

26^e CONGRES INTERNATIONAL DE NAVIGATION

S. I - 2

24889A

Section I - Voies Navigables et Ports de Navigation Intérieure - Sujet 2
(pour la navigation commerciale et de plaisance)

Innovations dans la conception et les méthodes de construction et d'exploitation des barrages et des ouvrages de franchissement des chutes: matériaux nouveaux, préfabrication, utilisation de l'électronique...

R A P P O R T G E N E R A L

par

J. SEYVERT
Inspecteur général des Ponts et Chaussées
professeur à l'Université de Bruxelles

avec la collaboration de

J.J. PETERS
Ingénieur en chef-directeur des Ponts et Chaussées
professeur à la Vrije Universiteit te Brussel

I. INTRODUCTION

Treize pays - la République Démocratique Allemande (R.D.A.), la République Fédérale d'Allemagne (R.F.A.), l'Autriche, la Belgique, le Brésil, la France, le Royaume Uni, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la Tchécoslovaquie, l'U.R.S.S., les U.S.A. - et la Commission internationale des Grands Barrages (C.I.G.B.) ont présenté un rapport.

Les rapports de l'Autriche, du Brésil, des Pays-Bas, du Portugal, des U.S.A. et de l'U.R.S.S. traitent de questions relatives aux écluses uniquement et, éventuellement, à l'exploitation des Voies Navigables.

Les rapports de la R.D.A., de la Belgique et de la Pologne abordent des questions concernant les barrages en rivière seulement.

Les rapports de la R.F.A., de la France et de la Tchécoslovaquie contiennent des communications relatives à la fois aux écluses et aux barrages en rivière.

Le rapport du Royaume Uni décrit deux barrages de type très particulier : le barrage de protection contre les marées-tempêtes sur la Tamise et le barrage sur l'estuaire de la Severn.

La C.I.G.B. présente un rapport sur une technique

d'avenir : l'utilisation des résines armées dans la construction de petits barrages fixes et de portes d'écluses.

Des commentaires du contenu des quatorze rapports présentés donneront une idée de la multitude et de la diversité des questions qui préoccupent les rapporteurs (2).

Ensuite, des considérations générales seront émises (3).

Enfin, le dernier point du rapport général (4) contiendra des suggestions.

2. CONTENU DES RAPPORTS

2.1. - République Démocratique Allemande (R.D.A.)

Le rapport traite un problème très ponctuel. Il s'agit de l'automatisation d'une chaîne de barrages sur une voie d'eau où le transport est peu important (essentiellement navigation de plaisance en été).

Les impératifs suivants étaient à respecter : en période normale, maintien des niveaux des biefs dans des limites assez étroites en tenant compte des besoins de l'agriculture (irrigations) et de l'industrie; garantir la protection contre les crues; assurer des débits minima; fonctionner avec le personnel minimum.

Le comportement des biefs a été simulé par un modèle mathématique simple, étalonné à partir de mesures in situ et en tenant compte de la topographie et de la climatologie du bassin et de l'utilisation de l'eau par les riverains.

Le rapport décrit les installations de télécommande réalisées, qui pourront être intégrées ultérieurement dans un réseau plus vaste.

2.2. - République Fédérale d'Allemagne (R.F.A.)

Un premier chapitre est consacré à des considérations sur l'élévateur à bateaux de Lünebourg. Le rapport attire l'attention sur quelques points, dont certains résultent de l'expérience acquise lors de l'exploitation de l'ouvrage.

Il s'agit :

- de la conception architecturale;
- des dimensions et sollicitations particulières des bacs et de leurs mécanismes de manoeuvre, résultant des ondes consécutives aux manoeuvres à l'écluse d'Uelzen et aux manoeuvres des bateaux, d'un équilibrage imparfait des bacs et contrepoids, d'un défaut d'horizontalité des bacs, d'un défaut d'asynchronisme des mécanismes, d'un cas de catastrophe (panne de courant);
- de la détection et de la lutte contre l'incendie.

Il faut souligner l'utilisation de capteurs dont les signaux sont traités électroniquement, aussi bien pour les mesures

de niveaux d'eau que pour celles des tensions mécaniques, consommation d'énergie, charges, etc...

Un deuxième chapitre donne les derniers développements relatifs aux écluses récentes à bassins d'épargne de la liaison Main-Danube (écluses d'Hilpstein et d'Eckersmühlen).

Du point de vue infrastructure, on a recherché pour les sas, les têtes, les bassins d'épargne et la cabine de manoeuvre des formes simples, bien définies statiquement et résistant bien aux charges importantes et variables auxquelles ces éléments sont soumis. On a été attentif aux tassements différentiels entre éléments; aux joints entre les éléments.

Des modèles mathématiques ont permis de traiter, par éléments finis, l'interaction sol-structure, mais les rapporteurs posent le problème de la comparaison des résultats avec ceux de calculs plus classiques.

On signale l'intervention du Laboratoire Rehbock de Karlsruhe qui a mis en évidence la haute qualité du système hydraulique des écluses à bassins d'épargne de la liaison Main-Danube.

A la suite d'un incident à l'écluse d'Erbach, l'attention s'est portée sur les phénomènes se produisant en cas de fermeture brusque d'une vanne en cours de remplissage ou de vidange.

Trois moyens d'investigation ont été utilisés : mesures sur une écluse en service; essais sur modèle physique; analyse mathématique; ils ont permis de recueillir un grand nombre d'informations.

Les mesures suivantes ont été prises : placement de diaphragmes non ajustables sur les canalisations du réseau de commande oléo-hydraulique des vannes; installation de reniflards au droit et à l'arrière des vannes; pour les nouvelles écluses, renforcement des infrastructures et des vannes.

Le deuxième chapitre se termine par des considérations sur le caractère dynamique ou non de la mise en charge des éléments constitutifs d'une écluse à bassins d'épargne.

Le troisième chapitre aborde deux questions relatives aux barrages : les vannes-segments inversées; les précautions à prendre pour éviter les dépôts à l'aval des vannes-clapets.

Les barrages de la Sarre canalisée sont équipés de vannes-segments inversées répondant aux objectifs imposés : économie; intégration dans l'environnement; bon contrôle des conditions d'écoulement. Elles sont surmontées d'une petite vanne-clapet.

La deuxième question concerne l'évacuation des dépôts à

l'aval des vannes-clapets. Des essais en laboratoire, effectués lors de l'étude de barrages à construire sur le Main, ont mis en évidence les formes et dimensions des fosses d'amortissement; sous la vanne, il est indiqué de prévoir un plan incliné à 1 : 2,3.

Le quatrième chapitre fournit des informations sur les portes-segments et les portes à translation verticale pour les têtes amont des écluses.

Les portes-segments utilisées pour les écluses de la Sarre ont plusieurs fonctions : assurer le remplissage; permettre l'évacuation des crues. Elles permettent également la réoxygénation de l'eau lors du remplissage.

La loi de remplissage, les dispositifs d'amortissement de l'énergie et les sollicitations dynamiques de l'ossature ont fait l'objet d'essais en laboratoire.

Pour les portes à translation verticale, le rapport communique les résultats obtenus sur le modèle de l'écluse d'Oberhausen sur le canal Rhin-Herne pour une chute de 10 mètres et les dispositifs adoptés pour limiter les turbulences.

Le système permet de supprimer les aqueducs longitudinaux et paraît convenir pour des écluses de grande longueur (190 m), à condition d'y associer un système de répartition des débits par le fond.

2.3. - Autriche

Le rapport fait part des projets pour la poursuite de la canalisation du Danube, en tenant compte des normes adoptées par les pays d'aval.

Un des objectifs est de rendre possible l'accès au port de Vienne de navires du type circulant déjà entre la mer Blanche et la mer Baltique, entre la mer Baltique et la mer Noire, le Danube et la Méditerranée.

Des difficultés sont rencontrées pour le choix des sites des barrages, par suite de la présence des grands ponts-routes et ponts-rails qu'il faut relever, en assurant la continuité des trafics.

Les dispositifs d'approche des écluses également retiendront l'attention, on s'efforce d'éviter les atterrissements dans les chenaux d'accès (par exemple, môles discontinus comme à Greifenstein).

Outre leur fonction d'alimentation du sas, les portes doivent permettre l'utilisation de l'écluse pour l'évacuation des crues et le remplissage des biefs lors de la constitution progressive des réserves.

Entièrement relevée, cette porte laisse une hauteur libre de 8 m au-dessus des plus hautes eaux navigables sans

retenue au barrage et de 2 m au-dessus des plus hautes eaux de crue. Abaissée, elle laisse un mouillage de 3,50 m sous le niveau de la retenue du barrage, le tirant d'eau maximum des navires devant pouvoir accéder à Vienne étant de 3,40 m.

La forme en crochet permet l'évacuation des crues.

Une étude mécanique d'une porte d'écluse rivée construite en 1957 a montré les effets de fatigue dus aux cycles de chargement à faible fréquence. Les portes nouvelles sont calculées en tenant compte des observations antérieures.

Les dispositifs de manoeuvre des portes ont fait l'objet d'études approfondies. Des solutions originales sont présentées pour les écluses de Melk et de Greifenstein. Les portes sont manoeuvrées par les deux abouts au moyen d'une paire de vérins à chaque about; les mouvements des deux éléments de porte sont soit solidarisés par verrouillage, soit indépendants.

La synchronisation des mouvements aux abouts est assurée (avec une tolérance de 35 mm maximum).

Les équipements des bajoyers et des approches ont toute leur importance (protections d'angle; bollards; poteaux d'éclairage).

La corrosion des parties métalliques par les huiles flottant à la surface de l'eau est inévitable; une protection convenable est assurée par des peintures noires à base d'asphalte.

2.4. - Belgique

Le rapport décrit de manière détaillée des barrages réalisés ou en cours d'exécution lors de la modernisation de la Meuse.

Le barrage de Lixhe (en service)

Les rapporteurs se sont surtout attachés à la justification et à la description du mode de fondation et de maîtrise des eaux souterraines, découlant des caractéristiques hydro-géologiques et géotechniques des terrains. On a affaire à un terrain composé de phanites, remplissant une vaste poche de dissolution de calcaire et avec tendance au débouillage sous de faibles pressions; une force portante acceptable ne pouvait être trouvée qu'à 21 mètres sous la face inférieure de l'avant-radier. Les fondations ont été réalisées en barrettes en parois moulées en béton; la même technique a été utilisée pour les parois continues d'étanchéité.

Les barrages de la Haute Meuse (en cours de réalisation)

Leurs caractéristiques générales résultent de leurs chutes

actuelles relativement faibles (± 2 m) et de leur implantation dans des approfondissements locaux du lit de la rivière, en attendant sa mise définitive sous profil.

Une attention toute particulière a été portée au choix du type de bouchure, en tenant compte de la faible chute, des impératifs d'exploitation, de la lutte contre les inondations et du respect de l'environnement, toute superstructure étant exclue dans la région.

Les vannes-segments avec clapets basculants ont été retenues, de préférence aux vannes-clapets, les premières ne présentant aucun inconvénient en cas d'engravement à l'amont ou à l'aval.

Une caractéristique particulière des clapets surmontant les vannes-segments est à retenir : un joint transversal divise chaque clapet en deux tronçons reliés par une "pièce à fusible" évitant notamment des sollicitations exagérées si une extrémité du clapet reste bloquée.

Les mécanismes de commande des vannes sont oléo-hydrauliques, les vérins de commande étant accessibles en tout temps en dehors des périodes de crues.

La mise à sec des bouchures est prévue par un bateau-porte à l'amont et une poutre flottante prenant appui sur les piles et servant elle-même d'appui à des aiguilles à l'aval.

Un mode de gestion automatique des biefs et des barrages par micro-processeur a été mis au point, suite à des recherches et calculs en laboratoire. Les manoeuvres seront commandées de manière à maintenir les profondeurs requises pour la navigation et en réduisant les risques d'inondations.

L'intervention du laboratoire a été primordiale pour l'élaboration de ce système, ainsi qu'en ce qui concerne la mise au point des formes et dimensions de la fosse d'amortissement, des parafouilles et des tapis d'engrèvements et des piles.

2.5. - Brésil

Le Brésil présente un rapport descriptif et justificatif d'un projet grandiose, à savoir la construction de deux écluses de 210 m x 33 m x 6,5 m de mouillage, l'une de 36,50 m de chute, l'autre de 35 m.

L'introduction du texte en anglais et le résumé en français donnent les caractéristiques générales des ouvrages (maçonneries; portes; mode d'alimentation par le radier, avec réseaux d'aqueducs assurant l'équipartition du débit; vannes; batardeaux de secours; murs-guides - voir tableau n° 1).

La majeure partie du rapport est consacrée aux essais

sur modèles réduits et modèles mathématiques et aux performances du système de remplissage et de vidange.

Les conditions imposées pour la durée du remplissage et de la vidange sont très strictes, cette durée ne devant pas être plus grande que celle d'une écluse de dimensions moyennes.

Le tableau n° 2 donne les résultats essentiels des essais et calculs.

Les vannes d'alimentation sont des vannes-segments inversées.

Les essais ont également porté sur les risques de cavitation et de vibrations sur les vannes; une aération contrôlée en cas de dépression a été testée. Une complication supplémentaire résulte des grandes variations des chutes (de 9,5 m à 36,50 m pour l'écluse 1; de 13 à 35 m pour l'écluse 2). Les vannes, leurs dispositifs de manoeuvre et leur loi d'ouverture sont à concevoir en conséquence.

Pour les chutes intermédiaires, on a adopté des lois d'ouverture déphasées pour les deux vannes.

En cas d'avarie à une vanne, des vannes-papillons de secours sont prévues, avec augmentation de la durée d'alimentation.

Avec l'ensemble des dispositions adoptées, les forces d'amarrage restent faibles.

Quelques éléments particuliers sont décrits : la porte "coupe-flux" à l'amont de l'écluse 1; les murs-guides; la porte aval de l'écluse 1; la porte aval de l'écluse 2; les vannes de remplissage et de vidange; les structures des sas et les fondations.

Pour l'exécution des parois en béton de liaison entre le barrage en terre de Tucurui et l'écluse 1, on a fait usage d'une technique particulière, "le béton roulé". Elle consiste à compacter des couches de 0,25 m d'un mélange quasi-sec constamment arrosé. On évite ainsi les inconvénients résultant des réactions d'hydratation exothermique lors de la mise en oeuvre de grandes masses de béton en un court laps de temps.

2.6. - France

Le rapport aborde diverses questions relatives aux barrages, aux écluses et aux pentes d'eau.

Une application intéressante dans le domaine de la préfabrication est à relever pour le barrage de Denouval (Seine).

Son originalité réside dans la préfabrication de

l'équipement complet d'une passe de barrage, comprenant : un radier et une enveloppe métalliques; des hausses mobiles de 2,50 m de large du type "Aubert" commandées par vérins individuels.

L'ensemble est amené en place par flottaison et échoué dans une enceinte en palplanches.

Quelques imperfections sont signalées : envasement des fosses de débatement des vérins; sollicitations hydrodynamiques des vérins et des arcs-boutants; apparition de fosses d'érosion à l'aval.

Des matériaux nouveaux à base de résines thermo-durcissables ont été utilisés pour les revêtements anti-usure des radiers des barrages mobiles sur le Rhône.

Les revêtements sont constitués soit par des chapes brai-époxy-corindon pour les radiers soumis à l'action d'éléments fins, soit par des chapes époxy-uréthane-hématites pour des éléments plus gros (graviers).

La Compagnie nationale du Rhône a mis au point des méthodes d'essais à la résistance à l'abrasion et aux chocs.

Une installation de télécommande a été réalisée pour les 12 aménagements sur le Rhône en aval de Lyon.

Chaque site est piloté automatiquement, à partir d'un seul poste central. Les manoeuvres automatisées des barrages tiennent compte des multiples impératifs d'exploitation de la voie d'eau et de la sécurité des riverains et des usagers.

En ce qui concerne les écluses, le rapport rend compte de l'utilisation de parois moulées pour la construction de bajoyers dans deux cas : l'écluse de Barcarin, où le terrain était médiocre; l'écluse Bayard à Toulouse, en plein site urbain, qui a pu être modernisée sans entrave pour la navigation.

Les dernières écluses du Bas-Rhône sont équipées de portes à déplacement latéral.

L'originalité de ces portes réside dans leur structure : plusieurs éléments horizontaux, de hauteur inférieure à 2,50m et transportables par la route, sont superposés et solidarisés uniquement au droit des appuis latéraux.

Le système présente les avantages de la standardisation et de grandes facilités en cas de réparation.

Plus de 260 écluses au gabarit Freycinet (38,50m à 40m x 5,20m à 6m) sur des rivières et des canaux sont entièrement automatisées. Les équipements sont classiques : saisie des données; prise de décision; exécution des ordres.

La télétransmission et la sécurité sont assurées à partir d'un poste central, commandant plusieurs écluses.

Le rapport se termine par la description des deux pentes d'eau en service au gabarit Freycinet.

Il est envisagé d'étendre le procédé pour le franchissement de grandes chutes sur les voies d'eau à grand gabarit.

Le système paraît économique et promis à un avenir intéressant.

2.7. - Royaume Uni

Le rapport traite d'un sujet relevant tout autant des techniques de navigation maritime que de celles de navigation intérieure : les barrages de protection contre les marées-tempêtes.

La première partie du rapport est consacrée au barrage en service sur l'estuaire de la Tamise et destiné à protéger Londres. Les causes des marées-tempêtes sont rappelées; dans le cas particulier traité, le risque est encore accru par suite de l'abaissement du niveau des terres (0,60m à 0,70m par siècle).

Les sept données à la base de la conception du projet sont énoncées.

Divers détails sont ensuite donnés : seuils en béton; vannes-segments; mécanismes de manoeuvre; fiabilité de ceux-ci; alimentation en électricité par trois sources indépendantes; équipements oléo-hydrauliques; mécanismes de verrouillage.

Une attention particulière est portée au contrôle et à l'évacuation des dépôts dans les logements de vannes dans le radier.

Les conditions d'exploitation sont décrites.

Une deuxième partie concerne un projet de barrage de 15 km de long sur l'estuaire de la Severn, région d'ailleurs la plus favorable au monde pour la production d'énergie marémotrice.

Au lieu d'utiliser la technique devenue classique de caissons préfabriqués échoués in situ, une solution alternative résultant d'une idée originale est émise. On construirait des digues temporaires en sable, protégées par des ossatures préfabriquées en béton armé, réutilisables. Les cellules définitives pour des vannes et des turbines seraient construites en parois en béton moulées dans les digues en sable.

Cette technique est indiquée dans les pays où le sable

est abondant et où les matériaux pierreux sont rares.

2.8. - Pays-Bas

Dans un premier chapitre, le rapport aborde une question préoccupante pour les Pays-Bas : l'intrusion d'eau salée par les écluses de navigation intérieure. On classe les systèmes de prévention contre cette intrusion en deux catégories :

1°) les systèmes fonctionnant avec les portes ouvertes, à savoir :

- a) l'utilisation d'un rideau de bulles d'air comprimé;
- b) le retrait sélectif du courant d'eau salée (en fonctionnement à l'écluse maritime de Terneuzen);

2°) les systèmes fonctionnant avec portes fermées :

a) échange eau salée - eau douce assuré par le sas entouré d'eau douce (écluses du Kreekrak en service; écluses Krammer en construction);

b) écluses avec bac mobile. Le système, considéré comme le meilleur, est envisagé pour une écluse de 90m x 10m. Il consiste en un sas en béton, avec une fosse en surprofondeur remplie d'eau douce; le sas contient un bac-réservoir mobile en acier rempli d'eau salée qui peut descendre jusqu'au radier du sas et qui empêche tout échange avec l'eau douce.

Le tableau 1.11. donne une comparaison critique des divers systèmes décrits des points de vue technique et économique.

Le deuxième chapitre examine l'influence exercée sur le trafic par la présence des ouvrages d'art (écluses et ponts mobiles).

Parmi les éléments influençant le trafic, on relève :

- les éléments propres aux écluses et à leurs abords, y compris l'influence des dispositifs de lutte contre l'intrusion d'eau salée;
- les ponts mobiles.

Les possibilités d'un modèle simulateur de trafic sont données (PROSIM - Processus Simulation); il permettrait d'étudier le trafic sur un réseau avec écluses et ponts mobiles.

Des tests de simulation ont été effectués pour les écluses Krammer en tenant compte de dix facteurs propres à ces ouvrages.

Le troisième chapitre traite deux points : l'optimisation et l'efficacité accrues dans l'utilisation des voies d'eau intérieures; le contrôle du trafic.

Pour le premier point, une attention particulière est apportée aux moyens suivants :

- le contrôle centralisé des écluses et complexes d'écluses;

- la télécommande des écluses et des ponts;
- un seul opérateur pour plusieurs ouvrages.

Les techniques très élaborées de transmission sont utilisées (câbles blindés; transmission optique; transmission avec et sans fil).

Dans chaque cas, une étude coûts-bénéfices met en évidence la solution la plus intéressante.

En ce qui concerne la sécurité du trafic, les accidents de navigation sont nombreux aux Pays-Bas. La nécessité est apparue de renforcer les patrouilles de contrôle et d'installer des stations-pilotes de régulation du trafic. De telles stations sont déjà en service. Leur efficacité est évidente (à Hansweert, le nombre annuel d'accidents est passé de 65 à 20 pour 10 millions km parcourus par les bateaux dans la région).

Des problèmes subsistent au niveau des informations relatives aux accidents.

Un système national de monitoring en matière de sécurité sera mis en place pour les transports de marchandises dangereuses, comprenant une banque centrale de données, des stations régionales d'information, un processus d'information nationale.

Dans le quatrième chapitre, le rapport décrit le système centralisé d'informations (I.V.S.) réalisé pour les complexes de grandes écluses du sud-ouest des Pays-Bas.

Les rapporteurs rompent une lance en faveur de l'adoption du code unique des Nations Unies pour les matières dangereuses et d'une banque internationale de données pour ces matières.

2.9. - Pologne

Des barrages sont, soit en service, soit en cours d'exécution, soit en projet, sur l'Oder et la Vistule.

Un des critères essentiels à la base de la conception des ouvrages est leur bon fonctionnement en période hivernale, des débits importants devant être évacués par des températures extérieures de -25° C, avec danger de formation de glace sur les vannes et les infrastructures en béton.

Pour les barrages existants et en cours d'exécution, on a choisi des vannes-secteurs (retenue de 2,70m ou 3,10m et portées de 25 à 32m). Comme bouchures de secours, on utilise des barrages à fermettes.

Les vannes proprement dites sont peu vulnérables à la glace. Les éléments vulnérables sont les revêtements de piles au droit des vannes; ils sont réchauffés par une

circulation de liquide anti-gel (80° C à 100° C).

Les barrages en service donnent satisfaction pour la résistance au froid; des inconvénients existent quant à l'engravement des chambres de vannes et la dégradation de la peinture sur les faces aval des vannes.

Pour les barrages nouveaux, le choix du type de vannes a été réexaminé, sur la base de nombreux critères liés à l'exploitation, la sécurité, les possibilités d'exécution, la protection de l'environnement, l'indice des prix de revient.

Les vannes-segments, les vannes-clapets et les vannes-secteurs ont été comparées.

Pour les nouveaux barrages, les vannes-clapets ont été retenues.

2.10. - Portugal

Dans le cadre de la canalisation du Douro et de son aménagement hydroélectrique, on a notamment réalisé l'écluse de Carapatello (185m x 12m), dont la chute est une des plus grandes au monde (35m).

Les conditions locales sont telles que pour l'écluse on ne dispose que d'un espace très exigu, ce qui a amené à réaliser un bajoyer côté fleuve comme un mur-poids et un bajoyer côté rive conçu comme un revêtement épais ancré dans la roche.

Le rapport est consacré essentiellement à la conception et à l'exécution du bajoyer de rive.

Les diverses phases d'exécution sont décrites : plate-forme de travail; galeries de drainage; ancrages.

Les ancrages, destinés à éviter les glissements du massif rocheux, sont calculés par une méthode semblable à celle de Cullmann pour des bajoyers d'écluses en terrain meuble.

Le bajoyer proprement dit, en béton très légèrement armé, présente un profil en L.

Les sollicitations résultent du poids propre, des pressions hydrostatiques, des sous-pressions et des actions sismiques. Des hypothèses très pessimistes ont été considérées pour le calcul des pressions hydrostatiques et des sous-pressions.

A la tête aval, la stabilité est renforcée par la liaison au bajoyer de rive par l'intermédiaire du mur de masque.

A l'aval, toutes les écluses du Douro sont équipées de portes levantes, indiquées par suite de la présence d'un mur de masque, sauf à l'écluse de Pocinho, où on a utilisé une porte busquée, toujours avec mur de masque.

2.11. - Tchécoslovaquie

La première partie du rapport est consacrée aux écluses et plus particulièrement aux problèmes de remplissage et de vidange.

Les conclusions générales que l'on peut tirer des expériences acquises sont les suivantes :

- le remplissage (ou vidange) indirect, par réseau d'aqueducs qui garantit une répartition plus ou moins uniforme tout le long de l'écluse, est à réserver pour les écluses à grande chute;
- le remplissage (la vidange) direct, par les portes, est indiqué pour les écluses de chute jusqu'à +/- 12 mètres et de dimensions jusqu'à 190 à 230m x 12 ou 24m.

Dans ce dernier cas, l'utilisation de la porte à double but (fonction de retenue et fonction de vanne de remplissage ou de vidange) conduit à des infrastructures simples et économiques (réduction des terrassements et des maçonneries ; simplification de l'exécution).

Grâce aux recherches en laboratoire, les ingénieurs tchécoslovaques ont mis au point, pour l'amont, une porte-clapet standardisée de type particulier - porte "Cabelka" - convenant pour des écluses de 12m de largeur et une chute maximum de 6m. Des dispositifs adéquats assurent la répartition du débit de remplissage et l'amortissement de l'énergie.

Le tube de torsion autorise la commande unilatérale, qui est assurée par un vérin oléo-hydraulique en permanence sous eau et soustrait ainsi à l'action du gel.

La porte peut être munie à sa partie supérieure d'un petit clapet auxiliaire pour l'évacuation des débits liquides et des glaces.

Des portes de ce type ont été utilisées pour les écluses modernes de 22m de large sur l'Elbe.

A l'aval, les écluses à vidange directe sont équipées de portes busquées, avec ventelles.

Des essais et recherches importants ont été effectués lors de l'étude des écluses jumelles de Gabčíkovo sur le Danube (deux écluses de 275m x 34m et de 23,60m de chute). L'alimentation est assurée par un réseau d'aqueducs d'équipartition dans les radiers, en tenant compte de la possibilité de fonctionnement en écluses indépendantes ou en écluses jumelles.

On aboutit à des durées d'éclusage raisonnables (18 min maximum), avec 46 % d'économie d'eau. Les mouvements des bateaux et les forces d'amarrage restent très limitées.

Des considérations sont émises au sujet des ports

d'attente; ports en eau calme; ports d'attentes d'écluses sur cours d'eau à courant.

La deuxième partie du rapport est consacrée aux barrages en rivière et aux vannes-clapets.

Ces vannes sont considérées, en Tchécoslovaquie, comme les meilleures des points de vue conception générale, hydraulique, fabrication et manoeuvre.

Les vannes-clapets sont recommandées et standardisées pour des hauteurs de retenue de 1,50m à 4,80m et des portées de 12,00 à 24,00m.

La manoeuvre est assurée par des vérins oléo-hydrauliques.

Deux modes de manoeuvre sont possibles : vannes "supportées" avec vérins à l'aval; vannes "suspendues" avec vérins à l'amont. Le choix du mode de manoeuvre est une question controversée.

La vanne "supportée" présente des avantages rappelés dans le rapport (notamment du point de vue esthétique).

Des inconvénients existent également et notamment l'engravement des niches des paliers de support des vérins. Un indicateur astucieux d'engravement et des dispositifs de protection sophistiqués ont été mis au point.

Mais, après enquêtes et études, le mode de manoeuvre "vanne suspendue" a été adopté, les vérins étant placés approximativement à 0,60m sous la flottaison amont; ils font saillie sur le parement des piles; cette disposition a été préférée aux vérins logés dans des enclaves, trop sujettes aux effets du gel.

Les parements des piles au droit des vérins sont revêtus d'une peinture anti-gel. On a renoncé au chauffage de ces zones.

Une préfabrication du nombre maximum d'éléments des radiers et piles et de la totalité des vannes a été mise au point.

Des vannes-clapets sont également utilisées pour la sauvegarde des écluses accolées en période hivernale.

2.12 - U.R.S.S.

Le rapport propose et justifie une classification des écluses selon deux critères : la chute; la longueur.

Un deuxième point est relatif à la détermination d'indices technico-économiques relatifs à des écluses construites en terrains meubles.

Deux indices sont établis :

- A donnant les dépenses spécifiques rapportées à $1m^3$

utile de sas. On montre que la chute la plus économique, quelles que soient les dimensions caractéristiques des écluses est 10 mètres;

- B donnant les dépenses spécifiques d'exploitation relatives à 1 tonne de capacité technique de transport de l'écluse.

Par après, sont décrites rapidement diverses dispositions adoptées pour la navigation.

- Conception et exécution d'écluses supplémentaires dans des complexes hydroélectriques.

- Structures au voisinage des zones maritimes.

- Utilisation de déversoirs latéraux dans les échelles d'écluses.

- Lois de manoeuvres des portes adaptées à l'intensité du trafic.

- Utilisation de matériaux nouveaux : il s'agit de remplacer les galets d'une vanne levante-roulante par des glissières d'appui et d'étanchéité en matériau synthétique nouveau, le F4K20 (polytétrafluoroéthylène).

La valeur du coefficient de frottement est très stable; la réduction des efforts de levage est de 5 à 10 %. Les glissières sont chauffées plus facilement que des galets de roulement.

Le système peut être étendu à d'autres organes sous eau.

La moitié du rapport est consacrée aux mesures à prendre en vue d'accroître la capacité des écluses et des voies d'eau.

Ces mesures sont essentiellement : une meilleure transmission des informations sur les conditions de navigation; une meilleure signalisation; une meilleure organisation du trafic; l'augmentation de la profondeur aux abords des ouvrages d'art jusqu'à 1,5 fois l'enfoncement des bateaux; l'accélération des opérations de remplissage et de vidange; l'augmentation de la fiabilité des équipements électro-mécaniques; le renouvellement des équipements obsolètes; l'entretien fait à temps.

On ne perdra pas de vue que la durée d'éclusage est un tout, dont la durée de remplissage ou de vidange n'est qu'une partie.

Une très grande attention a été apportée à la nécessité de prolonger la durée de la navigation sur les voies d'eau en période hivernale.

En U.R.S.S., la durée moyenne annuelle est de 150 à 160 jours en Sibérie et de 240 à 250 jours dans le sud et le nord-ouest de la partie européenne de l'U.R.S.S.

Les équipements des voies d'eau doivent être suffisants et bien adaptés en matériel (brises-glaces) et en signalisation (bouées, signaux lumineux, etc...)

On veillera également à prolonger la durée d'exploitation des écluses en évitant l'action néfaste du gel et des glaces (en général, maintien du niveau d'amont en dehors des périodes d'éclusage). Des dispositifs de chauffage seront prévus (aux portes busquées par exemple).

La dernière partie du rapport attire l'attention sur la réparation des infrastructures en béton, les ouvrages étant maintenus en service.

Un coefficient $O = S_B/S$ de qualité et d'efficacité des réparations est défini par le rapport des capacités portantes S_B et S de l'infrastructure après et avant réparations.

Le béton mis en oeuvre pour la réparation aura un module d'élasticité adéquat.

2.13. - U.S.A.

Le rapport est consacré aux systèmes de remplissage et de vidange des écluses à grande chute et aux vannes correspondantes.

Dans le cas de grandes chutes, il est impératif d'assurer une bonne équipartition du débit sur toute l'étendue du sas. Cet objectif est atteint par les systèmes que les auteurs appellent "système équilibré", constitué par un réseau d'aqueducs appropriés dans le radier.

Deux méthodes sont utilisées : la méthode des aqueducs dits "côte-à-côte"; celle des aqueducs "croisés-superposés". La deuxième est préférable à la première, qui ne doit pas être utilisée pour des chutes supérieures à 60 pieds (18,30m).

Les vannes de remplissage et de vidange utilisées aux U.S.A. pour les grandes chutes sont des vannes-segments inversées. Les structures sont de trois types : ossature horizontale; ossature verticale; à double bordage.

La prévention contre la cavitation à l'aval des vannes reste un problème difficile, surtout pour des chutes supérieures à 100 pieds (30,50m).

Plusieurs moyens sont utilisés : abaissement du bloc de vannage; admission d'air contrôlée à l'aval de la vanne; agrandissement de l'aqueduc à l'aval de la vanne par relèvement progressif du toit.

Ce dernier moyen a fait l'objet d'essais en laboratoire pour déterminer la perte de charge au droit de la vanne.

Des abaques ont été établis donnant les coefficients de perte de charge en fonction du degré d'ouverture de la vanne et des caractéristiques de l'agrandissement de

l'aqueduc.

2.14. - Commission Internationale des Grands Barrages

Le rapport traite de la possibilité d'utilisation des résines armées de fibres de verre dans les barrages fixes (hauteur de retenue +/- 10m) et les portes d'écluses.

Les propriétés du matériau sont rappelées (excellente résistance à la traction; résistance médiocre à la compression et à la flexion). La forme constructive la plus intéressante est la membrane tendue aussi uniformément que possible.

Le matériau paraît présenter de l'intérêt pour la construction de petits barrages à contreforts.

La recherche des formes optimales nécessite des études par calcul, modèles réduits et modèles mathématiques.

Un problème technique important est celui des ancrages de la membrane dans les bétons de fondation et des contreforts.

Un schéma d'utilisation pour une porte d'écluse est donné.

Actuellement, sauf circonstances particulières, les résines armées ne paraissent pas pouvoir concurrencer les ouvrages en béton.

Elles sembleraient intéressantes pour des ouvrages à caractère répétitif.

3. COMMENTAIRES

Le nombre de rapports présentés, la quantité et la diversité des questions traitées témoignent de l'intérêt certain suscité par le sujet 2 de la section I.

On regrettera peut-être que certains rapports, dans un souci certes hautement louable d'être complets, ont abordé un trop grand nombre de questions. Certains points n'ont, de ce fait, pu être suffisamment approfondis laissant, sans doute, des lecteurs "sur leur faim".

Les questions abordées sont, quasi toutes, "éternelles", avec des degrés d'acuité divers; elles étaient à l'ordre du jour de congrès précédents; elles le seront vraisemblablement encore lors de prochains congrès.

Faire une synthèse des multiples idées brassées dans quatorze rapports, les classer, en tirer des conclusions est

une tâche malaisée. Le rapporteur général n'y renonce cependant pas.

La base générale du classement est la suivante.

Etudes préalables (Barrages et écluses, voies d'eau)

Ecluses

Infrastructures; modes de vidange et de remplissage (y compris vannes de vidange et de remplissage); portes; abords; économie.

Barrages

Types de vannes; infrastructures; barrages de protection contre les marées-tempêtes.

Gestion et exploitation de la voie d'eau et des ouvrages (écluses et barrages, y compris utilisation de l'électronique et de l'informatique)

Lutte contre le froid

Problèmes spécifiques

Préfabrication et standardisation.

Matériaux nouveaux.

Protection de l'environnement.

Les élévateurs à bateaux

3.1. - Etudes

Pratiquement tous les rapports décrivent des ouvrages et des projets pour lesquels le recours aux modèles physiques et mathématiques est systématique et plus particulièrement encore le recours aux modèles physiques. Ceux-ci restent un outil incomparable pour les études d'ouvrages d'art hydrauliques (modes de remplissage et de vidange des écluses; abords des écluses; phénomènes d'engravement à l'aval des barrages; formes et dimensions des vannes). La complémentarité des deux types de modèles est mise en évidence.

Au cours des dernières années, les modèles mathématiques se sont développés et imposés en matière de gestion et d'exploitation des ouvrages et des voies navigables (trafic, sécurité).

3.2. - Ecluses

Infrastructures

- Dans certains cas particuliers, la technique des parois en béton moulées dans le sol est apparue comme une solution élégante pour la réalisation des bajoyers et

avantageuse dans le cas des terrains de mauvaise qualité. Elles permettent une exécution rapide, avec des terrassements limités et un chantier peu encombrant.

- Il faut tenir compte, surtout dans les terrains médiocres, que les charges transmises au sol par une écluse varient en fonction du niveau d'eau dans le sol, la variation étant à faible fréquence. Ceci est particulièrement valable pour les écluses à bassins d'épargne, de structures compliquées.

- L'alimentation directe par les portes conduit à des structures simples et peut être appliquée dans le cas d'écluses de grande longueur, associée à d'autres dispositifs.

- Des écluses construites en terrains rocheux demandent la mise en oeuvre de techniques spéciales (ancrages; drainages).

- Le rapport de l'U.R.S.S. définit un coefficient de qualité des réparations.

Modes de vidange et de remplissage

- Pour les chutes jusqu'à +/- 12m, la tendance se marque en faveur de l'alimentation directe (par les têtes), entraînant des structures de sas plus simples.

- Pour les grandes chutes (à partir de +/- 20m), le système d'équipartition par le radier s'impose.

- En cas de forte variation de chute, il est possible et souhaitable d'adapter les lois de manoeuvre des vannes en vue de limiter la durée des opérations d'alimentation.

- En ce qui concerne les vannes de remplissage et de vidange, deux cas sont à distinguer :

- l'alimentation directe (chutes faibles et moyennes) : la porte amont, à double but, joue aussi le rôle de vanne, ce qui impose le type de porte; la porte aval est équipée de ventelles.

- l'alimentation indirecte (grandes chutes); la tendance antérieure se confirme d'utiliser des vannes-segments inversées.

- Les problèmes consécutifs aux pressions faibles ou négatives et à la cavitation retiennent toujours toute l'attention; on peut en limiter les effets néfastes par admission d'air contrôlée et appropriation de l'aqueduc de vanne. Un rapport (U.S.A.) donne des abaques intéressants pour la détermination des pertes de charge.

- La protection contre les intrusions d'eau salée par les écluses préoccupe toujours les Pays-Bas. Une solution nouvelle et originale est proposée.

Portes

- La porte busquée, sauf cas particuliers, reste "reine", y compris pour les grandes chutes.

- Pour les écluses à faible chute et à remplissage direct, l'utilisation de portes manoeuvrables sous charge s'impose : portes-segments; portes-clapets; portes levantes-abaisantes.

- Pour les écluses participant à l'écoulement des crues, des portes manoeuvrables sous charge s'imposent également : portes-segments; portes-clapets; portes à translation verticale; portes levantes doubles à crochet (rapport de l'Autriche, porte à fonctions multiples).

- Des portes à déplacement latéral de structure particulière équipent les dernières écluses mises en service sur le Bas Rhône (France); il s'agit de portes constituées d'éléments horizontaux de +/- 2,50m de haut solidarisés au droit des battées d'appui, permettant une standardisation poussée et facilitant les réparations.

- La commande oléo-hydraulique des manoeuvres des portes se généralise, avec les problèmes qu'impliquent éventuellement les éléments mécaniques sous eau ou soumis à l'action du gel.

- Le contrôle électronique de la manoeuvre des portes (éviter l'effet de coincement des portes levantes par exemple) est d'actualité.

Abords des écluses

Dans l'ensemble, cette question a retenu relativement peu l'attention des rapporteurs; certains insistent à nouveau sur l'importance des ouvrages d'approche qui doivent permettre des manoeuvres rapides et sûres des bateaux, en limitant notamment les courants traversiers.

Economie

Un seul rapport (U.R.S.S.) développe, de manière explicite, des considérations générales relatives à l'économie des coûts de construction et des frais d'exploitation des écluses.

3.3. - Barrages

Types de vannes

- Pour les faibles chutes (jusqu'à +/- 6m), les vannes-segments, les vannes-segments inversées, les vannes-clapets, les vannes-secteurs sont toujours utilisées.

- Pour un barrage sur la Seine, la France est restée fidèle aux vannes du type "Aubert", avec des perfectionnements et une conception de préfabrication et de mise en place originales.

- Dans les cas exposés, les commandes sont oléo-hydrauliques, avec les précautions requises pour la protection contre les glaces et le gel. On peut distinguer les vannes "supportées" avec vérins à l'aval et les vannes "suspendues" avec vérins à l'amont.

- Les lames déversantes peuvent produire l'abrasion des peintures des bordages de vannes.

Infrastructures

- Le risque d'engrèvement à l'aval des vannes-clapets reste à l'ordre du jour, avec les dispositifs pour les limiter et les combattre.

- Les engrèvements constituent un inconvénient sérieux pour les articulations et appuis sur le radier des vannes "supportées".

- Il en est de même pour les chambres des vannes-secteurs.

Barrages de protection contre les marées-tempêtes

Ces ouvrages, de type très particulier, ont fait l'objet d'une communication (Grande-Bretagne).

3.4. - Gestion et exploitation des voies d'eau et des ouvrages

- On se trouve dans les domaines de l'électronique, de l'informatique et des modèles mathématiques. La question présente un caractère certain de nouveauté.

- Des exemples de gestion de chaînes de barrages et de biefs les séparant sont donnés, y compris la gestion de complexes hydro-électriques (R.D.A., Belgique, France). La gestion des biefs tient compte de contraintes multiples résultant du régime hydrologique du cours d'eau, de l'utilisation de l'eau (industrie; agriculture; navigation), de la sécurité des usagers et des riverains.

- Dans des pays au relief peu prononcé (Pays-Bas), la gestion des voies d'eau se complique par la présence de multiples ponts mobiles. Des modèles de gestion peuvent être envisagés pour des réseaux de voies navigables comportant des écluses et des ponts mobiles.

- Des stations-pilotes de régulation et de contrôle du trafic assurent une sécurité plus grande, une meilleure information des usagers et une célérité accrue dans l'écoulement du trafic.

- Sur des voies à petit gabarit et à trafic limité, l'exploitation des écluses peut être automatisée (France).

- En vue de rentabiliser les voies d'eau, toutes les mesures doivent être prises pour garantir un service

maximum des écluses, de leurs abords et de la voie d'eau. Il s'agit d'un tout, dont l'homogénéité doit être garantie par la fiabilité et la sécurité de chaque partie.

- Le transport des marchandises dangereuses requiert l'attention.

3.5. - Lutte contre le froid

- Les dispositions seront prises pour assurer l'écoulement des débits aux barrages par temps de grand froid. Les vannes-secteurs et les vannes-clapets donnent satisfaction.

- Une lame déversante constitue une bonne protection contre le froid. Les zones d'eau calme sont plus vulnérables. Les points à surveiller sont les attaches des vérins de manoeuvre.

Les vérins sont placés partiellement ou entièrement sous eau (vannes "suspendues").

- Des endroits vulnérables sont les faces des piles au droit des vannes. Les protections des piles sont chauffées, avec la complication des dispositifs de chauffage et la consommation d'énergie. Des matériaux nouveaux (peintures anti-gel) évitent la mise en place de ces dispositifs.

- En vue d'augmenter la durée annuelle de la navigation, l'U.R.S.S. a pris un ensemble de mesures techniques et d'organisation qui ont permis de la prolonger d'un mois.

- Une application intéressante d'un matériau nouveau est signalé par l'U.R.S.S.

3.6. - Problèmes spécifiques

Préfabrication et standardisation

Les avantages de ces opérations sont bien connus. Plusieurs exemples sont cités dans les rapports.

Ils concernent les portes d'écluses et les vannes de barrages proprement dites, leurs radiers, les garnitures des piles, des éléments de piles, etc... (France, Tchécoslovaquie).

Matériaux nouveaux

On relève :

- plusieurs utilisations des parois en béton moulées dans le sol;

- l'utilisation de chapes à base de résines thermo-durcissables comme revêtements anti-usure de radiers de barrages mobiles sur le Rhône;

- l'utilisation de glissières d'appui et d'étanchéité de vannes d'écluses en polytétrafluoroéthylène (U.R.S.S.);

- la possibilité de réaliser de petits barrages et des portes d'écluses en résines armées de fibres de verre (C.I.C.B.)

Protection de l'environnement

Plus aucun ingénieur ne néglige cet aspect dans la conception et l'exécution des ouvrages hydrauliques. Les superstructures encombrantes sont évitées; sinon, elles font l'objet de recherches architecturales détaillées. La préférence est accordée aux ouvrages sans superstructure importante au-dessus du plan d'eau, s'inscrivant très bien dans le paysage environnant.

3.7. - Les élévateurs à bateaux

Dans l'ensemble des rapports présentés, les élévateurs à bateaux tiennent peu de place (R.F.A. et France). La question mériterait, à elle seule, un sujet particulier comme ce fut le cas lors de congrès antérieurs.

De la lecture des rapports, on peut retenir que lors de l'étude du franchissement d'une grande chute, il ne faut pas négliger les possibilités présentées par les écluses à grande chute (30m et plus), avec ou sans bassins d'épargne.

A l'heure actuelle, étant donné le nombre d'écluses à grande chute existantes et en projet dans le monde, on peut considérer qu'il s'agit d'une technique éprouvée.

4. SUGGESTIONS

Lors de la discussion du sujet I.2, il est certain que beaucoup d'intervenants souhaiteront obtenir des compléments d'information et des précisions sur l'ensemble des questions synthétisées en 3 ci-dessus.

Sans avoir la prétention d'orienter les débats, le rapporteur général se permet de suggérer que les points suivants puissent, entre autres, être abordés.

1. Etudes préalables

Les résultats des essais et calculs sur modèles physiques et mathématiques et des mesures in situ devraient pouvoir être comparés.

2. Ecluses

- Infrastructures

Influence des caractéristiques du sol de fondation sur la conception des ouvrages.

Techniques de réparations.

- Remplissage et vidange

Précisions sur les problèmes de basses pressions et de

cavitation (notamment sur la technique d'injection d'air au droit des vannes); sur les matériaux résistant bien à la cavitation.

- Portes

Précisions sur les portes à déplacement latéral en service sur le Bas Rhône.

- Economie

Si d'autres pays que l'U.R.S.S. ont procédé à des études analogues, les résultats seraient intéressants à connaître.

3. Barrages

- Types de vannes

Précisions sur les problèmes posés par les mécanismes sous eau.

- Infrastructures

Précisions sur le problème des engravements à l'aval et dispositions adoptées selon le type de vanne.

- Barrages de protection contre les marées-tempêtes

Si le Royaume Uni possède des éléments nouveaux postérieurs à la rédaction du rapport, il serait intéressant de les connaître.

4. Gestion et exploitation des voies d'eau et des ouvrages.

La gestion et l'exploitation automatisées étant des techniques relativement nouvelles, il est souhaitable que les résultats des expériences déjà réalisées soient communiqués.

5. Lutte contre le froid.

L'U.R.S.S. sera peut-être en mesure d'apporter des précisions complémentaires sur l'utilisation du matériau F4K20.

6. Problèmes spécifiques.

- Matériaux en général et matériaux nouveaux

Des précisions complémentaires sur les résines thermodurcissables intervenant dans la confection des chapes de protection des radiers de barrages, le F4K20 et les peintures anti-gel seront les bienvenues.

Les expériences relatives à la protection contre l'abrasion des bordages de vannes sont à confronter.

Il en est de même pour la protection contre la corrosion.

7. Elévateurs à bateaux.

Les points abordés dans les rapports de la R.F.A. et de la France pourront sans doute être développés.

Les autres pays qui possèdent des élévateurs à bateaux seront vraisemblablement en mesure d'apporter des informations complémentaires, relatives notamment aux incidents ou accidents d'exploitation et les remèdes aux déficiences constatées.

On se rappellera que, pour la Belgique, une journée est consacrée à la visite du plan incliné de Ronquières en service depuis 1968 et à la visite de l'ascenseur de Strépy-Thieu en cours de construction.