

# LA REGULATION DES RESEAUX D'IRRIGATION GRAVITAIRE

## 1. INTRODUCTION

La technique de l'irrigation gravitaire consiste à arroser les cultures en faisant ruisseler l'eau à la surface du sol. C'était la seule méthode possible jusqu'au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle. Dans la grande majorité des cas, le transport de l'eau se fait par canaux fonctionnant à surface libre.

La surface irriguée dans le monde avoisine les 250 millions d'hectares et sur ce total, 80 à 90% est constitué par de l'irrigation gravitaire. c'est donc une technique qui continue à être très répandue en particulier dans les pays en voie de développement.

De fait, le coût de construction d'un réseau gravitaire est 3 à 4 fois plus faible que celui d'un réseau sous pression et il n'y a pas ou peu de consommation d'énergie. En contre partie l'efficacité de ces réseaux est faible, le plus souvent inférieure à 30% alors qu'on atteint facilement 80 à 90% sur les réseaux sous pression. En outre, ils nécessitent une main d'œuvre abondante.

L'expansion démographique et l'évolution du régime alimentaire (consommation accrue de protéine animale) entraînent des besoins en production végétale plus important et une extension des surfaces irriguées principalement dans les pays en voie de développement où les conditions climatiques sont défavorables. Il s'agit, donc, en général d'irrigation gravitaire.

Parallèlement à la construction d'aménagements nouveaux, on assiste depuis une à deux décennies à un effort de modernisation des infrastructures existantes en vue d'améliorer le rendement des irrigations et ainsi d'accroître les surfaces ou de pratiquer plusieurs cultures dans l'année en utilisant la même quantité d'eau.

Les faibles rendements de l'irrigation gravitaire sont dus à trois causes principales :

- Les pertes importantes des arrosages par ruissellement,
- La régulation extrêmement sommaire ou inexistante de nombreux réseaux,
- Le manque d'organisation des exploitants et des agriculteurs.

Les deux derniers facteurs sont certainement liés car il semble difficile de mettre en place une organisation contraignante sans maîtriser la distribution de l'eau et vice versa. Il y a là un vaste débat mais de toute manière la régulation des canaux constitue un des problèmes majeurs.

## 2. LES PROBLEMES SPECIFIQUES DES RESEAUX D'IRRIGATION GRAVITAIRE

### 2.1 Les contraintes liées à l'irrigation

Sans rentrer dans le détail de l'aspect agronomique, on peut dire que les besoins en eau des plantes dépendent du stade végétatif, de la profondeur d'enracinement, de la capacité de rétention des sols et bien évidemment des conditions climatiques ( pluie et température surtout).

De ces différents facteurs, on déduit les besoins en eau exprimés en l/s/ha (débit fictif continu) et, comme l'irrigation se pratique de façon discontinue, en dose (quantité d'eau apportée lors d'un arrosage) et fréquence des arrosages.

Les besoins en eau varient tout le long de la période d'irrigation, 6 mois dans nos régions et toute l'année dans les zones arides, de 0 à 100%, avec une période de pointe d'une durée de 1 à 2 mois située au milieu du cycle, en général.

A cette variabilité s'ajoute l'aléa pluviométrique qui entraîne l'arrêt ou la réduction des irrigations de manière imprévisible.

## **2.2 Mode d'irrigation**

Le mode d'irrigation va imposer de nombreuses contraintes dont la régulation des canaux doit tenir compte. En irrigation gravitaire il y a 3 méthodes principales, avec de nombreuses variantes, qui sont l'irrigation à la raie, à la planche ou au bassin. Un débit minimum est nécessaire pour conduire l'eau efficacement dans les champs, c'est ce que l'on appelle la main d'eau dont la valeur moyenne est de 30l/s mais peut être plus importante dans le cas des planches.

Les irrigations par bassin ( le riz ) nécessitent une période de fort débit pour la préparation des champs et la mise en boue.

Enfin de nombreux agriculteurs répugnent à irriguer la nuit et cela implique de fortes variations diurnes de débit si on ne veut pas perdre d'eau.

## **2.3 Mode de distribution**

Il existe trois modes de distribution de l'eau :

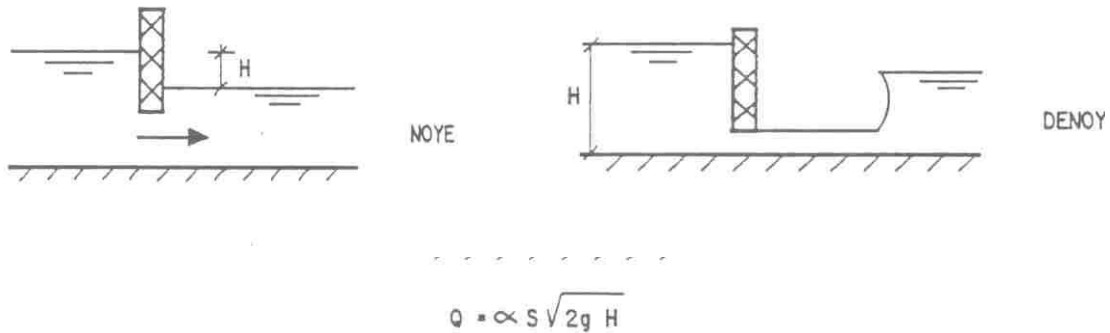
- Partition : l'eau est partagée au prorata des surfaces de manière fixe. Il y a réglage initial de toutes les prises qui sont alimentées simultanément. Le système est simple mais très rigide. Il est très utilisé dans l'Inde du Nord sous le nom de Warabandi.
- Tour d'eau : le réseau est découpé en quartier, d'une cinquantaine d'ha en général. Chaque quartier est alimenté en continu pendant une période de temps déterminée, chaque agriculteur, à l'intérieur du quartier dispose de tout le débit à tour de rôle. Le débit d'alimentation du quartier peut être fixe ( débit et durée) ou variable ( débit ou durée ou les deux).
- Demande : mode de distribution très rare en irrigation gravitaire car il est impossible à mettre en œuvre, sauf quand le débit disponible est toujours supérieur à la demande. Le rendement du réseau est alors très faible. Il faut, toutefois, noter l'existence de canaux principaux qui alimentent des réseaux sous pression à la demande : c'est le cas de la SCP ou de BRL.

En pratique, le fonctionnement réel de nombreux réseaux est compris entre tour d'eau et demande. Le tour d'eau est appliqué de manière plus stricte pendant les pointes d'arrosage et une demande plus ou moins restreinte le reste du temps.

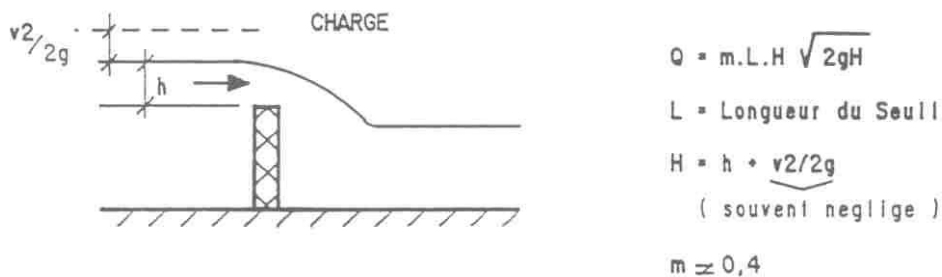
## 2.4 Difficulté des réglages de débit

En hydraulique à surface libre, la mesure et le réglage des débits sont difficiles si on se limite à des moyens manuels. Il existe trois types d'appareillages :

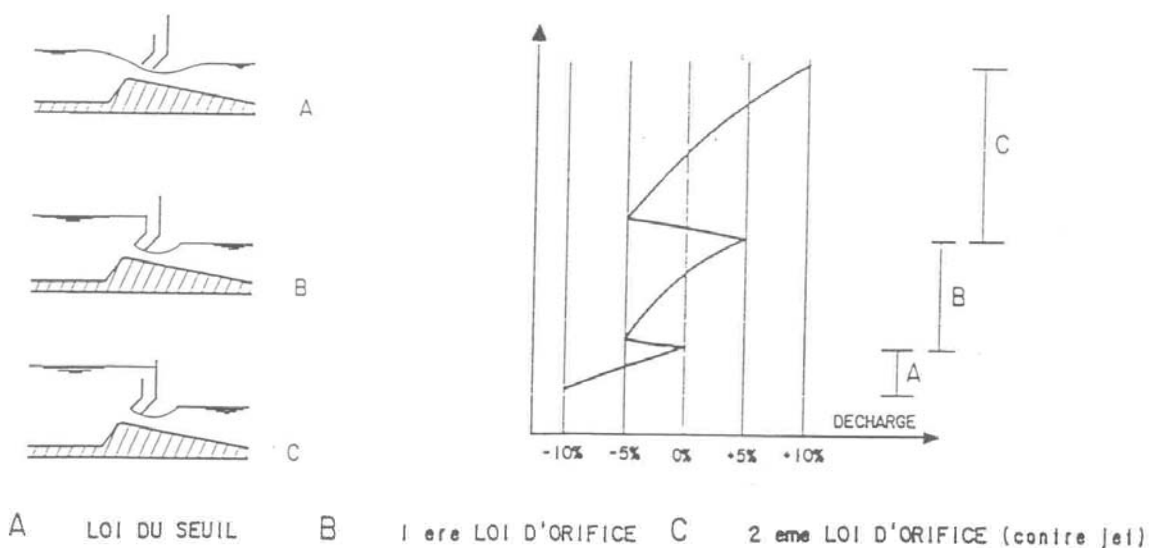
- Les vannes : orifice à section ajustable



- Les seuils : fixes ou à crête et donc à débit ajustable( Rominj gate)



- Modules à masques : associent des lois d'orifice et de seuil dans le même appareil. Ils permettent un réglage par pas de débit dans une zone de variation de niveau.



Ces appareils sont tous sensibles aux variations de niveau amont, en particulier les seuils.

## 2.5 Nécessité d'une régulation de niveau

La première raison est de pouvoir alimenter toutes les prises ou dérivations. Comme la charge disponible est le plus souvent faible dans les réseaux d'irrigation gravitaire, les prises sont situées en haut des berges et peuvent facilement être dénoyées lorsque le niveau d'eau dans le canal diminue du fait d'une réduction de débit.

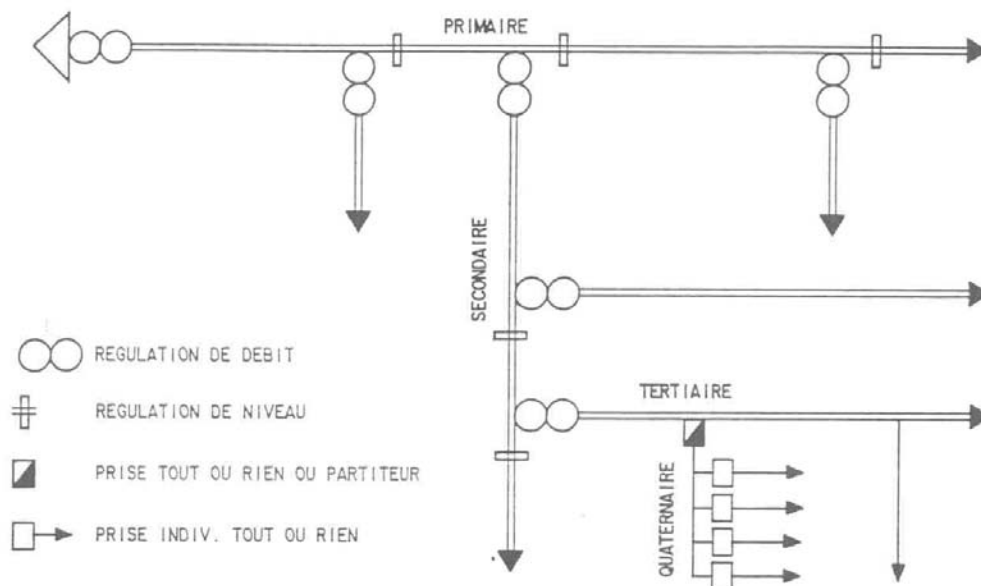
La deuxième raison découle directement des contraintes de réglage des débits qui nécessite une stabilisation du niveau dans les canaux pour être précis. Cette stabilité est d'autant plus importante que la charge motrice est faible.

Les régulateurs de niveau sont des ouvrages situés en travers des canaux à distance régulière, d'autant plus espacés que la pente est faible. Ils sont constitués d'une ou plusieurs vannes suivant la taille du canal ou d'un seuil de grande longueur. On peut trouver des régulateurs comportant simultanément seuil et vannes.

En général les vannes sont manœuvrées manuellement, mais on trouve également des vannes à flotteur automatiques et des vannes motorisées asservies au niveau qu'elles doivent régler.

## 2.6 Topologie des réseaux

Il s'agit toujours de réseau ramifié, caractérisés par une hiérarchisation marquée des canaux. De cette topologie découle immédiatement l'emplacement des différents ouvrages de réglage. A titre d'exemple, le schéma ci dessous donne la structure traditionnelle d'un réseau et l'emplacement des ouvrages de régulation :



En moyenne un réseau de 10 000 ha comprend :

- 400 km de canaux secondaires et tertiaires
- 50 km de canaux primaires,
- 150 régulateurs de niveau,
- 300 régulateurs de débit ou prises d'irrigation.

Cela donne une idée de la complexité de l'exploitation de ces aménagements sachant qu'un changement de régime impose une modification coordonnée de réglage de tous les régulateurs de débit et de niveau.

### **2.7 Régimes transitoires**

Les modifications de régime d'écoulement dans un canal sont lentes : il y a simultanément propagation d'une onde et remplissage ou vidange du canal. L'ordre de grandeur de la vitesse de propagation moyenne d'une onde de débit est de 1 à 2m/s ce qui introduit des retards de plusieurs heures. Pendant toute la durée des régimes transitoires, les caractéristiques de l'écoulement (profondeur, débit) vont varier imposant une série de réglages successifs de tous les régulateurs de débit et de niveau concernés.

Le phénomène est bien connu et parfaitement reproductible par simulation numérique ; il n'empêche que la coordination et la précision de ces manœuvres soulève un problème pratique délicat compte tenu de la longueur des canaux et du nombre d'ouvrages à régler.

## **3. LES METHODES DE REGULATION**

La régulation des canaux sera uniquement étudiée sous son aspect hydraulique, indépendamment des automatismes mis en œuvre.

### **3.1 Principe de base**

Fondamentalement, c'est le débit qui est la variable à régler, mais sa mesure est difficile et les réglages sont dépendants de la profondeur d'eau dont la mesure est par contre beaucoup plus simple.

Le principe de base est donc d'opérer séparément un réglage de ces deux variables :

- Régulation des débits aux points de dérivation et aux prises,
- Maintien des niveaux dans des limites compatibles avec la précision et la stabilité du réglage des débits et des contraintes topographiques par l'intermédiaire de régulateurs régulièrement espacés.

Ce principe est moins impératif avec les méthodes sophistiquées actuelles mais il continue à s'appliquer dans l'organisation générale de la régulation.

### **3.2 Prise en compte du retard**

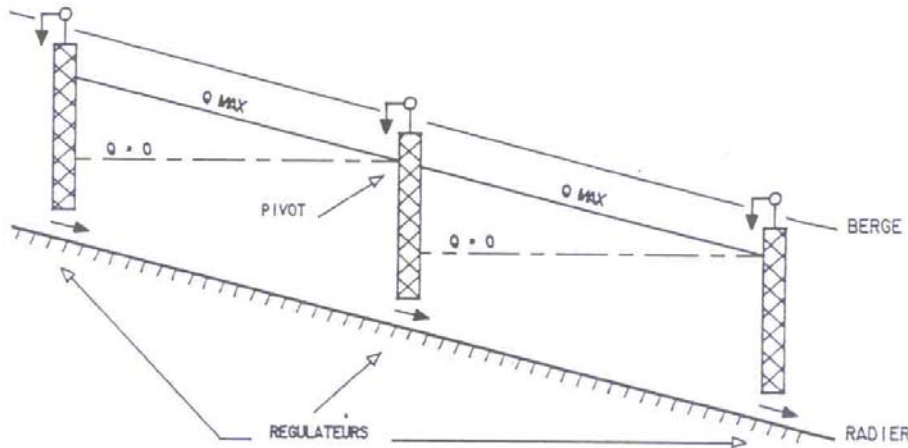
L'existence d'un retard important constitue une des difficultés majeures de la régulation des réseaux d'irrigation gravitaire et va influencer directement sur la coordination des manœuvres des différents régulateurs, sur l'organisation et la rigidité des programmes d'irrigation et sur la capacité des canaux à faire face à des variations de régime imprévues. La conception des canaux, elle-même, doit en tenir compte pour réduire ces retards ou annuler leurs effets négatifs.



### 3.3 Régulation par l'amont

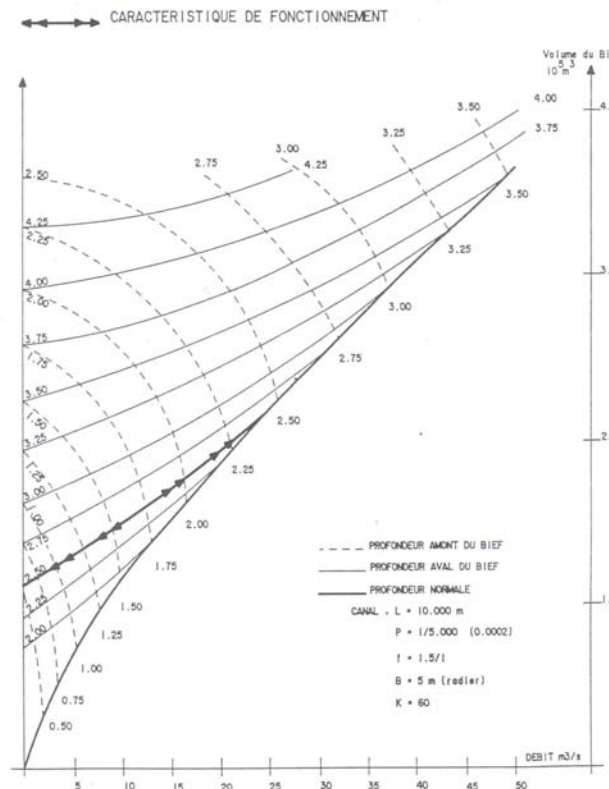
#### A. Principe

Le canal est équipé est équipé de régulateurs situés à distance régulière, asservis au niveau d'eau amont qui est maintenu constant. Lors des variations de débit la ligne d'eau pivote autour d'un axe situé à l'aval de chaque bief. Pour un régime particulier la ligne d'eau est comprise entre la ligne d'eau à débit nul, horizontale, et la ligne d'eau à débit maximum, parallèle au radier. De ce fait les berges sont parallèles au radier.



#### B. Changement de régime

Les modifications s'effectuent bief par bief de l'amont vers l'aval. Chaque bief introduit un retard puisqu'il y a variation de volume comme le montre le diagramme d'état. Les régulateurs doivent être manœuvrés successivement d'amont vers l'aval de manière coordonnée.



Il faut noter que sans régulateur, les variations de volume seraient plus importantes (la caractéristique de fonctionnement est alors la courbe de profondeur normale) et le retard serait nettement accru.

### C. Appareillages utilisés

Les régulateurs peuvent être constitués par des seuils longs (becs de canard) ou équipés de vannes à flotteur ou de vannes motorisées asservies. Très souvent, de simples vannes manuelles sont utilisées mais cela nécessite un personnel entraîné et disponible et interdit des changements de régime fréquents.

### D. Avantages / Inconvénients

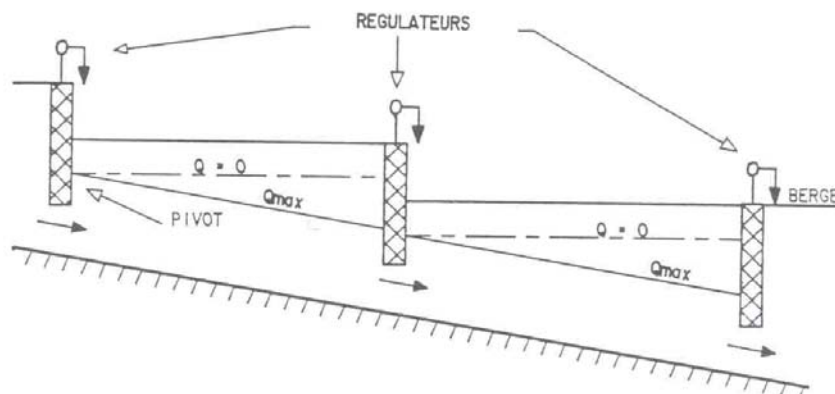
La régulation par l'amont est certainement la méthode la plus utilisée car c'est la moins coûteuse et elle ne nécessite pas de rehausse de berges. Cependant elle manque de souplesse et nécessite la mise en œuvre de programmes d'irrigation rigides.

Il est difficile d'envisager d'autre méthode de régulation pour les petits canaux de distribution qui représentent 80 à 90% du linéaire des réseaux. Il faut donc améliorer sa mise en œuvre en installant des appareils automatiques et en utilisant des moyens informatiques pour la préparation des programmes et la simulation des régimes transitoires.

## 3.4 Régulation par l'aval

### A. Principe de fonctionnement

Le canal est découpé en biefs successifs séparés par des régulateurs. Chaque régulateur est asservi au niveau aval qu'il maintient constant (ou pratiquement constant).



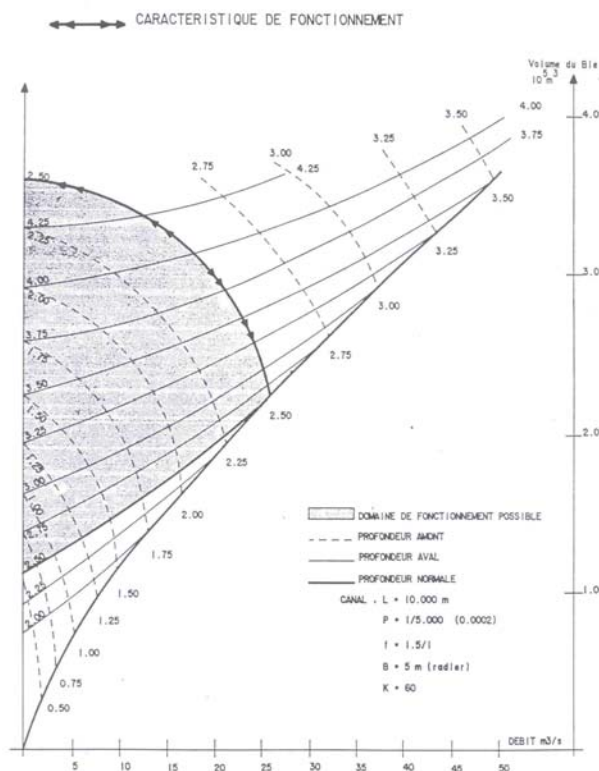
En cas de variation de débit, la ligne d'eau pivote autour d'un axe situé en amont du bief ; elle reste comprise entre une horizontale ( $Q = 0$ ) et une parallèle au radier ( $Q = \max$ ).

Ce système nécessite des berges de biefs horizontales.

### B. Modifications de régimes

Les modifications de régime se font d'aval en amont. Elles s'accompagnent d'une variation de volume contenu dans les biefs, comme le montre le diagramme d'état ci-dessous.

A une augmentation de débit correspond une diminution de volume (et vice versa) et ainsi l'eau est toujours disponible bien avant que le nouveau régime stable ne soit atteint.



### C. Appareillages utilisés

Dans la majorité des cas, la régulation par l'aval fait appel à des vannes à flotteur. On peut également utiliser des vannes motorisées commandées par automate. L'usage de vannes manuelles est, évidemment, peu recommandé.

### D. Avantages – inconvénients

L'avantage principal de la régulation par l'aval est sa grande souplesse. Elle permet de faire fonctionner les canaux à la demande.

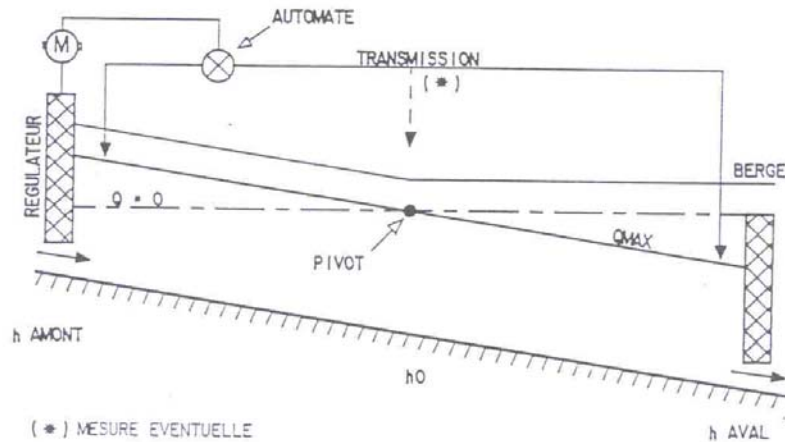
Elle présente l'inconvénient de nécessiter des berges horizontales ce qui augmente le coût des canaux. En particulier, il est difficile de généraliser son emploi sur l'ensemble des canaux d'un réseau et on limite son utilisation aux canaux principaux. Il faut également souligner la nécessité d'un contrôle strict des débits de prises, faute de quoi la saturation des canaux est vite atteinte et le fonctionnement à la demande devient un leurre.

### 3.5 Régulation à volume constant

Avec la régulation à volume constant, nous entrons dans le domaine des régulations à distance qui nécessitent le transfert de mesures entre amont et aval des biefs. Sauf cas particulier, ce transfert se fait par l'intermédiaire d'un système de télétransmission (câble, radio) mettant en oeuvre des appareillages électroniques et impliquant l'utilisation de vannes motorisées.

### A. Principe de fonctionnement

Le régulateur amont est asservi au volume contenu dans le bief qu'il maintient constant. Le volume est calculé à partir de mesures de niveaux effectuées en amont et en aval du bief et souvent au point milieu.

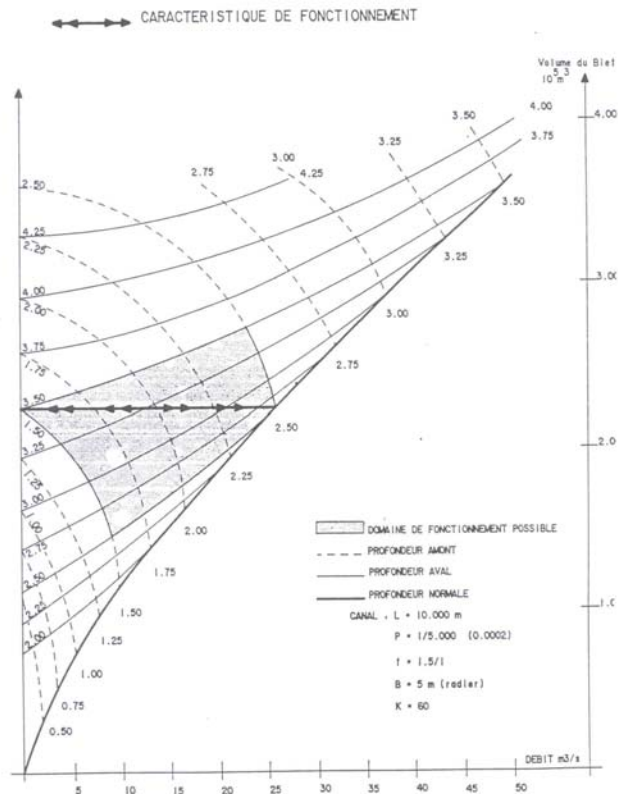


Les variations de régimes se traduisent par une rotation de la ligne d'eau autour d'un pivot situé sensiblement au milieu du bief.

La régulation à volume constant nécessite des berges horizontales sur la partie aval des biefs.

### B. Modifications de régime

Les modifications de régime le long d'un canal se font d'aval en amont. Quelle que soit l'ampleur de la variation de débit, le volume de chaque bief demeure constant et le nouveau régime permanent est obtenu rapidement.



Seules les variations extrêmement rapides de débit peuvent occasionner des instabilités et il est recommandé de les étudier par simulation au préalable.

### C. Avantages – inconvénients

La régulation à volume constant présente une grande souplesse et permet de faire fonctionner les canaux à la demande.

Le surcoût en génie civil est plus limité que dans la régulation aval mais les équipements utilisés sont plus sophistiqués et nécessitent une alimentation en énergie sûre.

Pour tirer le meilleur parti de la régulation à volume constant, il est recommandé d'avoir un système de gestion centralisé et un ordinateur central. On obtient alors des performances remarquables comme sur l'aménagement E.D.F. de la Durance où toutes les usines peuvent être mises en route de Serre-Ponçon à la mer en huit minutes.

## 3.6 Régulation à volume contrôlé

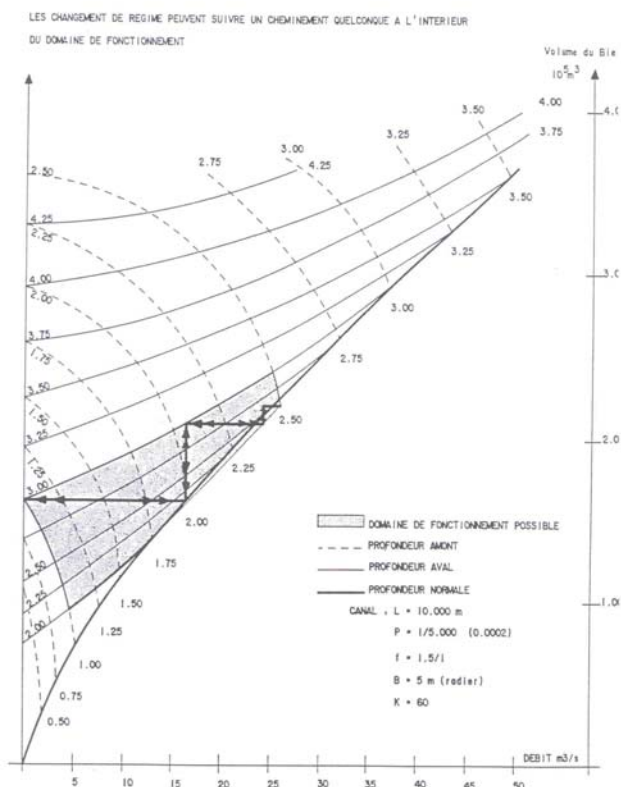
### A. Principe de la méthode

La régulation à volume constant est purement adaptative et permet de faire face à des variations de débit de 100%. En contrepartie, elle nécessite des volumes de régulation non négligeables (berges horizontales sur la moitié de la longueur des biefs). Or, il se trouve qu'en irrigation, de telles variations de débit sont très improbables, jamais très rapides et de plus, il est possible de les prévoir avec une relative précision.

Il est ainsi possible de réduire davantage les volumes spécifiques de régulation en introduisant dans le fonctionnement des canaux une part d'anticipation. C'est la régulation à volume contrôlé.

En d'autres termes, la méthode consiste à régler par anticipation le volume de chaque bief de manière à donner au canal la capacité de répondre aux variations ultérieures de la demande.

Le principe de la méthode peut être visualisé facilement sur un diagramme d'état :



Du point de fonctionnement (1), on peut atteindre rapidement le point (2) (manoeuvre A à volume constant), mais pas le point (4). Pour cela, il faut au préalable se placer en (3) et réaliser par anticipation la manoeuvre (B) qui correspond à un remplissage.

Ce schéma permet de constater qu'il n'est pas nécessaire d'avoir une prévision très précise et que les possibilités d'adaptation rapide le long de l'horizontale 3.4 sont importantes.

## B. Réalisation pratique

Pour être pleinement efficace, la régulation à volume contrôlé doit concerner l'ensemble des biefs du canal, ce qui implique un système centralisé comportant :

- Un réseau de télémesure,
- Un ordinateur central gérant l'ensemble des mesures et élaborant les consignes de réglage,
- Des organes de réglage motorisés exécutant les consignes envoyées par l'ordinateur central.

Cette méthode est utilisée depuis 30 ans sur le Canal de Provence sous la dénomination de Régulation Dynamique.

Sans rentrer dans le détail de la partie automatisme, on peut préciser que les commandes sont élaborées par addition de 3 actions simultanées :

- Une action d'anticipation qui tient compte de la prévision de la demande, de l'état du canal et de son évolution prévue,
- Une action corrective qui corrige les réglages pour maintenir les volumes de bief à leur valeur prévue,
- Une action de coordination qui reporte de bief en bief les corrections effectuées à l'aval.

## B. Avantages/Inconvénients

La régulation à volume contrôlée présente sensiblement les mêmes avantages que la régulation à volume constant. Elle permet cependant de faire des économies de génie civil du fait des volumes de régulation moins importants et, appliquée à des canaux existants, ne nécessite pas d'importantes modifications.

## 4. CONCLUSION

Les méthodes de régulation des canaux qui viennent d'être exposées couvrent une gamme importante de solutions et sont susceptibles d'être améliorées, en particulier en perfectionnant les traitements relevant des automatismes.

Dans le domaine du transport de l'eau par canaux, les méthodes, dites sophistiquées, sont largement répandues et donnent d'excellents résultats.

En matière de réseaux d'irrigation gravitaire l'application de ces méthodes est moins répandue et reste limitée, en général, aux canaux principaux qui ne représentent qu'un faible pourcentage du linéaire total. Les autres canaux, de taille plus réduite, ne justifient pas, aux yeux des maîtres d'ouvrage, l'emploi de techniques élaborées et ils restent sous équipés en matière de régulation.

Cela résulte de deux erreurs d'appréciation :

- Un réseau d'irrigation forme un tout et le bon fonctionnement de l'amont ne compense pas le mauvais fonctionnement de l'aval,
- L'amélioration de la régulation des canaux de distribution n'est pas forcément très coûteuse si l'on emploie une régulation par l'amont simple. Malheureusement cela implique des modifications de génie civil, rehausse de berges ou construction de nouveaux régulateurs, qui sont mal admises.

Enfin, il ne faut pas oublier que, pour porter leurs fruits, les améliorations physiques doivent être accompagnées d'un effort d'organisation des exploitants et des agriculteurs.