

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 84 (1993)

**Heft:** 9

**Artikel:** La modélisation des écoulements à basse pression traitée par un automaticien : un modèle d'état du niveau d'eau tenant compte des phénomènes d'ondes de translation

**Autor:** Lahlou, Mouncif

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902683>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 31.03.2025

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

Dans le contexte du réglage de niveau dans les installations hydroélectriques au fil de l'eau, une modélisation représentative des phénomènes d'ondes de translation dans les canaux d'amenée et de fuite est nécessaire pour améliorer les régulateurs existants. Le but de cette étude est de proposer un modèle d'état permettant d'en tenir compte. Un deuxième modèle traitant le problème par deux fonctions de transfert fera l'objet d'un article ultérieur.

# La modélisation des écoulements à basse pression traitée par un automaticien

Un modèle d'état du niveau d'eau tenant compte des phénomènes d'ondes de translation

■ Mouncif Lahlou

Dans les installations hydroélectriques au fil de l'eau, le niveau en amont du barrage doit être maintenu au plus proche de sa valeur maximale admissible afin de pouvoir exploiter une hauteur de chute maximale pour entraîner les turbines. Dans ce but, on utilise en général un régulateur automatique PI. Celui-ci donne les consignes du débit aux turbines et aux vannes du barrage pour corriger le niveau en son amont suite à une perturbation du débit dans son canal d'amenée. Les paramètres du régulateur PI sont déterminés en tenant compte des propriétés dynamiques du canal d'amenée, des turbines et des vannes.

Ce réglage PI a comme inconvénient d'être basé sur un modèle du niveau trop simplifié. En fait, ce modèle ne tient pas compte des phénomènes d'ondes de translation parcourant le canal d'amenée du barrage. Le but de la présente étude est de proposer un modèle d'état permettant d'en tenir compte.

## Notions préliminaires

Dans les canaux d'amenée ou de fuite des installations hydroélectriques au fil de l'eau, un écoulement est dit à basse pression si les approximations suivantes peuvent être faites [1]:

- la vitesse et le niveau de l'écoulement sont identiques sur une section perpendiculaire aux lignes de courant (écoulement unidimensionnel),
- la vitesse de l'écoulement n'a pas de composante verticale,
- les forces de friction ont la même formulation en régime perturbé qu'en régime permanent.

Avec ces approximations, la dynamique de l'écoulement est régie par les équations de De Saint Venant [1] qu'on peut exprimer comme suit:

$$\frac{\partial A(X, T)}{\partial T} + \frac{\partial Q}{\partial X} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{g} \left( \frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial T} - \frac{Q}{A^2} \frac{\partial A}{\partial T} \right) \\ & + \frac{1}{g} \left( \frac{Q}{A^2} \frac{\partial Q}{\partial X} - \frac{Q^2}{A^3} \frac{\partial A}{\partial X} \right) \\ & + \frac{\partial Y}{\partial X} + \Gamma \frac{Q^2}{A^2} + \frac{\partial Z}{\partial X} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Les variables  $X$ ,  $T$ ,  $Z$ ,  $Y$  et  $Q$  dénotent respectivement la position le long du canal, le temps, l'altitude du lit du canal, le niveau et le débit de l'écoulement (figure 1).

Les paramètres  $A$ ,  $B$  et  $g$  dénotent la section, la largeur de l'écoulement et l'accélération terrestre.  $\Gamma$  est le coefficient de

## Adresse de l'auteur

Mouncif Lahlou, Laboratoire d'électronique industrielle, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne.

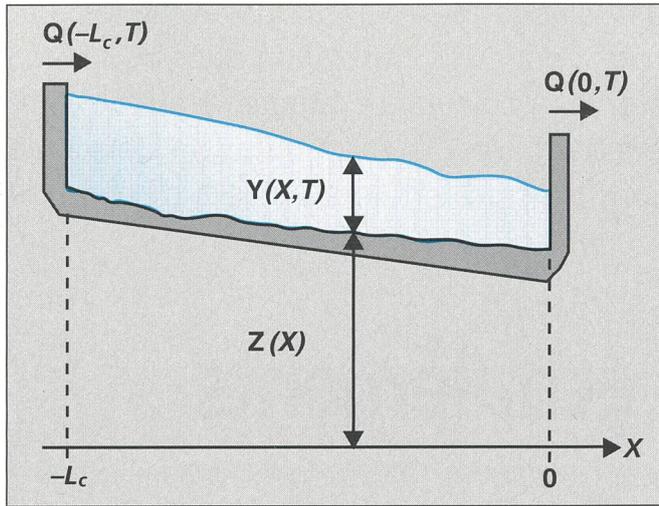


Figure 1 Coupe longitudinale d'un canal d'écoulements à basse pression

$$\frac{\partial y(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial q(x,t)}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial q(x,t)}{\partial t} - 2 \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} + (v_0^{-2}(x) - 1) \frac{\partial y(x,t)}{\partial x} + q(x,t) - y(x,t) = 0 \quad (8)$$

Dans (8), la grandeur  $v_0(x)$  est le rapport entre la vitesse de l'écoulement  $V_0(X) = Q_0(X)/A_0(X)$  et celle de l'onde de translation,  $W_0(X) = \sqrt{gY_0(X)}$  appelée *nombre de Froude*.

En plus de leur linéarité, les équations (7) et (8) ont l'avantage d'être *indépendantes des paramètres géométriques de l'écoulement*. Elles peuvent donc être validées par l'expérience en utilisant un canal de taille réduite (essais en laboratoire).

perles de charges, proportionnel aux forces de friction et au carré de la vitesse de l'écoulement.

En plus des approximations précitées, on admet que les perturbations du niveau et du débit dans le canal ne sont dues qu'aux variations du débit en amont  $Q(-L_c, T)$  et en aval  $Q(0, T)$  du canal ( $L_c$  étant la longueur du canal). Les variations latérales du débit sont par conséquent négligées.

### Les équations de De Saint Venant

Les équations de De Saint Venant consistent en une équation de continuité [éq. (1)] et une équation dynamique [éq. (2)]. La première, l'équation de continuité, exprime simplement la conservation de la masse d'un élément de volume (en fait un tronçon de l'écoulement de largeur infinitésimale) en cours d'écoulement.

La seconde équation, l'équation dynamique, est déduite de la projection horizontale de l'équation du mouvement appliquée à l'élément de volume. L'accélération de l'écoulement est égalée aux forces extérieures exercées sur cet élément, à savoir la force de friction contre la paroi et la force de pression exercée par la masse du fluide. Les deux premiers termes de l'équation (2) correspondent à l'accélération de l'écoulement par rapport au temps et à l'abscisse du canal, et les trois termes restant tiennent compte de la pente de la surface de l'écoulement ( $\partial Y/\partial X$ ), de la pente des pertes de charge ( $\Gamma Q^2/A^2$ ) et de la pente du lit du canal ( $\partial Z/\partial X$ ).

### Petites variations

Les variations des débits en amont et en aval du canal sont dues aux ouvertures et fermetures des turbines et des vannes, voire au remplissage et au vidage des écluses. Ces variations sont en général petites par rapport au débit du canal si bien que l'écoulement ne s'écarte que légèrement de son régime permanent. Ce dernier est caractérisé par le débit  $Q_0$  constant et par les paramètres  $A_0(X)$ ,  $B_0(X)$  et  $\Gamma_0(X)$  indépendants du temps.

Dans ce qui suit, on s'intéresse à la dynamique des variations du niveau  $\Delta Y(X, T)$  et du débit  $\Delta Q(X, T)$  autour de leurs valeurs en régime permanent  $Y_0(X)$  et  $Q_0$ . Puisque l'écoulement n'est que légèrement perturbé, on peut exprimer ces variations en linéarisant les équations (1) et (2). Dans les équations linéarisées, on introduit par la suite les grandeurs rapportées suivantes (l'indice inférieur 0 indique une valeur en régime permanent):

$$q = \frac{\Delta Q}{Q_0} \quad (3)$$

$$y = \frac{\Delta Y}{Y_0} \quad (4)$$

$$t = \frac{2\Gamma_0(X)gQ_0}{A_0(X)} T \quad (5)$$

$$x = 2\Gamma_0(X)gX \quad (6)$$

On obtient finalement les équations (7) et (8), formant un système de deux équations différentielles linéaires aux dérivées partielles:

### Discretisation du canal

Pour construire un modèle d'état à partir des équations (7) et (8), on procède en deux étapes. La première consiste à discrétiser le canal d'écoulements en un ensemble de  $n$  sections où  $\Delta Y(X, T)$  et  $\Delta Q(X, T)$  sont supposés constants (figure 2). A chaque section  $i$ , avec  $i = 1 \dots n$ , on définit le débit  $q(x_i, t)$  et le niveau  $y(x_i, t)$ . La longueur de la section  $i$  est appelée *pas de discrétisation* et notée  $x_c(i)$ .

La deuxième étape est de substituer dans (7) et (8) les dérivées partielles spatiales par des quotients de différences [2]. Par la suite, on exprime (7) aux sections paires et (8) aux sections impaires. Par un choix judicieux des quotients de différences, on élimine les niveaux relatifs aux sections paires et les débits relatifs aux sections impaires dans ces expressions, ce qui permet de définir le vecteur d'état composé alternativement des niveaux des sections impaires et des débits des sections paires. Ceci a pour avantage de limiter l'ordre du modèle d'état  $N_s = n+1$  afin de réduire le temps de calcul en simulation digitale. On obtient finalement un système de  $(n+1)$  équations différentielles ordinaires qu'on peut résumer dans la notation matricielle (9):

$$\dot{x}_s = A_s x_s + B_s u \quad (9)$$

avec le vecteur d'état

$$x_s^T = [y(-l_c, t) \ q(x_1, t) \dots \ y(x_i, t) \ q(x_{i+1}, t) \dots \ q(x_{n-1}, t) \ y(0, t)] \quad (10)$$

La matrice d'entrée  $B_s$  est donnée par

$$B_s^T = \begin{bmatrix} x_e^{-1}(1) & -2x_e^{-1}(1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -x_e^{-1}(n) \end{bmatrix} \quad (11)$$

La matrice fondamentale  $A_s$  est donnée par

$$A_s^T = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ -x_e(1)^{-1} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & s_i^{-1} & \dots & 0.5s_i^{-1} & \dots \\ \dots & \dots & 0.5(v_0^{-2} - 1 + x_e(i+1))s_{i+1}^{-1} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & -0.5s_i^{-1} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 0.5(1 - v_0^{-2} + x_e(i+2))s_{i+1}^{-1} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & x_e^{-1} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

où on a introduit  $s_i = x_e(i) + x_e(i+1)$ . Enfin, le vecteur de commande est constitué des débits en amont  $q(-l_c, t)$  et en aval  $q(0, t)$  du canal; il est donné par

$$u = \begin{bmatrix} q(-l_c, t) \\ q(0, t) \end{bmatrix} \quad (12)$$

L'équation de sortie (13) du modèle d'état permet de calculer une variable d'état  $y$  déterminée. Pour calculer la variable d'état relative à la section  $i$ , il suffit d'annuler tous les termes de la matrice de sortie  $c^T$  sauf le  $i$ ème, égal à l'unité.

$$y = c^T x_s \quad (13)$$

avec  $c^T = [00\dots 10\dots 0]$ .

### Discrétisation variable du canal

La substitution des dérivées partielles spatiales de (7) et (8) par les quotients de différences précités fait que le modèle d'état donné par (9) à (13) est approximatif. Pour améliorer sa précision, une méthode de

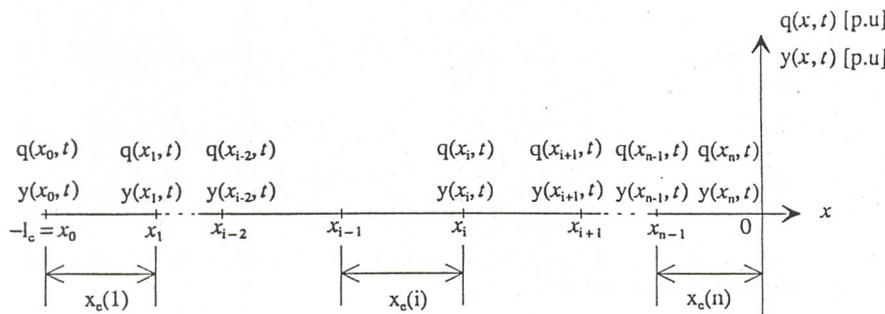


Figure 2 Discrétisation du canal

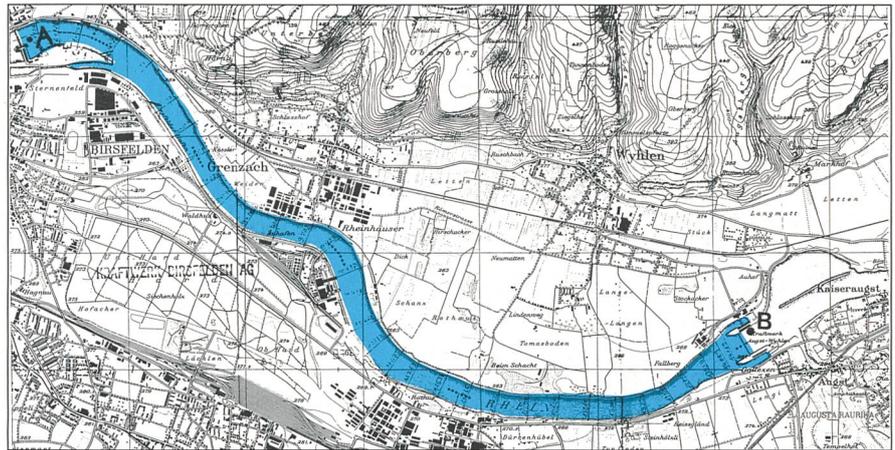


Figure 3 Canal d'amenée Birsfelden

Carte topographique reproduite avec l'autorisation de l'Office fédéral de Topographie du 3/2/1993

discrétisation du canal avec pas variable a été développée. Celle-ci tient compte de la dynamique des commandes  $q(-l_c, t)$  et  $q(0, t)$  supposées varier par sauts dont les valeurs sont atteintes avec une constante de temps connue. Au voisinage de l'extrémité amont (resp. aval) du canal, le pas de discrétisation, uniforme, est proportionnel à la constante de temps de  $q(-l_c, t)$  et  $q(0, t)$ . Ensuite, la largeur du pas de discrétisation est accrue à mesure qu'on s'éloigne de l'extrémité amont (resp. aval), ceci en tenant compte de l'amortissement de l'onde de translation [2].

### Simulation digitale du niveau

Pour ce faire, l'équation d'état différentielle (9) est échantillonnée. Le vecteur d'état et la grandeur de sortie, à chaque période d'échantillonnage, sont donnés par les équations récursives (14) et (15),  $k$  étant la variable d'incrémentatation:

$$x[k+1] = Fx[k] + Hu[k] \quad (14)$$

$$y[k] = c^T x[k] \quad (15)$$

Les matrices d'état  $F$  et d'entrée  $H$  du système échantillonné sont déduites des matrices  $A_s, B_s$  et de la période d'échantillonnage  $t_e$  selon [3]:

$$F = e^{A_s t_e} \quad (16)$$

$$H = \int_0^{t_e} e^{A_s \tau} d\tau \cdot B_s \quad (17)$$

L'équation (14) peut être résolue récursivement; elle se prête par conséquent à être implantée sur ordinateur. Pour choisir l'outil informatique - matériel, système d'exploitation et logiciel de développement des programmes de simulation - à utiliser, les critères suivants doivent être pris en considération, dans l'ordre de leur importance:

- quantité de mémoire RAM et de disque dur suffisante pour simuler des canaux à nombre de sections relativement élevé,
- temps de simulation assez court,
- temps de développement des algorithmes de simulation, des outils de visualisation et de l'interface utilisateur le plus réduit possible,
- installation de simulation facilement transportable pour effectuer des acquisitions de mesures sur le terrain afin de valider le modèle,
- rapport qualité/prix acceptable.

Parmi les solutions possibles, l'ordinateur personnel (IBM-PC) avec le système d'exploitation Microsoft MS-DOS est avantageux pour les trois derniers points. Pour les deux premiers, il est suffisant. En effet, après quelques tests ad-hoc, il s'est avéré qu'avec un processeur de la gamme Intel 386 ou plus évolué, des simulations avec un maximum de sections de 30 et dans un temps raison-

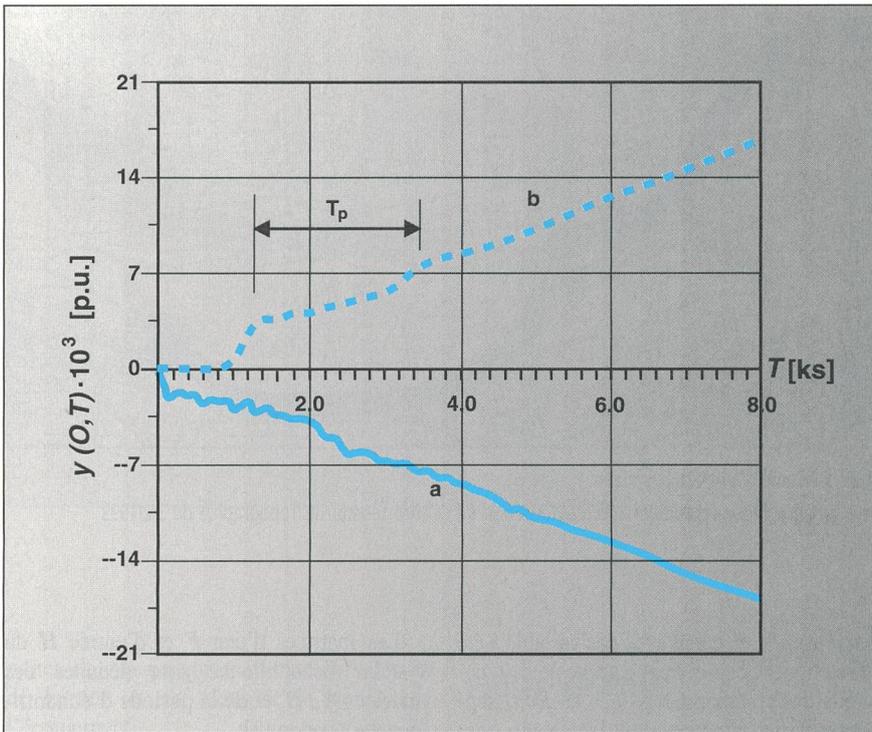


Figure 4 Réponses de  $y(0,T)$  pour  $270 \text{ m}^3/\text{s}$   
 a réponse par rapport à  $q(0,T)$   
 b réponse par rapport à  $q(-L_c,T)$   
 $T_p$  temps de propagation de l'onde

nable (environ 1 minute) sont possibles. La structure, les principales propriétés du programme développé ainsi que son mode d'emploi sont présentés en détail dans [4]. Son utilisation est illustrée par l'exemple pratique qui suit.

**Canal d'amenée Birsfelden**

Le canal d'amenée de l'installation hydroélectrique de Birsfelden – ou canal d'amenée Birsfelden – sur le Rhin est de longueur 7889 m et situé entre les barrages d'Augst-Wyhlen (point B) et de Birsfelden (en amont de Bâle, point A). La figure 3 en présente une carte topographique.

La société des forces motrices de Birsfelden exploite une chute du niveau pour laquelle l'altitude (par rapport au niveau de la mer) en amont du barrage est légalement assignée à 254,25 m. Le niveau de l'écoulement en amont du barrage (point A sur la figure 3) doit donc être réglé pour respecter cette valeur. Dans ce qui suit, on utilisera les équations (9) à (13) pour simuler les variations du niveau au point A. On observera ces variations autour de la valeur du niveau aux régimes permanents avec  $Q_0 = 270$  et  $5500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dans ce contexte, on suppose que les paramètres de l'écoulement  $A_0(X)$ ,  $B_0(X)$  et  $\Gamma_0(X)$  sont disponibles à chaque abscisse, ceux-ci ayant été reconstitués par interpolation à partir de la topologie du

canal. Premièrement, on utilise la caractéristique de discrétisation variable pour discrétiser le canal précité. On considère une

constante de temps des débits en amont et en aval du canal de 20 secondes. Les valeurs des affaiblissements spectraux [2] sont ensuite déterminées pour un ordre du modèle d'état de 21 pour  $Q_0 = 5500 \text{ m}^3/\text{s}$  et de 25 pour  $Q_0 = 270 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ensuite, on calcule les matrices  $A_s$  et  $B_s$ , puis les matrices  $F$  et  $H$  du système échantillonné. Pour cela, on choisit une période d'échantillonnage de 40 s. L'équation d'état aux différences (14) est par la suite résolue en considérant une commande amont (resp. aval) d'une valeur  $q_\infty = 0,1$  p.u. atteinte avec une constante de temps  $T_c$  de 20 secondes:

$$q(-L_c, T) = q(0, T) = q_\infty \left( 1 - e^{-T/T_c} \right) \tag{18}$$

Pour analyser le comportement du niveau au point A, on a relevé les réponses  $y(0,T)$  (le temps exprimé en s et le niveau en p.u.) relatives aux débits  $270 \text{ m}^3/\text{s}$  (figure 4) et  $5500 \text{ m}^3/\text{s}$  (figure 5).

La dynamique du niveau au point A, selon les figures 4 et 5, peut être décomposée en quatre éléments:

- Pour les réponses par rapport à  $q(-L_c, T)$  (figures 4 et 5, courbe b): le retard, égal au temps de propagation de l'onde de translation depuis l'extrémité amont du canal avec une vitesse égale à la somme des vitesses de propagation  $W_{om}$  et d'écoulement  $V_{om}$  moyen-

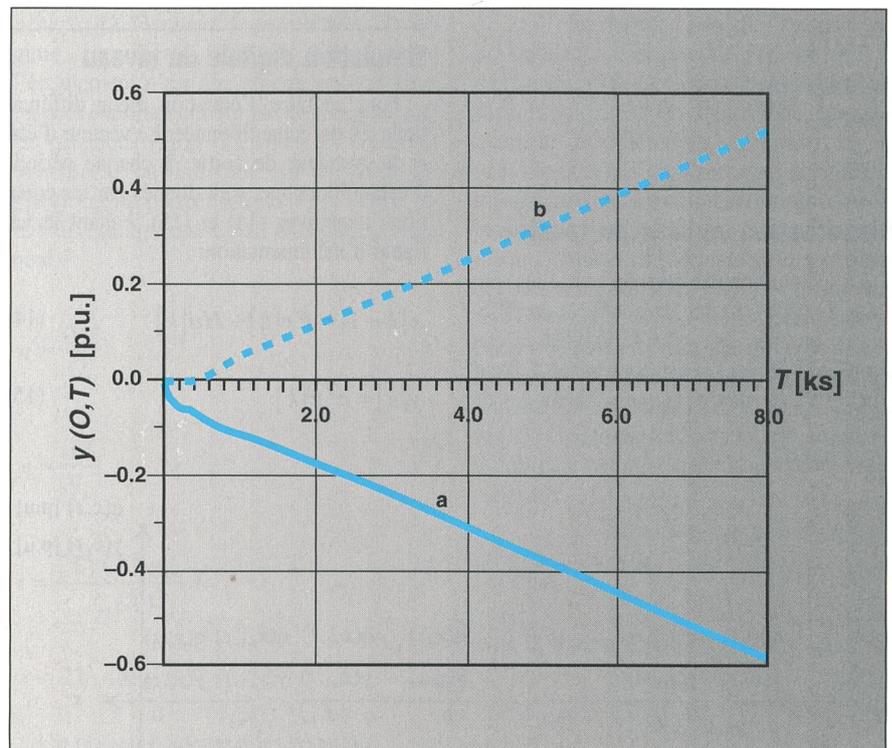


Figure 5 Réponses de  $y(0,T)$  pour  $5500 \text{ m}^3/\text{s}$   
 a réponse par rapport à  $q(0,T)$   
 b réponse par rapport à  $q(-L_c,T)$

nes. Après quelques calculs, on trouve que le retard est égal à 1030 s pour  $Q_0 = 270 \text{ m}^3/\text{s}$  et de 462 s pour  $Q_0 = 5500 \text{ m}^3/\text{s}$ .

– Les phénomènes d'ondes se propageant d'une extrémité du canal à l'autre; le temps de propagation, à savoir le temps entre deux passages de l'onde de translation au point A peut être calculé comme la somme du temps de propagation d'amont en aval du canal à la vitesse  $(V_{0m} + W_{0m})$  et du temps de propagation d'aval en amont à la vitesse  $(W_{0m} - V_{0m})$ . La valeur du temps de propagation est  $T_p = 2124 \text{ s}$  pour  $Q_0 = 270 \text{ m}^3/\text{s}$ . Les ondes de translations sont amorties en cours de propagation d'autant plus que le nombre de Froude est élevé. Elles sont ainsi quasi absentes au débit  $5500 \text{ m}^3/\text{s}$  où le nombre de Froude moyen est d'environ 0,3 (0,03 pour  $270 \text{ m}^3/\text{s}$ ). A la réponse par rapport à  $q(0, T)$  (figure 4, courbe a) viennent se superposer d'autres ondes avec des fréquences plus élevées. Ces ondes rapides sont dues à la discrétisation du canal.

– Pour les réponses par rapport au débit en aval (figures 4 et 5, courbe a): le *saut initial* dont la valeur est déterminée analytiquement selon [2]:

$$y(0, T) = \frac{q_\infty}{v_0^{-1} - 1} \quad (19)$$

La valeur du saut initial est atteinte avec une constante de temps égale à celle de  $q(0, T)$  soit 20 secondes. Après quelques calculs, on trouve la valeur du saut initial de 0,04 p.u. pour  $Q_0 = 5500 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $3,09 \cdot 10^{-3}$  pour  $Q_0 = 270 \text{ m}^3/\text{s}$ .

– Le comportement intégral avec une constante de temps d'intégration dépendant des grandeurs géométriques du canal ainsi que de  $v_0(X)$  et  $\Gamma_0(X)$ . En utilisant comme nombre de Froude sa moyenne le long du canal  $v_{0m}$ , la constante de temps d'intégration au point A peut être déterminée selon [2]:

$$T_i = \frac{q_\infty l_c (1 - e^{-v_{0m} t_p})}{v_{0m} t_p} T_n \quad (20)$$

avec

$$t_p = \frac{l_c v_{0m}}{1 - v_{0m}^2} \quad (21)$$

La valeur de  $T_i$  est de 13570 s pour  $Q_0 = 5500 \text{ m}^3/\text{s}$  et de  $351 \cdot 10^3 \text{ s}$  pour  $Q_0 = 270 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### Essais pratiques

Au point A, on a relevé la réponse du niveau à un saut du débit d'une turbine du barrage Birsfelden, ceci pour un débit du canal de  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ . La comparaison avec la

réponse simulée en utilisant le modèle d'état montre une assez bonne coïncidence.

### Conclusions

Un modèle du niveau des écoulements à basse pression a été développé. Par rapport au modèle simplifié au seul comportement intégrateur (canal considéré comme un réservoir) généralement utilisé, il tient compte des phénomènes d'ondes de translation. Celles-ci sont difficilement négligeables, notamment pour des écoulements à nombre de Froude réduit. Ce nouveau modèle peut servir pour l'analyse et la synthèse d'un réglage d'état du niveau.

Du point de vue pratique, on peut retenir les deux points importants suivants:

- Le modèle d'état du niveau des écoulements à basse pression décrit permet de mieux connaître la dynamique du canal par rapport aux débits en son amont et en son aval. Cette qualité permettra d'améliorer le réglage du niveau en amont du barrage en utilisant un régulateur d'état. Pour faciliter le dimensionnement et la réalisation de tel régulateur, on procèdera, si nécessaire, à la réduction de l'ordre du modèle.

- Un programme de simulation du modèle sur ordinateur personnel a été développé; il est mis à disposition des intéressés.

### Remerciements

Ce travail a pu être mené à bien grâce au subside accordé par la Commission pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique (CERS).

### Bibliographie

- [1] J.A Cunge et F.M Holly: Practical aspects of computational river hydraulics (chap. 2). Pitman, Massachusetts, 1980.
- [2] M. Lahlou: Modélisation et réglage de niveau des écoulements à basse pression. Thèse de doctorat EPFL, Lausanne, 1993.
- [3] H. Bühler: Systèmes échantillonnés, vol. 2, Traitement dans l'espace d'état. Complément au Traité d'électricité, Presses polytechniques romandes, Lausanne, 1983.
- [4] M. Lahlou: Barsoph, programme général de simulation et de réglage du niveau des écoulements à basse pression. Set de manuels d'utilisation, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Laboratoire d'électronique industrielle, Lausanne, 1992.

## Modellisierung von Wasserkanälen aus Sicht des Regelungstechnikers

### Ein neues Modell zur Berechnung des Wasserstandes trägt auch Flutwellen-Phänomenen Rechnung

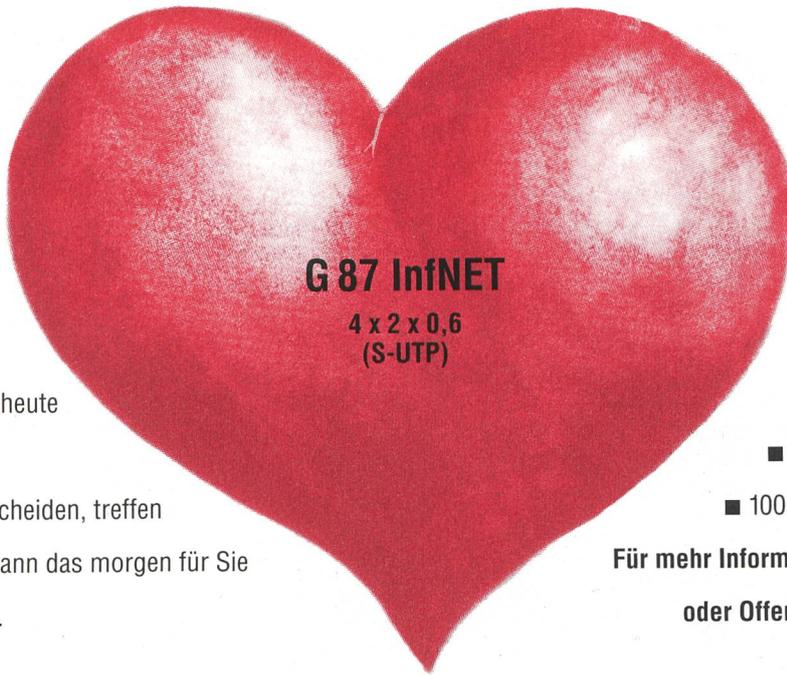
Bei Flusswasserkraftwerken muss das Wasserniveau im Oberwasserkanal, direkt oberhalb des Stauwehrs, möglichst genau auf dem höchsten erlaubten Niveau gehalten werden, um eine maximale Leistung der Turbinen zu erzielen. Normalerweise benützt man dazu heute PI-Regler, welche wohl die wichtigsten dynamischen Eigenschaften des Kanals, der Turbinen und der Schütze, nicht aber Wellenphänomene berücksichtigen. Der Aufsatz schlägt ein Regelmodell vor, welches auch letzteren Rechnung trägt.

Die Dynamik des Wassers in einem Kanal nach Bild 1 wird mit den Gleichungen (1) und (2) von De Saint Venant beschrieben. Ausgehend von einem stationären Zustand mit bekannter Wassermenge (pro Zeiteinheit)  $Q_0$  und bekanntem Wasserniveau  $Y(X)$  erlaubt das Modell, für kleine Änderungen der Wassermenge  $Q(-L_c, T)$  und  $Q(0, T)$  am Ein- und Ausfluss des Kanals das Wasserniveau  $Y(X, T)$  längs des Kanals zu berechnen. Für die numerische Behandlung wird das Modell nach Bild 2 diskretisiert und die partiellen Ableitungen in den Gleichungen durch Quotienten von Differenzen ersetzt. Dies führt auf ein System von gewöhnlichen Differentialgleichungen (Gl. (9)–(13)), welche auf einem PC iterativ gelöst werden können (für Interessenten steht das Programm zur Verfügung). Für die Staustrecke zwischen Augst-Wyhlen und Birsfelden (Bild 3) wurden Rechnungen durchgeführt (Bilder 4 und 5); die Resultate stimmen mit vorläufigen Messungen gut überein.

# InfNET — trau keinem unter 100 MHz!

Gerade im Kabel-Infrastrukturbereich muss man bei Netzwerkplanungen heute schon entscheiden, über welche Kabelwege die Dienste von morgen gesendet werden.

Sie als Anwender müssen sich heute für die richtige Lösung Ihrer Verkabelungsinfrastruktur entscheiden, treffen Sie die falsche Entscheidung, kann das morgen für Sie schwerwiegende Folgen haben.



**G 87 InfNET**

4 x 2 x 0,6  
(S-UTP)

Damit Sie morgen die richtige Verkabelungsinfrastruktur haben, bietet Ihnen Telelan AG mit InfNET die zukunftsorientierte Datenkabel-Infrastruktur mit:

- 100 Ohm Impedanz
- 100 Mbit/s Datenübertragungsrate
- 100 Meter vom Verteiler zum Endgerät

**Für mehr Informationen, Kabelmuster, Datenblatt oder Offerte rufen Sie uns an: 01 433 12 12!**

**teleLAN**  
Verbindung in die Zukunft

Telelan AG • Albulastrasse 55 • CH-8048 Zürich • Telefon 01 433 12 12 • Telefax 01 433 13 45

**NETWORLD 93**  
Halle 1  
Stand-Nr. 1.131

## NETWORLD 93

Die Schweizer Telekommunikations-Messe

# Für Daten- und Telekommunikations-Profis

vom 11.-14. Mai 1993, jeweils 9.00-18.00 Uhr, in den Züspa-Hallen, Zürich

**INFO-HOTLINE 042 36 39 61 ZUR MESSEKATALOG BESTELLUNG**

 Blenheim Schweiz AG, Buckhauserstrasse 24, CH-8048 Zürich, Postfach, Telefon 01/492 76 16, Fax 01/493 06 60