

ANNEXE au PROCES-VERBAL de la SEANCE
du 13 Janvier 1945 de la Section
d'Hydrologie Scientifique

SOURCES DE L'AVRE

ETUDE et PREVISION des DEBITS

par M. F. SENTENAC,
Directeur Technique des Eaux et de l'Assainissement
de Paris,

et M. A. VIBERT,
Ingénieur en Chef au Service des Eaux.

CONSIDERATIONS GENERALES

- L'eau potable distribuée à Paris comprend :
- 1^o- Les eaux de sources fournies par le Service des Dérivations.
 - 2^o- Les eaux en provenance de la Seine et de la Marne, filtrées par le Service des Machines.

En règle générale, la collaboration de ces deux Services est basée sur le principe suivant :

- a) le Service des Dérivations fournit le maximum d'eau de source compatible avec le débit des captages et l'état des ouvrages et usines d'adduction;
- b) le Service des Machines assure le débit complémentaire d'eau filtrée nécessaire pour faire face à la totalité des besoins de la consommation.

Avant la guerre, les Dérivations fournissaient un volume journalier de l'ordre de 450.000 m³. Le Service des Machines, à qui incombe la tâche de suivre les fluctuations de la consommation, filtrait chaque jour un cube d'eau beaucoup plus variable, généralement compris entre 100.000 et 300.000 m³. En cas d'accident survenant à une Dérivation importante, ce volume pouvait atteindre 400.000 m³.

Ce bref exposé montre le grand intérêt que présenterait, pour l'exploitation du Service des Eaux, la connaissance, ne serait-ce qu'une année à l'avance, du débit probable des différentes Dérivations.

L'intérêt de cette prévision augmenterait d'ailleurs avec la durée de l'échéance et si, d'ores et déjà, on était certain de voir le débit total des eaux de source descendre, dans quelques années, à un chiffre excessivement bas, on serait bien placé pour envisager dès maintenant les mesures particulières qu'impliquerait une telle situation.

Cette prévision a été l'un de nos soucis constants et a fait l'objet de nombreuses recherches de notre part. Malheureusement, les phénomènes naturels sont généralement très complexes. Ils font intervenir de nombreux paramètres variables, qui rendent leur analyse d'autant plus délicate que les séries d'observations dont on dispose sont relativement courtes, et ne permettent pas de mettre en évidence, d'isoler nettement tel ou tel des facteurs composants.

Quoi qu'il en soit, la méthode d'analyse harmonique des fonctions périodiques par combinaisons linéaires d'ordonnées de M. et Mme H. LABROUSTE, Professeurs à l'Institut de Physique du Globe, avait retenu notre attention et dès que nous avons connu quelques-uns des résultats auxquels elle a permis d'aboutir, nous l'avons appliquée à l'analyse des débits des sources de la Dérivation de l'Avre qui joue un rôle si important dans l'alimentation de Paris en eau potable.

Le débit légal de cette Dérivation a été limité à 1280 litres par seconde, soit 110.593 m³ par jour, par la loi du 5 Juillet 1890 qui a autorisé le captage des eaux. Si ce volume ne représente, la plupart du temps, qu'une fraction, importante d'ailleurs, du débit propre des sources, il arrive que ce dernier soit également très largement inférieur au débit autorisé, comme en 1921 par exemple, où il s'est abaissé à 30.000 m³/jour environ.

Nous avons analysé la courbe de la variation des débits au cours des 22 années comprises entre 1918 et 1939 incluses. Par utilisation des combinaisons convenables, nous avons dégagé avec suffisamment de précision les composantes 4, 6, 8, 12, 18, 31 et 50 mois. La série des observations est trop courte pour permettre de dégager directement par la méthode employée, la composante semi-undécennale et celles d'ordre supérieur. Néanmoins, l'étude systématique des restes successifs et leur interprétation nous a permis de mettre en évidence l'existence des composantes de 70 mois, de 140 mois environ, et de fixer l'ordre de grandeur de leurs différentes caractéristiques : phase, période, amplitude, avec une bonne approximation. Quant à la composante de 280 mois environ, nous pouvons la soupçonner mais il est impossible d'affirmer son existence. Une dizaine d'années d'observations supplémentaires serait nécessaire à cet effet.

Aux éléments d'une période égale ou supérieure à 22 années près, le phénomène complexe a donc été réduit en une somme de composantes élémentaires sinusoidales, dont les caractéristiques sont groupées dans le tableau ci-après qui indique, en outre, pour chacune d'elles leur importance relative, c'est-à-dire le rapport de l'amplitude maximum à l'écart extrême des données.

Composantes T en mois	Débits en		Observations
	milliers de m ³ /jour	importance relative	
4	13,5	6,7 %	Eléments calculés
6	28,6	11,3 %	-do-
8	32,4	11,1 %	-do-
12	67,5	33,4 %	-do-
18	24,5	13,1 %	-do-
31	25,4	13,3 %	-do-
50	42,9	21,8 %	-do-
70	40	19,8 %	Etude des restes
140	68	33,7 %	-do-

Remarques concernant les composantes dégagées

Elles sont de deux sortes :

1°) Les remarques générales, à caractère universel, que l'application de la méthode de LABROUSTE à de nombreux phénomènes, a permis de fixer sûrement et qui ont été parfaitement résumées, par M. FROLOW, dans une étude (1) parue dans la Revue de Géographie Physique, savoir

- " a) L'unicité des développements
- " b) La Variabilité de la phase
- " c) La variation de l'amplitude
- " d) L'indépendance des composantes;

2°) Les remarques particulières propres au phénomène étudié, que nous résumons ci-après.

Les composantes des 4, 6 et 8 mois se présentent sous forme de trains d'ondes amorties. Elles n'ont qu'une importance réduite.

(1) Notes sur les applications de la méthode d'analyse de H. Labrouste par W. FROLOW - Revue de Géographie Physique et de Géologie dynamique 1938 (Vol. XI fasc. 3).

La composante de 12 mois est la mieux caractérisée et la plus importante. Elle présente les plus faibles variations relatives d'amplitude.

La composante de 18 mois ne paraît jouer qu'un rôle secondaire.

Les composantes des plus grandes périodes 31, 50, 70, et 140 mois sont également bien caractérisées et sont celles qui, avec la composante de 12 mois, contribuent à fixer l'allure générale de la courbe des débits.

ETUDE DE LA PREVISION PROPREMENT DITE

Remarques préliminaires.

L'examen des résultats obtenus permet de faire d'utiles remarques. Il montre que le facteur déterminant de la baisse de débit, qui se produit dans le 2ème semestre de chaque année, pour atteindre son point le plus bas vers le mois de Novembre généralement, est la composante annuelle.

Lorsque les minima de plusieurs composantes se produisent simultanément, sans qu'il y ait compensation, du fait de la conjonction de ces minima avec les maxima d'une ou de plusieurs autres composantes ayant une certaine importance relative, cette diminution de débit est accentuée. Ce fut le cas pour le mois de Septembre 1929 que précéda légèrement la conjonction des minima des composantes de 18, 31 et 50 mois.

Enfin, les grandes baisses de débit des années 1921-1922 et 1932-1933 ne sont que la résultante de la concordance des minima des composantes de 70 et de 140 mois, celles qui ont les plus fortes valeurs relatives, avec celles des composantes de plus courtes périodes 50, 30, 18 ou 12 mois par exemple.

Prévision des débits.

Cette prévision implique l'extrapolation des différentes composantes préalablement isolées. Comme l'allure de chacune de ces dernières est d'autant mieux déterminée que la série analysée est plus longue, la certitude relative de la prévision dépend évidemment de la consistance de cette même série.

Dans le cas présent, les renseignements utilisés pour l'étude concernent une vingtaine d'années en chiffres ronds. Ils sont suffisants pour la détermination d'un ou de plusieurs trains d'ondes des composantes à période courte : 4, 6, 8 mois, mais ne permettent pas, en revanche, de dégager (si elle existe) la loi de succession de ces trains.

On ne peut donc songer à poursuivre une prévision trop minutieuse et l'on doit se borner à décèler les baisses importantes de débit, s'étendant sur des périodes assez longues, celles qui présentent les conséquences les plus fâcheuses pour l'alimentation de la Capitale. Pour atteindre ce but, on peut faire abstraction purement et simplement des composantes sus-indiquées, d'autant plus qu'elles n'ont qu'une faible importance relative et qu'au point de vue pratique, leurs effets sont secondaires.

C'est une des raisons pour lesquelles nous n'avons pas recherché une grande précision dans leur calcul et avons accepté, dans cette première étude, la présence de petites anomalies que les graphiques annexés mettent en évidence.

Les composantes de 12, 18, 31, 50, 70 et 140 mois se prêtent, au contraire, à des extrapolations assez judicieuses. Toutefois, comme la série analysée n'a permis de dégager, pour chacune d'elles qu'un nombre d'ondulations relativement restreint, qui ne reflète qu'imparfaitement la loi de variation de l'amplitude, nous avons dû adopter pour cette dernière une valeur moyenne, qui peut présenter une différence assez sensible avec la valeur maxima pour les composantes ayant les plus courtes périodes.

Guidés par ces quelques principes, nous avons poursuivi l'étude des débits probables pour la décennie à venir. Préalablement, nous avons déterminé le reste :

$$c - \sum_{T=4}^{T=140} y$$

et mis en évidence qu'aux composantes de très courtes périodes près, ce reste était très sensiblement représenté par l'horizontale d'ordonnées + 115.000.

En ajoutant à ce reste les différentes composantes prises en compte pour la prévision des débits, c'est-à-dire en effectuant les sommes :

$$115.000 + \sum_{T=12}^{T=140} y$$

nous obtenons les débits probables pour les années à venir, aux composantes ayant des périodes égales ou inférieures à 8 mois près. Ces débits sont représentés par la dernière partie du graphique n° 1 trait rouge.

Comme il fallait s'y attendre, cet élément du graphique a une allure plus régulière que le graphique initial, du fait qu'il ne tient pas compte des composantes ayant une faible période, celles qui donnent à la courbe des variations du débit une allure caractéristique

avec les points saillants dans les deux sens.

Afin de faciliter la comparaison avec les résultats obtenus et les données, nous avons modifié la représentation de ces dernières et établi la partie correspondante du graphique, en retranchant des ordonnées C connues, les composantes de 4, 6 et 8 mois. De plus, nous avons procédé graphiquement à l'élimination progressive des composantes ayant des périodes inférieures à 4 mois. De cette manière, nous avons obtenu un second graphique (tracés pointillés) qui ne diffère pas sensiblement du graphique réel et duquel nous pouvons rapprocher plus aisément les résultats obtenus par notre prévision.

RESULTATS OBTENUS

Ils sont représentés en traits rouges sur la dernière décade.

Leur examen montre que, pour l'année 1940, les débits réels des sources, qui sont indiqués au trait bleu sur le même graphique, se sont tenus sensiblement au-dessous de la courbe de prévision et ce est vraisemblablement par le jeu de la composante de 8 mois dont nous avons pas tenu compte.

Pour l'année 1941, la concordance entre les débits constatés et les débits prévus est satisfaisante.

Il en est de même pour l'année 1942.

L'année 1943 doit être meilleure que la précédente et devrait permettre de dériver, pendant les trois premiers trimestres, un débit au moins égal au débit légal autorisé, mais avec une faiblesse relativement accusée ($Q < 90.000$) pendant les 3 derniers mois.

Les années 1944 - 1945 - 1946 seront franchement mauvaises, la conjonction des minima des composantes à période longue (semi-undécennale, undécennale et vraisemblablement 22 ans) reproduisant, à peu près à la même échelle, les phénomènes des années 1921 - 1922 - 1923.

Le débit minimum pourra s'abaisser au-dessous de 30.000 m³/jour et le débit moyen, principalement pour l'année 1945, sera très faible et au maximum de l'ordre de 50.000 m³. Il est évident que, pendant cette période triennale, le Service des Eaux Filtrées devra faire un sérieux effort pour pallier à la déficience du Service des Dérivations, du moins en ce qui concerne l'adduction de l'Avre.

L'année 1947 verra une amélioration sensible de la situation. Les déficiences au-dessous du débit légal devraient avoir l'aspect de points de courte durée et n'ayant qu'une faible influence sur le débit moyen de la Dérivation qui, en tout état de cause, devrait être supérieur à 100.000 m³/jour.

Les années 1948 et 1949 verront la situation devenir excellente. Pendant leur cours, l'adduction de l'Avre ne pourra dériver qu'une partie du débit total des sources, limité par le maximum légalement autorisé.

CONCLUSIONS

Il y a lieu évidemment d'attendre quelques années encore pour apprécier à leur juste valeur les résultats obtenus.

D'ores et déjà on peut bien augurer de l'avenir.

Si les débits obtenus concordent d'une façon satisfaisante avec les débits escomptés, il semble qu'il y aurait lieu de poursuivre cette analyse en s'appliquant à tenir compte des composantes ayant une période inférieure à une année, que nous avons complètement négligées dans cette première tentative.

C'est à quoi nous nous appliquerons, le cas échéant, si l'avenir confirme nos espoirs.