la semaine les données des mercredis et nous avons déduit de l'intégration des valeurs en résultant la courbe de variation des achats cumulés entre le 1^{er} février et le 1^{er} décembre. (Nous avons ainsi éliminé les mois de janvier et de décembre qui ont été troublés par des mesures de restriction particulièrement sévères.)

Nous avons ajouté aux ordonnées de la courbe ainsi obtenue celles de la courbe de variation des achats correspondant aux infrastructures en procédant à la même généralisation et à la même limitation.

Cette généralisation nous paraît se justifier comme dans le premier cas, car la dérivée de cette deuxième courbe de variation nous montre que le chauffage y intervient certainement pour une bonne part.

Si on admet ces généralisations, il est intéressant de constater que les seules causes de variation saisonnière des courbes de charge que nous avons étudiées se réduisent, tout au moins en première approximation, aux deux variations que nous avons énumérées.

Nous terminerons en attirant l'attention sur le fait que les résultats que nous avons obtenus ne sont pas limités à la distribution de l'électricité; c'est ainsi que nous avons vérifié que la loi de répartition des appels de gaz sur le réseau de la *Société Béthunoise* est la même que celle des appels de courant.

Nous trouvons par contre des résultats différents en étudiant la répartition des débits dans un poste de distribution de gaz comprimé : la courbe de répartition correspond ici à celle des arrivées de voitures et s'analyse comme étant une somme de courbes de Gauss de même que la courbe de répartition des arrivées d'employés à leur travail en est une.

Béthune, le 26 avril 1946.

Henri HÉMAR.

DISCUSSION

M. RISSER. — C'est avec un très vif intérêt que j'ai suivi la communication de M. HÉMAR qui nous apporte aujourd'hui une contribution fort utile à l'analyse d'une série de courbes de charge.

Procéder à la décomposition de ce que les électriciens appellent une montagne de charge est un problème difficile.

Il était évident que l'on pouvait faire appel à la série de FOURIER, et étudier les diverses harmoniques, mais notre collègue a jugé qu'il était plus logique de rechercher si ces courbes ne pouvaient pas être divisées en tranches, dont chacune serait une courbe de sommation, susceptible d'être définie avec une approximation suffisamment grande au moyen d'une

intégrale du type Laplace Gauss $\int_{-a}^{+a} \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} dx$. Non seulement M. HÉMAR a fort

bien réussi à mettre en évidence la courbe en S à longue inflexion caractérisant la sommation des charges (afférente à une journée déterminée de l'année) de 4 h. 30 à 10 h. 30 du matin, celles de 11 h. 30 à 16 heures, de 17 heures à 20 h. 15; il a pu, en introduisant les courbes symétriques de ces dernières par rapport aux axes (10 heures, 16 heures, 20 h. 15), faire apparaître les petits compléments de charge dus à l'emploi de la radio et montrer comment se répartissaient les demandes de courant d'une part pour les besoins industriels et les besoins domestiques et, d'autre part, pour ceux de l'éclairage.

Ajoutons que, pour déceler les appels de courant nécessités par l'éclairage, M. HÉMAR a utilisé, d'une manière ingénieuse, les courbes des heures de lever et de coucher du soleil aux différents jours de l'année, tout en tenant compte du décalage des heures fixé par l'administration tant en hiver qu'en été.

Notre collègue ne s'est pas borné à cette analyse pour un jour déterminé; au contraire, il nous a présenté 5 courbes de charges correspondant à une journée de septembre 1938, de juin, septembre et décembre 1942 et mars 1945, avec les courbes de décomposition pour chacune de ces journées.

Rappelons que les courbes en S ci dessus signalées sont approximativement intégrales de $y = ke^{-x^2}$; plus exactement, elles pourraient être assimilées à l'intégrale de la courbe de

$$\text{Pearson } y = k \left(1 - \frac{x^2}{a^2} \right)^m.$$

Nous devons le féliciter bien sincèrement pour la contribution heureuse qu'il a apportée à l'étude statistique d'un problème qui appelle l'attention des services techniques de toutes les entreprises de distribution d'électricité.