

ETUDE D'UN MODELE REDUIT DE RESEAU MAILLE DE DISTRIBUTION D'EAU

E. SETRUK & F. BIESEL

Ingénieurs aux Ateliers NEYRET-BEYLIER & PICCARD-PICTET

Autrefois, les porteurs d'eau dépensaient leurs forces physiques, pour satisfaire leur clientèle des villes, en leur apportant, à domicile, l'eau nécessaire ; aujourd'hui, le progrès a fait disparaître cette servitude humaine ; mais, comme rien, dans le monde, ne se crée sans travail, cet effort musculaire a fait place à un effort intellectuel que doit fournir l'ingénieur en présence des problèmes délicats posés par les réseaux de distribution d'eau, problèmes généralement ignorés du profane.

Comme toujours, le chercheur, devant les difficultés, essaye de les classer, de les clarifier ; il regarde quelles simplifications lui sont permises, en un mot, il débroussaille un terrain inculte. Ainsi, pour calculer un réseau d'adduction d'eau de grande ville, il est, en général, largement suffisant de se limiter aux conduites supérieures à un diamètre donné : 300 m/m. par exemple.

Le réseau, même ainsi simplifié, reste, en général, encore très complexe et il est presque toujours maillé. On sait que, grâce aux méthodes actuelles⁽¹⁾, il est toujours, relativement, aisé de le calculer (c'est-à-dire de calculer les pertes de charges) quand les conditions de fonctionnement sont données une fois pour toutes.

DIFFICULTES RENCONTREES

Malheureusement, dans la pratique, le problème se pose, en général, d'une manière toute différente. En effet, il est nécessaire d'étudier le réseau, non pas pour un seul cas de fonctionnement, mais pour un grand nombre de cas possibles. Or, ces cas sont toujours très nombreux car la répartition des débits qui dépend de la saison, de l'heure, des incendies éventuels, etc., est extrêmement variable.

En définitive, on se trouve dans l'obligation de résoudre, non pas un, mais de nombreux pro-

blèmes de réseaux maillés si l'on veut être sûr que le réseau pourra assurer le service dans tous les cas.

Le problème est encore plus grave quand il s'agit de déterminer un réseau entièrement nouveau ou, ce qui est plus fréquent, d'effectuer des modifications sur un réseau existant, pour améliorer son fonctionnement. En effet, on procède alors par tâtonnement, c'est-à-dire qu'on étudie un certain nombre de réseaux, chacun d'eux (théoriquement tout au moins) étant « essayé » pour tous les cas de service envisagés.

On voit que, même si le calcul d'un réseau unique dans un cas de fonctionnement unique ne prend que quelques heures, le calcul complet d'un réseau ou, à plus forte raison, d'une modification de réseau, risque d'être prohibitivement long.

Le plus souvent, on évite cet écueil en réduisant le nombre de cas essayés et en ne calculant que ceux qui, à priori, semblent les plus défavorables. On conçoit que cette réduction ne puisse se faire qu'aux dépens de la sécurité ou de la précision des calculs.

La véritable solution consisterait à trouver un procédé qui permette la résolution de chaque cas en quelques minutes.

« MACHINE » A RESOUDRE LE PROBLEME

Malheureusement, le calcul n'en est pas encore là ; c'est pourquoi l'idée d'une « machine » se présente, naturellement, à l'esprit. A l'heure actuelle, nous connaissons deux réalisations de telles « machines ». La première, que nous ne citerons que pour mémoire, est basée sur une analogie électrique et a été construite par le *Massachusetts Institute of Technolog*. Mais le temps nécessaire pour obtenir des solutions avec cet appareil est encore très long et du même ordre de grandeur que celui nécessaire au calcul.

Le second procédé, que nous allons décrire,

(1) Voir les autres articles H.B. sur le sujet, en particulier celui de M. DUBIN.

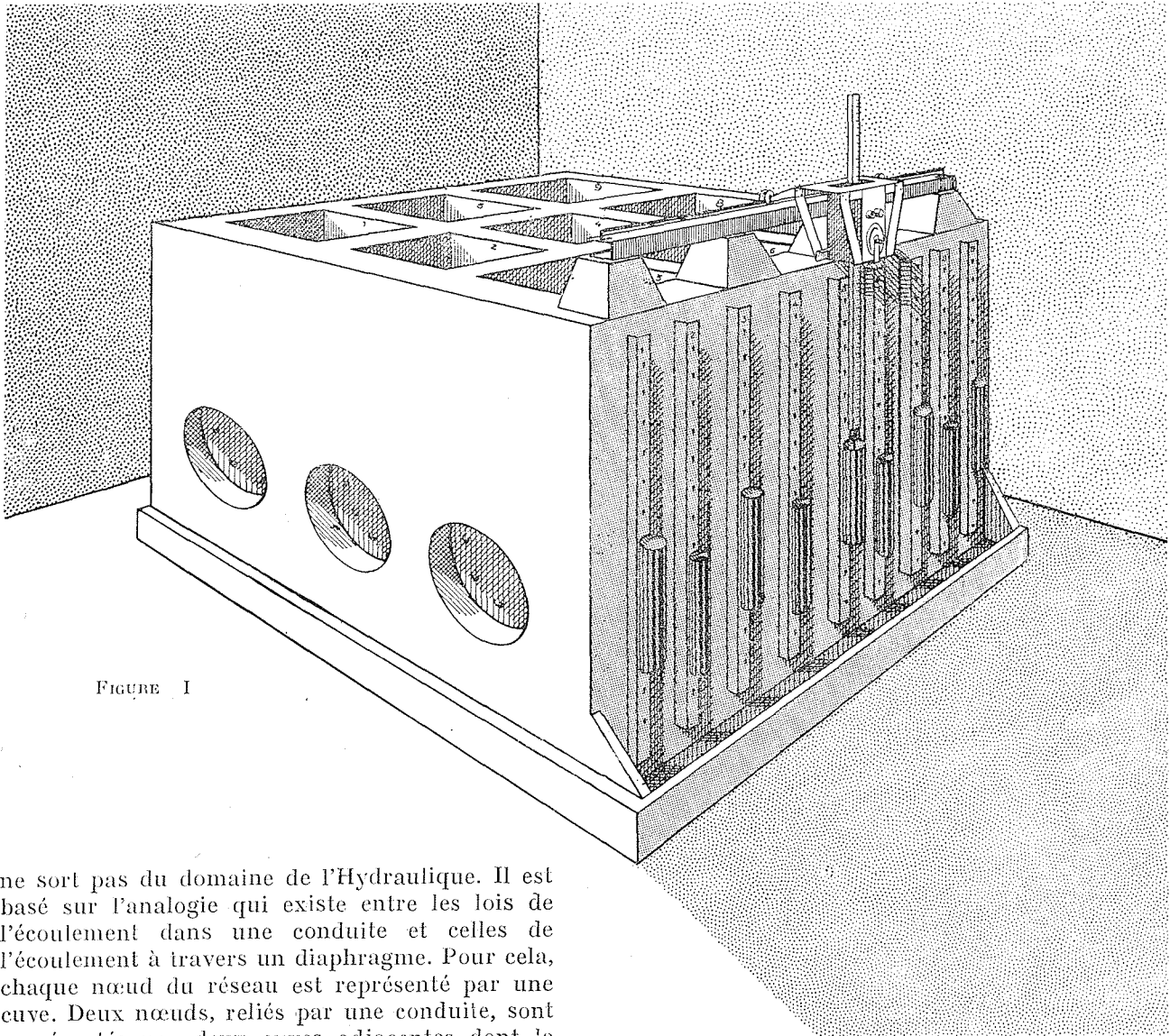


FIGURE I

ne sort pas du domaine de l'Hydraulique. Il est basé sur l'analogie qui existe entre les lois de l'écoulement dans une conduite et celles de l'écoulement à travers un diaphragme. Pour cela, chaque nœud du réseau est représenté par une cuve. Deux nœuds, reliés par une conduite, sont représentés par deux cuves adjacentes dont la paroi commune est percée d'un diaphragme calibré de façon à ce que ses caractéristiques correspondent à celles de la conduite.

Un prototype de ce dispositif a été construit en mai 1944 au Laboratoire de l'Institut Polytechnique de Grenoble (suivant le Brevet NEYRPIG). Il est constitué par une batterie de 9 cuves, adjacentes, disposées en carré (voir fig. 1). Ces cuves sont mises en communication les unes avec les autres par des hublots dans lesquels on peut adapter ou enlever rapidement les plaques percées des diaphragmes calibrés.

Nous ne nous attarderons pas à la description des divers dispositifs de vidange et d'alimentation, cette dernière étant d'ailleurs assurée par un appareil à débit constant préexistant.

Les quelques exemples que nous donnerons au cours de cet article achèveront, si besoin en

est, de préciser les modalités d'application de ce modèle.

Il est plus intéressant, nous semble-t-il, d'exposer les travaux qui ont été nécessaires à la mise au point du modèle et à la vérification des hypothèses de base.

MISE AU POINT DU MODELE

1°) Tout d'abord, il fallait s'assurer de l'indépendance de fonctionnement des diaphragmes d'une même cuve. C'est-à-dire, que le jet noyé de l'un des diaphragmes ne doit pas pouvoir modifier l'écoulement dans le second.

Pour cela, nous avons opéré avec deux diaphragmes égaux, placés en série, l'un alimenté sans perturbation, l'autre directement sous le jet du premier.

La figure II montre la disposition générale des essais (2).

Puis, nous avons laissé passer le débit maximum dans ces diaphragmes en réalisant la hauteur maximum en amont du premier et la hauteur minimum (jet noyé) en aval du second.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

H1	H5	H9	ΔH 1.5	ΔH 5.9
674.6	357.2	51.9	317,4	305,3

Dans ce tableau, ainsi que dans tous ceux qui suivront, et sauf indication contraire, les hauteurs sont indiquées en m/m. et les débits en cm³/sec.

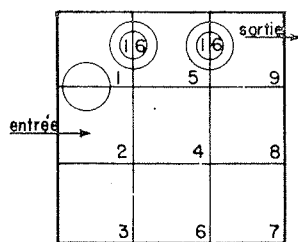


FIGURE II

Nous avons renouvelé l'expérience en permutant ces diaphragmes, pour tenir compte d'une inégalité possible de leurs sections.

Le tableau des résultats était alors :

H1	H5	H9	ΔH 1.5	ΔH 5.9
686.9	361.3	52.2	325.6	309,1

Nous avons nettement une dissymétrie des résultats, l'énergie cinétique due au jet du premier diaphragme entraîne une diminution de perte de charge au passage de l'eau dans le second de l'ordre de 2 cm.

(2) Dans ce schéma ainsi que dans les suivants, on a représenté, schématiquement les parois mitoyennes des cuves soit par un trait continu quand les hublots sont entièrement fermés, soit par un cercle vide quand les hublots sont entièrement ouverts, soit par deux cercles concentriques lorsqu'on y a placé un diaphragme calibré, le calibre du diaphragme étant inscrit à l'intérieur du petit cercle.

La même expérience faite en plaçant devant le jet une cloison évitant l'action directe, nous donne des résultats nettement meilleurs.

Une première position nous donne :

H1	H5	H9	ΔH 1.5	ΔH 5.9
691	370	53	321	317

et en inversant les diaphragmes, pour la même raison que dans l'essai précédent :

H1	H5	H9	ΔH 1.5	ΔH 5.9
686.1	369.3	48.3	316.9	317

La symétrie a réapparu et on peut admettre que dans ces conditions l'indépendance des diaphragmes est assurée d'une façon convenable.

2°) Etalonnage des diaphragmes

Ne disposant pas de matériel propre à l'étalonnage des diaphragmes, crachant un jet noyé, nous avons procédé à cette opération avec les cuves elles-mêmes, selon le montage ci-contre.

Ces essais furent très longs par suite de la lenteur du régime à établir. Nous en parlerons, d'ailleurs, plus loin.

Nous avons, ainsi, étalonné deux diaphragmes, l'un de 16 m/m., l'autre de 5 m/m. de diamètre.

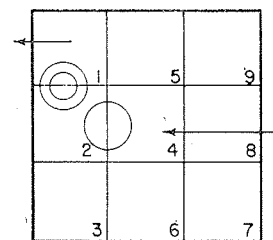


FIGURE III

Nous avons mesuré :
pour $\Phi = 16$ m/m.

H	0.5	0.9	1.2	2.7	6.1	6.4	11.2	13.8
Q	8.5	13.5	19.2	31.5	41	44.5	55.4	62

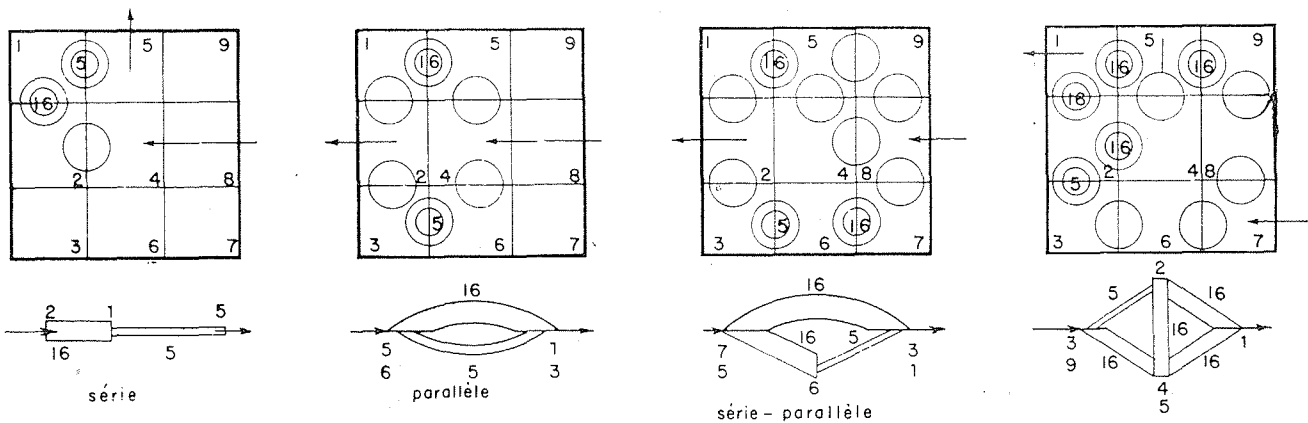


FIGURE IV

et pour $\Phi = 5 \text{ m/m}$.

H	9	18	50	105	148	190	329	402
Q	5.6	12.4	18	23.8	28.2	32	41.8	45.8

qui permettent de tracer les courbes H (Q).

Il serait trop long de poursuivre, ainsi, le compte rendu détaillé de nos expériences, nous indiquons seulement les montages que nous avons essayés, en donnant leur représentation schématique, fig. IV.

Nous avons contrôlé, chaque fois, le résultat des mesures à l'aide d'un calcul direct. Cette comparaison nous a permis de déceler de nombreuses causes d'erreur et d'imaginer les moyens de les éliminer. Les principales sont :

a) les pertes de charge dans les diaphragmes

Ces pertes de charge ne sont pas proportionnelles au carré du débit avec suffisamment de précision, ainsi qu'il en est pour les conduites dans le domaine des vitesses industrielles. On pourrait obtenir de meilleurs résultats avec des diaphragmes plus minces. Ceux que nous avons utilisés jusqu'ici étaient en laiton et avaient une épaisseur de 2 m/m 5.

Il n'y aurait, vraisemblablement, pas de difficultés à réduire considérablement cette épaisseur.

b) les variations de niveau.

Nous avons constaté que les niveaux, dans les cuves, mettaient très longtemps à se stabiliser.

Ces fluctuations continuelles sont le plus grave défaut du modèle, car il était nécessaire d'attendre très longtemps entre les diverses séries de mesure.

Afin d'en fixer l'importance, nous avons fait un montage simple, réglé la sortie à une ouver-

ture moyenne et alimenté l'une des cuves par un débit constant. Nous avons noté, régulièrement, la hauteur dans l'une des cuves.

Nous avons pu, ainsi, tracer une courbe représentant la variation de hauteur en fonction du temps. La figure V en montre l'aspect à partir de la 24^e heure.

Cette variation a certainement été la cause d'une certaine imprécision dans le tracé des courbes d'étalonnage des diaphragmes et dans les mesures directes des différents cas étudiés.

Nous avons recherché les causes de cette variation.

Elles peuvent être de plusieurs sortes :

— Modification et instabilité du coefficient de débit des diaphragmes pour des valeurs critiques du nombre Reynolds.

Il est plus facile d'éliminer cet effet en se plaçant au-dessus de ce nombre critique, ce qui conduit à utiliser des débits non négigeables et des diaphragmes minces.

— Modification du coefficient de débit des robinets d'évacuation maintenus à ouverture fixe.

Cette modification de la caractéristique du robinet est due à un déplacement de la rondelle de cuir ou au dépôt d'une impureté quelconque. On peut l'éviter en utilisant un robinet à pointeau entièrement métallique, ne comportant pas d'étranglement risquant de s'obstruer partiellement.

— Oscillations dans les cuves formant cheminées d'équilibre. Les problèmes relatifs à ces oscillations nous conduisent à faire une étude plus détaillée sur les régimes transitoires dans les réservoirs à chambres multiples. Les résultats de cette étude peuvent se résumer ainsi : Si plusieurs chambres sont reliées entre elles par des ouvertures fixes, que l'une de ces chambres soit alimentée par un débit constant et qu'une autre crache, par une ouverture fixe, le régime

permanent est précédé d'une période transitoire. Nous avons distingué deux régimes transitoires. Le premier correspond à l'ordonnement des différents niveaux, les uns par rapport aux autres. Ce serait pour des vases communicants, la mise à niveau statique des vases. C'est le régime transitoire primaire.

Le second voit l'ensemble des niveaux s'élever ou descendre jusqu'à leur position finale et permanente. Il correspond, pour le tonneau des Danaïdes, au temps mis par le niveau pour atteindre la hauteur de régime permanent, liée au débit par une relation simple. C'est le régime transitoire secondaire.

Dans des conditions analogues à celles des essais que nous avons faits, le régime primaire dure 20 minutes et le régime secondaire 20 heures. Comme ce dernier régime correspond à un abaissement ou à une élévation simultanée de tous les niveaux, nous avons pu nous dispenser d'atteindre sa disposition en prenant, très rapidement, toutes les mesures d'une série. Ultérieurement, nous avons réussi à supprimer ce régime secondaire en fixant le niveau dans l'une des cuves à l'aide d'un déversoir. Mais la véritable solution nous a été donnée par notre étude théorique qui nous a montré que *la durée du*

régime secondaire est proportionnelle à la surface libre des cuves.

Quant au régime primaire, il diminue encore plus vite que la section.

Par conséquent, en faisant travailler les cuves en charge, la seule surface libre étant celle d'un tube piézométrique, les durées des régimes transitoires seraient respectivement de l'ordre de la seconde et de la minute. Ce qui permettrait de faire des mesures très rapides.

CONCLUSION

Le principe de l'analogie Conduite-Dia-phragme est excellent. Son application à l'étude de réseau maillé de distribution d'eau urbaine peut conduire à des résultats rapides et économiques, mais le modèle doit différer du prototype étudié, par les points suivants :

Les cuves devront être en charge, leur seule surface libre étant celle des tubes piézométriques.

Les sorties devront avoir lieu par des robinets à pointe ou par déversoir.

Les diaphragmes devront être minces, les débits suffisants.

La mesure des hauteurs ne nécessitant plus une grande rapidité d'exécution, il sera possible d'utiliser l'ancienne méthode de la pointe de mesure ; toutefois, la photographie des tubes serait une opération plus sûre et plus rapide.

Il est possible que le modèle réduit ainsi obtenu soit alors beaucoup plus coûteux.

Néanmoins, pour de très grands réseaux, la construction pourrait être rendue moins onéreuse grâce à certains artifices comme par exemple l'utilisation de panneaux amovibles permettant la formation de boîtes.

Un tel appareil pourrait alors permettre la détermination rapide et directe de tous les éléments d'un réseau quelle que soit la complexité du problème proposé.

Ainsi, le problème du calcul rapide d'un problème unique est-il pratiquement résolu.

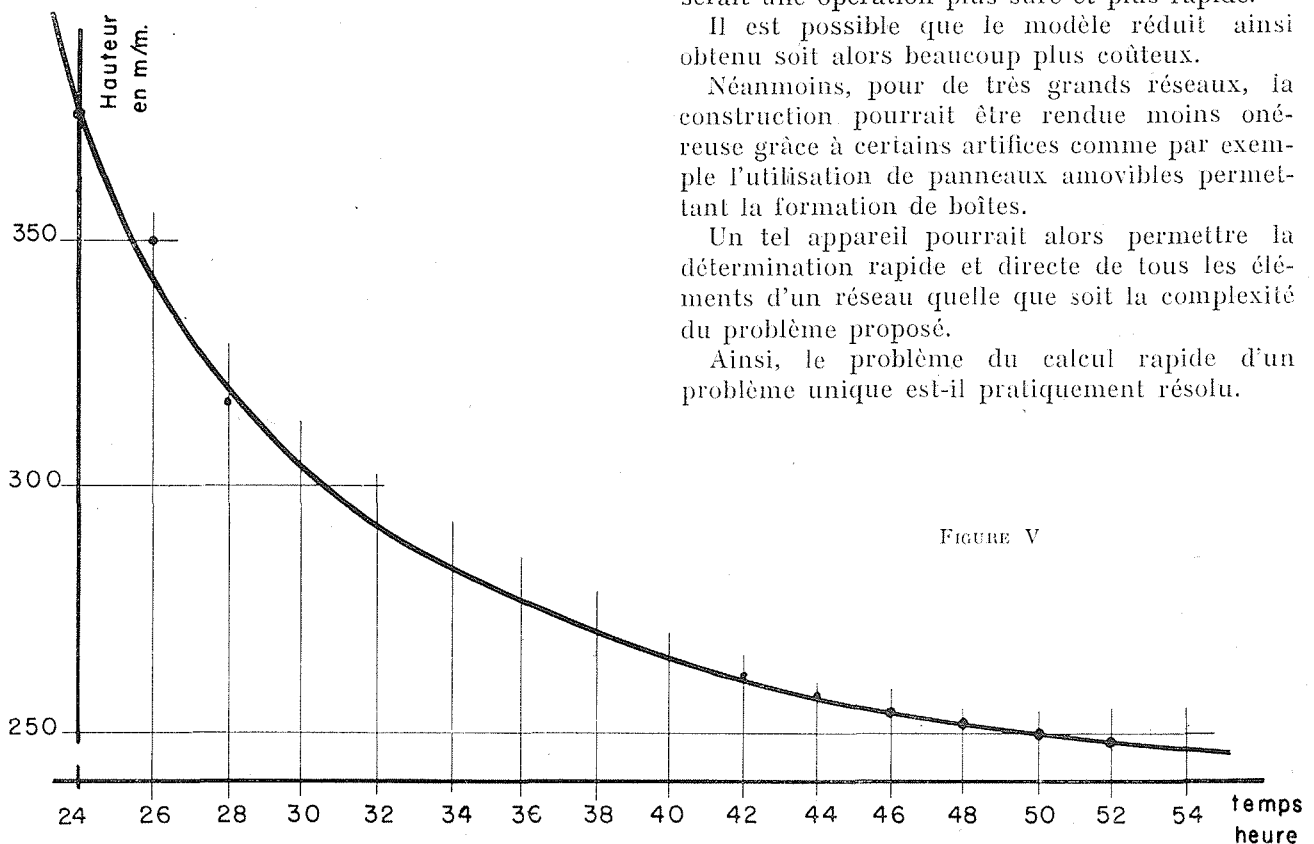


FIGURE V