

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 105 (1979)
Heft: 6

Artikel: Deux exemples d'utilisation de petites calculatrices programmables pour la résolution de problèmes posés par les installations hydrauliques
Autor: Graeser, Jean-Emile / Hoffer, Jean-Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73818>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Deux exemples d'utilisation de petites calculatrices programmables pour la résolution de problèmes posés par les installations hydrauliques

par Jean-Emile Graeser et Jean-Pierre Hoffer, Lausanne

Différents procédés de détermination des régimes de fonctionnement des installations hydrauliques mettent en œuvre des calculs répétitifs plus ou moins complexes.

Dans certains cas, l'exécution de ces opérations peut être avantageusement confiée à des petites calculatrices électroniques programmables.

L'Institut de machines hydrauliques de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne présente deux exemples d'applications pratiques développées dans le cadre de ses différentes activités. Le premier concerne l'exploitation d'un aménagement hydro-électrique en service, le second est relatif aux régimes transitoires provoqués par l'arrêt d'une pompe.

1. Introduction

Depuis quelques années, grâce à leur développement spectaculaire et fulgurant, les calculatrices électroniques de poche programmables offrent des possibilités d'utilisation intéressantes pour la résolution rapide et efficace de problèmes dont le traitement par des procédés numériques ou graphiques entraînait jusqu'alors des séries d'opérations longues et fastidieuses.

L'Institut de machines hydrauliques de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, dont la charge d'enseignement auprès des étudiants de la Section de mécanique comprend un cours consacré aux installations hydrauliques, présente

deux exemples de caractères différents, illustrant, dans ce vaste domaine, les avantages que l'on peut tirer de l'emploi judicieux de petites calculatrices programmables.

Le premier, qui concerne provisoirement — jusqu'à la mise au point d'un programme complet géré par un ordinateur de grande capacité — l'exploitation d'un ensemble hydro-électrique, montre comment des opérations de routine, fastidieuses par leur nombre et leur répétition journalière, peuvent être avantageusement confiées à une calculatrice telle que la Hewlett Packard HP 67 ou 97 (fig. 1) [1].¹ Cette application a été réa-

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

Synopsis

Different procedures for determining the service range of hydraulic installations demand very often a repetitive computing of complex problems.

In some instances, those calculations can be advantageously entrusted to small programmable computers.

The hydraulic machines Institute of the Federal Institute of Technology, Lausanne, presents two examples of practical application developed within its different activities. The first one deals with the operation of an existing hydroelectric plant and the second with a problem of transient flow induced by a sudden breakdown of a running pump.

lisée en collaboration avec le bureau d'ingénieurs Maggia, Locarno, à l'occasion de la mise en service et des essais de réception des machines de la centrale de Handeck III des Forces motrices de l'Oberhasli, Innertkirchen.

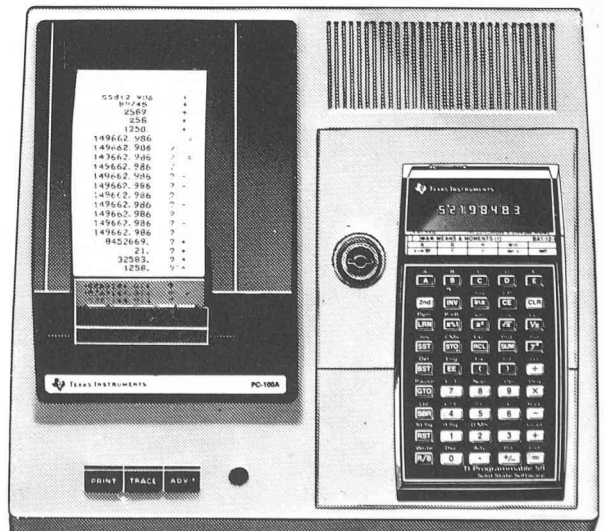
Le second touche au domaine du coup de bélier dans les installations de pompage. A partir d'un modèle physique simplifié et usant d'artifices mathématiques acceptables, le programme adapté à la calculatrice Texas Instruments TI-59 (avec imprimante PC-100 A) (fig. 2) [2] vient à bout de problèmes posés par le déclenchement d'une pompe. Son emploi, relativement facile, permet en peu de temps d'obtenir les résultats auxquels la méthode graphique ne tend qu'après plusieurs semaines de travail. Cette application, qui a été développée avec succès dans le cadre de l'épreuve pratique du diplôme de M. Jean-Pierre Hoffer, ingénieur mécanicien, est utilisable pour le traitement de cas réels.

Ces exemples n'ont pas d'autre prétention que de mieux signaler l'existence d'une voie intermédiaire pour le traitement de certains problèmes entre le calcul sommaire, manquant parfois d'une précision suffisante, auquel on recourt faute de mieux et de temps, et le calcul complet qu'effectue l'ordinateur de grande capacité, au prix d'un long travail de préparation.

Fig. 1. — Calculatrices Hewlett Packard HP 67, de poche, et HP 97, portable avec imprimante. Ces deux modèles, qui présentent une capacité et une logique identiques, utilisent les mêmes cartes magnétiques d'enregistrement (photo Hewlett Packard).



Fig. 2. — Calculatrice de poche Texas Instruments TI 59, utilisable avec ou sans imprimante portable PC-100A (photo Texas Instruments).



Calculatrices programmables Hewlett-Packard :

HP 67 de poche
HP 97 portable avec imprimante

Quelques éléments d'appréciation :

Capacité

- Mémoire programme 224 lignes (chaque fonction occupe une seule ligne) ;
- Mémoires adressables : 26 registres ;
- Pile opérationnelle : 4 registres (notation polonaise).

Lecteur de cartes magnétiques

- Enregistrement et lecture des programmes et des données numériques (registres) sur cartes magnétiques séparées.

Code des instructions

- Instructions selon code simple, propre à HP, organisation du calcul selon « logique polonaise » inverse, faisant intervenir la pile opérationnelle.

Quelques caractéristiques de programmation

- 10 touches de fonction à définir par l'utilisateur ;
- 20 adresses symboliques pour branchements inconditionnels ;
- 10 instructions de décision conditionnelle (tests) ;
- 3 niveaux de sous-programme ;
- 4 indicateurs binaires.

Fonctions préprogrammées

- Fonctions trigonométriques, logarithmiques, statistiques et mathématiques les plus courantes.

Affichage et impression

- 10 chiffres significatifs et 2 chiffres pour l'exposant.

Complément d'information

- Hewlett-Packard S.A. 19, ch. du Château-Bloc, 1219 Le Lignon/Genève.

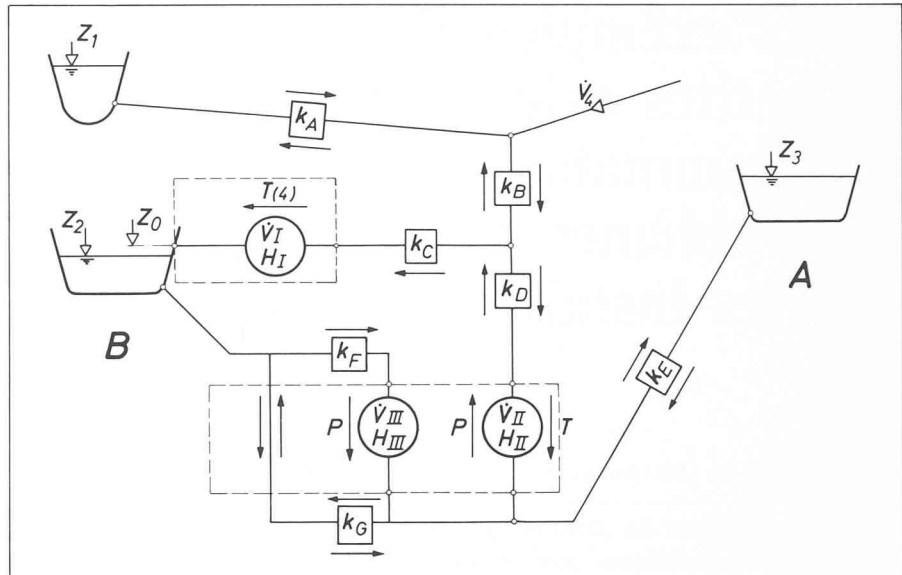


Fig. 3. — Schéma d'installation réduit à la représentation des éléments intervenant dans le calcul des régimes d'exploitation. Les vannes d'isolement nécessaires à la réalisation des différents services ne sont pas représentées.

l'aide de diagrammes et de tableaux établis à cet effet une fois pour toutes.

Dans le cas d'aménagements plus complexes, une telle méthode entraîne une suite d'opérations multiples dont l'exécution, qui nécessite un soin particulier, ne peut être confiée qu'à un collaborateur qualifié dont une partie non négligeable du temps est ainsi régulièrement consacrée à une tâche répétitive. La compétence de cet employé est temporairement mal utilisée.

L'emploi de petites calculatrices électroniques permet de pallier cet inconvénient dans certaines situations, parfois dans l'attente de la mise en service d'un moyen plus puissant. L'exemple choisi concerne le calcul des conditions d'exploitation d'une installation dont le schéma est représenté sur la figure 3 [3]. Trois bassins, dont un à accumulation saisonnière en tête de l'aménagement, une adduction au fil de l'eau, deux centrales équipées, l'une, de quatre turbines identiques, l'autre, d'une pompe-turbine à haute chute et d'une pompe réglable à aubes orientables à basse chute, avec les ouvrages de liaison et les vannes d'isolement nécessaires à la réalisation de différents services, constituent les éléments essentiels de ce schéma.

La première partie du programme, dont l'ensemble est résumé par l'organigramme simplifié de la figure 4, comprend

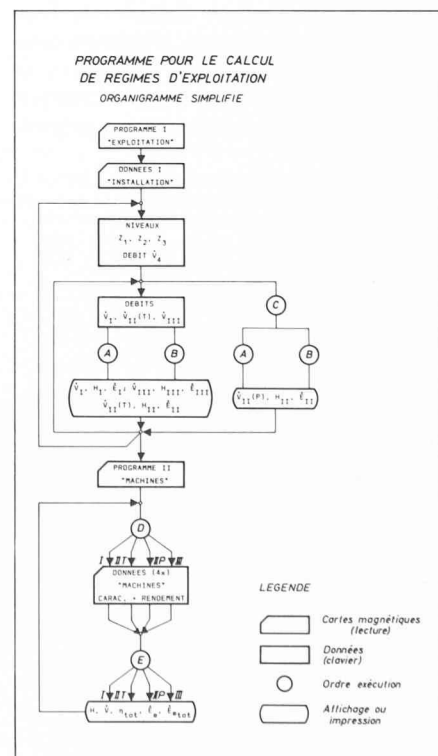
- l'enregistrement dans le registre « mémoires », à partir d'une carte magnétique, des constantes de l'installation (coefficients K_A à K_G des pertes de charge dans les différents tronçons de conduites) et des constantes définissant la caractéristique de fonctionnement de la pompe non réglable à haute pression ;

- l'introduction, en se servant du clavier, des données variables caractérisant l'état de l'installation (niveaux Z_1 à Z_3 et débit \dot{V}_d), d'une

part, et des grandeurs variables au choix de l'exploitant (débits \dot{V}_I , \dot{V}_{II} « turbine » et \dot{V}_{III}) ;

- l'ordre d'exécution associé au choix du bassin aval (A ou B) mis en exploitation, éventuellement complété par l'indication (C) de l'exploitation en pompe de la pompe-turbine non réglable. Dans ce dernier cas, le débit \dot{V}_{II} « pompe » compatible avec la caractéristique de la machine est déterminé par itérations successives ;
- l'affichage ou l'impression des chutes nettes (H_I à H_{III}), relatives aux différentes machines, calculées selon le schéma d'exécution de la figure 5.

Fig. 4. — Organigramme simplifié du programme en deux parties pour le calcul de régimes d'exploitation.



Le second d'entre eux illustre, en outre, l'utilisation qu'on peut faire dans l'enseignement de petites calculatrices programmables pour la résolution de certains problèmes proposés à titre d'exercices. Des étudiants encore peu familiarisés avec le langage et la pratique des gros ordinateurs peuvent obtenir grâce à elles des résultats intéressants dans le temps souvent relativement court mis à leur disposition.

2. Premier exemple : calcul des conditions d'exploitation d'un aménagement hydro-électrique complexe

L'exploitation d'un aménagement hydro-électrique nécessite l'établissement de programmes journaliers d'utilisation tenant compte des disponibilités naturelles. Quand l'installation est simple et ne comporte que quelques éléments, la détermination de régimes d'exploitation fait intervenir, par exemple, le niveau d'un bassin d'accumulation, ainsi que, en fonction du débit, les pertes de charge des ouvrages d'adduction et le rendement des machines. Le calcul peut être effectué facilement et rapidement à

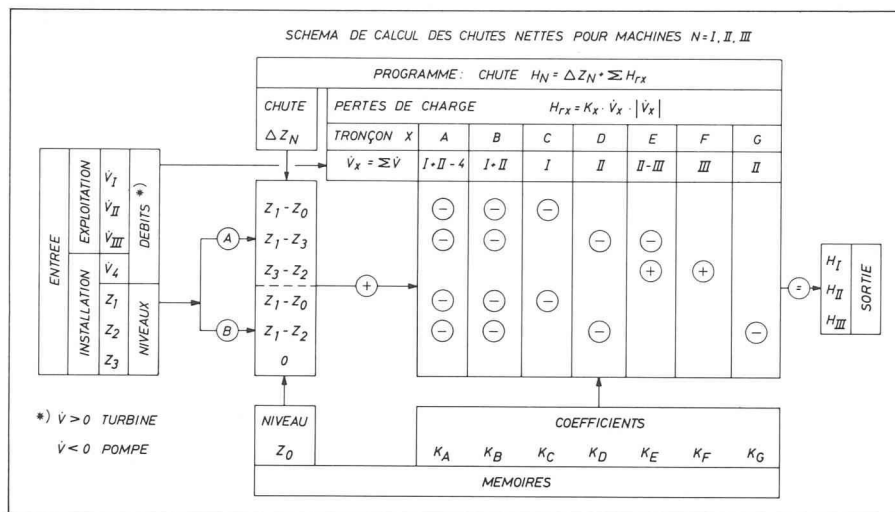


Fig. 5. — Schéma d'organisation du calcul des pertes de charge (chacun des 7 tronçons est parcouru par un débit différent) et des chutes nettes avec représentation des opérations dans les registres de mémoires.

La deuxième partie du programme détermine successivement les puissances électriques (\dot{E}_{eI} à \dot{E}_{eIII}) correspondant aux régimes précédemment calculés (\dot{V} - H) des différents groupes. Ce calcul fait intervenir, pour chaque machine, le rendement η_{tot} dont on sait qu'il est à la fois fonction du débit et de la chute nette.

La capacité de mémoire limitée de la calculatrice empêchant l'enregistrement du rendement sous forme d'un tableau de valeurs, un procédé de calcul et d'interpolation simple a été adopté, qui, tout en ne nécessitant que peu de place dans la mémoire, n'altère pas exagérément la précision des résultats. En effet, l'expérience a montré qu'en faisant intervenir les courbes de rendement relatives à trois chutes différentes après les avoir assimilées à des paraboles, neuf constantes suffisent à la définition du rendement. L'examen de la figure 6 le confirme. Ce même procédé est utilisé pour définir la caractéristique de la pompe intervenant

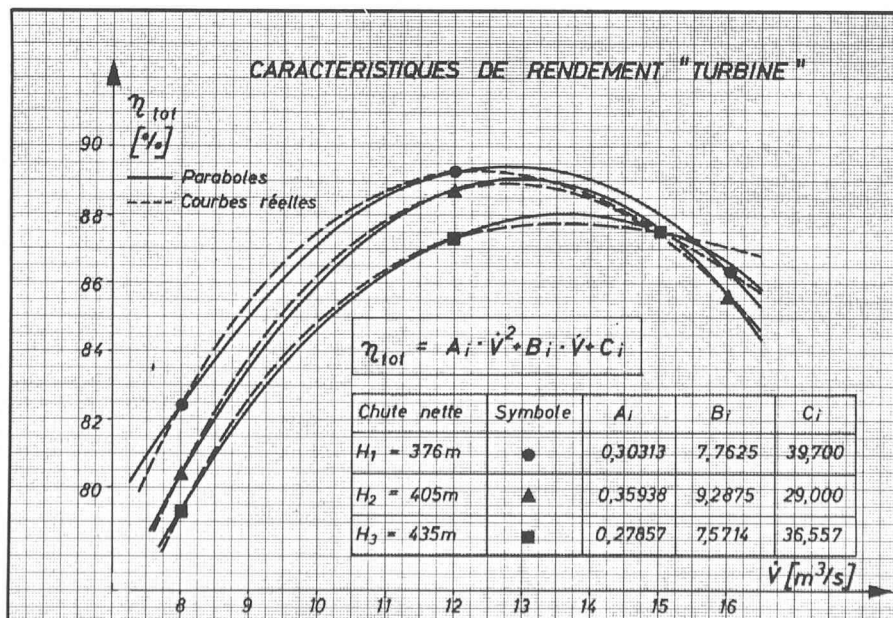
dans la première partie du programme. Les caractéristiques des machines contenues dans différentes cartes magnétiques sont enregistrées et traitées, les unes après les autres dans la calculatrice, de sorte qu'à la fin des opérations on dispose des résultats suivants pour chaque machine ou groupe de machines :

- Débit \dot{V} (valeur introduite pour les machines réglables ou calculée pour la pompe) ;
- Chute nette H ;
- Rendement η_{tot} relatif à la paire de valeurs H - \dot{V} ;
- Puissance électrique \dot{E}_e .

Pour la centrale équipée de plusieurs groupes identiques, la calculatrice affiche les résultats correspondant à l'utilisation des groupes en nombres différents, de sorte qu'il est facile de choisir le nombre de groupes qui présente le meilleur rendement global.

Les différentes parties de ce programme sont conçues pour leur utilisation par un

Fig. 6. — Courbes de rendement de la pompe-turbine pour les régimes de fonctionnement « turbine » sous trois chutes différentes. Le calcul utilise des paraboles aussi proches que possible des courbes réelles. Chacune de ces paraboles est définie par trois coefficients.



Calculatrice programmable Texas Instruments TI 59

modèle de poche, avec imprimante portable PC 100 A

Quelques éléments d'appréciation :

Capacité

- Mémoire programme : 960 ... 480 ... 160 lignes ;
- Mémoires adressables : 0 ... 60 ... 100 registres.

La répartition dans les limites sus-mencionnées de la capacité de la mémoire entre lignes (programme) et registres (données numériques) est au choix de l'utilisateur. Certaines fonctions peuvent occuper plus d'une ligne.

Lecteur de cartes magnétiques

- Enregistrement et lecture des programmes et des données numériques (registres) sur cartes magnétiques séparées.

Code des instructions

- Instructions selon code simple, propre à TI, organisation du calcul selon AOSTM, suivant les règles d'écriture algébrique avec parenthèses (9 niveaux de parenthèses).

Quelques caractéristiques de programmation

- 10 touches de fonction à définir par l'utilisateur ;
- 72 adresses symboliques pour branchements inconditionnels ;
- 14 instructions de décision conditionnelle (tests) ;
- 6 niveaux de sous-programme ;
- 10 indicateurs binaires.

Fonctions préprogrammées

- Fonctions trigonométriques, logarithmiques, statistiques et mathématiques les plus courantes.

Affichage et impression

- 8 chiffres significatifs et 2 chiffres pour l'exposant ;
- Impression de texte possible.

Bibliothèque de programmes

- Collection de programmes enregistrés dans un module (« SOLID STATE SOFTWARE™ ») incorporé, interchangeable.

Complément d'information

- Texas Instruments S.A., Aargauerstrasse 250, 8048 Zurich.

opérateur peu familiarisé avec la manipulation de calculatrices programmables. Elles comportent de ce fait un certain nombre de séquences de contrôle suspendant l'exécution des opérations lors de fausses manœuvres ou lors de l'introduction de données incompatibles avec les possibilités d'exploitation. A titre indicatif, elles occupent, respectivement, 224 et 218 lignes de programme et utilisent une des propriétés de la calculatrice qui permet de transférer une partie du contenu des registres de mémoire d'un programme à l'autre. Le nombre de cartes magnétiques utilisées est de sept dont cinq pour la conservation des données numériques de base (caractéristiques de l'installation et des machines).

3. Deuxième exemple : calcul du coup de béliet provoqué par le déclenchement d'une pompe

Le développement des installations de pompage a mis en évidence les problèmes que ce genre d'ouvrage pose à l'ingénieur au moment où il étudie le comportement en régime transitoire de l'aménagement dont il est responsable. L'arrêt d'une pompe centrifuge, consécutif à un déclenchement électrique de son moteur d'entraînement, provoque dans la conduite de refoulement une perturbation dont les conséquences peuvent être dangereuses.

Le phénomène se déroule de la façon suivante : faute d'être entraînée, la pompe freinée ralentit, le débit de l'eau dans la conduite diminue, s'annule, puis s'inverse, la pompe s'immobilise, puis tourne en sens inverse. La variation de régime d'écoulement qui en résulte est caractérisée par d'importantes fluctuations de pression.

Le calcul de ces fluctuations fait partie de l'étude d'une installation de pompage.

Il fait intervenir :

- les caractéristiques hydrauliques des conduites en régime transitoire (coup de bélier) ;
- les caractéristiques de fonctionnement de la pompe, données sous forme de courbes, résultats de mesures faites lors d'essais sur la machine même ou sur un modèle réduit ;
- l'inertie des masses tournantes (pompe et moteur) ;
- la caractéristique de la vanne de garde et la loi de manœuvre de cette vanne.

La méthode semi-graphique, qui fait intervenir des moyens graphiques (Schnyder-Bergeron) pour le comportement des éléments hydrauliques et des opérations numériques pour le calcul du comportement des masses tournantes, a longtemps été utilisé pour la résolution de tels problèmes. Le temps nécessaire au traitement d'un cas simple pouvant être ramené au schéma de la figure 7 n'en demandait et n'en demande encore pas moins de trois semaines d'un travail minitieux que seul un effort soutenu permet de terminer [4], [6], [7].

Depuis l'avènement des gros ordinateurs, des programmes importants ont été mis au point qui permettent de mener à bien les calculs relatifs à des schémas beaucoup plus compliqués. Leur utilisation demande souvent des travaux de préparation dont l'importance est loin d'être négligeable.

Il était donc tentant, en utilisant la méthode algébrique, de mettre au point un procédé qui permette d'aborder de tels calculs sans avoir à disposer de trop de temps précieux. Cette tentative a abouti à l'établissement du programme

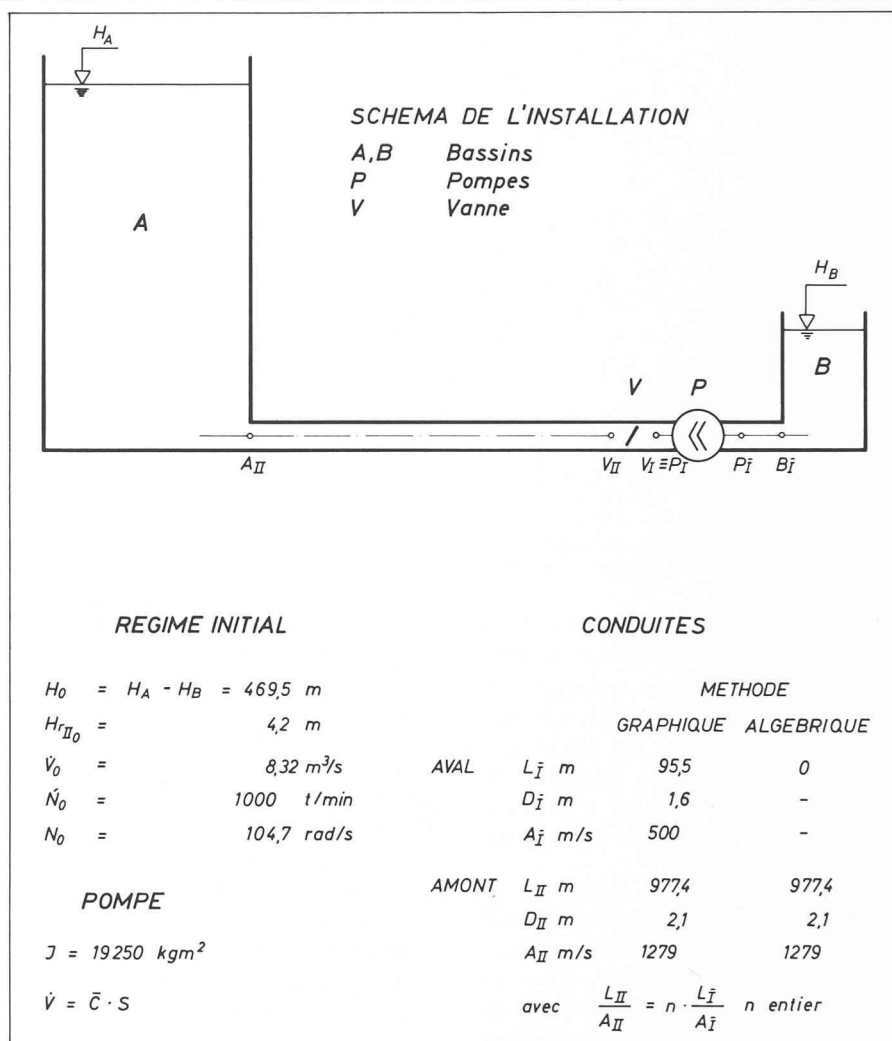


Fig. 7. — Schéma de l'installation pour le calcul du coup de béliet consécutif au déclenchement d'une pompe munie d'une vanne de garde.

décrit ci-dessous, relatif au schéma figure 7, déjà mentionné [5]. Le régime transitoire est régi par les équations suivantes :

$$\begin{array}{ll}
\text{Conduite} & \left\{ \begin{array}{l} 1) H_{V(j)} = H_{A(j-p)} - \frac{A}{g} \cdot \left[\bar{C}_{V(j)} - \bar{C}_{A(j-p)} \right] - \\ \quad - \frac{\lambda \cdot L}{2g \cdot D} \cdot \bar{C}_{A(j-p)} \cdot \left| \bar{C}_{A(j-p)} \right| \quad [m] \\ 2) H_{A(j)} = H_{V(j-p)} + \frac{A}{g} \cdot \left[\bar{C}_{A(j)} - \bar{C}_{V(j-p)} \right] - \\ \quad - \frac{\lambda \cdot L}{2g \cdot D} \cdot \bar{C}_{V(j-p)} \cdot \left| \bar{C}_{V(j-p)} \right| \quad [m] \end{array} \right. \\
\text{Conditions} & \left\{ \begin{array}{l} 3) H_{A(j)} = H_{A(j-p)} = H_{V_0} \quad [m] \\ \text{aux limites} \quad 4) H_{V(j)} = H(\dot{V}, N) + \\ \quad + K_V \cdot S^2 \cdot \bar{C}_{V(j)} \cdot \left| \bar{C}_{V(j)} \right| \quad [m] \\ 5) T_{(j)} = T(\dot{V}, N) \quad [Nm] \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Caractéristiques} \\ \text{machine (H et T)} \\ \text{et vanne (K}_V\text{)} \end{array} \\
& \left\{ \begin{array}{l} 6) N_{(j)} = N_{(j-1)} - \frac{T_{(j)} + T_{(j-1)}}{2} \cdot \frac{\Delta t}{J} \quad [\text{rad/s}] \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Inertie} \\ \text{masses tournantes} \end{array}
\end{array}$$

où H exprime l'énergie en mètres de colonne d'eau, \bar{C} la vitesse de l'eau (avec $\bar{C} = \dot{V}/S$), T le couple de la machine hydraulique, J l'inertie des masses tournantes et N (rad/s) ou \dot{N} (t/min) leur vitesse de rotation, A la célérité de l'onde dans la conduite de diamètre D et λ le coefficient de pertes de charge.

Le pas de calcul correspond à l'unité de temps Δt choisie pour le calcul; j est tel que $t = j \cdot \Delta t$; p est le nombre entier de pas de calcul dans la demi durée de phase L/A de la conduite.

La résolution du problème qui fait intervenir les caractéristiques de la machine hydraulique dans les équations 4) et 5) n'est possible à l'aide d'un outil de

calcul simple que si ces relations données sous forme graphique peuvent être exprimées par des équations algébriques. Au cours du régime transitoire à étudier la machine hydraulique passe successivement par plusieurs régimes de fonctionnement (pompe, frein, turbine, pompe inversée). Chacun de ces régimes est défini par une double caractéristique $H = f(\dot{V}, \dot{N})$ et $T = f(\dot{V}, \dot{N})$.

La figure 8 montre ces caractéristiques pour les fonctionnements en pompe et frein. Elle illustre le fait que ces courbes peuvent être avantageusement assimilées à des paraboles.

Cette circonstance est particulièrement intéressante car l'utilisation de paraboles comme caractéristiques de fonctionnement permet un passage extrêmement facile des courbes relatives à la vitesse nominale N_0 à celles d'autres vitesses N , ce que confirme la démonstration qui suit.

Pour des courbes résultant de mesures et sans définition mathématique précise, cette transformation se fait point par point à l'aide des relations suivantes :

$$\frac{H}{H_0} = \left[\frac{N}{N_0} \right]^2; \quad \frac{T}{T_0} = \left[\frac{N}{N_0} \right]^2; \quad \frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} = \frac{N}{N_0}$$

Pour des paraboles, les propriétés mathématiques de ces courbes conduisent à des relations du type :

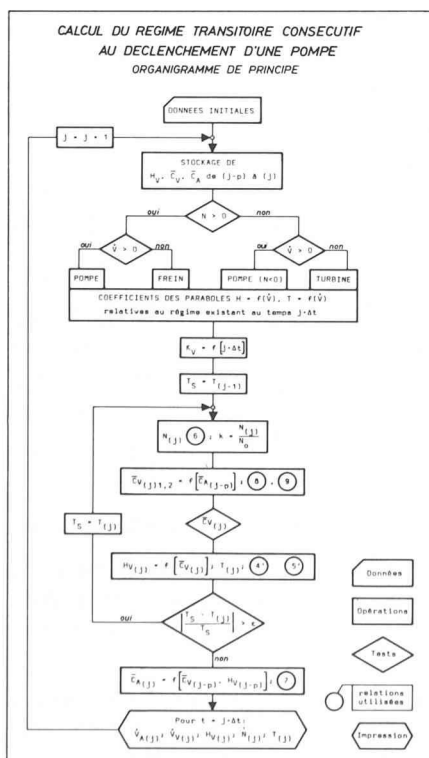
$$4') H = a \cdot \dot{V}^2 + b \cdot k \cdot \dot{V} + c \cdot k^2$$

$$\text{avec } k = \frac{N}{N_0}$$

$$5') T = u \cdot \dot{V}^2 + v \cdot k \cdot \dot{V} + w \cdot k^2$$

dont le traitement algébrique ne nécessite que peu de mémoires (7 registres) et un programme relativement court.

Fig. 9. — Organigramme simplifié du programme de calcul.



$\dot{N}_0 = 600 \text{ t/min}$	$k = \frac{N}{N_0}$	POMPE $\dot{V} > 0$	FREIN $\dot{V} < 0$
$H = a \cdot \dot{V}^2 + b \cdot k \cdot \dot{V} + c \cdot k^2$	$[m]$	a -2,27	4,59
$T = u \cdot \dot{V}^2 + v \cdot k \cdot \dot{V} + w \cdot k^2$	$[10^3 Nm]$	b 8,35	-11,09
		c 184,5	184,5
— Courbes réelles		u -1,56	5,55
--- Paraboles		v 27,8	1,40
		w 57,4	57,4

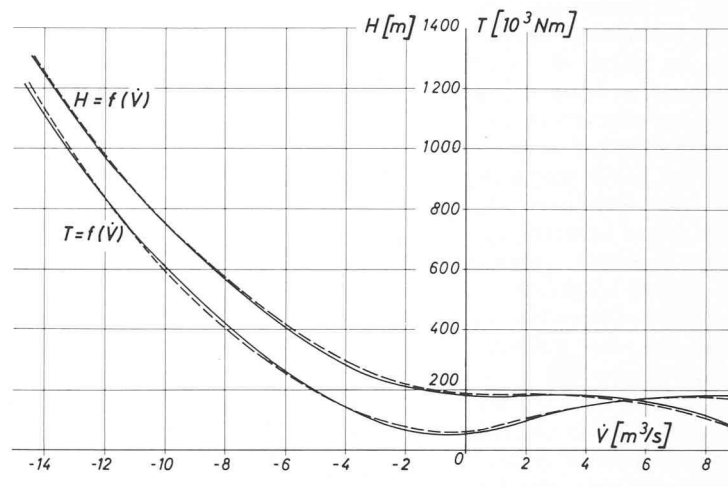


Fig. 8. — Caractéristiques de fonctionnement de la machine hydraulique en régimes «pompe» et «frein». Le calcul utilise des paraboles aussi proches que possible des courbes réelles. Chacune de ces paraboles est définie par trois coefficients.

Grâce à la possibilité d'utiliser l'équation 4'), le système 1), 2), 3) et 4) se réduit au système suivant, dont le traitement algébrique ne présente pas de difficultés insurmontables :

$$7) \bar{C}_{A(j)} = \frac{-g}{A} \cdot \left[H_{A(j)} + \frac{\lambda \cdot L}{2g \cdot D} \cdot \bar{C}_{V(j-p)} \cdot \left| \bar{C}_{V(j-p)} \right| - H_{V(j-p)} \right] + \bar{C}_{V(j-p)} \quad [m/s]$$

$$8) \bar{C}_{V(j)}^2 \cdot \left[a \cdot S^2 + S^2 \cdot K_V \right] + \bar{C}_{V(j)} \cdot \left[b \cdot k \cdot S - \frac{A}{g} \right] + \left[c \cdot k^2 - H_{A(j-p)} - \frac{\lambda \cdot L}{2g \cdot D} \cdot \bar{C}_{A(j-p)} \cdot \left| \bar{C}_{A(j-p)} \right| + \frac{A}{g} \cdot \bar{C}_{A(j-p)} \right] = 0 \quad [m]$$

$$9) H_{V(j)} = a \cdot S^2 \cdot \bar{C}_{V(j)}^2 + b \cdot k \cdot S \cdot \bar{C}_{V(j)} + c \cdot k^2 + K_V \cdot S^2 \cdot \bar{C}_{V(j)} \cdot \left| \bar{C}_{V(j)} \right| \quad [m]$$

Sans entrer dans les détails de l'organisation complexe du calcul, on relèvera que le phénomène est régi par le système précédent, image du comportement hydraulique, et par les deux équations 5') et 6), expressions de l'inertie des masses tournantes. L'organigramme, figure 9, résume, en la simplifiant, la suite des opérations conduisant à la solution du système.

Les résultats numériques imprimés par la machine se présentent sous la forme illustrée par la figure 10 qui donne

Fig. 10. — Exemple de «listing» du programme et d'impression des résultats. Les valeurs numériques imprimées correspondent à un calcul effectué avec un moment d'inertie plus faible que celui adopté pour l'exemple de la figure 11.

RESULTATS (2 pas de calcul)	PROGRAMME (Extrait)
t = j · Δt ----- 4.966	060 76 LBL
· V _{Aj} ----- -9.232	061 35 1/X
· V _{Vj} ----- -7.333	062 04 4
· V _{Vj} ----- 671.493	063 01 1
H _{Vj} ----- -1619.970	064 42 STO
· V _{Vj} ----- 164976.614	065 00 00
N _j ----- 5.157	066 61 GTD
T _j ----- -7.795	067 11 A
----- -4.890	068 76 LBL
----- 746.615	069 33 X²
----- -1682.496	070 05 5
164245.977	071 09 9
	072 42 STO
	073 00 00
	074 61 GTD
	075 11 A

également un court exemple de la structure du programme.

La figure 11 donne sous forme graphique les résultats du calcul ainsi réalisé et permet leur comparaison avec ceux obtenus à l'aide de la méthode semi-graphique (Schnyder-Bergeron) à partir d'un schéma de l'installation pratiquement identique au premier (voir figure 7). Le même cas de déclenchement a été traité à l'aide de l'ordinateur CYBER 7326 du Centre de calcul de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Le programme utilisé, actuellement en cours de développement à l'Institut de machines hydrauliques, est fondé sur la méthode dite des caractéristiques. Les résultats de ce calcul effectué par M. Jean Prenat, assistant diplômé, figurent dans le tableau ci-dessous, qui permet de comparer l'ensemble des résultats obtenus par les différentes méthodes déjà mentionnées. L'excellente concordance de ces résultats donne une mesure de la précision de la méthode décrite dans cet article et justifie la confiance que ses auteurs lui accordent.

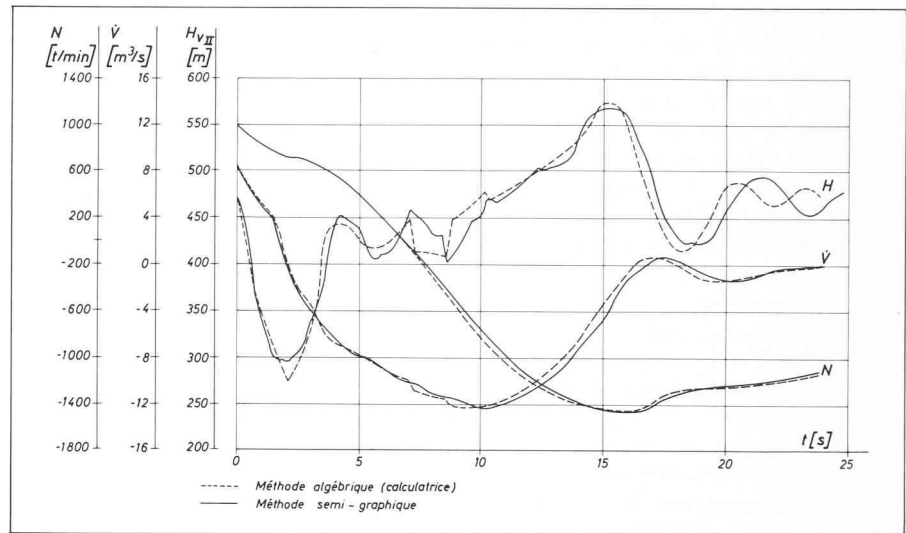


Fig. 11. — Résultats du calcul effectué par la méthode algébrique à l'aide de la calculatrice, comparés avec les résultats obtenus par la méthode semi-graphique (Schnyder-Bergeron).

Adresse des auteurs :

Jean-Emile Graeser, ingénieur EPFL
Chargé de cours à l'EPFL
Jean-Pierre Hoffer, ingénieur EPFL
Institut de Machines hydrauliques
26, avenue de Cour
CH - 1007 Lausanne

Bibliographie

- [1] *** : *HP-97 Manuel d'utilisation*. Hewlett-Packard (Genève), 1976.
- [2] *** : *TI-58/TI-59 Manuel d'utilisation*. Texas Instruments (Zurich), 1977.
- [3] *** : *L'installation hydro-électrique de Handeck III*. Schweizerische Bauzeitung (Zurich), à paraître prochainement, 1978.
- [4] L. BERGERON : *Du coup de béliet en hydraulique au coup de foudre en électricité*. Dunod (Paris), 1950.
- [5] L. STREETER et B. WYLIE : *Hydraulic transients*. Mac-Graw-Hill (New York), 1967.
- [6] J.-E. GRAESER : *Régimes transitoires en hydraulique (coup de béliet)* — Aide-mémoire et figures. Institut de Machines hydrauliques EPFL (Lausanne), 1977.
- [7] J.-E. GRAESER : *Note relative au calcul du coup de béliet consécutif au déclenchement du moteur d'une pompe centrifuge montée dans une conduite reliant deux bassins à niveau constant*. Institut de Machines hydrauliques EPFL (Lausanne), 1973.

Régime transitoire consécutif au déclenchement d'une pompe Comparaison des résultats

Régime initial $\dot{N} = 1000$ t/min ; $H_0 = 469,5$ m ; $\dot{V}_0 = 8,32$ m³/s

Grandeur	Unité(s)	Méthodes		
		graphique	algébrique	« caractéristiques »
Pression statique ($\dot{V} = 0$)	H_{VII}	m	513	513
Pression minimum	H_{VII}	m	345	339
Ecart correspondant	ΔH	m ; %	-168/-33	-190/-37
Pression maximum	H_{VII}	m	615	623
Ecart correspondant	ΔH	m ; %	102/20	112/22
Vitesse maximum *	\dot{N}	t/min ; %	1487/49	1465/47
Débit maximum *	\dot{V}	m³/s	12,33	12,35
Couple maximum	T	10⁵ Nm	5,1	5,3

* Sens turbine

Conférences

Utilisation des scories d'incinération et construction routière

Sous ce titre, le Département des travaux publics de Genève organise le **vendredi 23 mars 1979** un colloque, à l'aula du centre d'enseignement professionnel pour l'industrie et l'artisanat (CEPIA), avenue des Grandes-Communes 18, Petit-Lancy, Genève.

Programme :

Ouverture, par M. A. Harmann, ingénieur diplômé EPFZ/SIA, ingénieur cantonal de Genève.

Présentation générale, buts et objectifs, par M. P. Dériaz, ingénieur diplômé EPFZ/SIA, copropriétaire du Laboratoire de géotechnique appliquée P. et C. Dériaz et C^{te} SA.

Expériences réalisées depuis 1971, en Valais, par M. A. Dénériaz, ingénieur diplômé EPFL/SIA, Sion.

Expériences françaises, par M. M. Bauchard, ingénieur ENSM (Ecole nationale supérieure des mines), Laboratoire régional de l'Est parisien, Le Bourget.

Protection des câbles et conduites des services publics, par M. R. Petermann, Dr ès sciences, chef de l'office de contrôle de l'Association suisse des électriciens.

Emploi des scories d'incinération des ordures, état actuel du développement et possibilités d'avenir, par M. R. Hirt, Dr ing., professeur EPFZ.

Discussion-débat sous la présidence de M. P. Dériaz.

Visite des chantiers et planches d'essais.

15 h. 30 : **Visite des nouvelles installations de l'Usine d'incinération des ordures ménagères aux Cheneviers, à Aire-la-Ville.**

Inscription : Département des travaux publics, Direction du génie civil, rue David-Dufour 5, 1211 Genève 8.