REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

C. GRAVEL

Puissance appelée par la clientèle de moyenne tension

Revue de statistique appliquée, tome 7, nº 3 (1959), p. 63-79
<http://www.numdam.org/item?id=RSA_1959__7_3_63_0>

© Société française de statistique, 1959, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Revue de statistique appliquée » (http://www.sfds.asso.fr/publicat/rsa.htm) 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/

PUISSANCE APPELÉE PAR LA CLIENTÈLE DE MOYENNE TENSION

C. GRAVEL
Économiste à l'Électricité de France

Il est extrêmement important pour l'électricité de France de connaître d'une façon aussi exacte que possible la part qui revient à chacun des utilisateurs dans les consommations. En effet, pour pouvoir établir des tarifs équitables, par exemple, il est nécessaire de savoir quels sont les abonnés qui utilisent l'électricité aux heures de pointe : en temps normal le courant est produit par des centrales hydro-électriques et par des centrales thermiques très modernes et d'un rendement élevé. Si la puissance demandée devient plus importante il faut mettre en service des centrales supplémentaires, plus anciennes et d'un rendement moins satisfaisant. En conséquence, les kilowatt-heures supplémentaires coûtent plus cher que ceux fournis précédemment.

C'est pour cette raison entre autres, qu'Electricité de France est conduit à étudier ce qu'on appelle la "courbe de charge" pour l'analyser. La courbe de charge est établie de la manière suivante : on marque en abscisse les heures d'une journée et en ordonnée les valeurs des puissances appelées. On détermine ensuite les pertes et on les déduit de la courbe initiale. Il reste alors à trouver les coefficients de responsabilité de pointe des divers usagers : c'est-à-dire les coefficients définis pour une certaine catégorie de clients par le rapport suivant :

$$\frac{\text{puissance absorbée lors de la pointe du réseau par une certaine catégorie de clients}}{\text{puissance souscrite par cette même catégorie de clients}}$$

Prenons comme exemple le Centre Ile-de-France-Est puisque c'est celui qui a été l'objet de l'étude ci-dessous.

Il comprend une vingtaine de clients qui dépendent directement d'Electricité de France, la puissance absorbée par ces clients, et celle qui est transmise éventuellement à des Centres limitrophes sont connues très exactement. Leur total forme ce qu'on appellera la "puissance transitée".

Il reste deux catégories de clients : les clients basse tension (B.T.) d'abord, alimentés par des postes de transformation D.P. (distribution publique) et qui sont tous les consommateurs ordinaires, utilisant l'électricité pour éclairer leur appartement, faire marcher leurs appareils domestiques, etc.

Leur nombre atteint près de 584000 pour le Centre Ile-de-France-Est.

L'autre catégorie de clients est constituée par les industriels ou clients moyenne-tension (M.T.) souvent alimentés par un ou plu-

sieurs postes "clients" amenant l'énergie en moyenne tension jusqu'à leur usine.

Leur nombre s'élève à 2 100 environ pour le Centre étudié.

Or, s'il est possible de connaître d'une façon très précise la totalité de la puissance appelée par tous les clients d'un Centre de Distribution d'Electricité de France grâce aux appareils de comptage qui se trouvent dans les Sous-Stations, il est, malheureusement, extrêmement difficile d'analyser d'une part la puissance appelée par les clients M.T. et d'autre part, la puissance appelée par les clients B.T., sans parler des pertes de toutes sortes.

Pour essayer de connaître un peu plus précisément cette question, tous les Centres d'Electricité de France procèdent, en général le 3ème mercredi de Décembre, à des séries de mesures tendant à analyser la courbe de charge.

PRINCIPALES METHODES UTILISEES -

Les méthodes employées sont nombreuses. Il est en pratique indispensable de faire ce qu'on appelle un sondage. On peut, en effet, prendre un certain nombre de mesures chez les clients M. T. et multiplier les résultats obtenus par un certain rapport d'extrapolation. On peut également mesurer la puissance appelée par quelques postes de transformation alimentant uniquement des clients B. T. et extrapoler les résultats trouvés. On peut enfin utiliser les deux méthodes précédentes à la fois, c'est-à-dire faire des mesures chez les clients M. T. et dans les postes desservant des clients B. T.

Ces trois méthodes présentent des inconvénients. Dans le cas de la 1ère méthode, il est très difficile d'obtenir un échantillon vraiment représentatif de la clientèle industrielle car non seulement il se trouve sur le territoire de chaque Centre des industries extrêmement variées, mais encore pour une même industrie, la puissance appelée sera très différente selon le nombre des ouvriers travaillant dans l'usine, selon les horaires de travail, les machines utilisées, etc.

La seconde méthode n'offre pas les mêmes difficultés car on peut admettre que tous les abonnés B. T. utilisent leurs appareils électriques d'une façon à peu près semblable bien que des différences se présentent entre les zones urbaines et les zones rurales. La difficulté devant laquelle on se trouve vient du fait qu'il est extrêmement difficile de connaître les puissances souscrites des abonnés B. T. pour lesquels on a fait des mesures et que, de plus, cette puissance souscrite ne correspond pas à la puissance qu'ils sont susceptibles d'utiliser.

En utilisant les deux méthodes précédentes on peut espérer trouver un résultat meilleur en admettant que la solution exacte se trouve très probablement entre les deux résultats trouvés.

Devant l'imprécision des renseignements obtenus par ces méthodes, on pourrait envisager d'utiliser pour l'analyse de la courbe de charge des méthodes mathématiques ou statistiques telles que la méthode de régression multiple. Malheureusement, il ne semble pas possible pour le moment d'utiliser ces méthodes dans les Centres d'Electricité de France. Signalons cependant que le Centre de Paris-Electricité a obtenu de la sorte des résultats remarquables.

ETUDES REALISEES ANTERIEUREMENT -

Le Centre "Ile-de-France-Est" a procédé à des mesures le 16 et le 18 Janvier 1951 en utilisant la 1ère méthode puis la 2ème.

Les chiffres obtenus différaient sensiblement.

Le 16 Janvier, grâce à la double alimentation radiale dont bénéficient certaines zones situées sur le territoire du Centre, il avait été possible d'isoler sur un même câble un certain nombre de postes d'abonnés M. T. en alimentant par un autre câble les postes de D. P. et les postes mixtes : le coefficient de responsabilité de pointe de la M. T. à 8^h30 était de 63,6%, en extrapolant le résultat trouvé selon le rapport de la puissance totale souscrite pour l'ensemble des abonnés M. T. à la puissance souscrite des abonnés de l'échantillon.

Le 18 Janvier, en isolant de la même façon que précédemment un certain nombre de postes distributions publiques et en extrapolant de la même manière que précédemment, on a obtenu la puissance totale appelée par la clientèle B. T. On a déduit le résultat trouvé de la charge globale en tenant compte des pertes et on a trouvé pour la M. T. un coefficient de responsabilité de pointe à 8^h30 de 54%.

Il est évident que les deux échantillons choisis arbitrairement, puisqu'il ne s'agit pas d'un tirage au sort parmi les abonnés B. T. ou M. T., ne sont pas représentatifs. On obtient des résultats "biaisés" et une erreur systématique. En outre, l'erreur aléatoire est supérieure à celle obtenue lorsque l'on utilise une méthode statistique correcte.

Pour des raisons diverses, les chiffres retenus avaient été en 1951 ceux obtenus par la 2ème méthode qui avait été utilisée depuis lors jusqu'en Décembre 1956.

NOUVELLE METHODE D'ANALYSE -

Le 3ème mercredi de Décembre 1957 à la demande de la Direction de la Distribution une nouvelle méthode a été utilisée. Il s'agit d'une variante de la 1ère méthode indiquée ci-dessus. Au lieu de faire les mesures chez les abonnés se trouvant desservis par certains câbles, on a procédé à un sondage : tous les clients M. T. ont été classés grâce aux machines mécanographiques d'après leur utilisation annuelle. On a ensuite pris un client sur 5 parmi les clients ayant 100 kW au moins de puissance souscrite et un client sur 20 parmi tous les autres clients M. T.

Une lettre a été adressée à tous les clients ainsi choisis leur demandant de relever et de noter sur une feuille de papier les chiffres indiqués par leur compteur à chaque heure de la journée du 19 Décembre 1957, et toutes les vingt minutes entre 7^h et 9^h du matin et 5^h et 7^h de l'après-midi.

Une très forte proportion des clients a accepté de répondre à cette demande. En calculant à l'aide des chiffres relevés la puissance appelée par tous les clients ayant répondu, on a cherché à extrapoler soit dans le rapport des puissances souscrites, soit dans le rapport du nombre total des clients ayant répondu ; les résultats trouvés ont paru erronés. Il a fallu rechercher si l'échantillon des clients chez qui les mesures avaient été faites était représentatif.

EXAMEN CRITIQUE DE L'ECHANTILLON -

On a constaté que les moyennes d'utilisation annuelle étaient de 1927 heures

pour l'échantillon et de 2 051 heures pour l'ensemble de la clientèle M. T. ; par contre, les moyennes des puissances souscrites étaient respectivement de 180 kW et de 99 kW. Il est facile de voir qu'il était nécessaire de rectifier les résultats obtenus.

Pour comparer l'échantillon et la population totale, on multiplie par 20 les clients interrogés dont la puissance souscrite est inférieure à 100 kW et par 5 ceux dont la puissance souscrite est égale ou supérieure à 100 kW, on additionne ensuite les chiffres trouvés pour ces deux catégories de clients et on compare avec les chiffres réels de l'ensemble de la clientèle.

C'est de cette façon qu'on a établi l'histogramme représentant d'une part les deux catégories de clients de l'échantillon multipliées par les rapports d'extrapolation rappelés ci-dessus, d'autre part la somme de ces deux catégories de clients et l'ensemble de la population, par tranche de 1 000 heures d'utilisation annuelle.

On constate sur cet histogramme que l'échantillon est représentatif pour les tranches supérieures à 1 000 heures d'utilisation, mais qu'il ne l'est plus entre 0 et 1 000 heures. (Voir annexe B, graphique I).

On a alors porté sur une feuille de papier quadrillé l'ensemble des points de la population en portant en abscisse l'utilisation annuelle et en ordonnée la puissance souscrite. On fait ainsi apparaître la possibilité d'étudier les rapports entre les deux variables en considérant les tranches déterminées d'après les utilisations annuelles.

On a ainsi été amené à établir pour les tranches de 0 à 500 heures, de 500 à 1 000 heures, etc. jusqu'à 3 000, puis de 3 000 à 4 000 et au-dessus de 4 000 les polygones de fréquences des clients de l'échantillon et de l'ensemble de la clientèle d'après leurs puissances souscrites.

On constate de nouveau que l'échantillon, multiplié comme indiqué plus haut, se situe au-dessus de la population pour les fortes utilisations annuelles tandis qu'il est légèrement au-dessous entre 1 000 et 1 500 heures, nettement au-dessous entre 500 et 1 000 heures et encore plus nettement entre 0 et 500 heures. (Voir annexe B, graphiques II et III).

CORRELATIONS ENTRE L'UTILISATION, LA PUISSANCE SOUSCRITE ET LA PUISSANCE APPELEE A LA POINTE -

Après avoir mis en évidence la distorsion due au fait que l'échantillon n'était pas représentatif, il fallait rechercher à l'aide de méthodes statistiques une amélioration des résultats obtenus précédemment. Pour cela on procéda à une étude détaillée de l'ensemble des mesures à l'heure de la pointe propre du Centre, c'est-à-dire 8^h30. On a donc porté sur un graphique d'abord les clients dont la puissance souscrite était inférieure à 100 kW en prenant pour abscisse leur utilisation annuelle et pour ordonnée la puissance appelée à la pointe. Ensuite, on a fait la même chose pour les clients dont la puissance souscrite était de 100 kW ou plus.

Pour ces deux catégories de clients, on a établi deux autres graphiques en portant en abscisse la puissance appelée à la pointe et en ordonnée la puissance souscrite. La corrélation entre la puissance appelée à la pointe par rapport à la puissance souscrite s'est montrée nettement plus forte sur ces graphiques que la corrélation entre la puissance appelée à la pointe et l'utilisation annuelle. On a donc établi de nouveaux graphiques pour chacune des tranches d'heures d'utilisation déjà considérées avec en abscisse la puissance appelée à la pointe et en ordonnée la puissance souscrite.

On a calculé les équations des droites des moindres carrés dans chacune de ces tranches d'heures d'utilisation, puis pour l'ensemble de l'échantillon.

Si nous appelons a_i et b_i les coefficients de l'équation de la droite dans la tranche i d'heures d'utilisation, on peut calculer $\bar{y}_i = a_i \bar{p}_i + b_i$.

p_i = étant la moyenne des puissances souscrites pour l'échantillon dans cette même tranche, et

$\bar{y}_i$ = la moyenne estimée des puissances appelées à la pointe de l'échantillon.

Le total $Y_i = N_i \bar{y}_i$, où N_i est l'effectif de la population de la tranche i, donne une estimation de la puissance totale appelée à la pointe par les clients M.T. groupés dans cette tranche. En additionnant tous les $N_i \bar{y}_i$ trouvés on obtient une estimation de la puissance appelée par l'ensemble de la clientèle.

En opérant de la sorte, on a trouvé un coefficient de responsabilité de pointe de 73% au lieu de 74% trouvé précédemment.

Les résultats étaient donc satisfaisants, mais on a cherché ce que donnerait une autre méthode.

On a dressé un tableau à double entrée en découpant l'ensemble de la population et de l'échantillon d'une part en tranches d'heures d'utilisation et, d'autre part, en tranches de puissance souscrite en prenant comme limites des tranches d'heures d'utilisation les mêmes que précédemment : 500, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500, 3 000 et 4 000 et comme limites des tranches de puissance souscrite 50, 100, 150, 200, 450, 750 et 1 000.

On a divisé chaque case de ce tableau en 8 de la manière suivante :

Effectif de l'échantillon n_i	Puissance souscrite totale de l'échantillon p_i	Moyenne de la puissance appelée à la pointe de l'échantillon $\bar{y}_i$	Variance de l'échantillon $v_i = \frac{\sum_j (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n_i - 1}$
Effectif de la sous-population N_i	Puissance souscrite totale de la sous-population P_i	Puissance totale appelée à la pointe de la sous-population $\bar{y}_i \times N_i = Y_i$	Variance de Y_i $V_i = \frac{N_i^2}{n_i^2} n_i v_i (1 - \frac{n_i}{N_i})$

On y a reporté les résultats trouvés. (Voir annexe A calcul de l'erreur type). La somme des Y_i donnait un coefficient de responsabilité de pointe de 70%.

L'erreur-type, en pourcentage, est donnée par :

$$e = \frac{\sqrt{\Sigma V_i}}{\Sigma Y_i}$$

c'est-à-dire qu'on fait le rapport de la racine carrée du total des variances trouvées dans toutes les cases du tableau par le total des puissances appelées par tous les clients.

On a trouvé, dans l'étude effectuée, une erreur type de 4 %, ce qui indique que la valeur réelle du coefficient de responsabilité à la pointe a environ 90 chances sur 100 de se trouver comprise entre 65 % et 75 %.

Cette dernière méthode, stratification multiple à fraction sondée variable, en réduisant la population formée par l'ensemble des clients M. T. en sous populations d'une plus grande homogénéité, donne des résultats très satisfaisants.

ANALYSE DE LA COURBE DE CHARGE -

Tous les travaux indiqués avaient permis de constater que pour l'heure de la pointe propre du Centre, on obtenait un résultat plus proche de la réalité en diminuant de 10% le chiffre obtenu à l'aide du coefficient d'extrapolation primitivement employé.

On a donc supposé qu'il était possible d'améliorer l'ensemble des résultats pour chaque heure de la journée en opérant ce même abattement de 10% sur les chiffres obtenus à l'origine. Malheureusement, les courbes que l'on obtenait ainsi tant pour la M. T. que la B. T. présentaient des anomalies telles qu'on a jugé préférable de reprendre toutes les feuilles sur lesquelles les clients avaient inscrit les mesures faites chez eux, de les classer selon la méthode indiquée, c'est-à-dire d'abord par tranche de puissance souscrite puis dans chaque tranche de puissance souscrite suivant l'utilisation annuelle et de calculer de la sorte dans chacune des cases ainsi obtenues la puissance moyenne appelée à la pointe, ce qui donnait ensuite en multipliant la moyenne trouvée par l'effectif de la sous population la puissance totale appelée à la pointe par cette sous population.

Il suffisait alors d'additionner tous les chiffres trouvés à chaque heure de la journée pour avoir la puissance appelée par l'ensemble de la clientèle M. T. avec une précision beaucoup plus grande que précédemment.

Ce sont ces nouvelles valeurs de la puissance appelée qui ont été utilisées, sans aucune correction, pour l'établissement des courbes de charge M. T. et B. T. du 18 décembre 1957 (voir graphique IV).

EVALUATION DE L'ERREUR -

On a vu précédemment que l'erreur-type à 8^h30 était d'environ 4%. Il est possible qu'aux autres heures on trouve des chiffres plus faibles ou au contraire plus forts, mais il est important de souligner que ce chiffre théorique, ne tient pas compte d'un certain nombre d'accidents qui ont pu se produire.

En effet, il est bien certain qu'avec la meilleure volonté du monde certaines des personnes chargées de lire et de noter les indications des compteurs ont pu faire une erreur de lecture, de même que certains clients chez lesquels on a procédé à des mesures ont pu volontairement modifier la marche de leur usine. Dans la mesure du possible les réponses reçues ont été corrigées en tenant compte de la consommation mensuelle des clients.

Des erreurs peuvent provenir également de l'inexactitude des heures auxquelles les mesures sont faites.

Enfin, il est possible également que des erreurs soient faites lors de l'établissement de la liste des clients par la mécanographie.

CONCLUSION

La seule façon d'obtenir des résultats extrêmement précis dans l'analyse de la courbe de charge serait de procéder au moins une fois tous les 10 ans par exemple à un recensement général en mesurant la puissance appelée par tous les clients M. T. d'un Centre tout au long d'une ou de plusieurs journées ou tout au moins pendant les heures de pointe.

On obtiendrait alors une quantité de réponses telle qu'il serait très long de les totaliser. Cependant, un appareil actuellement mis au point sous le contrôle du Service des Etudes et Recherches d'Electricité de France sortira en série dans quelques mois. Il permettra de procéder à l'enregistrement toutes les 10 minutes sur des cartes directement utilisables par les machines mécanographiques, de la puissance active, de la puissance réactive et de l'heure.

Il est certain que ces appareils seront relativement très chers. On pourrait envisager cependant d'en rendre l'achat obligatoire, d'abord pour tous les clients au-dessus de 1 000 kW de puissance souscrite, puis pour tous les clients au-dessus de 750 kW de puissance souscrite, puis pour ceux au-dessus de 450 kW et peut-être même pour ceux ayant plus de 200 ou plus de 100 kW de puissance souscrite. D'une part, la nécessité de produire ces appareils en plus grande série permettrait de faire baisser le prix très sensiblement, d'autre part, il serait possible de faire comprendre à tous les clients obligés de procéder à cet achat que ces appareils leur permettraient entre autre chose de suivre minute par minute la marche de leur usine.

En outre, il est bien évident qu'on arriverait ainsi dans quelques années à des résultats d'une très grande précision dans l'analyse de la courbe de charge. Faute de mieux, on peut consédérer cependant qu'il est possible d'améliorer les résultats obtenus jusqu'ici en généralisant la méthode que nous venons de décrire.

On trouvera en annexe les renseignements nécessaires pour l'application de cette méthode.

ANNEXE A

APPLICATION DE LA METHODE DE LA STRATIFICATION MULTIPLE A FRACTION SONDEE VARIABLE

Détermination de la puissance appelée par la clientèle propre M. T. d'un Centre de distribution.

L'application de cette méthode peut se faire de la manière suivante :

Préparation de l'enquête.

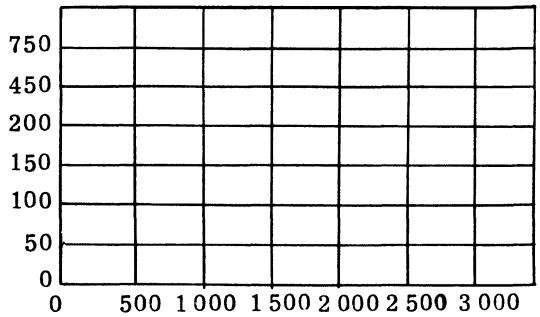
1/ Prendre une liste des clients industriels classés selon leurs puissances souscrites.

2/ Eliminer de cette liste, d'une part les clients du Service national et, d'autre part les clients chez lesquels il existe un enregistreur, et aussi, éventuellement, les petits distributeurs qui doivent faire l'objet d'un groupe à part.

3/ Classer tous les autres clients ayant une puissance souscrite de 1 à 50 kW, en tranches d'utilisation annuelle de 500 en 500 heures jusqu'à 3 000 heures en mettant dans la dernière tranche tous ceux ayant plus de 3 000 heures d'utilisation annuelle.

4/ Faire de même pour les clients ayant une puissance souscrite de 51 à 100 kW, puis pour ceux ayant de 101 à 150 kW, pour ceux ayant 151 à 200 kW, de 201 à 450 kW. De 451 à 750 kW, et au-dessus de 751 kW, on ne tiendra pas compte des utilisations annuelles.

5/ On dresse ensuite un tableau du modèle suivant :



6/ On peut alors diviser chaque case de ce tableau en quatre et on indique dans chaque carré ainsi obtenu les renseignements suivants :

Nombre de clients interrogés	n_i	$\bar{y}_i$	Moyenne des puissances appelées par les clients interrogés
Nombre de clients de ce groupe	N_i	Y_i	Puissance totale appelée par ce groupe

7/ Les N_i sont faciles à déterminer puisqu'il suffit de compter dans chaque groupe, déterminé comme indiqué précédemment, le nombre de clients qui s'y trouvent.

8/ Pour déterminer le nombre de clients à tirer au sort dans chaque groupe de clients, on prendra, la première année, les proportions suivantes :

Pour les puissances souscrites comprises entre 0 et 50 kW.

- 3 %	des clients	ayant de	0 à 500	heures	d'utilisation
- 3,5%	"	"	500 à 1 000	"	"	"
- 4 %	"	"	1 000 à 1 500	"	"	"
- 5 %	"	"	1 500 à 2 000	"	"	"
- 7,5%	"	"	2 000 à 2 500	"	"	"
-10 %	"	"	2 500 à 3 000	"	"	"
-12,5%	"	"	plus de 3 000	"	"	"

Pour les puissances souscrites de 51 à 100 kW.

- 7%	des clients	ayant de	0 à 1 000	heures	d'utilisation
- 13%	"	"	1 000 à 2 000	"	"	"
- 15%	"	"	plus de 2 000	"	"	"

Pour les puissances souscrites de 101 à 150 kW et de 151 à 200 kW.

- 10%	des clients	ayant de	0 à 1 500	heures	d'utilisation
- 14%	"	"	1 500 à 3 000	"	"	"
- 16%	"	"	plus de 3 000	"	"	"

Pour les puissances souscrites de 201 à 450 kW.

- 15 %	des clients	ayant de	0 à 1 500	heures	d'utilisation
- 35 %	"	"	1 500 à 3 000	"	"	"
- 50 %	"	"	plus de 3 000	"	"	"

Pour les clients ayant de 451 à 750 kW de puissance souscrite.

- 40% de tous les clients.

Pour les clients ayant plus de 750 kW de puissance souscrite.

- 55% de tous les clients.

Ces proportions ont été calculées pour le Centre Ile-de-France-Est qui compte environ 2 100 clients M. T. Dans tous les cas, il convient d'interroger au moins 300 clients au total ce qui devrait donner environ 250 réponses permettant de faire une bonne évaluation de la puissance appelée par cette clientèle.

Pour un Centre comptant beaucoup moins d'abonnés M. T., on pourrait être conduit à prendre la totalité des clients au-dessus de 450 kW de puissance souscrite.

9/ Le tirage au hasard peut s'effectuer sur les listes établies par la mécanographie en prenant, par exemple, 1 client sur 10 parmi tous les clients ayant de 101 à 200 kW de puissance souscrite et de 0 à 1 500 heures d'utilisation. Il est facile de prendre sur la liste des clients d'une de ces catégories le 5ème d'abord, puis le 15ème, etc.

Enquête.

10/ On adresse alors à chacun des clients désignés par le hasard une lettre lui exposant ce qu'on attend de lui et l'intérêt que présente cette enquête, ainsi

qu'une feuille toute préparée et un schéma de lecture du compteur. (voir plus loin la lettre-type utilisée par Ile-de-France-Est).

11/ Lorsque les réponses parviennent au Centre, il est nécessaire de les examiner soigneusement pour relever les erreurs de lecture ou d'interprétation, traduire en kW les index relevés et vérifier si les chiffres donnés correspondent à la puissance souscrite de l'abonné, à son utilisation annuelle et à sa consommation mensuelle.

12/ On classe alors les réponses selon les critères indiqués précédemment, d'une part selon les puissances souscrites et d'autre part, suivant les heures d'utilisation.

Une fois ce travail effectué, on notera dans les cases du haut et à gauche de chaque carré le nombre de clients obtenu. Au cas où, dans certaines cases on aurait un nombre de clients inférieur à 5, on pourra, sans difficulté, regrouper 2 ou 3 cases : par exemple, si on trouve de 151 à 200 kW de puissance souscrite, 2 clients ayant de 500 à 1 000 heures et 4 clients de 1 000 à 1 500 heures, on regroupera les 2 cases correspondantes en une seule case et on indiquera dans le carré en haut et à gauche 6 et dans le carré en bas à gauche le total des clients des deux sous-populations correspondantes.

13/ On additionne alors à chaque heure les puissances appelées qui figurent sur les réponses et on divise le chiffre obtenu par le nombre de clients ayant répondu, ce qui donne pour chaque case la valeur $\bar{y}_i$, (moyenne des puissances appelées par les clients interrogés) qu'on porte dans la case en haut et à droite du carré convenable.

14/ On multiplie cette moyenne par le nombre N_i des clients du groupe considéré et on porte le résultat Y_i dans la case du bas à droite du carré concernant le groupe considéré.

15/ On totalise tous les Y_i trouvés pour chaque heure du jour, on y ajoute les valeurs données par les enregistreurs et on obtient ainsi la puissance appelée estimée de l'ensemble des clients M. T. pour toutes les heures de la journée.

Evaluation des n_i optimum(1).

Le premier sondage effectué à l'aide des valeurs de n_i indiquées ci-dessus au paragraphe 8 est un sondage préliminaire qui permet de rechercher les n_i optimum qu'on emploiera pour le sondage de l'année suivante.

En effet, nous avons vu qu'on avait pu calculer la variance totale : nous allons donc chercher quels seraient les effectifs théoriques des diverses cases d'un nouvel échantillon pour lesquels cette variance totale serait un minimum.

Pour minimiser cette variance totale, il suffit d'écrire que les dérivées partielles par rapport à n_i des expressions :

$$\frac{N_i^2}{n_i^2} n_i v_i \left(1 - \frac{n_i}{N_i}\right)$$

sont égales à une constante k.

On trouve :

$$\frac{N_i^2 v_i}{n_i^2} = k$$

---

(1) L'enquête devant être renouvelée chaque année, il a paru utile d'indiquer de quelle façon on pouvait diminuer la variance totale à l'aide des résultats précédemment obtenus.

Les nouveaux effectifs théoriques seront donc en appelant N' le nombre total de clients qui seront interrogés l'année suivante :

$$n' = N' \frac{N_i \sqrt{v_i}}{\sum N_i \sqrt{v_i}}$$

Heure de la pointe propre du Centre. Calcul de l'erreur-type.

Le résultat qui présente le plus d'intérêt est le coefficient de responsabilité de pointe de la clientèle M.T. du Centre. On cherchera donc l'erreur type pour l'heure de la pointe propre du Centre.

La variance estimée dans l'échantillon n° i étant :

$$v_i = \frac{\sum_j (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n_i - 1}$$

la variance de la moyenne $\bar{y}_i$ est :

$$\frac{v_i}{n_i} \left(1 - \frac{n_i}{N_i}\right)$$

d'où pour la variance de l'estimation $Y_i = N_i \bar{y}_i =$

$$V_i = \frac{N_i^2}{n_i} v_i \left(1 - \frac{n_i}{N_i}\right)$$

Cette étude a été faite en extrapolant dans le rapport du nombre des clients. Cependant, des résultats intéressants pourraient être obtenus également, selon des personnalités ayant l'expérience de ces problèmes, en extrapolant dans le rapport des puissances souscrites ou mieux encore dans le rapport des consommations annuelles totales, ou même des consommations mensuelles de Décembre, si les valeurs peuvent être obtenues d'une manière homogène.

CONCLUSION

Cette méthode demande un assez gros travail, principalement la première année, mais elle présente le gros avantage de fournir des résultats plus exacts que ceux obtenus auparavant, et de permettre le calcul de l'erreur type.

Nous n'avons pas parlé du problème posé par les clients qui ne répondent pas au questionnaire afin de ne pas compliquer outre-mesure cette étude.

Il serait intéressant d'appliquer cette méthode dans tous les Centres d'Electricité de France pour chercher à améliorer les valeurs des coefficients de responsabilité de pointe de la M.T. En outre, tous les chiffres ayant été évalués à l'aide d'une seule méthode pourraient être comparés utilement et, de plus, le détail des calculs permet, éventuellement, de procéder à une étude détaillée des répercussions de l'application du tarif vert dans chaque groupe considéré.

M. Morlat du Service Statistique d'Etudes et Recherches d'E.D.F. déclarait en présentant cette étude : "il faut souligner que dans ce problème, la statistique n'apporte pas seulement une méthode d'analyse parmi d'autres, ni même une méthode plus précise que les autres mais surtout la seule méthode permettant d'éviter des erreurs systématiques extrêmement glissantes, pour qui n'aurait pas réfléchi sainement aux principes des sondages."

LETTRE-TYPE

adressée à tous les clients de l'échantillon

Messieurs,

Dans le cadre d'études générales pour l'amélioration de notre distribution, il nous est nécessaire de rassembler un certain nombre de renseignements sur l'utilisation de l'électricité par catégories professionnelles.

Etant donné la simultanéité nécessaire des opérations à faire, il nous est impossible d'effectuer, avec notre personnel seulement, un nombre suffisant de mesures pour permettre une extrapolation raisonnable. Nous avons donc pensé vous demander votre concours. Il s'agirait, dans la journée du mercredi 18 décembre prochain (jour présumé de la pointe maxima de l'année), de faire procéder à des relevés de votre compteur d'énergie active (kWh) à des intervalles réguliers d'environ 20 minutes aux heures de pointe, soit de 7^h à 9^h et de 17^h à 19^h et d'heure en heure le reste du temps. Les indications exactes relevées seraient transcrites par vos soins sur les imprimés ci-joints, que vous auriez l'amabilité de nous renvoyer complétés(1).

Il va sans dire que si vous trouvez trop d'inconvénients à procéder à la totalité des lectures, vous n'êtes en aucune façon, tenus de le faire ; toutes indications partielles que vous pourriez nous communiquer nous seraient, néanmoins, utiles.

En comptant sur votre grande obligeance et en vous adressant nos remerciements anticipés, nous vous prions d'agréer, Messieurs, l'assurance de nos sentiments très distingués.

P.S. - Si vous disposez d'un wattmètre enregistreur, il suffirait de nous envoyer, en communication, si vous le voulez bien, le diagramme de la journée du 18 décembre 1957.

---

(1) Un schéma de lecture d'un compteur, et un tableau de mesures à remplir étaient joints à cette lettre.

ANNEXE B

Graphiques

GRAPHIQUE I -

Histogramme par tranches de 1 000 heures.

Le trait plein indique le sommet des rectangles construits de la façon suivante : pour chaque tranche de 1 000 heures d'utilisation annuelle on a compté le nombre des clients qui font partie de chaque tranche et on a porté en ordonnée le nombre trouvé.

Le trait en pointillé indique de la même façon le nombre de clients de l'échantillon ayant moins de 100 kW de puissance souscrite, ce nombre ayant été multiplié par 20.

Le trait en tirets indique le nombre de clients de l'échantillon ayant plus de 100 kW de puissance souscrite après multiplication de ce nombre par 5.

La somme obtenue en additionnant les clients de l'échantillon (multipliés respectivement par 20 et par 5 suivant leur puissance souscrite) est indiquée par le trait mixte (points - tirets).

On constate que ce dernier chiffre concorde bien pour les fortes utilisations annuelles avec le chiffre correspondant à l'ensemble de la clientèle mais devient de plus en plus inférieur à ce dernier, lorsque l'utilisation décroit.

GRAPHIQUE II et III -

Polygone de fréquence pour les utilisations supérieures à 4 000 heures et pour les utilisations comprises entre 0 et 500 heures.

Ces deux graphiques ont été établis de la façon suivante :

- On prend tous les clients ayant l'utilisation annuelle indiquée.

- On les classe ensuite en mettant d'abord ceux ayant 0 à 25 kW de puissance souscrite, puis ceux ayant de 26 à 50 kW, etc. jusqu'à 1 000 kW de puissance souscrite. On compte le nombre de clients dans chaque groupe et on porte en ordonnée le chiffre trouvé.

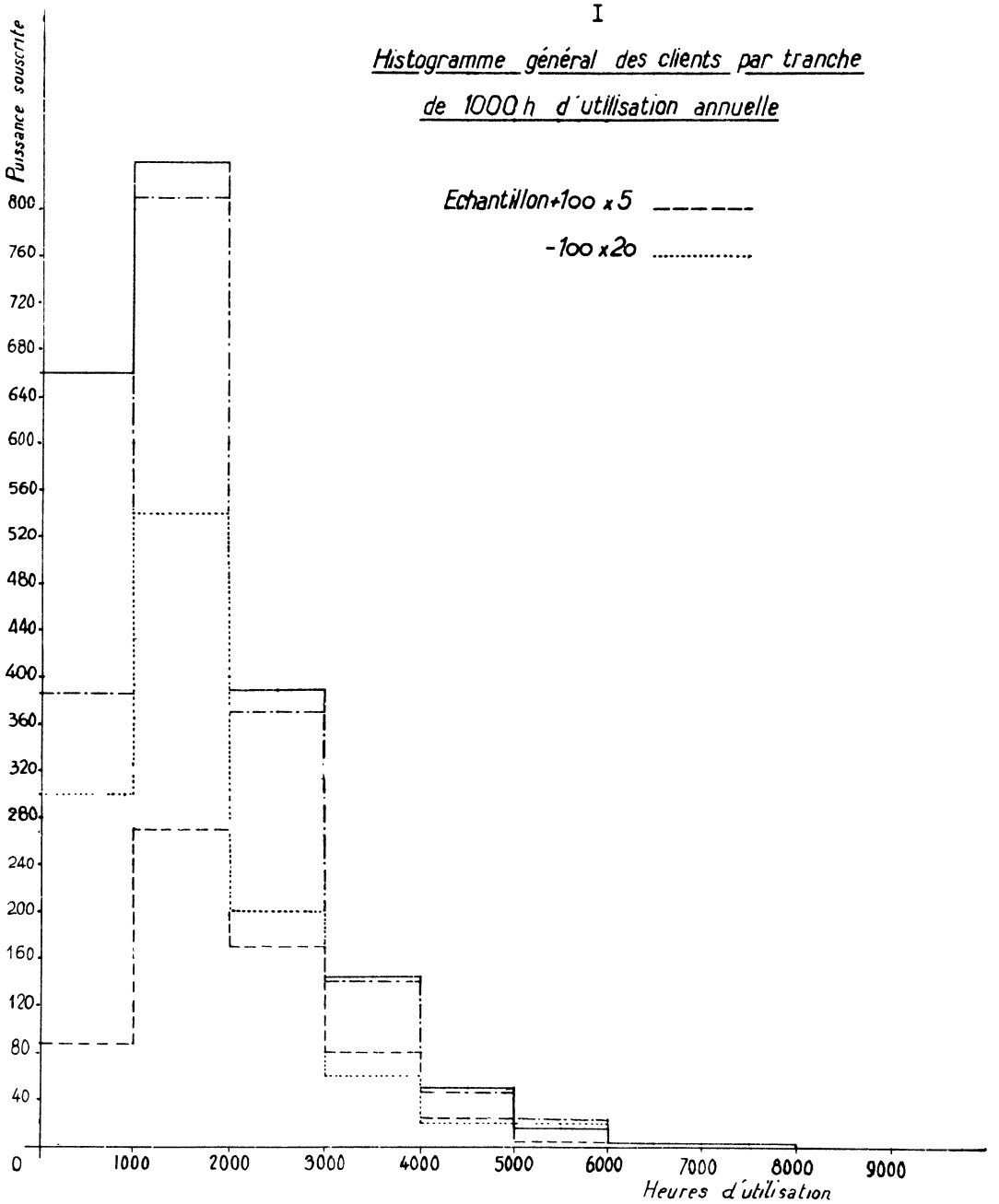
- On trace alors en trait plein la courbe en escalier passant par tous les points ainsi déterminés.

- On recommence la même opération en comptant simplement les clients interrogés et en multipliant leur nombre par 20 au-dessous de 100 kW de puissance souscrite et par 5 au-dessus de 100 kW de puissance souscrite. On trace en pointillé la courbe en escalier joignant les points trouvés.

On voit aisément que, pour les fortes utilisations, l'échantillon est assez représentatif alors que pour les faibles utilisations, il reste nettement au-dessous de la courbe correspondant à l'ensemble de la clientèle.

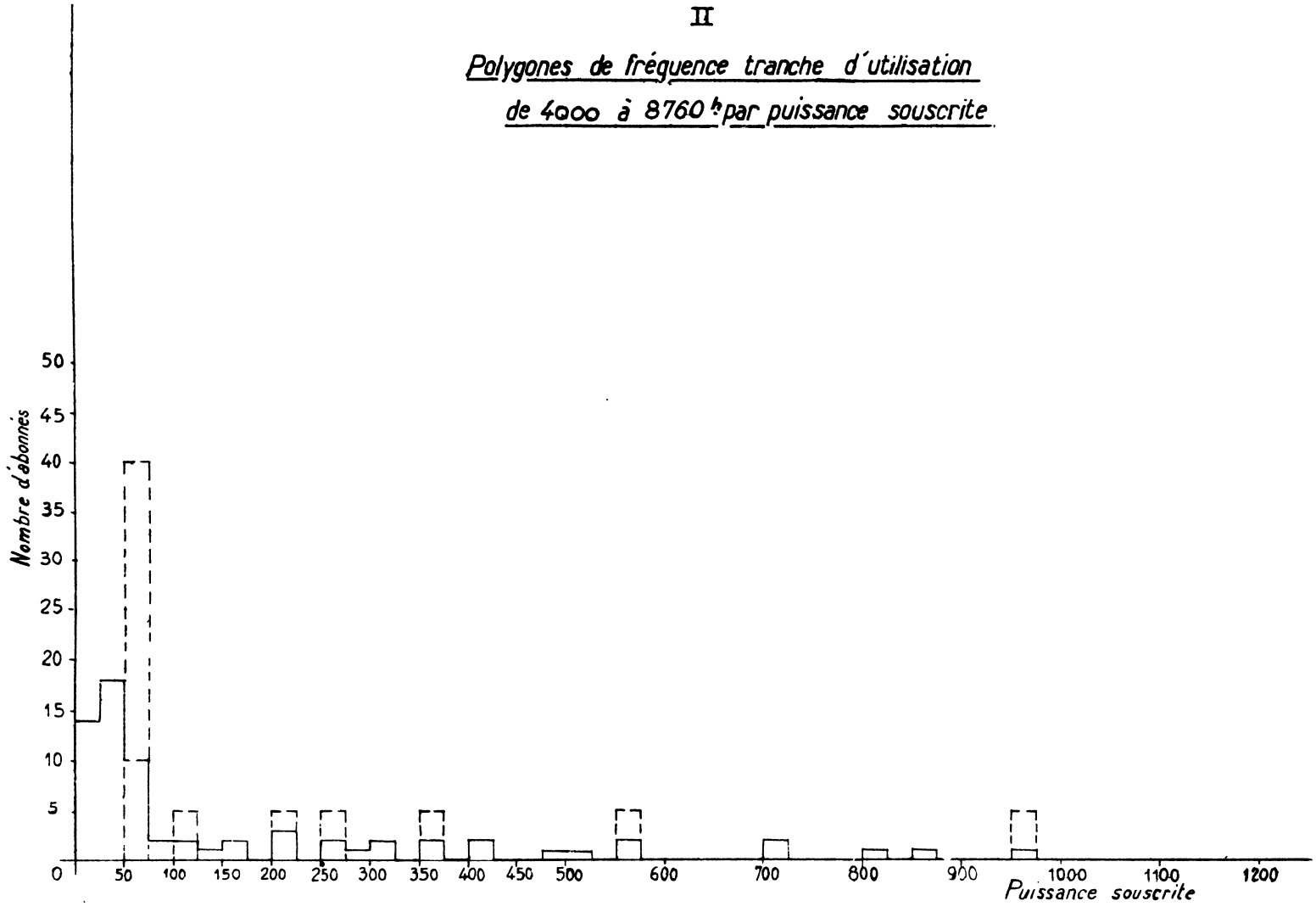
I

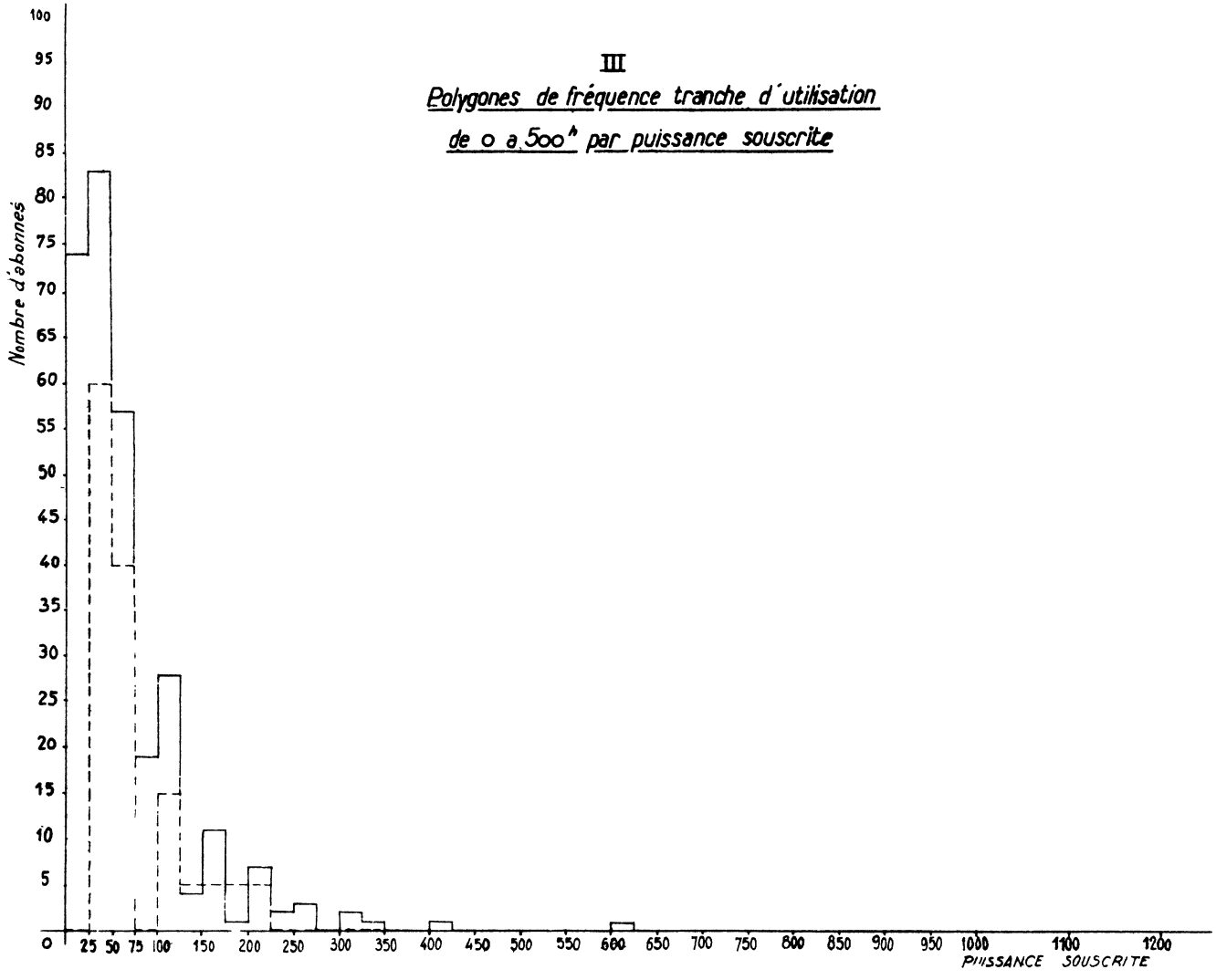
Histogramme général des clients par tranche de 1000 h d'utilisation annuelle



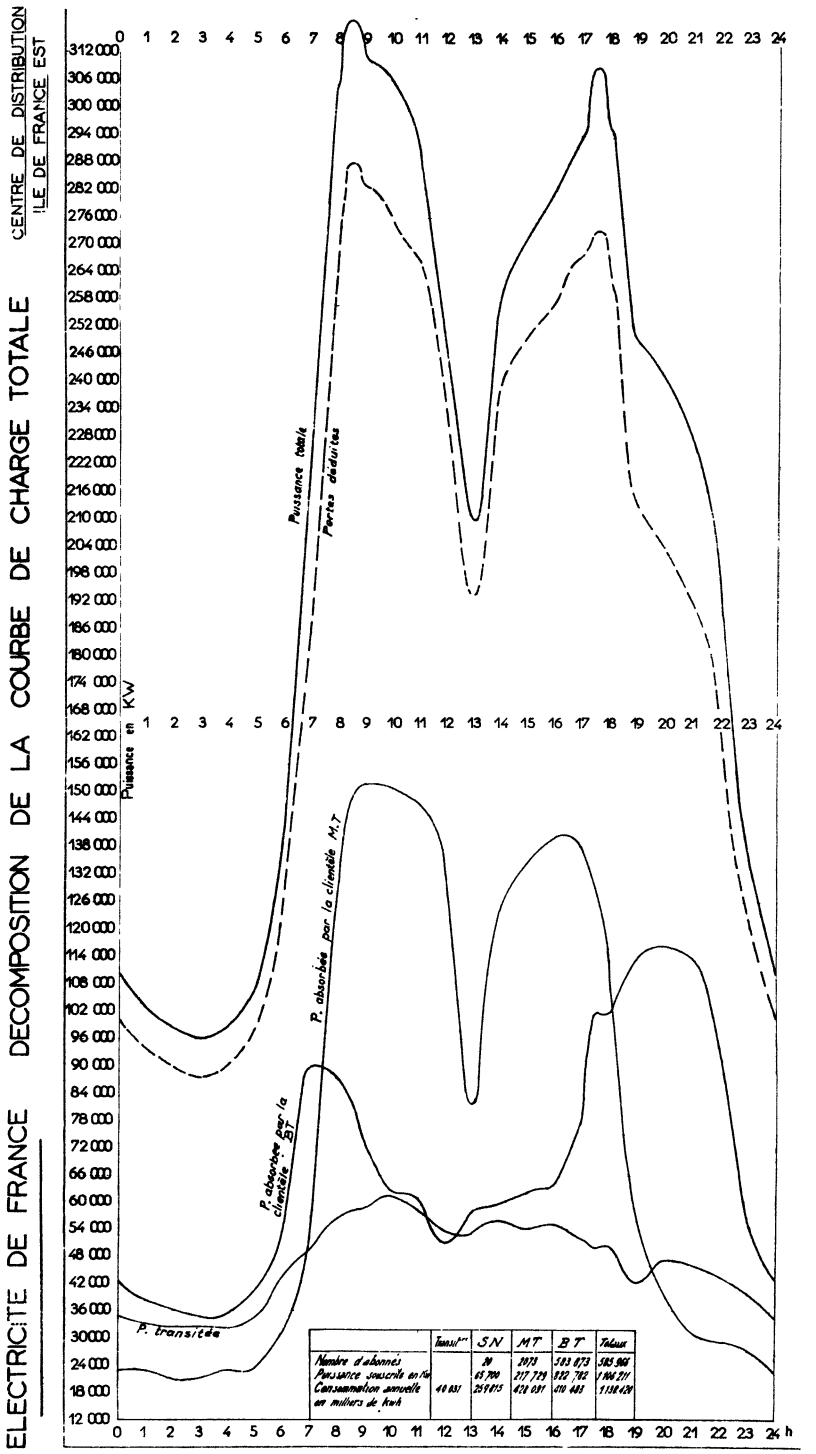
II

Polygones de fréquence tranche d'utilisation de 4000 à 8760 h par puissance souscrite




III
Polygones de fréquence tranche d'utilisation
de o a 500h par puissance souscrite
Nombre d'abonnés
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
25 50 75 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000 1100 1200
PUISSANCE SOUSCRITE

GRAPHIQUE IV -

Courbes de charge :

Courbes obtenues pour la moyenne tension à l'aide de la méthode exposée (sans aucune correction) et pour la basse tension par différence.