

La régulation dynamique Sa mise en œuvre au Canal de Provence

Jean Lefebvre

Directeur Adjoint des Services Techniques

SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE

ET D'AMÉNAGEMENT DE LA RÉGION PROVENÇALE

Pour assurer le fonctionnement hydraulique optimal des ouvrages principaux du canal de Provence, un mode de régulation original a été élaboré et mis en œuvre : la régulation dynamique.

La description de ce procédé de régulation sera illustrée par la projection du film "Mouvement des Eaux". De plus, M. Coeuret développera tout à l'heure certains aspects techniques particuliers.

Mon exposé sera surtout une entrée en matière, avec un rappel des caractéristiques du canal de Provence, des divers modes d'utilisation de l'eau dérivée et transportée, des buts de la régulation adoptée, et des particularités de sa mise en œuvre.

Le Canal de Provence

Le canal de Provence utilise les eaux du Verdon, affluent de la Durance.

Sur le Verdon ont été construits successivement par Electricité de France, 5 barrages qui sont de l'amont vers l'aval :

	Capacité totale de la retenue	Puissance installée	Productivité
- Castillon	113 hm ³	70 MW	80 GWH/an
- Chaudanne	10 hm ³	28 MW	60 GWH/an
- Ste Croix	767 hm ³	136 MW	160 GWH/an
- Quinson	19 hm ³	41 MW	100 GWH/an
- Gréoux	80 hm ³	28 MW	130 GWH/an
Totaux	989 hm³	303 MW	530 GWH/an

Deux d'entre eux (Castillon, Sainte-Croix) participent effectivement à la régularisation des apports du Verdon et à ce titre ils ont été construits avec la participation du Ministère de l'Agriculture. Un troisième (Gréoux) mar-

que l'origine de la dérivation mixte EDF-SCP, alimentant d'une part l'usine hydroélectrique de Vinon, d'autre part, la prise du canal de Provence. Son plan d'eau est maintenu quasi constant.

Les deux autres barrages (Chaudanne, Quinson), de faible capacité utile, ont essentiellement pour but de créer des chutes à but hydroélectrique.

Sur un apport moyen annuel du Verdon d'environ 1 100 hm³/an, un volume régularisé de 700 hm³/an est réservé au canal de Provence.

Actuellement le volume dérivé est de l'ordre de 150 hm³/an, c'est-à-dire que les réserves agricoles constituées dans les retenues ne sont pratiquement pas encore sollicitées.

La prise du canal de Provence se situe à Boutre à la cote 353,50, sur le canal d'amenée de l'usine de Vinon, lequel est conçu en commande par l'aval.

Du point de vue hydraulique, on peut distinguer sur le canal de Provence (fig. 1) :

- des ouvrages de transport de l'eau
- des ouvrages d'adduction
- des ouvrages de distribution

Cette distinction est importante pour la bonne compréhension du système de régulation.

Ouvrages de transport

Depuis la prise de Boutre, équipée de vannes à niveau aval constant, on trouve successivement :

- Le canal maître I (13 km, 40 m³/s) qui aboutit au régulateur brise charge de Rians
- puis : vers le Sud le canal maître II (19 km, 32 m³/s) qui aboutit au partiteur de Pourcieux
- vers l'ouest la branche de Bimont (28 km, 10 m³/s)

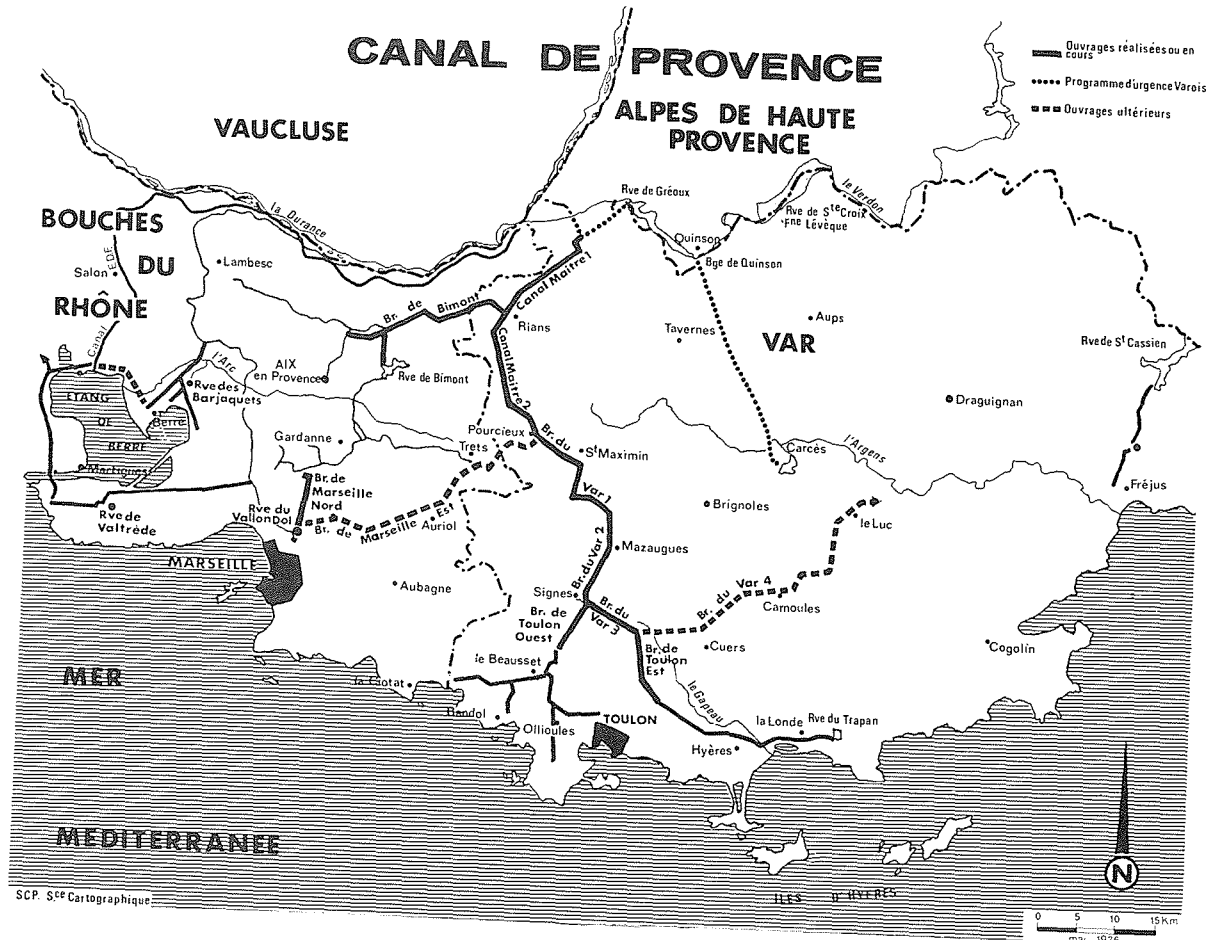


Figure 1

A partir de Pourcieux, on trouve :

- vers le Sud, les branches du Var I et du Var II (28 km, 18 et 15 m³/s) qui se divisent ensuite en :
branche de Var III et Toulon Est (16 km)
branche de Toulon Ouest (8 km)
- vers l'ouest, la branche de Marseille Est (39 km, 11 m³/s).

D'autre part, en aval du barrage de Bimont, existe un système hydraulique déjà ancien, mais qui a été modernisé ces années dernières : les Extensions du canal du Verdon, lui même divisé en plusieurs branches :

- la branche mère (10 km, 6,5 m³/s)
- la branche de Trets (25 km, débit à l'origine 3 m³/s).
- la branche de Gardanne et de Marseille Nord (21 km, 5 m³/s) qui aboutit au réservoir du vallon Dol.

Citons encore la branche du Var IV, dont la définition exacte est en cours d'étude.

Au total les ouvrages de transport représentent environ 100 km de canaux à ciel ouvert et 130 km de galeries.

Caractéristiques essentielles

C'est un système hydraulique ramifié, dont les capacités de débit décroissent de l'amont vers l'aval, avec une seule possibilité de stockage importante, offerte par le réservoir de Bimont.

La proportion de galeries souterraines est importante. Cela tient à la topographie régionale, caractérisée par plusieurs chaînes montagneuses d'orientation générale Est-Ouest. Dans d'autres tronçons la galerie a été choisie de préférence au canal à ciel ouvert pour des raisons de commodité de passage.

Les exutoires naturels sont peu nombreux et de capacité très limitée, d'où un petit nombre possible de points d'implantation de déversoirs de sécurité.

Les galeries ont été conçues pour fonctionner en charge ; la mise en charge est assurée par un calage convenable en altitude et par la construction à l'extrémité aval d'un régulateur brise charge équipé de vannes de réglage et d'une cheminée d'équilibre.

Les moyens de réglage du débit sont donc constitués par ces régulateurs implantés en aval des galeries. Et les "biefs" (au sens hydraulique du terme) sont constitués par les tronçons de canaux à ciel ouvert situés entre deux galeries.

Ouvrages d'adduction

En dérivation sur les ouvrages de transport, ou aux extrémités de ceux-ci, sont implantées les prises des adductions.

Ces adductions sont, soit gravitaires, si la topographie permet une desserte des points d'utilisation dans les

conditions de pression requises, soit par pompage dans le cas contraire.

La station de pompage est alors installée à proximité du canal principal et alimente généralement un réservoir implanté au sommet d'une colline.

Des solutions "mixtes" ont été appliquées dans certains cas : c'est-à-dire qu'une partie des réseaux de distribution est alimentée gravitairement depuis l'adduction et que d'autres zones plus hautes sont alimentées par des stations de surpression dont l'aspiration est soumise à la charge existant dans l'adduction.

Ces adductions sont composées de canalisations sous pression, de gros diamètre, généralement en acier ou en béton précontraint.

Il faut surtout retenir le fait que le télécontrôle du fonctionnement des stations de pompage, des surpresseurs, des réservoirs (en série ou en dérivation) et des organes de réglage du débit de ces adductions, est intégré au système de "régulation".

Ouvrages de distribution

Il s'agit là de tous les réseaux ramifiés implantés à l'aval des ouvrages d'adduction proprement dits et aboutissant aux points d'utilisation de l'eau.

C'est un système totalement sous pression, dans lequel les seuls organes de réglage du débit sont, par hypothèse, à la disposition pleine et entière de l'utilisateur, qu'il soit agricole (c'est alors la borne d'irrigation) urbain ou industriel (c'est alors la vanne ou le robinet automatique du réservoir ou de l'installation terminale).

Tout ce système est donc entièrement "en commande par l'aval". Il est hors du champ de la régulation des ouvrages. Par contre c'est lui qui provoque les variations de la demande, auxquelles a précisément pour but de faire face la régulation des ouvrages plus à l'amont.

Les caractéristiques de la demande d'eau Ses variations

Les prévisions concernant la consommation de l'eau constituent une donnée importante pour le fonctionnement de la régulation dynamique. Il est donc nécessaire d'avoir une bonne connaissance des fluctuations des besoins.

Etant donné que, sur les ouvrages de transport, les temps de transit des ondes sont au maximum de l'ordre de 6 heures, ce sont uniquement les fluctuations journalières qui importent pour la gestion hydraulique du système.

Les utilisations principales de l'eau sont :

- l'irrigation (irrigation par aspersion "à la demande")
- l'alimentation des agglomérations
- l'alimentation des industries.

Il faut cependant souligner que, de ce point de vue, les adductions sont rarement homogènes. Il y a plutôt une utilisation prépondérante.

On peut toutefois distinguer :

– Les adductions à utilisation agricole prépondérante

Des études statistiques d'évolution de la consommation ont été faites. Elles montrent que la consommation présente 2 pointes dans la journée : l'une (secondaire) au milieu de la matinée, l'autre (principale) vers 20 H. Le rapport des débits peut atteindre la valeur de 2 entre 14 H ($Q = 0,8 Q_m$) et 20 H ($Q = 1,6 Q_m$).

Les prélèvements aux prises de ces adductions font l'objet de prévisions d'évolution, sur la base des consommations réellement enregistrées et de coefficients de corrélation entre les débits des différentes périodes de la journée. Ces prévisions sont automatiquement réactualisées par le programme.

– Les adductions pour les besoins communaux

Les communes sont desservies en eau brute en amont des stations de traitement ou des réservoirs communaux.

Les variations de la demande d'eau traitée sont en général supportées par les réservoirs d'eau traitée qui assurent au moins 24 H de consommation. Il est en effet intéressant de faire fonctionner les stations de traitement à débit constant pendant la période la plus longue possible.

Cependant les corrections de remplissage des réservoirs d'eau traitée peuvent amener des discontinuités dans la valeur des débits traités, donc des débits appelés sur les adductions.

Ces variations de débit (qui mettent en jeu des volumes faibles) sont facilement supportées par les réserves de bief, dans le cadre de la régulation dynamique.

Par ailleurs les variations exceptionnelles des prélèvements communaux sont pré-enregistrées dans les programmes de la régulation dynamique.

– Les adductions pour les besoins des industries

Les gros consommateurs industriels ont en général une consommation continue.

Les modifications exceptionnelles font, dans la mesure du possible, l'objet d'un avertissement préalable au centre de contrôle et sont introduites, comme ci-dessus, dans les programmes au moyen du clavier de la machine à écrire du Centre.

La régulation dynamique

A partir du cas concret du canal de Provence, on pourrait définir la régulation de la façon suivante :

Elle englobe les dispositifs et procédés destinés à maîtriser, d'une manière automatique, le mouvement de l'eau en tout point des adductions, de façon à satisfaire la fourniture d'eau aux points d'utilisation sans défaillance et sans perte d'eau, et en respectant, le cas échéant, un certain nombre d'autres impératifs liés à l'optimisation du fonctionnement des ouvrages.

De plus elle est qualifiée de "dynamique" pour la raison suivante :

Il s'agit d'une régulation des volumes en transit dans les divers biefs ou dans les réservoirs. Les valeurs de référence de ces divers volumes sont réactualisées pé-

riodiquement sur la base des prévisions des besoins à satisfaire et d'autres contraintes particulières de fonctionnement. L'état de référence est donc évolutif.

Enfin étant donné qu'elle implique la mise en œuvre d'un système élaboré de collecte et de télétransmission vers un centre de contrôle d'un grand nombre de mesures, ainsi que, en retour, l'envoi d'ordres de réglage, on aboutit à la notion de *gestion globale et centralisée d'un complexe hydraulique*.

C'est ainsi qu'en plus de son but principal qui est de réguler les ouvrages de transport elle permet par exemple d'optimiser le fonctionnement d'une station de pompage associée à son réservoir, ou bien une usine hydroélectrique intercalée sur l'adduction en prenant en compte tous les paramètres de fonctionnement, y compris les paramètres non hydrauliques (coût de l'énergie).

La régulation dynamique des volumes des biefs est assurée par le réglage, à intervalles de temps prédéterminés, des positions d'ouverture des vannes, en vue de délivrer à chacun des biefs un débit moyen (donc un volume) pendant la période du cycle de réglage.

La période adoptée est en principe le quart d'heure quand la précision du réglage le nécessite et que les variations des besoins sont fréquents et importants en amplitude.

Avant d'évoquer les moyens mis en œuvre au canal de Provence pour la régulation (et que l'on retrouvera dans le film), je voudrais faire un rapide historique.

Historique de la mise en œuvre de la régulation dynamique sur le canal de Provence

Le canal maître I et la branche de Bimont, réalisés dans le cadre de la première tranche de travaux (1964-1969) ont été conçus en commande par l'aval.

Les canaux correspondants ont donc été prévus avec berges horizontales et équipés de vannes AVIS ou AVIO. Les vannes-segments du régulateur de Rians étaient également asservies au niveau aval.

Simultanément il fut décidé de mettre en œuvre la régulation dynamique sur les Extensions du canal du Verdon. En effet il fallait moderniser cette adduction, de conception ancienne, or, une régulation par l'aval aurait nécessité 15 à 20 régulateurs et d'importants travaux de génie civil.

Les travaux de mise en régulation dynamique ont consisté à :

- motoriser les organes de réglage existants
- construire 2 seuils déversant supplémentaires équipés de vannes motorisées
- installer les équipements de mesure, de télétransmission et équiper le centre de télécontrôle du Tholonet.

Dès sa mise en service, en 1970/1971 le procédé se révéla parfaitement opérationnel.

Pour les ouvrages de la seconde tranche du canal de Provence on s'est orienté définitivement vers la régulation dynamique.

De plus le canal maître I et la branche de Bimont (qui étaient en commande par l'aval) ont été reconvertis à la régulation dynamique, en utilisant l'infrastructure de télétransmission qui avait été mise en place pour la seule télésurveillance.

Il faut noter cependant que les vannes de réglage de la prise de Boutre sur le canal E.D.F. restent en commande par l'aval ainsi que le canal E.D.F. lui-même.

Les équipements pour la régulation dynamique - Leur coût

Les équipements

Les informations en provenance de capteurs de mesure et des organes de réglage sont regroupées dans des stations de télétransmission par des câbles enterrés le long des canaux ou immergés dans les galeries.

Le support de télétransmission, entre les stations et le centre général de télécontrôle, est constitué par les câbles du réseau général de l'administration des P & T.

On distingue 4 réseaux de télétransmission, suivant la localisation géographique des zones à contrôler :

Réseaux	Télémesures (niveaux, débits, position vannes)	Télésignalisation (d'état ou défaut)	Télécommandes		Stations relais de télé- transmission
			de vannes	de pompes	
Canal de Provence proprement dit	80	250	19		22
Extensions du canal du Verdon-Vallon Dol	58	150	11		6
Adductions d'Aix nord	23	120	7	12	4
Adductions de Toulon	33	30	1		
Totaux	194	550	58	12	32

Les supports de télétransmission correspondant à ces réseaux représentent environ 300 km de câbles (multipaires ou coaxiaux) posés le long des ouvrages, et 300 km également de liaisons spécialisées louées sur le réseau P & T.

Cet équipement n'est pas exhaustif : il sera complété ultérieurement dans la région de l'étang de Berre au nord-ouest d'Aix-en-Provence, ainsi que sur la Branche de Marseille-Est.

Le centre général de télécontrôle du Tholonet est équipé d'un ordinateur industriel IBM 1800. Ce calculateur, qui fonctionne en temps réel, contrôle et traite les informations, élabore les ordres de réglage et les envoie vers les organes de réglage.

En cas d'arrêt du calculateur, les informations restent disponibles par affichage sur les écrans de visualisation, au moyen d'un deuxième ordinateur DIGITAL PDP 11.

Toutes les informations et manœuvres sont transcrites sur des machines imprimantes reliées au calculateur.

Le système fonctionne 24 H sur 24. En dehors des heures de permanence du personnel du centre général de télécontrôle, il est possible de retransmettre automatiquement des alarmes aux centres régionaux d'exploitation.

Coût et comparaison économique

Globalement le coût des équipements de télécontrôle représente environ 3 % du coût de construction de l'ensemble des ouvrages concernés.

Etant donné qu'il y aurait eu besoin, en tout état de cause, d'un réseau de télésurveillance des ouvrages, la mise en régulation dynamique n'a finalement eu qu'une incidence marginale sur le coût des équipements.

Une comparaison économique des principaux systèmes de régulation automatique a fait l'objet d'un rapport de la société SOGREAH au congrès de la C.I.I.D. — Varna 1972.

Sur un projet bien précis, on prenait en compte le montant des investissements et des frais de maintenance et d'exploitation actualisés.

Les conclusions de cette étude faisaient apparaître le procédé de régulation dynamique comme le plus économique. On trouvait ensuite le système BIVAL (réglage du niveau moyen) puis le système à commande par l'aval.

Discussion

Président : M. M. LECRIQUE

M. le Président remercie M. LEFEBVRE de son excellent exposé ; il invite les participants qui le désiraient à demander au Conférencier, avant la projection du film annoncée, des renseignements généraux sur le Canal de Provence.

Dans la situation actuelle, interroge M. DINIA (Direction de l'Hydraulique à Rabat), quels sont les besoins en eau respectivement pour l'agriculture, pour l'industrie et pour l'eau potable ? Quelles sont pour ces diverses branches les prévisions pour les années à venir ?

Actuellement, répond M. LEFEBVRE, la consommation d'eau se répartit approximativement comme suit :

- Usages agricoles : 30 %
- Usages industriels : 40 %
- Distributions urbaines : 30 %

En été, période de "pointe" de la demande, le canal principal écoule une douzaine de m³/ par seconde.

Le développement des consommations peut être considéré comme relativement rapide pour un complexe de ce genre dont le démarrage est toujours assez lent. Au cours des dernières années, on a observé une tendance à la régression des usages agricoles, à une augmentation de la consommation urbaine et à une évolution incertaine des utilisations industrielles ; on a même assisté, en 1976, à une diminution de ces dernières, mais il s'agit probablement d'un incident conjoncturel.

L'infrastructure hydraulique du réseau permet de satisfaire les besoins d'une région dont la superficie est équivalente à une fois et demie celle d'un département français, au moins jusqu'en l'an 2 000.

M. le Professeur THIRRIOT pose les trois questions suivantes, dictées surtout, dit-il, par une "curiosité culturelle" :

1/ Quelles sont les valeurs du volume de l'eau existant dans les canaux à surface libre et du volume d'eau consommée quotidiennement ?

2/ Quel est le montant des pertes d'eau quotidiennes ?

3/ Dans l'analyse harmonique des répartitions de débit, note-t-on un changement du spectre de fréquence — dans le sens d'une simplification de l'aval vers l'amont — ; on pourrait penser que, dans cette dernière zone ne devraient subsister que le "fondamental" quotidien et tout au plus un harmonique

Le volume d'eau contenu dans les ouvrages de transport, à un moment donné, répond M. LEFEBVRE, est de l'ordre de 1,5 millions de m³, dont 600 000 m³ dans les canaux à libre écoulement. Le volume maximal d'eau transporté quotidiennement, en période de pointe, atteindra environ 3 millions de m³. Grâce aux précautions prises dans l'exécution des ouvrages de génie civil, les pertes d'eau sont relativement insignifiantes. On a mesuré des pertes de 10 à 20 litres par jour et par m² de surface mouillée dans les canaux à écoulement libre et 30 à 40 l/m² par jour dans les galeries en charge (sous la pression de service normale). D'autre part, en raison du système de régulation adopté, les pertes d'exploitation, par exemple, par les déversoirs de réglage que l'on trouve sur les réseaux d'irrigation classiques, sont pratiquement supprimées. Enfin, les pertes par évaporation des plans d'eau sont à peu près compensées par les précipitations que reçoivent les dits plans d'eau.

Dans certains ouvrages, il n'est pas impossible que les apports d'infiltration en provenance des nappes préexistantes soient supérieurs aux pertes d'eau ; il doit en être ainsi pour la galerie de 17 km de longueur traversant le Massif de la Sainte Baume par exemple.

En ce qui concerne la dernière question posée par M. THIRRIOT, M. LEFEBVRE manque de renseignements précis car, jusqu'à présent, on s'est borné à relever les courbes de charge journalière et à analyser les débits en tête de quelques réseaux alimentant plusieurs centaines de bornes d'irrigation ou de vannes d'alimentation de la clientèle.

M. VERDIER (C.T.G.R.E.F., Toulouse) revient sur les pertes en eau et le rendement en volume de l'ensemble, au cours d'une intervention qu'il a condensée en ces termes :

Vous avez indiqué que le rendement du Canal de Provence risquait d'être supérieur à 100 %. Cela est lié à l'existence de réserves-tampon le long et en extrémité des canaux. Il serait intéressant de connaître la valeur du rendement des canaux seuls, sans les réserves-tampon et les apports d'eau du bassin versant aux canaux.

En effet, du fait de l'aspect probabiliste des prévisions, pour éviter des ruptures d'approvisionnement, vous devez être amené à prendre en compte des débits correspondants à des probabilités de non-dépassement relativement faibles. Malgré l'effet de stockage des biefs, il doit en résulter des écarts entre les besoins estimés et les besoins réels entraînant des excédents d'eau dans certaines parties des canaux. Autrement dit, le rendement du canal risque alors d'être inférieur à 100 % ; la connaissance de cette valeur serait des plus intéressantes pour apprécier l'intérêt de la régulation dynamique pour des ouvrages déjà existants. Avez-vous des données sur ce point ?

Cela pose tout le problème de la régulation le long des biefs ; il sera traité dans la communication suivante par M. COEURET et je vous propose de reprendre votre question au cours de la discussion de celle-ci, répond M. LEFEBVRE.

Quel est, en regard du débit maximum distribué, le volume de la "tranche utile" dans l'ensemble des retenues et des canaux dans les réseaux du Canal de Provence, demande M. le Président CAZENAVE, pour compléter l'information demandée par M. le Professeur THIRRIOT ? Une usine hydroélectrique du Bas-Rhône fonctionnant normalement au fil de l'eau dispose d'une retenue dont le volume correspond tout au plus à une heure de marche à pleine puissance ; c'est là une donnée intéressante pour une première estimation des possibilités de régulation du système.

Je reviendrai sur cette question au cours de mon exposé sur la précision de la régulation, dit M. COEURET. Cependant, je peux dire, dès maintenant, que grâce à la régulation dynamique, il n'y a pas de "rehausse" des berges et nous utilisons pour absorber les erreurs de réglage la revanche de 40 à 50 centimètres existant entre l'arasement de la berge et la ligne d'eau correspondant au débit maximum du canal ; bien entendu, la "revanche" est nettement supérieure lorsque le canal n'écoule qu'un faible débit.

M. GAUTHIER (S.O.G.R.E.A.H.) pose la question suivante :

Le temps caractéristique de réponse du système est de l'ordre de 6 heures. Par rapport à cette échelle de temps, y-a-t-il des variations très brutales et imprévues de la demande ?

Pour les utilisations agricoles, répond M. COEURET, le débit peut varier de 1 à 2 dans la journée mais d'une façon progressive. Par contre, l'alimentation de la ville de Marseille au Vallon DOL, absorbe un débit qui peut passer brusquement de 4 m³/s à zéro.

Le temps de réponse du canal est une donnée importante pour la régulation dynamique puisqu'il conditionne la précision de tous les réglages. Déterminés d'abord par des calculs théoriques, les temps de réponse ont été ensuite mesurés sur le canal. Il a été procédé, pendant plusieurs semaines, lors de la mise en service des différents biefs, à des essais systématiques pour la mesure des temps de réponse de ces derniers pour plusieurs valeurs du débit et du gradient de débit.

Pouvez-vous préciser, demande M. DAVOUST (E.D.F., Chatou), les coûts relatifs d'exploitation pour les deux types de commande : par l'aval et dynamique ?

Se référant à une Communication présentée par M. BAGNERES au VIII^e Congrès de la C.I.I.D.⁽¹⁾ Varna 1972, M. LEFEBVRE estime que, globalement, une régulation du type dynamique est plus économique.

M. le Président remercie M. LEFEBVRE pour son exposé ainsi que les personnes qui ont animé l'intéressante discussion qu'il a suscitée.

Il est, ensuite, procédé à la projection du film :

MOUVEMENT DES EAUX

réalisé par Louis GUILBERT avec la participation des entreprises et des fournisseurs des équipements de régulation. De vifs applaudissements marquent la fin de la projection qui a duré une vingtaine de minutes.

M. le Président remercie les producteurs et les réalisateurs du film, au caractère à la fois évocateur et instructif.

(1) C.I.I.D. : Commission Internationale des Irrigations et du Drainage.

Abstract

«Dynamic» control. Example of the «Canal de Provence»

The Canal de Provence draws its supplies from the river Verdon, a tributary of the river Durance. Flow in the river is controlled by five dams built by "Electricité de France", all equipped with power plant.

The Canal de Provence intake is on the supply canal of the last plant down-river.

The Canal de Provence supplies water for irrigation, urban and industrial use. Basic components of this complex system are the following :

- 1/ High-capacity conveying facilities totalling open-canal and tunnel lengths of 100 km and 130 km respectively.
- 2/ Large-bore pressure mains.
- 3/ Final distribution networks.

Irrigation, urban and industrial water requirements to be met vary with time according to different laws. The control system, therefore, must be capable of permanent optimal matching of supply to demand. The "dynamic control" method which has been adopted regulates the volumes of water through the canals and ducting, whilst "updating" reference volumes at regular intervals according to forecast consumption data. The system which has been designed on this principle transmits the

necessary data from the canals and ducting to a remote operating centre, and appropriate gate or valve settings back to the network. Control works initially provided on the "Canal de Provence" were designed for operation on the "downstream control" principle. Dynamic control arrangements were tested and developed to operational readiness on an existing control structure scheduled for "modernization". All new control works were then designed for dynamic control and existing works converted accordingly.

The following facilities are required for an operational dynamic control system :

- a) Remote transmission stations at suitable points along canals, pipes or tunnels, to "centralize" all data from instruments, control gates or valves.
- b) Availability of public Post Office communications facilities
- c) A remote control centre with a real-time computer programmed to produce control commands from a measured data input.

The cost of the remote-transmission system amounts to roughly 3 per cent of the total construction cost.