

REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

E. HALPHEN

Un exemple d'application des méthodes statistiques : le problème du plan pour l'équipement électrique français

Revue de statistique appliquée, tome 1, n° 1 (1953), p. 39-46

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1953__1_1_39_0

© Société française de statistique, 1953, 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/>

UN EXEMPLE D'APPLICATION DES MÉTHODES STATISTIQUES

LE PROBLÈME DU PLAN POUR L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE FRANÇAIS

par **E. HALPHEN**

De grands Etablissements Publics, tels qu'Electricité de France et Gaz de France, ont vu depuis longtemps les services que peut leur rendre la recherche statistique.

C'est M. Pierre MASSE, actuellement Directeur Général Adjoint d'Electricité de France, qui suscita, avant même la création d'E. D. F. par la loi de nationalisation, les recherches statistiques dans le domaine de la production et de l'équipement électrique.

Il a paru intéressant de reproduire de larges extraits d'une étude publiée en 1946 par M. Etienne HALPHEN, par lesquels on verra le caractère particulier des recherches statistiques en cette matière. Les travaux ici exposés ont contribué à donner une base rationnelle à l'Équipement Hydraulique de notre pays.

INTRODUCTION

« Compter le nombre de sexagénaires qui traversent le Pont-Neuf entre 2 et 3 heures de l'après-midi, un jour de beau temps » : telle est l'idée qu'un humoriste du siècle dernier se faisait du métier de statisticien.

Reconnaissons qu'autrefois cette boutade n'était pas totalement dénuée de fondement et que, durant longtemps, la statistique n'avait guère d'autre fonction que d'accumuler le plus possible de données numériques, sans très bien savoir ce qu'on en pourrait tirer, ni de quelle manière.

Une conséquence de cet état de choses fut que les anciens « collecteurs de chiffres » opéraient un peu au hasard, ou du moins avec des objectifs très limités, si bien que leur travail répond souvent fort mal aux exigences de la statistique moderne.

Car, aujourd'hui, les spécialistes savent faire la différence entre collecteur de chiffres et statisticien. Et cela, grâce aux efforts de ceux qui, dans le courant du XIX^e siècle et le début du XX^e, ont établi la statistique sur le fondement du calcul des probabilités, en faisant ainsi une véritable science : car un des caractères propres de la science est l'aptitude à prévoir, et c'est la notion de probabilité qui a rendu la statistique capable de prévision.

Parmi les hommes qui ont réalisé cette transformation, on compte à l'origine un certain nombre de Français. Mais, ce n'est pas sans tristesse qu'il nous faut le constater : notre pays n'a pas poursuivi ses efforts dans ce domaine, et nous avons laissé finalement nos amis d'Outre-Manche mettre sur pieds presque à eux seuls les méthodes définitives de la statistique ; en sorte qu'aujourd'hui c'est à leur école qu'il nous faut commencer par nous mettre, si nous ne voulons pas nous égarer et perdre un temps précieux sur des pistes qui n'aboutissent nulle part. Mais il suffirait chez nous de quelques hommes de valeur se mettant sérieusement au travail, pour que nos qualités intellectuelles nationales donnent naissance à une école française de statisticiens qui serait une digne émule de l'école anglaise : les Galton, Karl et Egon Pearson, « Student », Fisher, Neyman ont fait de grandes choses ; mais il en reste encore assez à faire pour nous promettre une riche moisson.

Et jamais peut-être l'heure n'a été plus favorable qu'à présent : la statistique est à l'ordre du jour et dans le monde entier on commence à en comprendre l'utilité. On entrevoit qu'elle seule est capable de dégrossir nombre de problèmes obscurs et complexes et de fournir des éléments approchés de prévision en des domaines où notre ignorance ne nous permet pas encore d'entrer

dans le mécanisme profond des causes. Mieux : les résultats que le statisticien atteint sans souci fondamental d'explication, et même en cherchant à « enjamber » des explications qui semblent vouloir nous échapper, ces résultats orientent souvent les recherches ultérieures dans le sens correct où se trouvera l'explication provisoirement négligée.

Nous dirions volontiers que les probabilités sont une mesure de l'ignorance humaine et que la statistique est ce qui tient lieu de science aux ignorants que nous sommes tous plus ou moins.

Peut-être ce caractère de la statistique est-il cause de la défaveur où elle fut longtemps tenue dans notre pays, devenu ces derniers siècles de plus en plus cartésien — dans le bon comme dans le mauvais sens du mot.

Mais notre époque paraît redécouvrir le primat de l'expérience sur les opérations purement abstraites de l'esprit et se remettre à cultiver un jardin dont beaucoup de plantes, pour contraires à nos idées préconçues que soient leurs structures, ne laissent pas d'être belles et précieuses. La statistique devrait profiter, l'une des premières, de cet heureux « retour au réel ».

Car, au contraire de ce que beaucoup pensent, c'est une science éminemment humaine, et même — puisque le mot est à la mode — « humaniste ». Elle l'est par la largeur d'esprit qu'elle demande et qu'elle développe chez ceux du moins qui ont véritablement l'esprit statisticien ; elle l'est par le constant recours au bon sens qu'elle exige pour suppléer aux lacunes de nos outils physiques ou mathématiques ; elle l'est enfin par l'obligation qu'elle nous impose d'acquérir une connaissance sérieuse de tout domaine scientifique, industriel, social, où nous prétendons en faire l'application.

On voit par là que ce n'est pas une science aussi élémentaire que pourrait le faire croire la modestie de son appareil mathématique : plus d'un en a tiré des résultats médiocres ou même franchement absurdes, pour n'y avoir apporté qu'un esprit d'amateur. Car, par dessus tout, le métier de statisticien demande du temps et réclame de celui qui veut en faire sa profession une formation très solide.

Ces exigences expliquent peut-être mieux que tout la défiance légitime que la statistique a si longtemps inspirée aux industriels : il vaut mieux n'en pas faire que de la faire mal. Mais puisque de nos jours un vent nouveau paraît souffler, espérons qu'un nombre croissant de Français s'intéressera à une discipline si vivante et si riche de possibilités d'avenir.

Nous pensons intéresser quelques lecteurs en leur faisant entrevoir sur un exemple certaines de ces possibilités.

I. Les données du problème.

Le problème du plan peut être ainsi défini :

Déterminer les équipements hydraulique et thermique capables de garantir, de la façon la plus avantageuse, une consommation d'énergie électrique supposée donnée.

Il ne nous appartenait pas directement de préciser le sens de « la plus avantageuse ». Notre rôle immédiat se bornait à caractériser les structures d'équipement permettant de faire face aux divers risques de sécheresse, laissant à d'autres le soin de tirer les conséquences économiques de notre travail. Lorsque, longtemps avant que soit constituée la Commission du Plan, M. Massé nous demanda d'aborder l'étude statistique de ce problème, voici comment celui-ci se présentait à nous :

On connaît les débits des principaux cours d'eau français, mois par mois, depuis les environs de l'année 1920. Pour un certain nombre, on les connaît jour par jour — et sans doute pourrait-on retrouver dans les archives les débits journaliers de pas mal d'autres. Pour quelques-uns, très rares, les débits sont connus depuis plus longtemps : 1910, 1900... Pour le Rhin, tout près de la frontière française, les Suisses remontent même à 1808. Ainsi, sauf quelques exceptions, nous n'avions de données que pour une période de l'ordre de 25 ans, ce qui revient à dire que les courbes destinées à synthétiser les faits observés devraient être construites à l'aide de 25 points. Dans un problème de ce type, c'est très peu.

Encore si les données en question étaient excellentes, on pourrait chercher à en tirer des conclusions assez suggestives pour dégager, peut-être, certaines lois physiques par recoupement avec des données météorologiques. Malheureusement la grande majorité des stations de jaugeage françaises sont de qualité médiocre, et souvent pires, en sorte que l'amas énorme de chiffres que possède l'administration des Ponts et Chaussées est en grande partie inutilisable. Du reste, les données météorologiques non plus ne présentent souvent pas la sécurité ni surtout l'homogénéité qui seraient nécessaires dans un travail de ce genre, et il fallait absolument renoncer, pour le moment, à chercher de ce côté un remède à nos difficultés.

Si l'on voulait, dès lors, se borner à utiliser les stations vraiment sûres, leur petit nombre, joint à la brièveté de la période connue, ne permettrait d'aboutir qu'à la condition que le réseau hydrologique français soit d'une extrême homogénéité. Or, ce n'est pas le cas. Une étude préliminaire de quelques bonnes stations acheva de nous démontrer ce que des études antérieures nous faisaient pressentir : l'impossibilité de résoudre de cette manière le problème proposé. D'autant plus qu'à l'hétérogénéité dans l'espace s'ajoute une grande hétérogénéité dans le temps : présence ou absence de neige saisonnière, prépondérance en été, dans certaines régions, des eaux provenant de la fonte de glaces ou neiges persistantes, régimes particuliers aux alentours des équinoxes...

Aux difficultés précédentes, provenant de l'hydrologie, il faut ajouter celles qui proviennent de l'exploitation industrielle des installations.

Les usines hydroélectriques ne sont pas toutes — heureusement ! — au fil de l'eau. Comment le facteur « réserves » va-t-il intervenir dans le problème ? Le négliger provisoirement ? Mais c'est lui qui donne au problème son sens véritable !

En second lieu, l'eau qui s'écoule n'est pas toujours entièrement turbinable. Comment tenir compte de cette limitation des débits dérivés ?

Ensuite les besoins variables de la consommation ajoutent aux aléas des écoulements des désaccords incessants entre les demandes et les possibilités de la production.

Enfin, le but de cette étude n'est pas de prévoir les difficultés où peut se trouver placée l'industrie électrique française actuelle ; mais précisément de déterminer comment organiser dans l'avenir cette industrie pour faire face de la façon la plus avantageuse aux caprices des eaux.

Si nous ajoutons qu'il nous fallait aboutir à un résultat pratique dans un délai raisonnable, et avec des moyens techniques limités, on comprendra la nécessité absolue où nous étions d'introduire à la base de notre travail quelques grandes simplifications.

A ces simplifications nécessaires, une seule condition était imposée : elles devaient être raisonnables.

Nous espérons que tel est le cas pour celles que nous avons introduites, et dont nous allons maintenant dire quelques mots.

* * *

La statistique est dominée par un principe très général qui la différencie radicalement des autres méthodes d'investigation scientifique : ce qu'elle vise directement, et en premier lieu, ce n'est pas le plus simple, mais le plus « global », même si c'est le plus complexe.

Or, les obstacles que nous avons énumérés dans la première partie manifestent tous plus ou moins la difficulté où nous serions si nous voulions nous élever de la connaissance individuelle des possibilités naturelles et techniques de chaque usine, à celle des possibilités d'ensemble du réseau hydroélectrique français. D'où l'idée d'attaquer le problème directement sous son aspect le plus global, en nous réservant d'introduire ensuite les corrections nécessaires. C'est au fond une méthode d'approximations successives, analogue à celle que l'on appelle en mécanique « méthode des perturbations ». Que faut-il pour qu'une telle méthode soit légitime ? Que les termes négligés dans le premier calcul aient sur le résultat une influence notablement inférieure à celle des termes retenus.

* * *

Une première et grossière approximation consiste à regarder tous les cours d'eau français comme un fleuve unique à branches multiples et à rechercher le régime de ce fleuve fictif F. Nos calculs nous ont montré que cette méthode ne conduirait pas à des résultats aussi mauvais qu'il pourrait sembler au premier abord ; toutefois, nous avons d'emblée poussé un peu plus loin nos exigences.

Ce n'est pas un mais trois fleuves fictifs que nous avons introduits, l'un A schématisant les écoulements des Alpes, le second P ceux des Pyrénées, le troisième M synthétisant, avec le Massif Central, tout le reste des écoulements pluviaux de France (Jura, etc...). Certes, nous savons bien que ces trois grandes régions hydrologiques sont loin d'être homogènes. Mais ce qui était déjà presque vrai de F l'est bien davantage de chacune de ces trois subdivisions, savoir : la grande stabilité des régimes globaux à l'égard des modifications que l'on peut faire subir aux « poids » des divers cours d'eau qui les composent. Enfin, pour nous rapprocher davantage de la réalité, nous avons attribué à ces cours d'eau à l'intérieur de chaque grande région des poids correspondant à leur degré actuel

d'équipement. Ainsi nous représenterons l'hydraulicité naturelle totale de la France par une expression de la forme : $H = \alpha X + \beta Y + \gamma Z$, où α, β, γ mesureront les degrés futurs d'équipement des trois grandes régions, X, Y, Z désignant ce que nous conviendrons d'appeler les indices d'hydraulicités globales (naturelles) de ces mêmes régions.

L'intérêt de ce mode de calcul est que, même avec des stations de jaugeage médiocres, et malgré les divergences locales de régimes, les lois de probabilité de X, Y, Z et encore mieux de H, peuvent être connues avec une bonne approximation : cela grâce aux compensations qui s'établissent entre les diverses sources d'erreur ; n'oublions pas, non plus, que X, Y et Z ne sont que des variables relatives, de moyennes ramenées à 100, et que les résultats relatifs fournis par les stations de jaugeage sont souvent meilleurs que les résultats absolus.

Ce que nous avançons là, nous avons pu le vérifier dans un cas : celui du Massif Central. Pour cela, nous avons réparti 18 stations de cette région en 6 groupes de 3 stations, puis en 3 groupes de 6, enfin nous les avons prises en bloc. Voici à titre d'exemples les corrélations entre le total de 18 et :

- une station (ARGENTAT) : $r = .92$.
- un groupe de 3 (n^{os} 12, 6, 29) : $r = .96$.
- un groupe de 6 (n^{os} 12, 6, 29, 15, 10, 27) : $r = .99$.

Voici d'autre part les valeurs d'une constante très importante (le coefficient de variation, nombre sans dimension) pour :

- Les six groupes de 3 stations : .71, .70, .77, .68, .69, .65 ;
- les trois groupes de 6 stations : .68, .68, .70 ;
- le bloc des 18 stations : .70.

La convergence des résultats obtenus avec un nombre, d'abord restreint, puis croissant, de stations de jaugeage, leur stabilité aussi relativement grande vis-à-vis des diverses « pondérations », tout nous encourageait à nous fier à une méthode à la fois si simple et si féconde que nous serions tenté de la nommer : la première méthode régulière de l'hydrologie statistique.

II. La méthode statistique.

Nous avons donc calculé les valeurs (rapportées à des moyennes de 100) de X, Y et Z pour chaque mois de chaque année pour la période 1919-1942, en utilisant à cet effet les 68 stations de l'Annuaire Hydrologique de la France, pondérées selon l'équipement hydraulique en cours d'achèvement.

Le premier problème qui se posait alors était de représenter par des lois de probabilité adéquates les variables X, Y, Z (au nombre de 36, car pour chaque région il faut considérer chacun des 12 mois séparément — en attendant de pouvoir, quelque jour, étudier les débits hebdomadaires ou même quotidiens). Nous croyons instructif de dire un mot technique au sujet de ce problème.

*
* *

Tous les hydrologistes savent que les débits moyens mensuels d'un cours d'eau, comparés pour un même mois pendant une longue suite d'années, ne suivent pas une loi de Gauss : les débits inférieurs à la moyenne sont notablement plus nombreux que les débits supérieurs, ce qui doit se traduire sur la courbe de probabilité par une allure dissymétrique. Un des procédés les plus anciennement utilisés pour rendre compte de pareilles dissymétries est celui proposé, il y a une cinquantaine d'années, par Galton : s'agissant généralement de grandeurs X dont le champ (théorique) de variation est l'intervalle $(0, +\infty)$, on transforme cet intervalle en l'axe $(-\infty, +\infty)$ entier par le changement de variable : $Y = \log X$. En exprimant alors que Y suit une loi de Gauss, on obtient une assez bonne approximation, qui sera souvent suffisante. Cette « loi de Galton » possède parfois une justification plus théorique : de même qu'une variable aléatoire obtenue par addition de plusieurs variables indépendantes tend à se rapprocher rapidement de la loi de Gauss (qu'elle atteindrait rigoureusement dans le cas limite où les variables composantes seraient en nombre infini), de même il suffit que X soit le produit d'un certain nombre de facteurs indépendants pour suivre sensiblement une loi de Galton (c'est un peu le cas dans le problème actuel).

Cependant, les hydrologistes qui ont poussé ce genre d'études savent aussi que la loi de Galton n'est qu'une première approximation, et il y a longtemps qu'on a cherché à serrer de plus près la réalité ; cela présente une très grande importance pour la prévision des petites probabilités, lesquelles précisément font l'objet de nos recherches actuelles.

Les seules solutions proposées jusqu'à présent ont consisté, à notre connaissance, à ajouter un paramètre à la loi de probabilité essayée : soit en rendant mobile le zéro de la loi de Galton, c'est-à-dire en appliquant la loi de Gauss à $\log(X - X_0)$, soit en recourant à une autre loi, en particulier la loi III de Pearson, ou la loi de Gram-Charlier.

Mais ce procédé se heurte à une grave objection, sur laquelle nous regrettons que l'attention n'ait pas toujours été suffisamment attirée :

Nous ne disposons, avons-nous dit, pour chaque ajustement mensuel, que de quelque 25 points, et rares sont les hydrologistes qui en ont une cinquantaine à leur disposition, j'entends : une cinquantaine de points indépendants.⁽¹⁾ Or, avec aussi peu de points le recours aux lois à trois paramètres ci-dessus est en grande partie illusoire : la souplesse de ces lois leur permet de mieux épouser la description du passé, mais par là même les rend moins aptes à prévoir l'avenir. Si l'on veut bien comprendre cela, que l'on passe à la limite : avec 25 paramètres nous pouvons reproduire exactement un passé de 25 ans ; mais nous savons bien que nous retiendrions ainsi de ce passé des données toutes accidentelles que le rôle du statisticien est précisément d'éliminer.

Que l'on nous permette une comparaison familière que nous affectionnons : ce n'est pas avec une clé en cire qu'un cambrioleur ouvre une porte, mais avec un dispositif métallique auquel il s'efforce de donner la forme probable convenant à la serrure. C'est le propre de l'esprit humain de faire devant tout problème nouveau un acte nouveau d'intelligence ; et cet acte consiste chaque fois à forger une nouvelle clé rigide pour ouvrir une des portes de l'univers : ces portes ne s'ouvrent pas aux paresseux qui cherchent à se « débrouiller » avec des solutions standard, au rabais. A situation éternelle, idée éternelle ; à situation neuve, idée neuve : le métier de voleur a, comme un autre, ses exigences... Celui de statisticien aussi...

Cette difficulté, nous l'avons rencontrée dès le début de nos recherches hydrologiques ; et, pour la résoudre, nous avons introduit une nouvelle loi de probabilité, dite « loi harmonique », qui, réunissant les avantages de la loi de Galton et ceux de la loi III de Pearson nous permet une représentation généralement plus satisfaisante des faits.⁽²⁾ Mais nous ne voulons pas en dire davantage sur une question qui déborderait le cadre de cette étude : il aura suffi d'attirer l'attention sur une difficulté trop souvent méconnue, et sur l'intérêt qu'il peut y avoir à reprendre parfois le problème de la représentation analytique des lois de fréquence, problème que l'on croit un peu trop résolu une fois pour toutes par les travaux des grands pionniers de la statistique.

* * *

Connaître la loi de probabilité de chaque débit moyen mensuel est bien, mais ne peut évidemment suffire : les débits des trois grandes régions hydrologiques ne sont pas indépendants entre eux, ni, pour une même région, ceux des divers mois de l'année.

Mais comment représenter cette dépendance mutuelle ? C'est la question connue en statistique sous le nom de « corrélation ». Ce problème admet une solution simple dans un cas : celui où l'on peut recourir à une loi de Gauss à plusieurs variables : mais ici, les variables ne suivent pas, individuellement, la loi de Gauss, et par conséquent ne la suivent pas non plus dans leur ensemble. Nous avons alors admis le principe très vraisemblable suivant : Si l'on sait que deux variables u et v suivent chacune séparément la loi de Gauss, on pourra admettre que la loi à laquelle obéit le couple (u, v) est pratiquement une loi de Gauss-Bravais. Autrement dit : la condition de suivre individuellement la loi de Gauss, nécessaire pour que des variables suivent cette loi dans leur ensemble, est aussi pratiquement suffisante, au moins au degré d'approximation usuellement utile. Dès lors, en possession des lois individuelles des variables X, Y, Z , il nous suffisait d'en faire une anamorphose selon la loi de Gauss pour être ramené au cas en question : l'expérience a fourni une excellente confirmation de cette méthode.

(1) Car certains se font un peu illusion sur le nombre $n \times 365$ des points qui interviennent dans une courbe de débits classés. Ces $n \times 365$ points sont étroitement dépendants les uns des autres et ne fournissent que des renseignements très limités du point de vue statistique.

(2) Pour cette loi : $K \int_0^x e^{-ax - \frac{b}{x}} \cdot \frac{dx}{x}$ nous avons établi un abaque rendant son emploi très aisé. (Cf.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 10 novembre 1941, une note « Sur un nouveau type de courbe de fréquence », que l'occupation nazie m'obligea à faire signer par mon ami Daniel Dugue...)

Ajoutons ceci : dans la corrélation entre débits mensuels successifs, tout se passe à peu près comme si les débits d'un mois n'étaient guère influencés que par ceux du mois précédent, les mois ultérieurs n'agissant chacun que par l'intermédiaire du mois qui le suit. On exprime ce fait en disant que les débits moyens mensuels forment une « chaîne simple ». A dire vrai, cette affirmation n'est pas absolument exacte, mais le devient de façon suffisante sur les groupes de deux mois, ou « bimestres » ; cette considération, jointe à la nécessité pratique de ne pas développer exagérément les calculs numériques, nous a conduit à adopter souvent, au moins comme première approximation, la division « bimestrielle » ; celle-ci, du reste, rendra souvent des services suffisants à l'hydraulicien.

* * *

Les résultats de ce travail, sous la forme de lois abstraites de probabilité, risquent d'être pour le praticien d'une utilisation difficile. Nous avons donc songé à leur donner un aspect plus concret.

A cette fin, nous avons, sous le nom d'échantillon fictif, fabriqué artificiellement une assez longue série de données hydrologiques (300 ans) satisfaisant en moyenne aux lois de probabilité que nous avons établies. Cette série fait connaître en somme l'hydraulicité des trois grandes régions françaises depuis 300 ans, non pas telle qu'elle s'est rencontrée en fait, mais telle qu'elle aurait pu se rencontrer conformément aux lois de probabilité réelles.

Il va de soi qu'une telle série n'a aucune prétention à contenir plus d'information que les 25 ans que nous avons réellement observés et qui ont servi à l'établir ; mais elle présente cette information, si nous osons dire, à un fort grossissement : de même que les biologistes utilisent souvent des microscopes dont le grossissement dépasse de beaucoup ce qui conviendrait à leur pouvoir séparateur, non pas pour voir plus de détails, mais pour les voir avec moins de fatigue ; ainsi notre « échantillon fictif » de 300 ans étale aux yeux du non-spécialiste ce que l'échantillon réel des derniers 25 ans ne révèle qu'au statisticien.

Bien entendu les conclusions que l'on tirera de cet échantillon fictif ne seront légitimes qu'à une condition : que l'on puisse, théoriquement, extraire ces mêmes conclusions de la série réelle de 25 ans. L'avantage consiste seulement en ce que cette extraction est rendue beaucoup plus aisée, praticable par un non statisticien.

M. HALPHEN poursuit son étude en indiquant quelques-unes des applications du point de vue statistique qu'il vient de décrire, dans l'élaboration du plan pour l'équipement électrique. (Études faites dans le cadre du premier plan Monnet).

Grâce aux lois de probabilités des hydraulicités de nos divers bassins, il est possible de définir et de calculer le « cocktail » optimum d'usines hydrauliques et thermiques, c'est-à-dire celui qui peut faire face à une consommation donnée au moindre coût. On peut aussi calculer la loi de probabilité des tonnages de charbon que nous devons brûler chaque année dans nos usines thermiques.

De ces développements qui intéressent essentiellement l'économie électrique, nous ne reproduirons que l'abaque qu'on trouvera en annexe.

Ajoutons seulement que les travaux qui viennent d'être décrits ont été poursuivis depuis lors sans interruption. La « schématisation probabiliste » de notre réseau de production et de consommation d'électricité a d'ailleurs été progressivement perfectionnée. Des études nombreuses ont porté sur la prévision des débits des rivières à certaines époques spécialement intéressantes (fonte des neiges), sur les lois de probabilité que l'on peut attribuer aux consommations futures (aléas de conjoncture), sur la prévision des grandes crues et de quelques autres phénomènes catastrophiques, sur le rôle de certaines interconnexions, et sur une foule de problèmes techniques plus particuliers. Dans toutes ces études, seul le statisticien, aidé du technicien compétent, pouvait appréhender et soumettre au calcul une réalité fort complexe. Nous aurons sans doute l'occasion de revenir dans les pages de cette revue sur certaines des études auxquelles nous venons de faire allusion.

Pour achever, nous ne saurions mieux faire que de revenir à l'étude de M. HALPHEN et de lui emprunter sa conclusion :

Cette étude aura montré, nous l'espérons, à la fois l'efficacité de la statistique mathématique, et les limites qu'on ne doit pas lui faire dépasser. Dépasser ces limites, c'est manquer et à la prudence et à l'humilité que devrait imposer au statisticien une saine appréciation de ses possibilités, en attendant ainsi de ses méthodes plus qu'elles ne peuvent donner, loin de servir la cause de la statistique, il la dessert : quelle confiance aura-t-on, à l'avenir, en une science qui n'aura pas pu tenir ses promesses de gascon ? Au contraire, en faisant preuve de modestie et n'avançant

aucune conclusion qu'avec la prudence convenable, on montre de quoi la statistique est réellement capable : c'est encore assez pour rendre des services immenses à la science et à l'industrie.

Concluons qu'ici comme partout un peu de science éloigne de la réalité, beaucoup de science y ramène, — et que le bon sens ne doit jamais perdre ses droits. N'est-ce pas Laplace qui disait .

« La théorie des probabilités n'est au fond que le bon sens réduit au calcul ; elle fait apprécier avec exactitude ce que les esprits justes sentent par une sorte d'instinct.. » C'est encore plus vrai de la statistique.

Annexe - ABAQUE POUR SERVIR AU PLAN

Cet abaque ne prétend pas fournir de chiffres absolus précis ; mais on peut l'utiliser avec confiance pour des évaluations relatives, notamment pour l'étude d'un équipement "marginal". L'abaque donne l'équipement capable de garantir une consommation annuelle moyenne de 100 kW : c'est en fait la puissance normale disponible. On a admis une certaine différenciation suivant les mois de l'année.

En abscisse on porte la puissance moyenne hydraulique, exprimée en kW. En ordonnée on trouve : sur les courbes du bas, la puissance moyenne semestrielle thermique nécessaire en cas de sécheresse, en kW, pour diverses réserves hydrauliques (réserves calculées en pour cent de l'énergie hydraulique annuelle moyenne) ; sur les courbes du haut, la production thermique exprimée en kW année. Cette production est calculée dans l'hypothèse où les réservoirs sont exploités entièrement selon la consigne « sécurité ».

Si une partie des réservoirs est exploitée en « économie », il en résulte une réduction de la consommation de charbon, et une augmentation de l'équipement.

Nous avons tracé en pointillé les courbes lieux des points représentatifs des productibilités hydraulique et thermique pour une production thermique effective donnée. On y constate que l'accroissement du taux des réserves permet une réduction importante et de l'équipement thermique, et surtout de l'équipement hydraulique. Si l'on note que, lorsque l'équipement hydraulique diminue, un même taux de réserve correspond à une réserve absolue moindre, on voit que la construction des réservoirs est encore plus favorable.

A cet égard, cependant, on notera que nos calculs de réserves sont faits en supposant qu'il n'y a pas de problème de remplissage. Il ne sont donc pas applicables tels quels à de gros réservoirs, surtout dans le Massif Central ou certains réservoirs, actuellement à l'étude, ne devraient être comptés, pensons-nous, que pour les 2/3 environ de leur capacité. Cela met en évidence aussi l'intérêt du pompage.

N. B. — Il va de soi que le système étudié ne comporte à la production que de l'énergie hydraulique et de l'énergie thermique de régularisation pouvant être entièrement supprimée en cas d'hydraulicité excellente.

Pour ce qui est de la garantie, il est probable que notre abaque permet de faire face aux sécheresses 99 années sur 100 ; possible qu'il ne nous garantisse que 9 années sur 10 . Pour doubler la garantie (1/200° au lieu de 1/100°) il faut environ suréquiper de 2% en hydraulique.

Voici un exemple numérique :

En 1938 il semble que la situation était grossièrement la suivante :

— Thermique non reportable (à déduire et de la consommation et de la production) : de l'ordre de 5 milliards de kW-h ;

— Consommation nette (C) : de l'ordre de $21 - 5 = 16$ milliards de kW-h ;

— Hydraulique (normal disponible) (H) . de l'ordre de 13 milliards de kW-h ;

— Réserves (R) . de l'ordre 0,8 milliards de kW-h ,

— Thermique net (T) . de l'ordre de 9 milliards de kW-h ,

— Production thermique (θ) . de l'ordre de 4 milliards de kW-h.

En pour cent de la consommation nette C, cela donne :

$$\begin{array}{ll} H = 81 \% \text{ (taux des réserves : } \rho = 6 \% \text{ de H).} \\ T \# 56 \% & \theta \# 25 \% \end{array}$$

Or l'abaque, pour 81 % d'hydraulique, donne, sur la courbe qui correspondrait à $\rho = 6 \text{ ‰}$, une valeur de T d'environ 46 %. Ce point est un peu à gauche de la ligne pointillée $\theta = 25 \text{ ‰}$ et donne ainsi directement sans même se servir des courbes II : $\theta = 26 \text{ ‰}$.

L'équipement thermique était donc très supérieur à ce qui eut été nécessaire (9 au lieu de 7,4 c'est-à-dire 1,6 milliard en excédent) ; on conçoit que dans ces conditions on ne devait pas appliquer la consigne sécurité relativement au thermique total, mais seulement pour la tranche de garantie de 7,4 : sans avoir exactement raisonné ce problème, il est probable qu'instinctivement on a utilisé une consigne pratiquement équivalente, ce qui expliquerait la valeur presque trop satisfaisante trouvée pour

Si alors on augmente les réserves (ce qui revient à se déplacer sur une verticale), l'abaque montre qu'il en résulte une économie dans l'équipement thermique (qui passe de 46 à 37 %, c'est-à-dire de 7,4 à 6 milliards de kW-h, lorsque les réserves doublant vont de 0,8 à 1,6) ; mais la consommation de charbon est peu modifiée.

Supposons maintenant qu'on accroisse l'équipement hydraulique (sans toucher à la consommation, ni d'abord aux taux de réserves), le portant par exemple de 13 à 16 (100 % de la consommation) ; l'équipement thermique peut être réduit de 46 à 32 %, et la production thermique tombe de 26 à 14 %. Que l'on double alors les réserves ($\theta = 12 \text{ ‰}$, c'est-à-dire $R = 2$ milliards de kW-h) : T descend à 20 % et θ à 9 %.

L'ensemble de ces résultats est groupé dans le tableau suivant :

(Consommation totale :	21 milliards de kW-h).				
Consommation nette :	16.				
Equipement hydraulique :	H	13	13	16	16
Réserves	R	0,8	1,6	1	1,9
Equipement thermique.....	T	7,4	6	5,1	3,2
Production thermique.....	θ	4,2	3,7	2,2	1,4

