

Compte-rendu du Symposium de l'AIRH

Stabilité du mouvement des fluides dans des systèmes hydrauliques à régulateur automatique

Michel F. Gauthier

Chef du Service d'Applications Scientifiques à SOGREAH

Un symposium de l'AIRH s'est tenu à Bucarest du 26 au 29 septembre 1976. Son thème s'apparente à la présente séance de la SHF :

“La stabilité du mouvement des fluides dans des systèmes hydrauliques à régulateur automatique”

Nous vous proposons donc, d'une part d'en faire un compte rendu général, d'autre part d'analyser brièvement les communications dont le sujet est plus proche du thème des exposés de ce matin.

Compte-rendu général

Ce symposium était organisé par le Comité pour les problèmes fondamentaux de l'AIRH. Il a rassemblé environ 120 participants mais avec très forte participation roumaine. Sept pays étrangers seulement étaient représentés :

- Allemagne de l'Ouest,
- Bulgarie,
- Canada,
- Etats-Unis,
- France,
- Italie,
- Pologne.

Trente-deux communications ont été présentées. Les textes de ces communications peuvent être obtenus auprès du secrétariat du Symposium. Ils ont été regroupés sous trois thèmes :

- a) Régulation de canaux,
- b) Régulation liée aux aménagements hydro-électriques,

c) Machines hydrauliques et installations spéciales.

Tous ces textes sont rédigés soit en français, soit en anglais, bien que certains aient été présentés en roumain, mais heureusement avec traduction simultanée dans l'une des deux langues officielles précitées.

La plupart des communications étaient orientées sur l'étude et la vérification de projets particuliers soit par calcul, soit sur modèle physique.

La majorité des communications présentées sur les aménagements hydro-électriques traitaient de la stabilité des cheminées d'équilibre ou de régulation des turbines et n'ont pas apporté d'éléments novateurs, même si certains cas cités étaient assez complexes : prise en compte des collines de turbine et des coups de bélier en masse (équation algébrique) ou d'onde (équation transcendante).

En marge du congrès, une visite des moyens d'essais des laboratoires de l'Institut de recherche et projets pour l'économie des eaux a été organisée. Cet institut dispose de plusieurs types de moyens d'essais :

- les moyens de calcul numérique sont relativement peu développés par rapport aux laboratoires français ;
- des simulations analogiques et des essais en écoulement d'air sont utilisés pour certains problèmes ;
- le laboratoire d'essais, de 12 500 m² dont 7 000 à l'air libre, couvre l'ensemble des domaines de l'hydraulique fluviale et maritime ;
- une station expérimentale de 20 hectares est consacrée à des études à grande échelle notamment pour les études d'automatisation de systèmes d'irrigation complexes. Un poste central de commande permet de piloter différentes configurations et méthode de régulation.

Nous avons noté que, d'une façon générale, les études réalisées sont très souvent basées sur des méthodes déve-

loppées primitivement en France, telles que les systèmes BIVAL et les vannes AVIS et AVIO.

Pour terminer sur ces généralités, nous pouvons souligner la cordialité de l'accueil qui nous a été réservé.

Analyse des communications

La première communication :

“Remarque sur le choix d'appréciation et la qualité des divers systèmes de régulation de canaux à surface libre”

a été présentée par MM. Preissmann et Chevereau.

Les auteurs ont choisi d'illustrer leur propos par un système schématique de régulation par l'aval de type BIVAL, formé de cinq biefs identiques. Les objectifs poursuivis sont doubles, méthodologiques d'une part, techniques d'autre part.

Sur le plan méthodologique, les auteurs étudient l'apport comparé de deux méthodes :

- les méthodes classiques en automatisme sur le système linéarisé au voisinage d'un point de fonctionnement ;
- la simulation sur modèle mathématique.

Dans le premier cas, le problème est mis en équation sous forme réduite. Le gain du système faisant appel à des fonctions transcendantes, la stabilité est étudiée en calculant numériquement d'une part le diagramme de Nyquist, d'autre part les solutions de l'équation aux valeurs propres.

Dans les deux cas les calculs numériques sont simples et restent à la portée de petits ordinateurs. Les auteurs tirent plusieurs conclusions de cette première phase.

a) un bief donné est caractérisé par un rapport de la perte de charge à l'énergie cinétique :

$$\frac{2g \Delta Z}{u^2} \text{ à peu près constant.}$$

Le système BIVAL est peu adapté aux faibles valeurs de ce nombre.

b) l'effet des frottements est de rendre le système instable aux faibles débits et les modes d'oscillations possibles sont de fréquences élevées, défaut assez facile à corriger (filtre, insensibilité, léger statisme, etc.).

Cependant, cette analyse ne permet pas de répondre complètement aux problèmes pratiques : la simulation permet de rendre compte de tous les effets non linéaires ainsi que de l'amplitude des intumescences provoquées par les manœuvres brusques.

Ils concluent à la complémentarité des deux méthodes.

Deux communications traitant du même sujet ont été présentées par le professeur Hancu.

La première aborde une méthode de simulation et a été appliquée pour comparer cinq types de régulateurs, à savoir :

a) Statisme à niveaux associés :

$$\Delta a = m_0 [k \Delta Z_{am} + (1 - k) \Delta Z_{av}]$$

b) Vitesse de manœuvre sur niveaux associés :

$$\text{sign} \frac{da}{dt} = \text{sign} [k \Delta Z_{am} + (1 - k) Z_{av} \pm \epsilon_z]$$

c) Niveau constant,

d) Débit constant,

e) Débit fonction des débits appelés.

Ces cinq cas correspondent à des régulateurs réellement utilisés en Roumanie.

Le système hydraulique est simulé par discrétisation, suivant un schéma explicite, des équations de Saint-Venant (simplifiées ou non suivant les cas).

Un exemple ramifié comportant plusieurs stations de pompage est présenté.

La méthode de résolution est classique et est décrite ainsi que les problèmes de stabilité numérique de la méthode employée.

La deuxième communication aborde le même problème sous l'aspect de la réponse fréquentielle d'un système plus ou moins schématique.

Suivant les méthodes classiques, la stabilité est étudiée en linéarisant l'équation aux perturbations autour d'un point de fonctionnement. La méthode est appliquée aux mêmes types de régulateurs que précédemment.

Dans une première phase, l'auteur résout analytiquement un problème simplifié (sans frottement) et en déduit le domaine de stabilité associé.

Dans un deuxième temps, le même problème est repris par voie numérique. Ceci met en évidence que la méthode simplifiée fournit un domaine de stabilité réduit.

Différents exemples sont traités, de cas stables et de cas instables, et leurs caractéristiques discutées.

La communication de M. Buyalski concerne l'étude d'un système de régulation par l'aval à commande électrique en fonctionnement dans l'Etat du Colorado.

L'étude initiale par simulation a été ultérieurement reprise par une méthode fréquentielle. L'objet de la communication est de présenter la structure de la régulation utilisée et l'analyse du système ainsi construit par les deux types d'approche, fréquentielle et simulation.

Le niveau de référence est pris dans la zone aval du bief et passe par un filtrage passe-bas qui peut être hydraulique ou électrique. La position de la commande est de type proportionnel et “intégrale” au niveau de consigne.

La méthode par simulation a été effectuée avec un modèle mathématique utilisant la méthode des caractéristiques. Cette méthode est peu adaptée à l'optimisation des paramètres de la régulation.

La méthode fréquentielle a été utilisée en se basant sur les simulations fournies par le modèle mathématique : la courbe de gain du canal entre un mouvement de la vanne amont (entrée) et la variation du niveau de référence (sortie) est construite par une méthode clas-

sique telle que réponse impulsionnelle ou périodique. Bien entendu, différentes courbes de gains doivent être construites pour couvrir l'ensemble des régimes possibles.

A ce stade, le problème se ramène à la composition d'un ensemble de fonctions de transfert en boucle fermée et est traité par une méthode usuelle.

Les auteurs remarquent cependant que la prise en compte des imperfections des vannes et détecteurs est nécessaire en phase finale de réglage et complique notablement le problème.

In fine, les auteurs concluent à la complémentarité des deux méthodes.

La communication présentée par M. Blidaru a pour titre :

“Contribution à l'étude de la stabilité optimale des biefs”

Elle est la seule communication abordant le problème de la régulation d'un système d'irrigation sous la forme d'un problème de commande optimale.

L'objet final de l'étude est le fonctionnement automatique d'un réseau ramifié d'irrigation alimenté par une ou plusieurs stations de pompage et une régulation par l'aval.

Au stade actuel, seul le problème d'une série linéaire de biefs, alimentés par une station de pompage, a été résolu. Les régulateurs peuvent être, soit hydrauliques, soit électriques. Les conditions aux limites sont des consommations données ; la commande des vannes ne dépend que du paramètre d'état du bief adjacent. Le critère de performance est le coût d'exploitation annuel. Les conditions initiales sont un écoulement permanent en général non uniforme.

Les contraintes imposées au système découlent :

- soit des conditions de fonctionnement et de stabilité des vannes et stations de pompage ;
- soit des conditions sur l'état hydraulique du système (niveaux, débit).

Le problème est traité par voie numérique. Le système continu hydraulique a été discrétisé en un certain nombre de biefs. Les équations de mouvement sont les équations complètes de Saint-Venant, résolues par une méthode de caractéristiques.

Le problème consiste alors à déterminer un vecteur de contrôle optimal qui respecte les restrictions imposées tant sur les organes que sur l'état hydraulique, compte tenu des états initiaux et finals et des conditions aux limites.

Le mémoire fournit le principe de l'algorithme. Il est malheureusement un peu obscur à cause de la qualité de la langue qui comporte de nombreuses impropriétés de termes.

Nous abordons, dans les deux communications suivantes, des études à caractère *plus expérimental*.

La première s'intitule :

“Résultats comparatifs expérimentaux et théoriques concernant la stabilité du mouvement de l'eau dans des canaux munis de régulateurs automatiques”

L'étude expérimentale a été menée sur la grande plate-forme d'essais de l'Institut de Recherche Hydro-technique de Bucarest : deux canaux parallèles de 210 mètres de long ont été utilisés, la section est trapézoïdale avec des berges 3/2 et un plafond de 1 m. La pente est de 2 ‰. Le débit appelé est télécommandé par des vannes aval. Le premier canal est équipé d'une vanne hydraulique de type AVIS, le second d'une vanne à commande électrique, et sur lequel trois régulateurs ont été comparés :

R1 { Détection de deux niveaux dans un puits de mesure et double temporisation (durée de manœuvre de la vanne et durée d'arrêt minimale) ;

R2 $\text{Sign} = \frac{da}{dt} = \text{Signe}(Z \text{ Pond} \pm \epsilon)$

R3 Type BIVAL

Cette communication fournit un certain nombre d'éléments comparatifs. Les plus intéressants résident peut-être dans les cas de discordance entre modèle physique et mathématique. Ils mettent en lumière certaines limitations des analyses numériques qui prennent difficilement en compte certains effets locaux de perturbations des niveaux.

La communication de Mme Doina Baiescu :

“Etude expérimentale de la zone de raccord entre le régulateur automatique et le canal”

concerne des vannes de type AVIS et AVIO à flotteur T ou D qui sont d'un usage courant en Roumanie.

La recherche d'une solution optimale pour un cas donné résulte d'un compromis entre différentes contraintes :

- Coût de l'aménagement,
- Stabilité de fonctionnement du régulateur,
- Dissipation d'énergie à l'aval,
- Perte de charge à pleine ouverture.

L'auteur a étudié quatre types de raccords, à savoir :

- Décrochement brusque,
- Convergent (divergent) à paroi plane verticale,
- Convergent (divergent) à paroi plane inclinée,
- Convergent à paroi cylindrique verticale.

Ce dernier cas ne concerne que les entonnements, les autres cas ont été étudiés à la fois pour l'amont et l'aval du régulateur.

L'auteur a synthétisé ses résultats sous forme d'abaques adimensionnels. Un des intérêts de la communication est de fournir une méthode d'estimation des pertes de charge du convergent et du divergent, donc de relier le niveau au droit de la vanne, aux niveaux dans les biefs.

Il est nécessaire de discuter brièvement de la communication du professeur Diacon :

“Load changes regulation effect on surge routine along the intake of hydroelectric plants”

En effet, lors de la discussion de cet exposé, des doutes sérieux sur les résultats de l'étude ont été levés.

Le problème est celui de la propagation des intumescences le long d'un canal de 2250 mètres et des ondes de Favre associées. Des mesures in situ ont été réalisées et comparées aux résultats de calculs.

La méthode utilisée est basée sur les seules équations de Saint-Venant classiques, notamment avec l'hypothèse d'une distribution hydrostatique des pressions. Or certains auteurs ont montré que cette hypothèse devait être abandonnée pour rendre compte des ondulations de Favre.

La communication de Mme Bousquet et M. Gauthier a fait la jonction entre les problèmes de régulation de canaux et de centrales hydro-électriques :

“Régulation automatique d'aménagements hydro-électriques de basse chute en cascade : Evolution des concepts avec la réalisation des aménagements de la CNR”

Ce projet constitue une grande première mondiale et a été mené par la CNR et l'EDF. La communication traite des études réalisées pour le compte de la CNR, mais au cours de la discussion qui a suivi cet exposé, l'EDF a fait part de sa propre expérience en la matière.

Le problème posé est celui de la régulation automatique d'un aménagement de basse chute pour l'ensemble des fonctionnements possibles. L'importance du critère de sécurité a conduit à prévoir des fonctionnements en mode dégradé. La valorisation de l'énergie et des contraintes de réseau électrique ont conduit à introduire plusieurs types de fonctionnements (fil de l'eau, soutien de réseau programmé ou impromptu, retour au niveau de consigne maximale, etc.).

Les auteurs soulignent que la complexité du problème ne tient pas à la difficulté de chaque cas mais à la multiplicité des objectifs et des transitions entre fonctionnements de types différents.

La méthode retenue pour cette étude est centrée sur ce problème de régime transitoire. Il s'agit d'une simulation sur ordinateur universel. La simulation hydraulique est réalisée par une méthode numérique implicite. Les organes (capteurs de niveaux, turbines, vannes) ont dû être introduits pour tenir compte de

contraintes technologiques qui influent sur la régulation telles que vitesse et discrétisations de manœuvres.

Deux aménagements sont discutés, qui utilisent des concepts de régulation différents. A l'amont, un système de type BIVAL amélioré est utilisé et donne de bons résultats. A l'aval, l'importance et la brutalité des crues cévenoles a conduit à l'adoption d'un système à modèle associé, beaucoup plus performant mais d'une mise au point plus délicate. Ces régulations sont maintenant opérationnelles depuis plusieurs années.

Deux conclusions sont dégagées :

- la structure et la difficulté des régulations ne découlent pas des fonctionnements usuels mais des circonstances exceptionnelles ;
- les méthodes de modélisation mathématiques s'avèrent excellentes pour ce type de problème et, dans des cas aussi complexes, comme la seule approche possible.

Bien qu'en dehors des préoccupations de cette session, la communication de MM. Brombach, Giesecke et Schwörer :

“Vortex controllers for flow and levels”

mérite d'être citée.

Cette communication décrit différentes réalisations de valves hydrauliques sans partie mobile. L'équivalent hydraulique de la diode est connu depuis longtemps, les recherches de fluidiques se sont intéressées à l'équivalent de la triode. La présente communication est une étude expérimentale de ce dernier cas pour des géométries originales en vue de dispositifs à grande échelle et d'eaux chargées.

Différents types de régulations automatiques sont évoqués tels que réservoir à niveau ou à débit constant. De nombreuses applications restent à découvrir et à mettre au point et, ne doutons pas que certaines sont du domaine de la présente session de la SHF.

Discussion

Président : M. M. LECRIQUE

Clôture de la Session. Allocution de M. Cazenave

En raison de l'heure, je serai très bref. Je voudrais cependant clôturer ces réunions du Comité technique en soulignant que ces diverses séances et spécialement la dernière s'efforçaient de remplir cette approche que j'appellerai à la fois horizontale et verticale, des divers objectifs de la Société Hydrotechnique de France.

Aujourd'hui tout spécialement, nous avons tenté d'assurer, autour de l'hydraulique, une ouverture pluridisciplinaire, et nous l'avons fait assez largement. C'est ainsi que les communications qui vous ont été présentées intéressaient, à la fois, les hydrauliciens et les automaticiens, les informaticiens, les électriciens, les transmetteurs . . .

En outre, cette Session permettait de satisfaire à la double préoccupation de la Société Hydrotechnique de France qui est d'une part, de bien faire connaître les réalisations françaises particulièrement intéressantes, et d'autre part, de faire écho aux recherches internationales, notamment en liaison avec l'A.I.R.H. dont la Société Hydrotechnique de France est, très officiellement, le correspondant français.

Je vous donne maintenant rendez-vous à notre prochaine réunion du Comité technique qui sera consacrée — au mois de Mars — aux Ports et aux Navires, si bien que nous aborderons, à la fois, les problèmes de la flotte et les problèmes des éléments qui l'abritent, c'est-à-dire les problèmes du travail et du repos. Ce qui me permet, après le travail que nous vous avons imposé, de vous souhaiter un repos bien mérité.