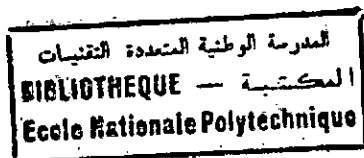


15/98

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département : Hydraulique



Projet de fin d'études pour l'obtention du
Diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

**ELEMENTS DE CONCEPTION D'UN
PERIMETRE D'IRRIGATION A SURFACE
LIBRE**

Etudié par :

M^r. Koudil Salim

Proposé et Dirigé par :

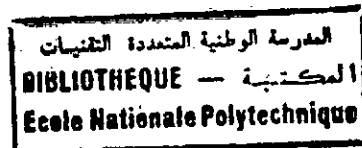
M^r. S. Benziada

Promotion 1998

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département : Hydraulique



Projet de fin d'études pour l'obtention du
Diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

**ELEMENTS DE CONCEPTION D'UN
PERIMETRE D'IRRIGATION A SURFACE
LIBRE**

Etudié par :

M^r. KOUDIL SALIM

Proposé et Dirigé par :

M^r. S. BENZIADA

Promotion 1998

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier :

- Mon promoteur, Monsieur BENZIADA pour sa précieuse aide ;
- Tous les enseignants qui ont contribué à ma formation ;
- Ali pour sa patience et son aide ;
- Sofiane pour sa contribution ;
- Hakim pour son aide ;
- Abdou et Tarek.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEDICACES

Je dédicace ce modeste travail ;

- à mes parents ;
- à mes grands parents, BABOU et YAYA ;
- à ma sœur MERIEM et mes frères HAMID, YOUYOU et SAÏD AGHILES ;
- à mes oncles et tantes ;
- à mes cousines et cousins ;
- à mes amis : Ali, Sofiane, Hakim, Ryadh, Salim, Yacine, Bimbo, Nacer, Karim, Malik, Samir, Samadou, Khalil, Farouk.....
- A mes amis des Asphodeles.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

SOMMAIRE

PREAMBULE

Chapitre I : SYSTEMES D'IRRIGATION A SURFACE LIBRE

Chapitre II : LA DISTRIBUTION DE L'EAU D'IRRIGATION

Chapitre III : RESEAUX D'IRRIGATION A SURFACE LIBRE

Chapitre IV : LA REGULATION

Chapitre V : LES OUVRAGES D'ART

Chapitre VI : LES CANAUX D'IRRIGATION

Partie 1 : Les problèmes généraux posés par les canaux

Partie 2 : Caractéristiques techniques générales des canaux d'irrigation

Partie 3 : Les canaux en terre

Partie 4 : Revêtements des canaux

Partie 5 : Les canaux préfabriqués

CONCLUSION

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PREAMBULE

Il est inutile de rappeler que la terre et l'eau sont les deux principales ressources nécessaires à l'agriculture et à toute vie. Quand l'eau est abondante et les sols fertiles, les civilisations humaines peuvent subsister, à condition que le climat soit lui aussi favorable. Mais quand l'eau manque, fût-ce temporairement, l'agriculture dépérit et l'insécurité alimentaire règne.

En ce qui concerne l'agriculture, nous noterons quelle est la principale utilisatrice d'eau, car elle absorbe plus des deux tiers des eaux prélevées dans les cours d'eau, les lacs et les aquifères.

En effet, l'irrigation a été une étape très importante dans le développement de l'humanité ; très tôt l'homme a compris l'intérêt qu'il avait à apporter sur les terres qu'il cultivait l'eau d'appoint, sur laquelle certaines plantes ne pouvaient se développer, ou en tout cas atteindre leur croissance maximum et c'est à ce moment là qu'il a pratiqué l'irrigation.

Mais cela n'a pas été aussi simple que ça, et l'un des problèmes épineux rencontrés a été comment trouver dans un rayon relativement restreint une eau disponible ? et ensuite comment l'amener sur les lieux de culture, puis les répartir entre toutes les plantes en quantités bien déterminées ?

Les réponses à ces questions n'ont pu être trouvées qu'avec l'apport de techniques sur le plan agronomique, travaux publics, rural, etc.

Pour bien illustrer le travail fait en irrigation sur le plan historique, notons que dans l'antiquité l'irrigation était un signe de richesses, de prospérité et de là de sécurité. Les exemples ne manquent pas, prenons la Chine où la création à partir des fleuves bleu et jaune, d'un vaste réseau d'irrigation à travers les plaines chinoises qui en accrut la fertilité et permit la culture intensive du riz. Cette œuvre des grands empereurs chinois assura la nourriture des 400 millions d'habitants d'alors de l'empire.

Nous avons aussi, l'Inde où 20 siècles avant notre ère le bassin de l'Indus était couvert de réservoirs d'irrigation que les plus vieilles chroniques du monde sanscrite prescrivaient d'édifier comme un impérieux devoir, étant donnée la sécheresse extrême.

Pour l'Assyrie et la Perse, les plaines, au temps de Ninus et Sémiranis, étaient fertilisées par un important réseau de canaux qui dérivait les eaux du Tigre et de l'Euphrate, les faits historiques nous montrent que la prospérité de ce pays n'a pu résister à la disparition des irrigations.

Enfin, en ce qui concerne l'Egypte, la pratique de l'irrigation est très ancienne, tel que dans la vallée du Nil, les célèbres crues du fleuve étaient canalisées et un système de digue et de canaux faisaient profiter les terrains submersibles de la vallée des eaux colmatantes.

Après avec le temps, beaucoup d'innovations ont été faites pour le développement de l'irrigation, caractérisée par l'utilisation de différentes méthodes d'irrigation. Les trois principales sont l'irrigation gravitaire, l'irrigation localisée et l'aspersion.

L'irrigation gravitaire est considérée comme la première et de loin la plus ancienne des techniques d'irrigation. Elle représente 80 à 90% des systèmes d'irrigation répandus dans le monde, son principe consiste à faire ruisseler l'eau en surface à partir d'une rigole d'amenée d'eau située en amont de la parcelle à irriguer, laquelle doit nécessairement accuser une légère pente. L'eau se répartit ensuite entre les différentes planches ou raies au moyen d'un réseau de canaux secondaires (voir chapitres II et III).

Pour l'irrigation localisée, elle couvre en principe l'ensemble des techniques qui entraînent l'humidification d'une partie seulement du sol, mais ce terme s'applique plus particulièrement à celles qui apportent l'eau au pied des plantes, dans la zone racinaire.

La dernière des méthodes citées est l'irrigation par aspersion qu'on peut définir comme un système d'arrosage qui consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie sur le sol, il est utilisé surtout dans le cas où on aurait une texture fine à très fine du sol et un vent léger à modéré.

L'agriculture algérienne a très longtemps été la pierre angulaire de l'économie du pays. De la Numidie de l'antiquité à l'Algérie pré-industrielle des années 60, elle a constitué l'épine dorsale des activités de production et d'échange tout comme elle a fourni à la population, dont elle employait de larges secteurs actifs, la plus grande part de ses ressources. Elle l'a été à un point tel quelle a durablement marqué l'organisation, le mode de vie et la culture de la société algérienne.

Mais aujourd'hui, notre pays est classé en queue de liste des pays selon l'attention qu'ils accordent à l'agriculture irriguée et suivant les résultats obtenus. Ainsi le ratio par tête est l'un des plus bas du monde (12 hectares pour 1000 habitants) et il ne cesse de baisser, cela malgré l'existence des traditions d'irrigation chez nous telle que les fogarras, les ceds, djeboubs...

Le potentiel actuel en Algérie est constitué en grande partie par les périmètres réalisés, depuis 1850-1870 mais surtout à partir de 1930-1940 jusqu'à l'indépendance où les travaux du moyen Chélif n'étaient pas encore tout à fait achevés. En 1962, l'infrastructure constituait près de 100 000 ha de réseaux qui ne permettait pas cependant qu'une irrigation en extensif de l'ordre de 50 000 ha par an.

Mais avec le temps aucune amélioration n'a été remarquée, puisque c'est les mêmes résultats que l'on retrouve pour les surfaces irriguées en grande hydraulique, actuellement, les nouvelles superficies provenant des projets Bou Namoussa, Arribs, Ain Skhoua et Ksob réaménagé venant compenser les « pertes » du système Habra-Sig, du Moyen et Bas Chélif.

Par ce présent travail, nous abordons un réseau d'irrigation à surface libre, en commençant par la présentation des systèmes d'irrigation selon le mode ou l'eau est représenté sur le sol ; après, pour permettre une conception d'un réseau économique, de rendement maximum, nous avons étudié l'unité de débit qui est sous la forme d'une main d'eau ou d'un module d'arrosage, et d'une unité de surface (le quartier).

L'utilisation d'un appareillage bien adapté rend possible l'organisation rationnelle de l'exploitation.

De là, on peut aboutir à la présentation d'un ou plusieurs plans d'ensemble sommaires de réseaux d'irrigation à surface libre, à partir desquels les organismes directeurs pourront prendre toutes décisions relatives à la mise en valeur du périmètre.

Des études détaillées reprendront alors le plan d'ensemble sommaire retenu et fixeront les lignes d'un projet d'exécution.

CHAPITRE I :
SYSTEMES D'IRRIGATION A SURFACE LIBRE

Différents systèmes et modes d'irrigation de l'eau d'irrigation sont utilisés dans le monde. Selon le mode de présentation de l'eau dans le sol, on peut distinguer les systèmes d'arrosages suivants :

- Irrigation par eau courante ou par ruissellement : l'eau distribuée par les rigoles ruisselle et s'infiltré dans le sol verticalement ;
- Irrigation par eau dormante : l'eau-outre son parcours depuis le canal arroseur-stagne sur le sol. On distingue deux variétés à ce mode d'irrigation :
 - a) La submersion : L'eau stagne dans les bassins et s'infiltré verticalement ;
 - b) L'infiltration : L'eau amenée par des rigoles s'infiltré latéralement dans le flanc de ses sillons.

1. IRRIGATION PAR EAU COURANTE :

1.1. IRRIGATION PAR DEVERSEMMENT OU RUISSELLEMENT :

1.1.1. Irrigation par rigoles et roses :

Elle consiste à faire déborder l'eau de petites rigoles sans chercher à la guider par des levées de terre ou diguettes.

Les rigoles ont deux formes : elles peuvent être horizontales en suivant les courbes de niveau du sol, et obliques par rapport à ces même courbes(elles sont appelées RASES).

Malgré la simplicité théorique du système, on trouve des difficultés à déterminer l'espacement des rigoles pour qu'entre deux rigoles le volume d'eau débité ait le temps de s'infiltrer sans difficulté.

Lors du ruissellement, s'il s'opère trop vite l'humectation sera limité en surface, et s'il s'opère trop lentement, on assistera à des pertes par percolation profonde.

Les caractéristiques de cette méthode sont :

- Elle ne nécessite aucun aménagement spécial du terrain ;
- Elle s'accommode de modules très faible ;
- Elle est utilisable sur des pentes très fortes(2 à 25%), l'optimale étant de 3 à 5%.

1.1.2. Irrigation par plan incliné et ados :

Cette méthode est employée lorsque le terrain n'a pas une pente naturelle suffisante pour faire ruisseler l'eau en nappe mince. Pour cela on crée une pente artificielle, ce qui peut nécessiter des terrassements importants.

a) Plan inclinés : On aménage le terrain en une succession de plans inclinés de forme rectangulaire. Le long coté haut comporte une rigole de déversement. Le long coté bas, une collature. Cette méthode :

- Nécessite une pente de 4 à 5% ;
- S'incommode de modules faibles ;
- Permet d'éviter les pertes par percolation.

b) Ados : (figure I-1) On aménage le terrain en adossant deux plans inclinés symétriques. Cette méthode :

- Est utilisable pour les terrains plats ;
- Peut s'effectuer à l'aide d'engins de terrassements si la surface des ados est suffisante.

1.2. IRRIGATION A LA PLANCHE OU AU CALANT :

Elle consiste par le déversement de l'eau à la partie supérieure du terrain, après (en étant guidée par des levées de terre) l'eau ruisselle sur toute la surface de la planche. (figure I-2)

Par rapport aux ados les aménagements sont moins importants, mais on doit avoir un terrain parfaitement nivelé.

On utilise toujours le même module par le fait que l'ensemble des diguettes est fixé. Pour le calant, la pente doit être nulle dans le sens de la largeur et comprise entre 0.15 et 4% dans le sens de la longueur. Les dimensions du calant sont fonction d'un certain nombre de paramètres et doivent assurer une bonne répartition de l'eau et une bonne infiltration ; en général les longueurs oscillent entre 100 et 120m et les largeurs entre 10 et 50m.

Le calcul de la longueur du calant ou la valeur du module de distribution est possible par l'application de l'abaque de CRIDDLE et DAVID, en fonction des autres paramètres (vitesse moyenne d'arrosage, pente du terrain, dose d'irrigation). La formule utilisée est la suivante :

$$M = \frac{q_0 L l}{100}$$

Avec : M = module(l/s)

L = longueur du calant(m)

l = largeur du calant(m)

q₀ = débit par bande de 100m de long et 1.00m de large(l/s).

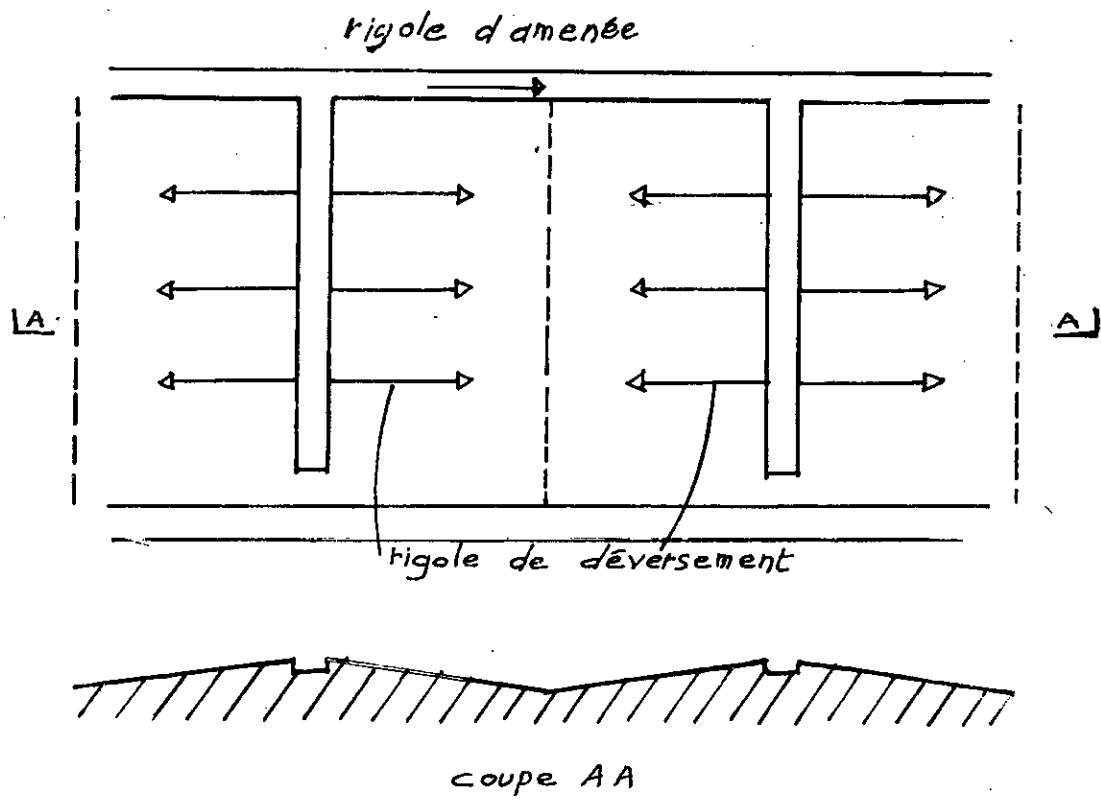


Figure I-1

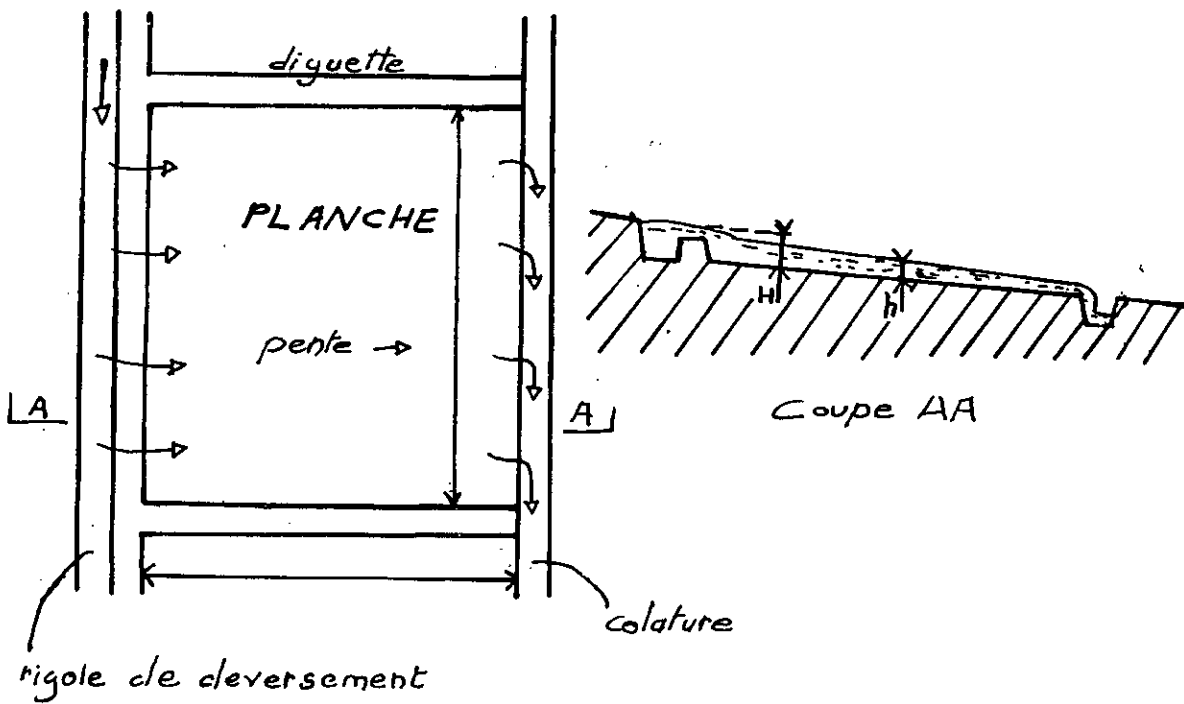


Figure I-2

Exemple :

Soit un calant ayant :

$L = 240\text{m}$

$l = 12\text{m}$

Pente = 0.5%

Vitesse moyenne d'arrosage = 12.5mm/h

Dose d'irrigation = 75mm.

L'abaque permet de calculer la valeur de q_0 soit 1.5l/s ; la formule donne la valeur du module, soit 43l/s à déverser sur toute la largeur.

Ce système est appliqué :

- à des terrains déjà naturellement plans ;
- à toutes les cultures, lorsque la pente du terrain et la perméabilité du sol sont suffisantes.

Dans le cas où la planche est correctement nivelée et la main d'eau bien calibrée, la répartition de l'eau sera homogène.

1.3. IRRIGATION A LA RAIE, SILLONS OU FOSSES :

Une partie seulement du sol reçoit directement l'eau qui s'infiltre verticalement et latéralement dans le creux du sillon.

Le principe conduit à un excès d'eau, puisque la partie aval du sillon doit être aussi humide que la partie amont.

Cette méthode :

- Nécessite un terrain bien nivelé ;
- Est applicable aux terrains de préférence moyennement perméables ;
- Les débits employés sont faibles ;
- La partie du sol entre raies permet les cultures.

Pour les inconvénients, on peut citer que cette méthode a besoin d'une main d'eau importante, et qu'elle engendre des pertes d'eau conséquentes.

Le planage de la parcelle doit être soigné, les raies n'ont aucune contre-pente pour que l'écoulement soit bon et éviter ainsi les stagnations toujours préjudiciables aux plantes. Les raies ont en général une profondeur de 0.15 à 0.30m et une quarantaine de centimètres d'ouverture en gueule. L'écartement entre deux rigoles est variable en fonction de la culture pratiquée (coton, canne à sucre, etc.) et il peut être tenu entre 0.40 et 2.00m.

L'alimentation des raies s'effectue à l'aide d'une rigole auxiliaire qui les relie au canal d'amenée. En effet, il n'est possible d'alimenter que quelques raies à la fois, aussi, il faut à chaque changement de groupes fermer la rigole d'amenée et ouvrir des brèches dans les raies et, si cette opération s'effectue sur le canal, celui-ci sera vite détérioré. Pour cette détérioration les raies peuvent être alimentées par des siphons mobiles qui permettent en plus de mieux contrôler les débits distribués. Le débit délivré dans les raies est variable :

- Pendant un certain temps, il y a un débit d'alimentation ou « débit d'attaque » qui permet de remplir rapidement la raie ;
- Après, le débit est réduit et il y a un simple débit « d'entretien » qui permet de maintenir l'eau à un certain niveau pour permettre d'obtenir l'infiltration voulue tout en évitant les pertes par colatures.

Les dépôts qui se forment dans les raies réduisent progressivement la perméabilité des sols et obligent à changer le tracé des rigoles. En Afrique, cela n'a guère d'importance car bien souvent les mises en cultures se font chaque année avant la saison des pluies.

Dans le cas des cultures arbustives, les raies de distribution d'eau peuvent être établies soit en ligne droite entre les arbres. L'eau peut être encore apportée aux arbres par des rigoles remplissant soit des cuvettes situées au pied de l'arbre, soit d'autres rigoles circulaires entourant chaque arbre.

2. IRRIGATION PAR EAU DORMANTE :

2.1. IRRIGATION PAR BASSINS DE SUBMERSION :

La règle d'or de l'irrigation par eau courante est que « l'eau doit passer partout et ne séjourner nulle part ». Le terrain doit donc avoir une certaine pente.

Les méthodes suivantes sont applicables aux terrains peu pentés, car elles consistent à apporter pendant la durée de l'arrosage plus d'eau qu'il ne peut s'en infiltrer.

On déverse l'eau dans des bassins horizontaux limités par des diguettes.

La surface de ces bassins dépend de la culture, de la perméabilité et de la pente du terrain ainsi que du débit disponible. La hauteur d'eau appliquée sur le sol est de l'ordre de 0.20 à 0.40m. Les diguettes doivent avoir une revanche sur le plan d'eau de 0.10m environ, une largeur en crête de l'ordre de 0.40m et des talus assez faibles si l'on veut pouvoir les franchir avec des machines agricoles.

L'alimentation des bassins se fait soit directement par le canal d'amenée, soit par communication des bassins entre eux à l'aide de vannes réglables ou non. Pour une répartition rapide de l'eau dans le bassin, quelques rigoles sont aménagés dans le fond de ce dernier ; au moment de la vidange, elles jouent le rôle inverse et facilitent ainsi le ressuyage.

L'irrigation par submersion peut s'appliquer à la grande majorité des cultures. Elle permet l'arrosage de terrains à très faible pente, l'emploi de petits modules avec un cloisonnement assez poussé. Les investissements sont peu élevés et la mise en œuvre de cette méthode est facile.

2.2. IRRIGATION SOUTERRAINE :

2.2.1. Irrigation souterraine par fosses profonds :

Certains terrains, par suite de la proximité de la nappe phréatique, doivent être drainés. En saison sèche, la chute saisonnière du niveau piézométrique de la nappe s'accompagne de sécheresse au niveau des plantes. L'irrigation peut être réalisée en utilisant les drains comme rigoles d'irrigation.

En effet, il suffit de barrer l'antenne principale du réseau à son exutoire et de pomper l'eau dans le lac ou le cours qui est à l'aval de cet ouvrage pour l'injecter dans le réseau de drain. L'eau est ainsi maintenue dans le réseau de drain, dont la pente est relativement faible, à une hauteur suffisante pour qu'elle pénètre par infiltration latérale dans le sous-sol et assure ainsi une humidité suffisante aux cultures (ce procédé s'applique particulièrement aux plantes à racines profondes).

2.2.2. Irrigation par conduite de drainage :

Le même système que précédemment peut être utilisé avec un réseau de drainage en tuyaux de poterie ; l'inconvénient majeur de cette méthode est son coût onéreux à cause du dispositif de drains.

CHAPITRE II :
LA DISTRIBUTION DE L'EAU D'IRRIGATION

1. REPARTITION DE L'EAU :

Un périmètre irrigué est constitué par un ensemble de «parcelles». Chaque parcelle reçoit périodiquement, pendant un temps déterminé, une «main d'eau» débit que l'irriguant peut manipuler aisément sans pertes de temps ni d'eaux excessives.

Compte tenu de la fréquence des arrosages, de la durée journalière de travail et du temps d'application des doses d'arrosages, une seule main d'eau suffit à arroser un certain nombre de parcelles au cours d'une rotation ; elles constituent alors un «quartier».

Le quartier est donc une surface que l'on peut arroser avec une main d'eau et une seule. Ce but est obtenu grâce à un ou plusieurs canaux dits «arroseurs» qui véhiculent un débit unique égal à la main d'eau (aux pertes près) et le distribuent successivement à chaque parcelle du quartier.

Pour effectuer correctement l'arrosage de la parcelle il est nécessaire de déterminer :

- Le volume global de l'eau à apporter à la parcelle ;
- Le débit de pointe ;
- La dose ou quantité d'eau à apporter à chaque irrigation ;
- La durée de chaque irrigation et l'intensité de l'arrosage ;
- Le module (main d'eau) ;
- Le tour d'eau ou rotation (fréquence des arrosages).

1.1. VOLUME GLOBAL DE L'EAU A APPORTER A LA PARCELLE :

Il s'agit du volume d'eau d'appoint pratique mensuel ou annuel défini si possible par une étude fréquentielle et nous l'appellerons VAP_m. (quantité d'eau nécessaire, par mois ou par an, à une culture ; peut aussi être rapportée pour plus de précision, à des périodes décennales).

1.2. DEBIT DE POINTE :

Le volume d'eau d'appoint pratique mensuel permet de définir le débit de pointe qui conditionne l'importance des canaux.

Le débit de pointe se calcule à partir du volume d'eau d'appoint mensuel le plus élevé (étude fréquentielle).

Le débit de pointe d'un canal toujours en eau donc d'un canal primaire (plus de détail dans le chapitre VI) est égal :

$$q_p = \frac{VAP_m}{J.86400.E}$$

avec :

J : nombre de jours dans le mois,

q_p : débit de pointe en m³/ha

VAP_m : volume d'eau d'appoint mensuel en m³/ha,

E : suivant les sols, E est comprise entre 40 et 70%.

Alors que le débit de pointe d'un canal à écoulement intermittent est égal à :

$$q_p = \frac{VAP_m}{N.J.86400.E}$$

avec :

- N : nombre d'heures de fonctionnement par jour,
- J : nombre de jours de fonctionnement,
- q_p : débit de pointe en m³/s/ha
- VAP_m : volume d'eau d'appoint mensuel(m³/ha),
- E : efficience.

Remarque :

on peut calculer le débit de pointe à partir du volume d'appoint décadaire de façon à obtenir une valeur plus représentative.

1.3. DOSE D'IRRIGATION :

La dose d'irrigation est la quantité d'eau qu'il faut apporter à chaque irrigation pour recharger en eau le réservoir – sol, alimenter la plante et compenser l'évapotranspiration.

Cette dose dépend :

- de l'état de remplissage du sol ;
- des besoins de la plante.

Suivant l'état d'avancement du développement de la plante, les besoins en eau de cette dernière sont variables.

En fait, on assure toujours un remplissage optimal du réservoir - sol avec toutefois certaines précautions assurant une poussée radiculaire, la meilleure possible.

En pratique, la dose d'irrigation doit reconstituer les réserves du sol suivant une valeur égale à la RFU ; soit :

$$\text{dose d'irrigation } D \# \text{ RFU (unité : m}^3\text{/ha ou mm)}$$

La dose d'irrigation doit être bien connue. En fait, une dose excessive lessive le sol et entraîne 30 à 60g d'azote par m³ d'eau. x

Néanmoins les cultures sur sols salés nécessitent des lessivages saisonniers (préférables aux lessivages permanents) qui évacuent une partie des sels néfastes excédentaires.

1.4. DUREE ET INTENSITE DE L'IRRIGATION :

Chaque irrigation doit apporter un volume d'eau bien défini égal à la dose d'irrigation. Comment faut-il présenter cette eau sur le sol ?

La présentation de l'eau doit tenir compte des caractéristiques du sol car si elle est répandue rapidement (fort débit), la parcelle deviendrait marécage et si elle est répandue très lentement, l'eau ne s'écoulerait que sur une petite surface et serait mal répartie, ce qui nous fait conclure que l'intensité de la distribution (I) doit tendre vers une valeur inférieure ou égale à celle de la vitesse de filtration moyenne d'arrosage ; soit :

$$I \leq \text{Vitesse de filtration moyenne d'arrosage}$$

Connaissant la dose d'irrigation et l'intensité du déversement de l'eau, on peut déterminer la durée de l'irrigation.

1.5. MODULE ET MAIN D'EAU :

Nous avons présenté les divers éléments caractéristiques de l'irrigation d'une parcelle :

- Le volume à distribuer chaque mois (volume d'eau d'appoint pratique) ;
- Le volume que l'on doit déverser à chaque arrosage (dose d'irrigation) ;
- L'intensité du déversement de l'eau sur le sol de la parcelle.

Un élément caractéristique reste à déterminer notamment, le débit du canal distributeur qui domine la parcelle.

Deux solutions sont possibles. Pour cela on prend l'exemple d'un volume d'eau d'appoint mensuel de 900 m³/ha La distribution de ce volume d'eau peut s'opérer :

- Soit sous forme d'un courant d'eau de débit très faible (0.35 l/s) mais ininterrompu durant tout le mois ;
- Soit sous forme d'un courant d'eau de fort débit mais dont l'écoulement aurait une durée brève.

Pour la première solution, la répartition du courant d'eau dans la parcelle est effectuée par l'irrigant. Ce dernier ne peut guider efficacement avec une bonne répartition un courant de débit très faible. En conséquence, on choisit un débit qui soit manipulable. Ce débit s'appelle MODULE ou MAIN D'EAU.

Comme indiqué précédemment, le choix de ce débit important impose un écoulement sur la parcelle durant un temps assez court. Pour ne pas laisser inutilisé le canal débitant le module, on arrose successivement plusieurs parcelles avec ce même module.

La valeur du module est fonction :

- de la nature des sols et de la topographie de la parcelle ;
- du type d'irrigation ;
- de l'habilité de l'irriguant ;
- des contraintes économiques du périmètre.

Le module a une valeur variable (15 à 100l/s). Dans certains pays, elle peut descendre à 10 voire 5 l/s.

Avec un personnel habile, on admet une règle générale ce qui suit :

Méthode d'arrosage	Sols légers (l/s)	Sols lourds (l/s)
Rigoles de déversement	25 - 40	15 - 30
Calants / pente moyenne (1 - 10 TM)	20 - 60	15 - 60
Calants / pente faible (< 1 TM)	40 - 100	25 - 100
Vergers / pente moyenne	20 - 40	10 - 30
Vergers / pente faible	25 - 50	15 - 40
Sillons / pente moyenne	20 - 30	10 - 20
Sillons / pente faible	20 - 40	15 - 30

1.6. TOUR D'EAU OU ROTATION - FREQUENCE DES ARROSAGES :

L'arrosage d'une parcelle avec un débit de valeur élevée égale au module (ou main d'eau) impose que cet arrosage soit assez bref. L'arrosage se fait durant un certain temps. Et le reste du temps, est ce qu'on va laisser l'arroseur inutilisé ?

Etant donné l'importance de l'aspect économique la réponse est non. Aussi utilise-t-on le même canal, donc le même module pour irriguer à tour de rôle un certain nombre de parcelles, dont l'ensemble forme un quartier ? (voir chapitre III)

Une fois l'arrosage du quartier terminé, on reprend l'arrosage de la première parcelle et ainsi de suite ; Cette opération s'appelle tour d'eau ou rotation.

Illustrons par un exemple cette opération..

Une surface de 2ha arrosée en continu au débit de 0.35 l/s/ha reçoit en 10 jours un volume de 600 m³ (ou en un mois 1800 m³).

Adaptons la distribution intermittente avec un module de 20 l/s. A raison de 600 m³ tous les 10 jours, la durée de l'arrosage sera de :

$$\frac{600000l}{20l/s} = 8h20$$

Dix jours représentent 240h ; l'arrosage d'une parcelle et une seule entrainerait un temps mort de :

$$240h - 8h20 = 231h40$$

Cette durée va être utilisée pour irriguer d'autres parcelles formant un quartier.

Le temps nécessaire pour irriguer tout le quartier est égal à la durée d'une rotation ou la durée d'un tour d'eau, tel que :

$$R = \frac{D.J}{VAPm}$$

Avec

R : durée du tour d'eau en jours

D : dose d'irrigation en m³/ha

VAPm : volume d'eau d'appoint mensuel en m³/ha

J : nombre de jours dans le mois

Si l'irrigation se fait avec des interruptions la nuit, la formule devient :

$$R = \frac{D.J.N}{VAPm}$$

Avec

N : nombre d'heures de fonctionnement par jour

Il apparaît immédiatement que ce découpage du temps est arbitraire et que les arrosages reviennent sans tenir compte de l'état réel du remplissage du sol et des besoins de la plante. Un apport d'eau continu ou du moins une distribution d'eau à la demande seraient préférables pour la plante.

En fait, si dans la majorité des cas cette distribution des arrosages est assez satisfaisante, des exceptions existent. Ainsi en Afrique saharienne ont lieu durant la saison chaude des périodes de vents chauds et desséchants (Sirocco en Algérie et en Tunisie, Chergui au Maroc, Harmattan en Afrique tropicale). Ces accidents météorologiques sont imprévisibles à long terme mais imposent l'irrigation totale et rapide du périmètre en dehors du calendrier normal des rotations.

Le dimensionnement des canaux doit donc être étudié en conséquence et l'étude fréquentielle des volumes d'eau d'appoint donc du débit de pointe doit tenir compte de ces imprévus.

Toutefois si cette protection nécessite des débits instantanés très élevés qui conduiraient à des canaux prohibitifs, on peut le réaliser uniquement pour les cultures les plus riches ou les plus fragiles (vergers).

2. DUREE JOURNALIERE D'ARROSAGE :

La mise en pratique de l'irrigation demande la connaissance de la durée journalière d'arrosage.

On ne peut la calculer ; chaque périmètre est un cas particulier. Elle est ordinairement comprise entre 12 et 20heures. Une durée supérieure à 12heures correspond à l'irrigation par aspersion.

Au cas où aucune irrigation ne se produirait durant la nuit, l'eau inutilisée peut être rejetée en bout de réseau ou stockée dans un réservoir. Si l'eau est fournie par des stations de pompage, ces dernières peuvent être arrêtées.

3. ETUDE DU RESEAU EN FONCTION DES DIVERSES SORTES DE DEMANDES D'EAU POSSIBLES :

CALCUL DU DEBIT DE CHAQUE CANAL :

Chaque canal est dimensionné pour porter en toute sécurité le plus fort débit demandé. Toutefois la demande d'eau peut être conçue de plusieurs façons permettant ainsi de ne pas surdimensionner les ouvrages.

La fourniture de l'eau, donc le débit des canaux, peut être calculée selon plusieurs méthodes :

- au tour d'arrosage avec modules bien déterminés ;
- avec commande par l'amont ;
- à la demande et en commande par l'aval.

3.1. TOUR D'ARROSAGE AVEC MODULES FIXES :

Cette méthode a été exposée plus haut. A l'aide d'exemples, nous allons montrer que la rotation peut s'effectuer soit sur l'arroseur, soit sur le canal tertiaire.

3.1.1. Rotation sur l'arroseur :

La rotation ne commence que sur les canaux de dernier ordre. Tous les canaux qui les précèdent ont un écoulement continu. On groupe autour de chaque arroseur qui porte un débit égal au module M un quartier de surface tel que :

$$S = \frac{M}{q}$$

Avec

M : module l/s

q : débit fictif continu

Ce quartier est constitué de parcelles de surfaces élémentaires telles que : $S = \sum S_i$

Si la durée d'arrosage d'un hectare est de θ secondes, chaque parcelle sera arrosée en un temps $t_i = \theta S_i$.

Prenons un exemple :

Soit une irrigation dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

Débit fictif continu : $q = 0.8$ l/s/ha ce qui représente un volume de 484 m^3 par semaine ou 691 m^3 par décade (pour simplifier la compréhension nous avons admis une distribution de 24h par jour ce qui ne se fait jamais) ;

Module : $M = 40$ l/s.

La surface du quartier arrosé par le module a pour valeur :

$$\frac{40 \text{ l/s}}{0.8 \text{ l/s/ha}} = 50 \text{ ha}$$

Par ailleurs les différentes parcelles ont pour surfaces respectives 13, 20, 6, 4 et 7 ha

Si l'on fait trois arrosages par mois (donc un par décade), chaque hectare recevra le module durant un temps de :

$$\frac{691000}{40 \text{ l/s}} = 4 \text{ h } 48$$

En pratique l'irrigation se fera ainsi (figure II.1) :

L'irrigation débute par la parcelle n°5 la plus éloignée du canal tertiaire ;
durée : $13ha \times 4h48 = 62h24$;

On ferme V_4 , on ouvre v_4 , on irrigue la parcelle n°4, durée : 96h00 ;

On ferme V_3 , on ouvre v_3 , on irrigue la parcelle n°3, durée : 28h48 ;

On ferme V_2 , on ouvre v_2 , on irrigue la parcelle n°2, durée : 19h12 ;

On ferme V_1 , on ouvre v_1 , on irrigue la parcelle n°1, durée : 33h36 ;

Puis on recommence le cycle.

Si la valeur de q varie d'une parcelle à l'autre on calcule la surface fictive qui utiliserait la même dose que les autres parcelles et on effectue le calcul comme précédemment.

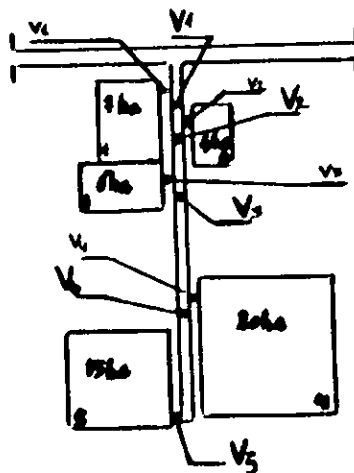


Figure II-1

Dans certains cas la surface du quartier est inférieure à celle définie précédemment et l'arrosage est inoccupé pendant un temps plus ou moins long. Ces temps morts issus des différents arroseurs et cumulés peuvent servir à arroser de nouvelles parcelles.

3.1.2. Rotation sur le canal tertiaire :

Si le débit du canal principal n'est pas continu on y remédie par une rotation sur le canal tertiaire.

3.2. DISTRIBUTION AVEC COMMANDE PAR L'AMONT :

Les besoins des usagers sont collationnés par la direction du périmètre 24h ou 48h à l'avance. Les débits sont réglés en conséquence. Les possibilités du réseau sont calculées au tour d'arrosage.

Les inconvénients du tour d'arrosage sont nombreux ; l'administration doit établir un calendrier rigoureux de l'ouverture et de la fermeture des prises. Le propriétaire ne dispose de l'eau qu'à des moments bien précis et pas toujours favorables pour la plante. Les plantes souffrent de cet état de fait et les gaspillages d'eau sont évidents. Cette méthode exige des agents de surveillance nombreux (voir chapitre IV).

3.3. DISTRIBUTION A LA DEMANDE PAR COMMANDE PAR L'AVAL :

Le principe de ce système est que toute agriculture peut disposer à toute heure du jour et de la nuit d'un certain débit. Chaque parcelle est alimentée par une prise que l'agriculteur peut ouvrir et fermer quand il veut.

L'économie d'eau est importante, le projet d'irrigation est très rentable, la surveillance du périmètre est plus légère.

Le problème se présente comme suit ; il faut déterminer le débit L d'un canal desservant une surface S comportant n prises débitant chacune un débit M (module). Si toutes les prises fonctionnent simultanément L serait égal à $n.M$. Dès que n est suffisamment grand les lois de la probabilité jouent et les demandes des usagers ne sont pas simultanées. Par ailleurs la durée du service n'est pas continue car à certains moments aucun irriguant n'utilisera sa prise. Les calculs de probabilités permettent de résoudre ce problème.

Mode de conduite des calculs : des données de base rapportées à chaque mois de la saison d'arrosage sont :

- Les débits fictifs continus (DFC) des divers secteurs soit q ;
- Le rendement probable de l'installation (rapport entre la durée de fonctionnement et la durée du mois) ;

$$0.66 < r < 0.75 \text{ (soit 16 à 18h par jour)}$$

- Le nombre de prises n par canal étudié ;
- La valeur moyenne du module M ;

La probabilité de fonctionnement normal définie par μ (en général $\mu = 1.615$ ce qui signifie que 5 fois sur 100 la prise ne donnera pas exactement le débit normal. Pour une fois sur 100, $\mu = 2.324$)

On calcul le nombre moyen m de prises en fonctionnement simultanée sit :

$$m = \frac{S \cdot q}{r \cdot M}$$

Avec la formule de CLEMENT, on calcul le débit L de chaque canal en prenant pour n le nombre de prises alimentées directement ou non par ce canal. On remonte ainsi de l'aval vers l'amont :

$$L = \frac{S \cdot q}{r} \left(1 + \mu \sqrt{\frac{1}{m} - \frac{1}{n}} \right)$$

4. INTERVALLE ENTRE LES ARROSAGES :

C'est la durée nécessaire à une plante pour ramener la teneur en humidité du sol à une valeur légèrement supérieure à celle du point de flétrissement.

Dans le cas d'une irrigation par rotation, cet intervalle est défini grossièrement et arbitrairement. On peut affirmer la détermination si on connaît par exemple :

La dose d'irrigation, soit 50 mm ;

Le taux journalier d'ETM, soit 5 mm par jour ;

Dans ce cas, l'intervalle serait de 10 jours.

Par analogie, en admettant l'identité ETP - ETM, on peut à partir des variations de teneur en eau d'un bac d'évaporation, déterminer le moment où il faut reprendre l'irrigation.

Dans le cas d'une irrigation à la demande, on peut soit déterminer par la précédente méthode la durée de l'intervalle, soit mesurer l'évaluation de la teneur en eau des sols à l'aide d'un tensiomètre.

Le tensiomètre permet d'effectuer des mesures directes mais se limitant aux valeurs maximales de l'humidité, il doit être placé au-dessous de la zone qui absorbe le plus d'humidité.

Le bloc de résistances électriques constituées par les électrodes plongeant dans un plâtre permet de mesurer indirectement la tension de l'eau par l'intermédiaire de résistances électriques. Les mesures sont toutefois trop ponctuelles et il faut découvrir les points qui sont représentatifs de l'ensemble du champ.

Ce dispositif est inopérant aux tensions supérieures à 0.7 - 0.8 bars (1bar = 1.02 kg/cm²) et de nombreuses cultures n'ont pas encore besoins d'irrigation à ces valeurs des tensions. De même les tensiomètres ne peuvent être utilisés dans les sols pierreux, graveleux et sableux.

On peut aussi déterminer l'humidité du sol par examen d'un prélèvement à la tarière.

CHAPITRE III :
RESEAUX D'IRRIGATION A SURFACE LIBRE

1. ETUDE DES RESEAUX :

1.1. RECHERCHE DES ELEMENTS DE BASE DE L'ETUDE :

Dans tout pays organisé, on trouve au sein de l'administration des services auprès desquels on trouve des renseignements concernant le périmètre à étudier. L'examen des données connues révèle l'insuffisance de la connaissance sur certains aspects de la région, et il convient de combler les lacunes. Parmi ces services on peut citer :

- Le service géographique et topographique ;
- Le service de la météo ;
- Le service géologique ;
- Le service agricole ;
- Les travaux publics ;
- Les futurs bénéficiaires ;
- Le service de génie rural ;
- Le contrôle administratif.

Aussi, dans la plupart des cas, une campagne d'observations et de mesures est-elle nécessaire pour apporter aux techniciens quelques éclaircissements supplémentaires, indispensables pour appuyer leurs projets sur des bases sûres.

Dans chacune des spécialités principales, l'agronomie, l'hydraulique, le génie civil, la topographie et l'hydrogéologie, nous trouverons des reconnaissances, des observations et des relevés méthodiques qui nous fourniront des données sérieuses en lesquelles nous aurons toute confiance car elles auront été précisément recueillies dans un but déterminé.

L'énumération des services cités plus hauts, nous montre la complexité des facteurs qui entrent en jeu dans l'étude d'un projet d'irrigation. La prise en considération des facteurs peut paraître stérile mais la plupart du temps elle nous épargne bien des déboires.

1.2. ETUDES PRELIMINAIRES :

Cette seconde partie des études a pour but d'utiliser les données de la manière que nous venons de décrire, pour aboutir à un tracé du réseau d'irrigation qui convienne bien au périmètre étudié.

La forme du quartier (figure III.1) et la valeur de la main d'eau (voir chapitre II) feront l'objet de toute l'attention qu'ils méritent. Si l'expérience n'est pas suffisante pour les déterminer avec précision ou si elle laisse une certaine latitude à leur égard, il conviendra de choisir le quartier et la main d'eau qui conduisent à l'aménagement le plus économique, ou le mieux ordonné. En résultera des variantes dans les tracés telle que leur comparaison sera toujours utile, car elle mettra en évidence la solution la plus avantageuse.

Ces études préliminaires ont également pour but de pallier l'insuffisance des données ou plutôt leur imprécision inévitable.

PRINCIPE DE DISTRIBUTION AU QUARTIER

Canal de distribution ou Canal Principal

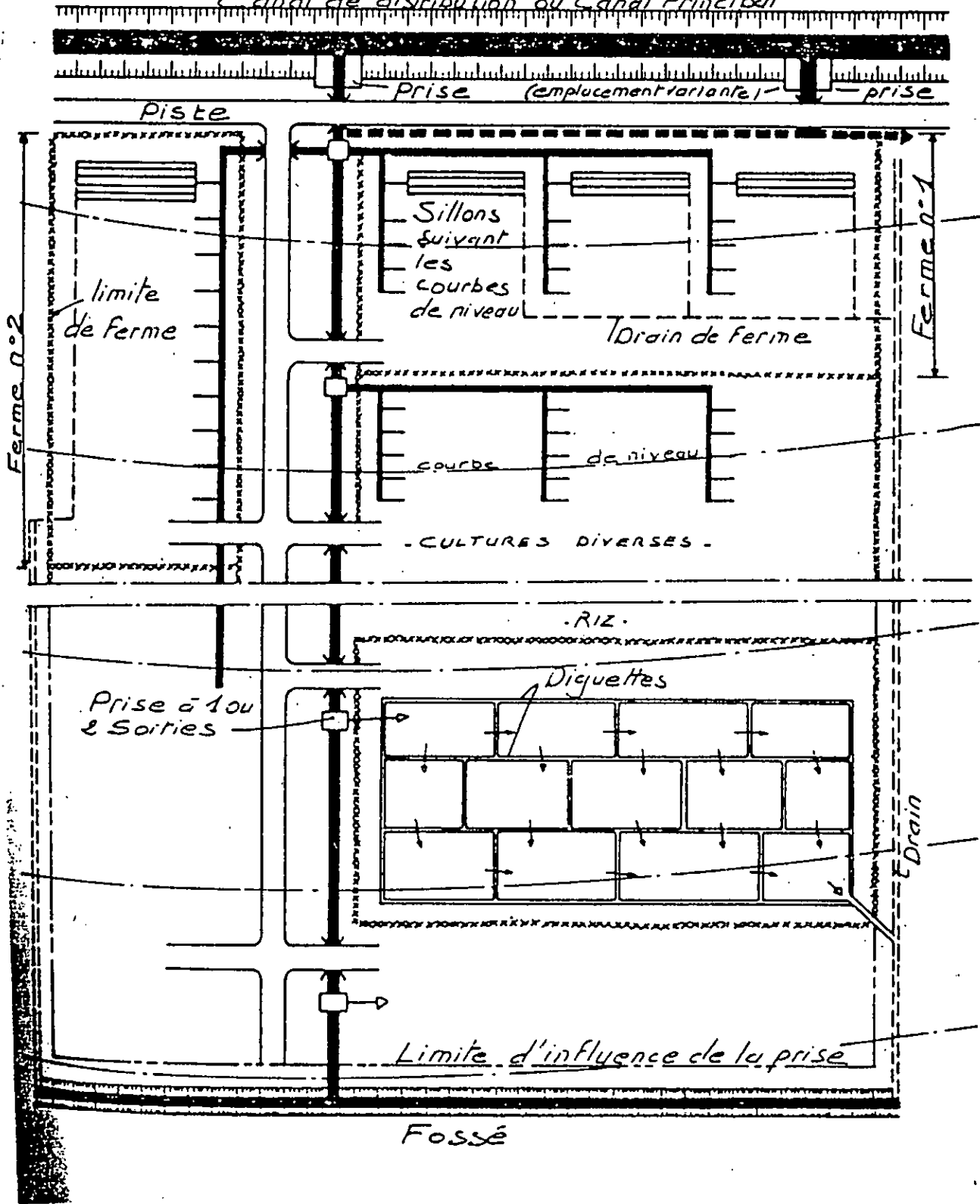


Figure III-1

En effet, prenons l'exemple de la détermination de la quantité d'eau nécessaire à une culture. On a la capacité de rétention, la capacité utile et le point de flétrissement, on a l'impression qu'en faisant l'arithmétique la plus simple, on puisse connaître les besoins des sols et ceux des plantes. Mais la réalité est tout autre, car au lieu de cette arithmétique élémentaire c'est une physique très complexe que l'on essaie de pénétrer. Avant l'irrigation, la teneur en eau du sol croît avec la profondeur. Immédiatement après l'irrigation, la répartition de l'eau s'établit avec une forte teneur au voisinage de la surface alors que les couches plus profondes ne sont même pas affectées. Puis avec le temps, la teneur diminue en surface et augmente en profondeur.

A quel moment atteint-on la capacité de rétention ? , à quel moment arrive - t - on au point de flétrissement ? on ne peut le dire exactement. Quelle tranche de sol une culture donnée intéresse-t-elle ? 40 cm disent les uns, mais cela pourrait être 30 ou 60 cm. La notion de capacité de rétention se trouve bien compromise.

Le programme des cultures se présente lui aussi comme une inconnue du problème. En général les agriculteurs établis sur un périmètre conservent toute liberté d'actions et suivent les fluctuations économiques du marché. Il est difficile de dire à l'avance si telle ou telle spéculation couvre une donnée de la surface irriguée.

Il semble donc intéressant de concevoir donc le réseau en faisant une d'hypothèses quant à ces données. On essaiera de mettre en évidence les éléments du réseau sur lesquels ces imprécisions n'ont aucune influence : on pourra les construire en toute quiétude. Le souci de conserver la possibilité de donner au périmètre diverses orientations agricoles guidera dans le choix du tracé du réseau.

Enfin, la disposition générale des canaux constitue un vaste problème dont la résolution présente plus d'intérêt. Les écartements des différents ordres de canaux ne peuvent être choisis arbitrairement comme il est fait bien souvent. Parmi les multiples manières parmi les multiples manières de conduire l'eau depuis la source jusqu'aux milliers de parcelles du périmètre, il en existe obligatoirement de plus économique. Il convient de la découvrir.

De même, on conçoit qu'il soit possible d'augmenter l'importance d'une catégorie donnée de canaux (secondaires, tertiaires, etc.) aux dépend d'une autre. Des tracés comportant des volumes différents d'une catégorie donnée de canaux, doivent être considérée ; en effet, on sait que les charges sont réparties entre l'état, certaines collectivités locales et les particuliers eux-mêmes. Les variantes dans la conception constituent autant d'éléments d'appréciation qui permettent d'ajuster les projets aux possibilités financières de chacun.

Le résultat final de cette série d'études préliminaire consistera en un ou plusieurs plans d'ensemble sommaires du réseau, accompagnés d'une estimation, à partir desquelles les organismes directeurs pourront prendre toutes les décisions relatives à la mise en valeur du périmètre.

1.3. ETUDES DU PROJET :

Ces études détaillées reprendront le plan d'ensemble auquel aurons abouti les études préliminaires et seront destinées à fixer définitivement les lignes du projet. Le plan général sera adopté à des cartes plus complètes et subira l'épreuve de la confrontation avec le terrain lui-même. Les règles générales citées précédemment seront appliquées sans trop de rigidité ; on cherchera surtout à obtenir un réseau bien disposé, logiquement desservi

2. CONSTITUTION DU RESEAU D'IRRIGATION :

Un réseau d'irrigation complet comprend d'amont en aval :

- Une prise d'eau ;
- Une tête morte qui amène l'eau en tête du périmètre.
- Un ou plusieurs canaux principaux qui font suite ou se détachent de la tête morte et qui dominent chacun une partie du périmètre ;
- Les canaux principaux alimentent des canaux secondaires qui couvrent un «secteur» ;
- Des canaux tertiaires qui se greffent sur les précédents et qui irriguent des surfaces unitaires appelées «quartier». Dans certains cas, il peut y avoir encore une série de canaux quaternaires avant d'arriver aux arroseurs qui sont les dernières ramifications du réseau apportant l'eau parcelles.

De plus le réseau comprend des colatures, des fossés d'assainissement et parfois des drains profonds.

3. PRINCIPE DE DECOUPAGE DUN RESEAU D'IRRIGATION :

Le découpage se fait selon les conditions topographiques et pédologiques des sols rencontrés. Quand le relief du périmètre à équiper se présente avec une topographie régulière, aux ondulations faibles, sa surface peut être assimilée à un plan incliné. Il existe alors de multiples possibilités d'orientation des canaux où la recherche de la meilleure disposition doit tenir compte :

- Du coût des investissements de base du réseau ;
- Du coût de son entretien ;
- Des conditions de fonctionnement du périmètre aussi bien pour les exploitants que pour l'administration qui assure le contrôle ou la gestion.

En Afrique noire, le découpage est aussi basé sur la surface à donner au quartier et cela se fait selon deux conditions :

- La main d'eau distribuée ;
- Le revenu que peut en espérer l'agriculteur.

La plus importante des deux conditions est la main d'eau qui varie théoriquement de 15 à 150 l/s, mais en pratique, elle est de 15 à 60 l/s.

Sur le plan des investissements, nous devons éviter que le quartier ait une superficie trop faible car cela nous donnera une augmentation des canaux tertiaires, ce qui complique l'exploitation du périmètre ; donc pour déterminer la surface d'un quartier il faut tenir compte de :

- La main d'eau ;
- la topographie ;
- le calendrier agricole et les ressources espérées pour l'exploitation

4. LE TRACE DU RESEAU D'IRRIGATION :

Les eaux d'irrigations dont on dispose ne sont pas en général destinées à être utilisées à proximité de la prise ou du captage. Il faut les conduire aux d'utilisation par des appropriés.

D'autres part, les lieux d'utilisation effective sont compris à l'intérieur du périmètre d'irrigation, qui se présente le plus souvent sous la forme d'une surface topographiquement irrégulière. Pour la distribution des eaux, il est nécessaire de les amener si possible dans parie haute du périmètre irrigable afin que chacune des parcelles à arroser puisse être disposée à recevoir l'eau nécessaire en principe par gravité ; si cela n'est pas possible on amène les eaux en un point propice du périmètre, d'où on les reprend par élévation mécanique.

La manière de distribuer les eaux d'irrigation dépend naturellement de la nature et de la situation du point d'alimentation en eau.

Pour dégager un principe général, nous allons résonner sur un cas qui se retrouve souvent, celui d'une prise en rivière pour laquelle d'ailleurs une assez grande latitude existe en ce qui concerne le point précis de la prise.

En se référant à la figure III.2, pour amener les eaux de la rivière R en H_a , point haut du périmètre d'irrigation, le transport se fait selon deux méthodes très différentes

La première consiste par choisir un point de prise 1 suffisamment en amont sur la rivière R pour pouvoir tracer une tête morte (ou branche morte) qui amènera par gravité en H_a et après dans le canal principal les eaux nécessaires à l'irrigation de ce périmètre.

Pour la seconde méthode, on choisit un point 4 au bord de la rivière (en prenant en compte que la distance H_a4 soit la plus petite possible) sur lequel on construit une station de pompage P qui refoulera les eaux dans la conduite de refoulement $4H_a$, laquelle alimentera le canal principal qui domine le périmètre.

De cela, nous devons noter que malgré le fait que du point économie de l'exploitation, il est intéressant d'être alimenté par gravité, il ne faut pas oublier que les travaux d'établissement d'une tête morte très longue sont onéreux et que, le long du canal, qu'il faut d'ailleurs entretenir, se produisent des pertes d'eau très sensibles.

Au contraire, la solution par pompage entraîne des dépenses moins importantes en général de premier établissement, mais des dépenses d'exploitation (main d'œuvre, énergie, entretien, renouvellement des machines, etc.) très fortes.

C'est la raison pour laquelle lorsqu'un projet de ce genre est envisagé, seule une étude précise des deux solutions pourra nous permettre de déterminer celle qui est la plus économique.

Aussi, la possibilité d'une irrigation combinée est même envisageable ; elle consiste à la desserte d'une partie du périmètre par gravité et la desserte de l'autre partie par pompage. C'est souvent une solution de ce genre qui pourra permettre la réalisation la moins onéreuse.

On peut d'ailleurs envisager le fractionnement du périmètre de plusieurs façons possibles.

L'une d'elles pourrait être par le placement de la prise à une cote moyenne, en 2, et la tête morte $2H_b$ alimentera d'une part le canal H_bB desservant la partie basse du périmètre et d'autre part, une station de pompage P' placée en H_b qui refoule par une conduite $P'H_a$ l'eau nécessaire à l'irrigation de la partie haute (du périmètre) qui est distribuée par le canal H_aA .

On peut aussi utiliser une autre façon, qui consiste par placer la prise à une cote encore inférieure, en 3, et établir une tête morte $3H_c$ alimentant le canal H_cC et la station de pompage P'' . Cette station pourra d'ailleurs refouler directement en H_a l'eau nécessaire à la partie haute du périmètre, ou seulement en H_b où un nouveau partage se fera entre le canal H_bB et P' qui ne refoulera plus haut en H_aA et H_bB .

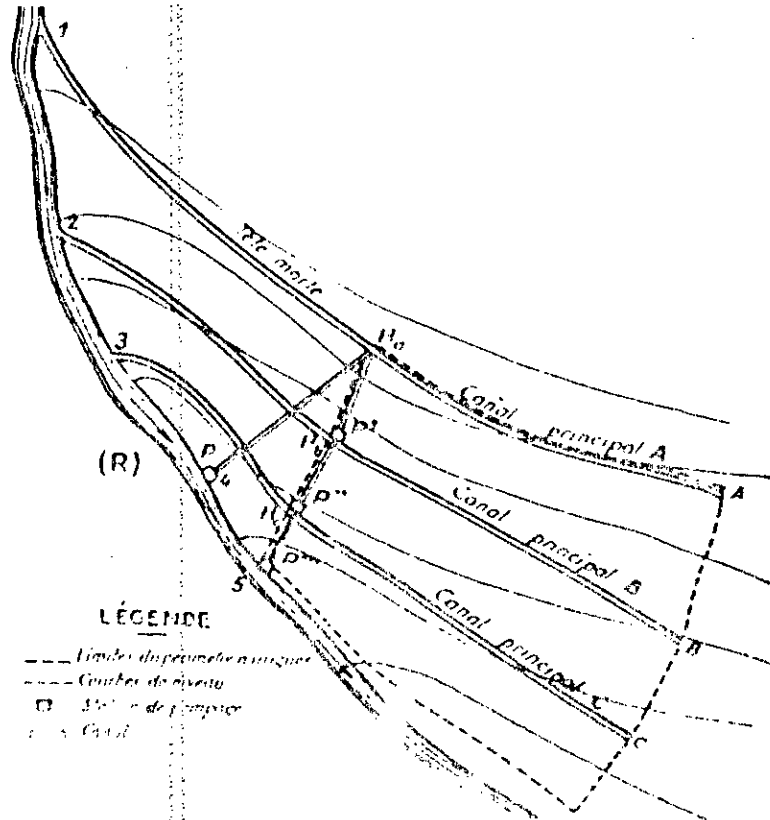


FIGURE III-2

Enfin, on peut concevoir une chaîne P''P''P' de stations de pompage.

De là, on peut noter la souplesse que donne la possibilité d'établir, où cela semble utile, une ou plusieurs stations de pompage mécanique, ce qui diminue l'importance de la topographie du terrain lors de l'ordonnement du projet.

L'étude technique du projet du tracé des têtes mortes et canaux principaux, à recommander d'éviter dans la mesure possible :

- Les terrains trop perméables, surtout quand le revêtement des canaux n'est pas prévue ;
- Les terrains glissants ou susceptibles de le devenir par des infiltrations ;
- Les terrains dont la composition risqueraient d'entraîner l'altération du revêtement bétonné quand ce dernier est prévu.

Il faut donc déterminer avec précision la nature des terrains traversés (consistance, perméabilité) et éventuellement prévoir quand il y a des risques d'éboulement en surface.

S'il y a lieu, le tracé doit être protégé des crues de la rivière ou des marigots venants des bassins versants voisins.

Les canaux secondaires suivent en principe une ligne de faite permettant ainsi de desservir sur chaque coté une surface limitée par les thalwegs voisins. Ces canaux comme les canaux tertiaires qui en issus, suivent en principe de très près la surface du sol tout en ayant un plan d'eau tenu à une cote suffisante pour dominer toutes les parcelles desservies respectivement par chaque canal.

5. LE DIMENSIONNEMENT :

Le dimensionnement des canaux se selon la méthode de distribution (voir chapitre II) ; pour la distribution continue, les débits des canaux se calculent d'aval en amont par pure addition, à la fois des débits continus et des diverses pertes (compte tenu de l'efficiencie).

Il est évident aussi que certaines précautions devront être prises pour tenir compte des modifications éventuelles du plan de culture qui pourraient entraîner des suppléments de débit.

En principe on calcule chaque petit canal pour qu'il puisse satisfaire les besoins des cultures les plus exigeantes, cette éventualité étant envisageable si l'on considère chaque exploitation séparément. Alors que pour les grands canaux (le canal principal ou la tête morte) on les calcule de façon que seuls, les besoins des cultures correspondants au plan des cultures envisagé par les agronomes soient satisfaits : il est en effet impossible que toutes les parcelles soient couvertes dans la même période, par les cultures les plus exigeantes, sinon le plan de culture n'aurait pas de signification.

Le module est généralement plus faible pour les gros canaux que pour les petits ; par expérience on a remarqué un surdimensionnement caractérisant la souplesse. Le rapport chiffrant, le surdimensionnement d'un canal par rapport aux besoins de tête est appelé couramment coefficient de souplesse.

Les valeurs parfois obtenues peuvent être les suivantes :

- Canaux principaux.....1,1
- Canaux secondaires.....1,2
- Canaux tertiaires.....1,5

Alors que pour la distribution par rotation, le calcul doit se faire à différents niveaux, selon qu'on soit à l'intérieur ou à l'extérieur du quartier.

CHAPITRE IV :
LA REGULATION

1. INTRODUCTION :

Dans le sens le plus large, la régulation est synonyme de contrôle ou mieux, de maîtrise du fonctionnement d'un réseau d'irrigation.

Pour plus de détails, nous devons savoir que le fonctionnement d'un réseau d'irrigation nécessite un ensemble d'actions concertées, automatiques ou manuelles, qui deviennent de plus en plus complexes avec le niveau de performance recherché d'un réseau d'irrigation ; sur le plan quantitatif les performances recherchées s'expriment en terme d'efficacité globale ^[1] qui varie de manière considérable entre moins de 20% et près de 100%. Cela dépend de la nature des canaux ou des canalisations, le mode d'irrigation, la nature des sols, etc., et pour une large part de la régulation. L'aspect qualitatif touche la sûreté et la sécurité de fonctionnement, la fourniture de l'eau au bon moment et au bon endroit, etc. et cet aspect n'est pas moins important et il dépend presque exclusivement de la régulation.

Nous, nous allons aborder la régulation dans les canaux à surface libre, en démarrant du fait que ces réseaux et leur équipement doivent permettre d'obtenir tout ou une partie des résultats suivants :

- Répartir et mesurer les débits entre les différents éléments du réseau pendant une période déterminée ;
- Simplifier les manœuvres d'attribution des débits ;
- Pouvoir répondre automatiquement aux demandes des usagers.

Les résultats précédents doivent être obtenus tout en remplissant certaines conditions plus ou moins impératives suivant les réseaux, telles que :

- éviter les débordements en cas de fausses manœuvres soit par consommation exagérée des usagers, soit par envoi aux colatures d'eaux inutilisées ;
- réduire au maximum les pertes de charge.

Aussi on doit tenir compte des techniques de régulation et les appareillages à installer dans ces canaux sont très différents par rapport aux canalisations sous-pression, et du fait que la régulation doit faire face aux différentes possibilités de fonctionnement :

- fonctionnement normal, soit en régime permanent, soit en régime transitoire ;
- fonctionnements anormaux ou dégradés lorsque certains ouvrages sont défectueux que l'on veut maintenir un service minimum ;
- fonctionnement de sécurité en cas d'incident grave mettant en jeu la sécurité des tiers ou des ouvrages.

^[1] Rapport entre le volume d'eau effectivement utilisé par les plantes et le volume d'eau dérivé en amont.

Pour les ouvrages de régulation en réseau à surface libre (en plus de l'ouvrage de tête et des prises de d'irrigation) on dénombre les ouvrages de répartition des débits à chaque embranchement, des régulateurs à intervalles réguliers suivant le type de régulation et la topographie. Tous ces ouvrages interviennent directement dans le processus de régulation ce qui nous fait dire que la régulation des canaux à surface libre est complexe, du seul fait du nombre d'ouvrages concernés.

De manière plus simplificatrice, on peut dire que les différents principes de régulation consistent tous à équilibrer le débit d'alimentation en tête et la somme des débits prélevés aux prises (plus les fuites) en fonction :

- du seul débit d'alimentation en tête (commande par l'amont) ;
- de la somme des débits prélevés (commande par l'aval) ;
- du débit d'alimentation, des débits prélevés et capacités de stockages intermédiaires (dans les biefs des canaux et dans les réservoirs) (commande centralisée).

2. LA COMMANDE PAR L'AMONT :

C'est le type de régulation le plus ancien, pratiquement le seul à être jusqu'au début du XX^{ème} siècles, avant la construction des grands barrages réservoirs ; alors, le débit d'alimentation est fluctuant et incertain, souvent insuffisant en période d'étiage et toute la distribution doit se plier à cette contrainte majeure.

Le rôle principal de la régulation est alors d'assurer le partage de l'eau disponible suivant des règles préétablis qui relèvent de la tradition ou de la législation. Il s'agit toujours de réseaux de canaux où les réglages sont effectués manuellement par vannes ou martelieres aux prises et aux points de partage à une fréquence relativement faible.

L'irrigation gravitaire requiert un débit minimum de 10 à 30 l/s en tête de parcelle ; au-dessous d'une certaine surface, le partage du débit n'est donc plus possible et il faut le remplacer par une alimentation discontinue des utilisateurs à tour de rôle (le tour d'eau, voir chapitre II).

Aussi, nous devons retenir qu'une certaine automaticité peut être obtenue par des seuils, des partiteurs à lame ou des orifices calibrés qui permettent de maintenir la plage de fonctionnement la proportionnalité entre le débit dérivé et le du canal d'alimentation.^[1]

Avec le temps, la régulation par l'amont s'est perfectionné, avec l'apparition des grands barrages-réservoirs, de manière à ajuster le débit d'alimentation amont en fonction des besoins en eau réels. Cela se fait généralement en cumulant d'aval en amont les demandes exprimées par les agriculteurs tous les 10 ou 15 jours.

^[1] En INDE du Nord Ouest ce système (appelé WARABANDI) occupe des surfaces considérables ; ainsi qu'en France où ce type de régulation est utilisé sur la plupart des canaux de basse Durance.

La fréquence accrue des manœuvres et une plus grande précision des réglages nécessaires à la stricte égalité de l'alimentation et des prélèvements à entraîner la mise au point d'appareillages plus perfectionnés tels que les vannes à niveau amont constant, les seuils longs dit « bac de canard », les modules à masques (voir chapitre V) ; parallèlement toute une organisation doit être mise en place pour établir rapidement les tours d'eau et les programmes d'irrigation et ensuite les appliquer.

Tous ce qui a été dit jusqu'à maintenant va être aborder avec plus d'approfondissement dans ce qui suit, cela en partant du fait que la conception de la commande en amont est faite suivant où le canal est équipé ou non, c'est à dire suivant que l'on fait ou que l'on ne fait pas de réglage des niveaux.

2.1. CANAUX NON EQUIPES :

On prend le cas simple d'une prise d'eau débouchant dans une rivière suivie d'un canal principal sur lequel sont piqué un certain nombre de prise d'eau (fig.IV.1) tout en notant que les eaux excédentaires sont dirigées vers la colature. Le débit total arrivant au réseau est réglé en tête par des vannes à commande à main et nous noterons qu'en période de hautes eaux, le canal est bien alimenté par le fait que le niveau dans le canal peut être bas, ce qui ne permet pas l'irrigation des terrains trop élevés.

Ainsi pour pouvoir alimenter, quel que soit le débit dans le canal principal, tout le périmètre irrigable, on est souvent amené à prévoir des dispositions remontant artificiellement le plan d'eau dans les canaux.

D'une manière générale, les réseaux en commande par l'amont et non équipés présentent un certain nombre d'inconvénients qu'on peut résumer en les points suivants :

- Fluctuations importantes du plan d'eau dans les canaux, ce qui engendre un niveau trop bas aux petits débits et réduction du périmètre dominé, aussi une mauvaise conservation des berges qui est due, soit aux expositions prolongées au soleil, soit aux sous-préssions, soit aux attaques des rongeurs etc. ;
- Le canal principal ne peut être utilisé comme réservoir d'eau, d'autant plus que le canal est long et à forte pente, alors que pour les réseaux où l'on n'irrigue pas la nuit, en fin de journée au moment de l'arrêt des irrigations, on perd pratiquement toute l'eau se trouvant dans le canal, le lendemain, au moment de la remise en route, il faut à nouveau remplir le canal.

CANAL NON EQUIPE

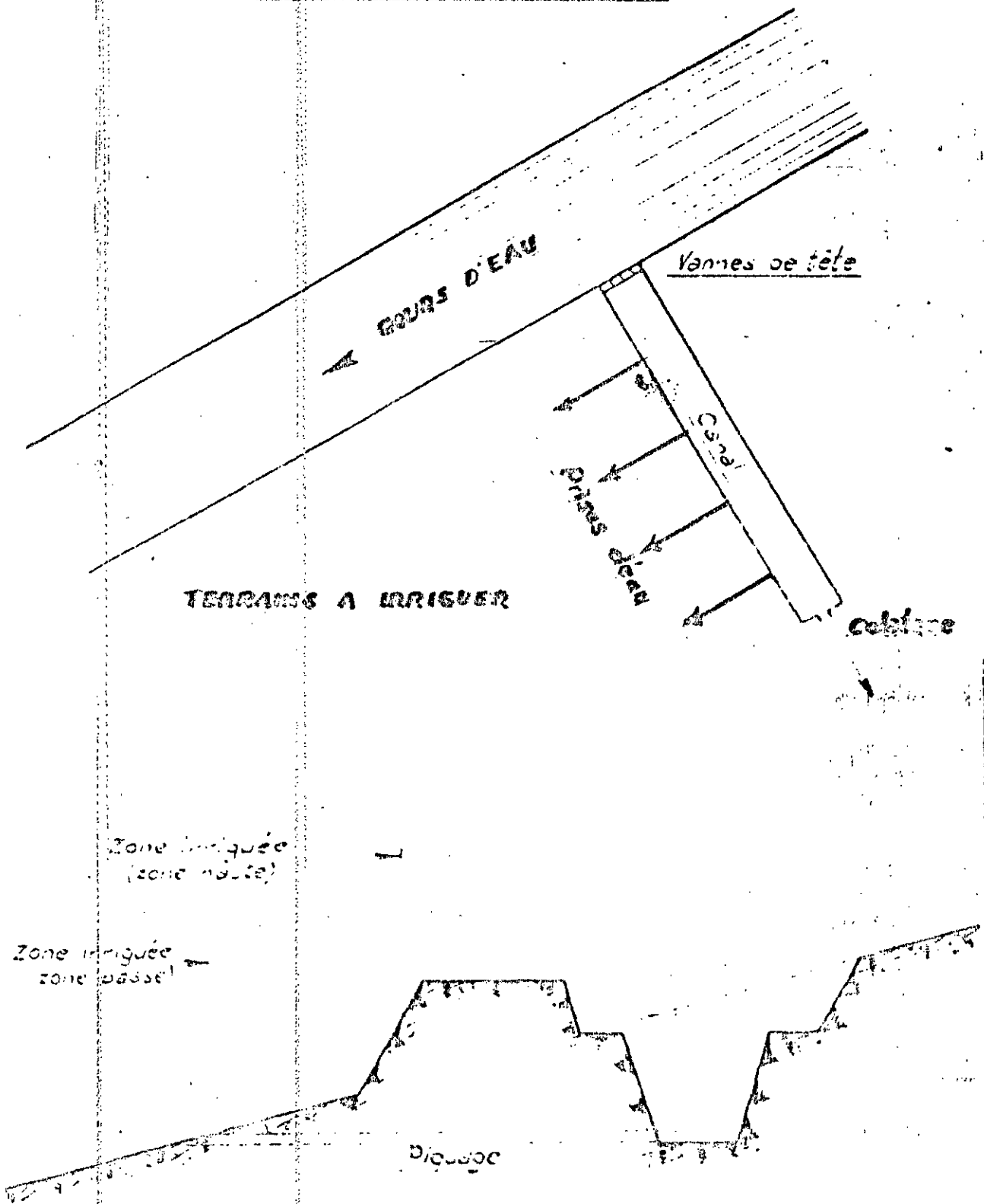


Figure IV-1

2.2. CANAL EQUIPE :

Un certain nombre des inconvénients cités précédemment peuvent disparaître en équipant convenablement les canaux ; cet équipement peut être obtenu par exemple en disposant de place en place des barrages déversant(de préférence amovible) en planche (figure IV-2) ; à ce moment là, on aura des avantages évidents qui sont alors :

- Niveau haut pour tous les débits (même débit nul) juste à l'amont de chaque barrage, c'est d'ailleurs à cet endroit que sont généralement la plupart des prises d'eau donc périmètre important quel que soit le débit dans le canal ;
- Niveau peu variable du plan d'eau dans le canal avec tous les avantages que présentent des conditions de bonne conservation des berges(juste à l'amont du barrage les variations du plan d'eau sont celles de la hauteur de la lame déversante, juste à l'aval ces variations sont égales au produit de la pente du canal par la distance L entre barrages).

Dans l'hypothèse où il peut y avoir des arrêts d'irrigation(pas d'irrigation de nuit par exemple), chaque barrage détermine à son amont un certain volume d'eau qui sert de volant. Ainsi au démarrage, on bénéficie de ce volant et à l'arrêt le canal ne se vide pas.

Mais ces dispositions de «barrages en planches déversants» entraîne toutefois un certain nombre d'inconvénients sur lesquels nous allons maintenant nous pencher.

Si la crête déversante du barrage n'est pas réglable en altitude, a moins de développer exagérément la longueur de crête déversante, le niveau d'eau dans le canal peut varier notablement. De plus ces dispositions peuvent entraîner des pertes de charges inadmissibles ne permettant pas en particulier de passer des débits suffisants.

On peut alors concevoir des barrages réglables en hauteur et dont on arase la crête supérieure à une cote en fonction du débit à faire passer. Cela entraîne évidemment des manœuvres continues des barrages, ce qui peut paraître une sujétion inadmissible.

Mais on peut craindre certains effets de surprise ; tel qu'en période de faibles débits, alors que les barrages sont à leur cote maximum, il peut arriver un orage d'une soudaineté et d'une violence telles que l'on n'ait pas le temps de faire les manœuvres indispensables des barrages de manière à éviter les débordements.

Enfin la solution «avec barrages fixes déversants» favorise la formation de dépôts solides dans le canal. Remarquons que cet inconvénient peut, dans une certaine mesure, être évité en équipant chaque barrage (figure IV-3) d'une vanne de fond.

Dans ce de canaux équipés et en commande par l'amont, on peut utiliser un type de vanne NEYRPIE entièrement automatique, présentant tous les avantages des «barrages amovibles», mais n'en présentant pas les inconvénients précisés ci-dessus.

Ces vannes (qui seront décrites dans le chapitre V) équipent déjà un très grand nombre de réseaux en Afrique du Nord, au Portugal, en Espagne, au Viétnam, en Amérique du sud...

CANAL EQUIPE DE DEVERSOIRS

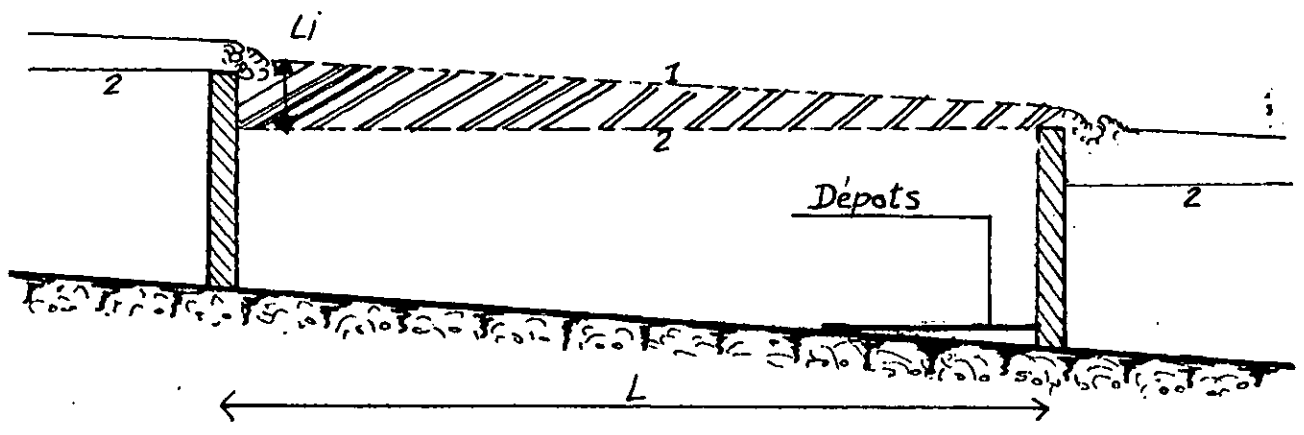
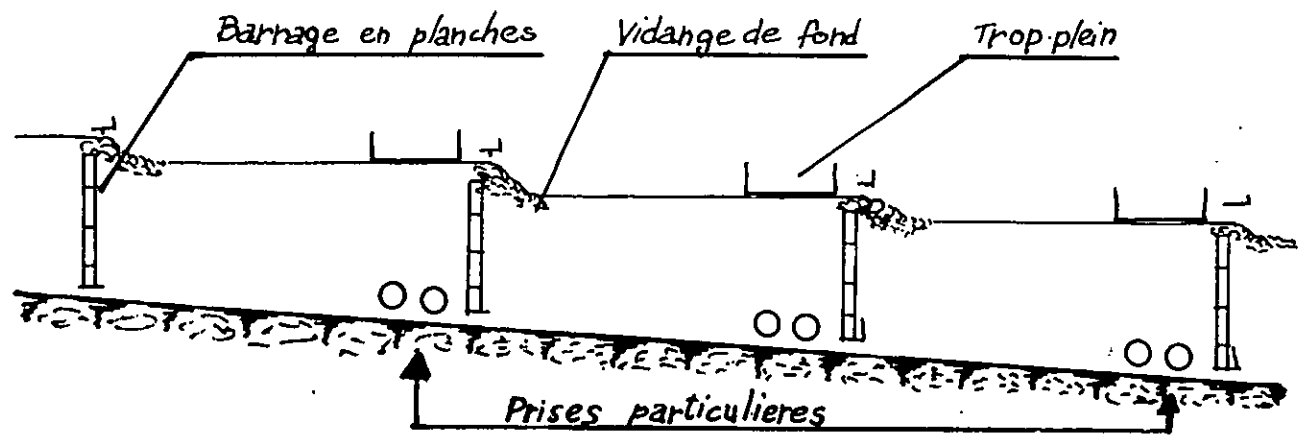
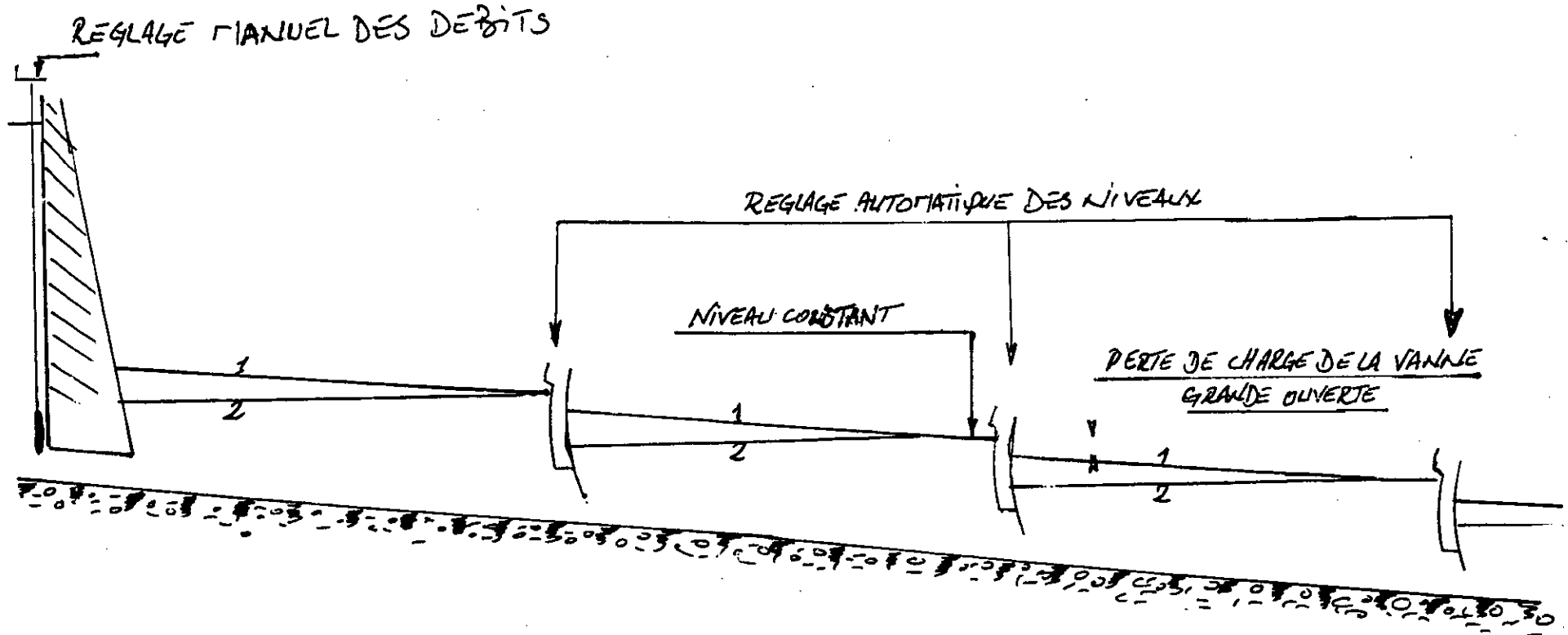


Figure IV-2

CANAL EQUIPE DE VANNES AUTOMATIQUES A NIVEAU AMONT CONSTANT



- 1 - LIGNE D'EAU A DEBIT MAXIMUM
- 2 - LIGNE D'EAU A DEBIT NUL

Ces vannes (figure IV-3) appelées «AMIL», sont à automatisme entièrement hydraulique et ont pour but de maintenir un plan d'eau constant juste à leur amont et cela quel que soit le débit dans le canal. Ces dispositions permettent de bénéficier de tous les avantages des canaux équipés de «barrage déversants» et n'en présentent pas les inconvénients ; en effet :

La position de la vanne « AMIL », (qui est une vanne-secteur munie de flotteur) s'ajuste automatiquement au débit passant dans le canal de manière à maintenir le plan d'eau constant juste à son amont.

De par sa construction, pour le débit maximum prévu dans le canal, la vanne ne trempe que légèrement dans l'eau, n'introduisant de ce fait qu'une faible perte de charge dans l'écoulement (la figure IV-3 schématise les positions des lignes d'eau à débit maximum et nul dans un canal équipé de vannes [AMIL]).

Il n'y a plus de risque de surprise car le temps de manœuvre de la vanne est suffisamment réduit pour qu'elle puisse ouvrir entièrement lors d'un afflux rapide de débit.

Enfin, la vanne étant du type secteur, elle commence à ouvrir à partir du fond, ce qui évidemment correspond aux meilleures conditions permettant d'évier les dépôts. A noter que ces vannes peuvent être maintenues mécaniquement ouvertes, ce qui permet, en dehors de la saison d'irrigation d'effectuer commodément le nettoyage et le rinçage des canaux.

REMARQUES :

Le principe de la commande par l'amont a des qualités indiscutables, mais aussi il a ses insuffisances.

Dans l'hypothèse de l'automatisme de la commande par l'amont (canaux équipés de vannes AMIL), le seul réglage qui soit fait est celui des niveaux ; un automatisme complet nécessiterait aussi que soit fait le réglage des débits, ce qui va nous amener à la commande dite «par l'aval».

Aussi nous ne devons pas oublier que dans le cas de la commande par l'amont, il y a lieu de prévoir un gardien en tête du réseau qui règle les débits envoyés aux canaux de manière à suivre le programme d'exploitation établi à l'avance (ce programme est sous la forme d'un calendrier rigoureux établi par la direction du périmètre pour l'ouverture et la fermeture des prises, ce qui nous amène à dire qu'en disposant de l'eau qu'à des moments précis, les plantes souffrent et les gaspillages d'eau sont évidents).

3. COMMANDE PAR L'AVAL :

La difficulté de coordonner et d'appliquer les programmes d'irrigation sur de vastes surfaces a amené les ingénieurs à rechercher l'automatisme totale des canaux et à concevoir la commande par l'aval qui met en œuvre des vannes à niveau aval constant et des canaux à berges horizontales. En théorie, la méthode est applicable à l'ensemble des canaux d'un réseau, mais pour des raisons économiques, elle n'est réellement utilisée que sur les canaux principaux, ce qui a tout de même l'avantage de partager un grand périmètre en unités indépendantes plus réduites et plus faciles à gérer en régulation par l'amont.

La commande en aval nous donne la possibilité de faire en même temps que du réglage des niveaux du réglage de débit ; c'est dans ce but, nous allons remplacer les vannes «AMIL » prévues sur les en commande par amont pour faire du réglage des niveaux, par des vannes appelées «AVIS » susceptibles de maintenir le plan d'eau constant juste à leur aval, quel que soit le débit dans le canal.

Ainsi dans l'hypothèse d'un réseau en équilibre du point de vue débit et plan d'eau, si un usager ouvre une vanne, il provoque un appel de débit, de proche en proche toutes les vannes «AVIS » manœuvrent et l'ordre de débit remonte en tête du réseau où il y a un dispositif qui ajuste le débit à la demande. Ce dispositif est, suivant les cas :

Soit une AVIS si la cote du plan d'eau dans le réservoir ou dans la rivière alimentant le réseau ne varie pas trop,

Soit une AVIO (vanne à niveau aval constant fonctionnant sur orifice), si la cote du plan d'eau dans la retenue alimentant le réseau est susceptible de varier notablement, soit un obturateur à disque, soit tout autre appareil à niveau aval constant.

Dans ce qui suit, nous allons prendre en considération les différents cas de commande par l'aval (adaptable au matériel NEYRPIC).

3.1. COMMANDE PAR L'AVAL PURE :

On prend comme exemple (figure IV-4) un grand canal à faible pente, branché sur la retenue d'un barrage réservoir.

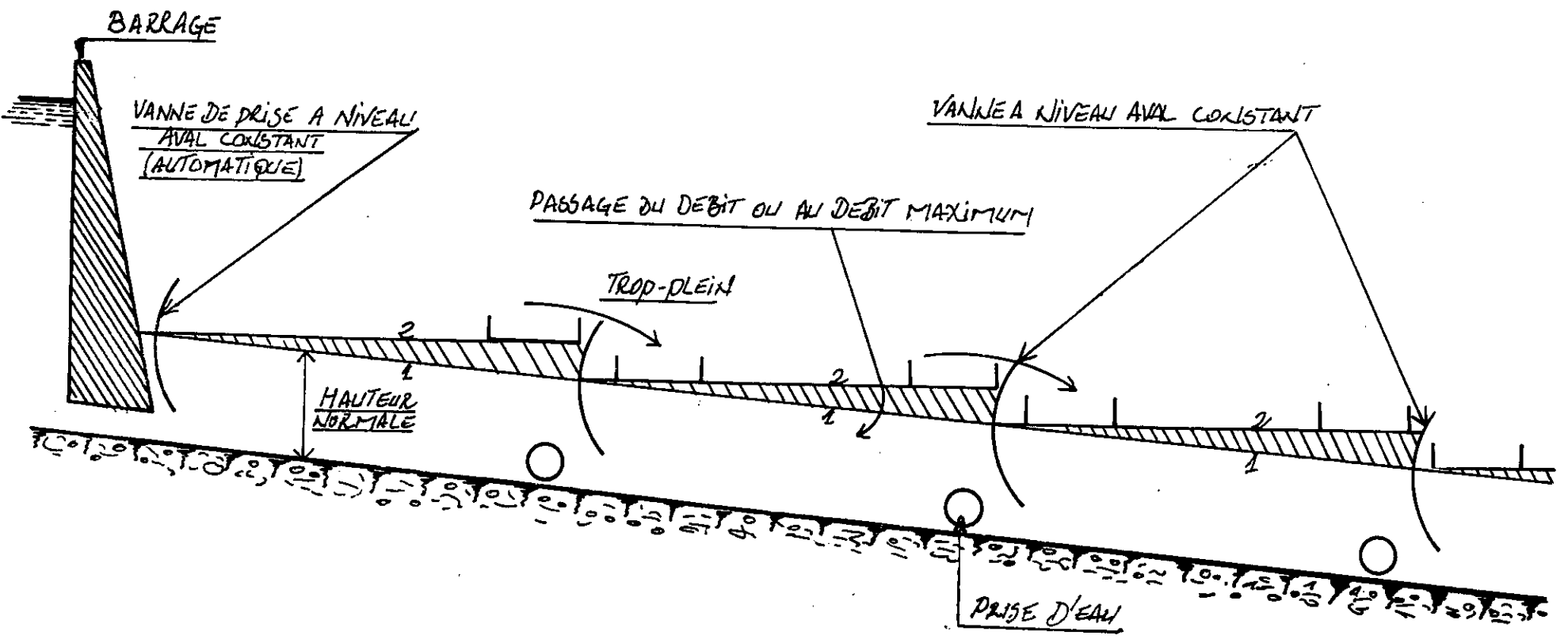
Ce canal est équipé d'un certain nombre de vannes «avis » et possède par exemple en tête une vanne «avio ». Pour le débit maximum, toutes les vannes sont en position haute et la ligne d'eau est schématiser par la courbe (1) sur notre figure, en chaque point du canal la ligne d'eau est dite à sa «cote normale ».

Quel que soit le débit dans le canal, les vannes « AVIS »et « AVIO » règlent la ligne d'eau à la « cote normale »juste à leur aval.Si le débit dans le canal est inférieur au débit maximum, les vannes sont légèrement fermées de manière à créer une perte de charge telle que pour chacune d'elle le plan d'eau à son aval est toujours à la cote normale.

Dans l'hypothèse où le réseau est en équilibre du point de vue débit et plan d'eau, si un usager ouvre une vanne provoquant un appel de débit, de proche en proche de l'aval vers l'amont toutes les vannes AVIS manœuvrent successivement et transmettent cet appel de débit à l'AVIO en tête du réseau qui ouvre en conséquence.

A débit nul, la ligne d'eau dans le canal (figure IV-4) se présente sous l'aspect de biefs successifs à plans d'eau horizontaux(2).

CANAL EQUIPE DE VANNES AUTOMATIQUES A NIVEAU AVAL CONSTANT



- 1. LIGNE D'EAU A DEBIT MAXIMUM
- 2. LIGNE D'EAU A DEBIT NUL

De ce qui à été dit nous apparaissent les avantages suivant :

- En plus des avantages cités dans le paragraphe 2.2 (chapitre IV), le réglage des débits est entièrement automatique et ne nécessite pas d'opérations manuelles, toujours longues et imprécises ; ce réglage tient compte non seulement des demandes normales mais encore des appels dus aux fuites, aux demandes exagérés ou exceptionnelles ;
- Dans chacun des biefs, pour passer du débit nul au débit maximum, le plan d'eau d'abord horizontal bascule autour d'un axe horizontal(déterminé par la position du plan d'eau juste à l'aval de chaque vanne) pour devenir parallèle à la pente générale du canal.

Ainsi, lorsqu'un usager ouvre une vanne, il instantanément dans la réserve-onglet (hachurée sur la figure IV-4) de l'eau qui leur permet de s'alimenter en attendant que le canal se lance.

Malgré cela, la commande par l'aval pure ne présentent pas que des avantages, elle à aussi des inconvénients, que nous allons préciser maintenant :

La commande par l'aval pure est sur le plan économique défendable sur les canaux à faible pente, dans l'hypothèse contraire, on peut être amener à prévoir un très grand nombre de vanne.

En effet nous avons remarqué pour les canaux en commande par l'amont équipés de vannes AMIL, les revanches sont calculées pour la ligne d'eau correspondant au débit maximum ; alors que pour les canaux en commande par l'aval, les revanches doivent être calculées pour la ligne d'eau correspondant au débit nul. Si donc le canal est à forte pente, si l'on veut éviter de prévoir des revanches trop importantes, il faut rapprocher en conséquence les vannes les unes des autres et de ce fait, en augmenter le nombre.

Dans l'hypothèse où, pour une raison indépendante des usagers, le débit susceptible d'être envoyé au réseau est inférieur au débit normalement nécessaire(par exemple, plan d'eau dans le réservoir anormalement bas), si la demande reste la même sur le réseau, les vannes les plus a l'amont vont ouvrir(peut être complètement si le débit total envoyé au réseau est très faible). Ces vannes ne peuvent alors plus régler le plan d'eau dans le canal à leur aval à la cote normale. Les usagers situés à l'amont se trouvent ainsi lésés.

En fait, il ne semble pas que ce soit là, un inconvénient de poids pour des installations alimentées directement par un barrage réservoir ; il est bien évident que si l'eau baisse anormalement dans la réserve, il y aura lieu d'établir un sévère plan de restrictions pour les usagers.

Dans l'hypothèse d'une coupure d'eau brusque du débit maximum, le volume d'eau qui affluerait pendant l'espace de temps correspondant à la transmission des ordres par les intumescences risquerait d'être bien supérieur au volume des onglets et le canal déborderait. Des évacuations convenablement disposées permettrait d'éviter les dégradations des berges, mais il y aurait pertes d'eau.

On peut penser que la probabilité de voir le débit maximum coupé instantanément est certainement très faible. De toutes façons, on pourra toujours imposer aux exploitants un programme déterminé de fermeture et d'ouverture des prises qui fera disparaître cet inconvénient.

Des inconvénients cités précédemment, on a noté que lorsque le débit envoyé au réseau est inférieur à la demande les usagers situés le plus à l'amont sont défavorisés. Ce qui nous amène à étudier la « commande par l'aval, asservi »

3.2. COMMANDE PAR L'AVAL ASSERVIE :

Elle peut être envisagée lorsque l'alimentation du réseau ou la capacité de débit du canal principal peut être inférieure à la demande totale maximum des usagers. Auquel cas, il peut être intéressant d'empêcher que le niveau à l'amont de chaque vanne ne descende au-dessous d'une certaine note minimum d'alarme que nous appellerons N_m .

Du fait d'un afflux important de débit au réseau (crue subite occasionnée par exemple par un orage), le débit qui est envoyé au réseau est supérieur à la demande totale. Auquel cas, il faut empêcher le niveau à l'amont des vannes de dépasser une certaine cote d'alarme que nous appellerons NM (cote par exemple à partir de laquelle le canal commence à déborder).^[1]

Maintenant on va étudier la de la commande par l'aval en canaux réservoirs qu'on peut considérer comme une extension de l'une ou l'autre des deux précédentes (commande par l'aval pure et commande par l'aval, asservie).

3.3. COMMANDE PAR L'AVAL EN CANAUX RESERVOIRS :

Il est toujours possible d'augmenter la section des canaux pour les transformer partiellement en réservoirs de compensation journalière.

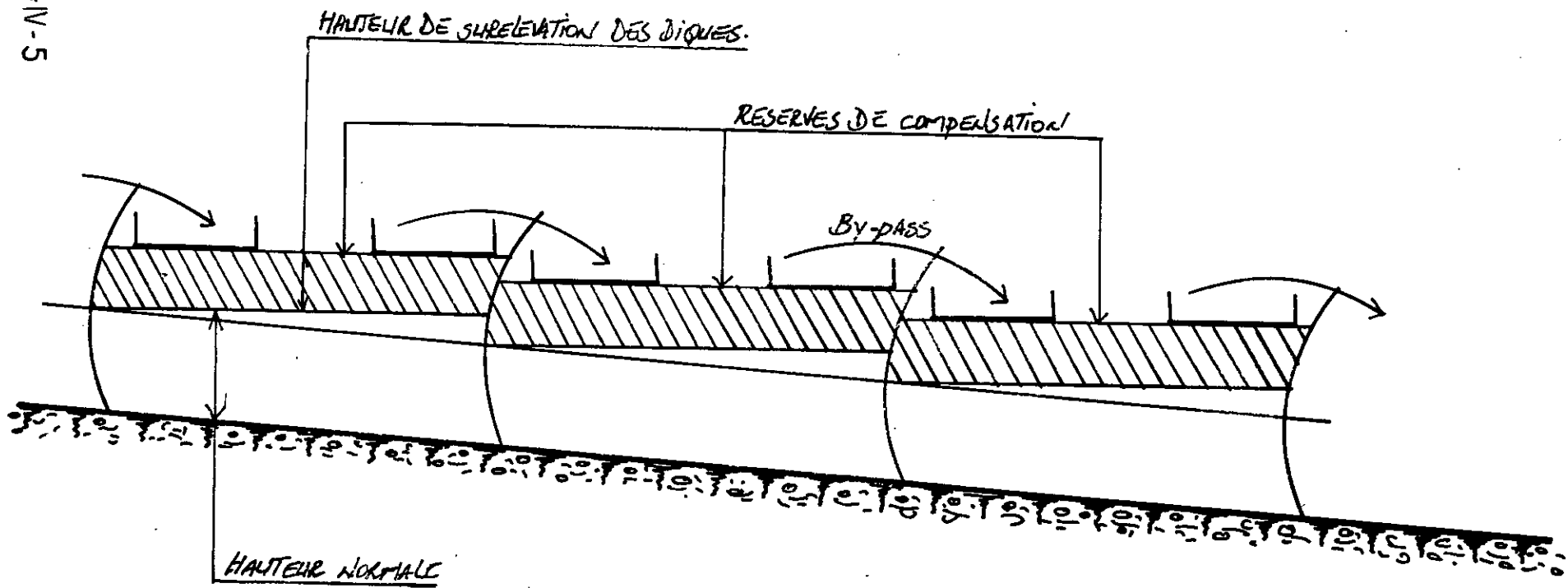
Considérons par exemple (figure IV-5) un canal équipé de vannes « à commande par l'aval pure » et supposons que les digues ainsi que les tabliers des vannes sont surélevés d'une certaine hauteur. A l'amont de chaque vanne, un trop plein conduit au bief suivant tout débit excessif.

Si nous nous plaçons à un moment où la demande correspond à la possibilité maximum de l'alimentation, les vannes automatiques sont grandes ouvertes et la ligne d'eau dans le canal est en chaque point à sa « cote normale ». Dans l'hypothèse où la demande diminue, l'alimentation continuant à débiter au maximum : le premier bief se remplit puis déverse par le déversoir de décharge dans le second bief. Ce second bief se remplit et la vanne qui sépare les deux biefs ferme complètement. Ces mouvements se transmettent de proche en proche de l'amont à l'aval et il arrive un moment où tous les biefs sont pleins, les vannes étant fermées et les déversoirs de décharge en fonctionnement.

Dans l'hypothèse où la demande reprend et atteint une valeur supérieure à la possibilité maximum de l'alimentation, les réserves qui se sont accumulées sont alors utilisées et le canal tend vers son état initial. Cette réserve ainsi obtenue permet d'envisager la possibilité d'avoir un débit moyen demandé.

LA COMMANDE PAR L'ÁVAL EN CANAUX RESERVOIRS

Figure IV-5



LES VANNES SONT TOUTES FERMÉES

CHAPITRE V :
LES OUVRAGES D'ART

1. MODULE A MASQUE : (figure V-1)

1.1. BUT DE L'APPAREIL :

Cet appareil a pour but de laisser passer un débit pratiquement constant, le niveau amont étant susceptible de varier entre certaines limites. Il permet de prélever d'un canal le débit désiré, même dans l'hypothèse où l'on ne fait pas un réglage très correct des niveaux.

1.2. ASPECT ET FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL :

L'appareil se présente sous la forme d'un seuil incliné de forme convenable, surmonté d'un masque métallique judicieusement disposé et incliné, l'orifice laissé libre entre le seuil et le masque peut être à volonté entièrement ouvert ou entièrement obturé par une plaque coulissante qui fait fonction de vanne.

La courbe V-b de la figure V-1.b donne l'allure de la loi hauteur-débit de cet appareil. Soit H la charge sur le seuil ; tout d'abord, la loi hauteur-débit du dispositif est celle d'un simple seuil déversant ; dès que le masque touche l'eau, elle devient celle d'un orifice en charge.

Les essais de cet appareil montrent que dans une certaine zone, à partir de la mise en charge de l'orifice, l'accroissement de charge est compensé par une augmentation de la contraction de la veine liquide, de telle sorte que, entre les charges h_1 et h_2 par exemple l'appareil peut être considéré comme à débit constant.

Pour faire varier à la demande le débit de la prise, on fractionne le module en plusieurs parties par des cloisons. Chaque partie du module pouvant être obturée par une vannette ; on détermine le fractionnement de façon à obtenir tous les débits désirés entre 0 et Q l/s.

Si par exemple le débit total est de 1000 l/s et si l'on désire avoir tous les débits entre 0 et 1000 l/s, de 50 l/s en 50 l/s, on peut diviser le module suivant les cinq (5) parties :

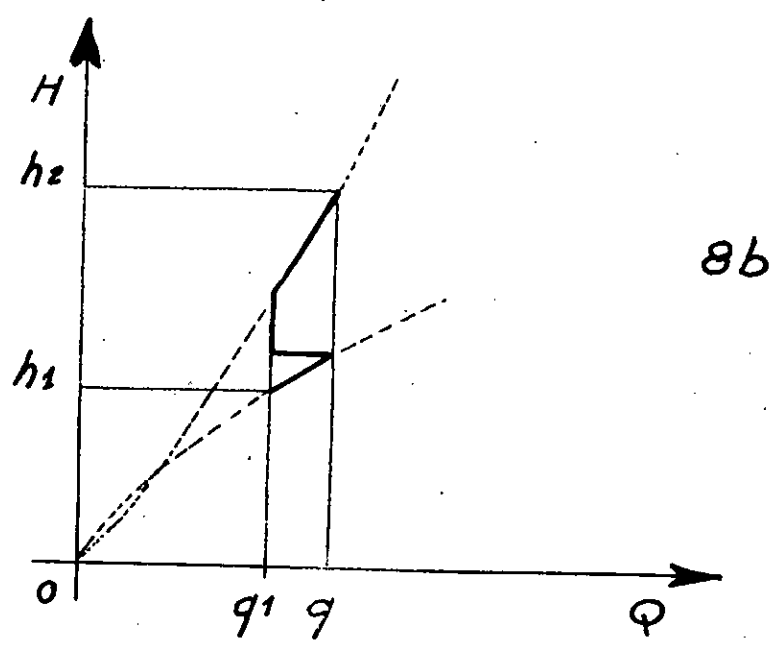
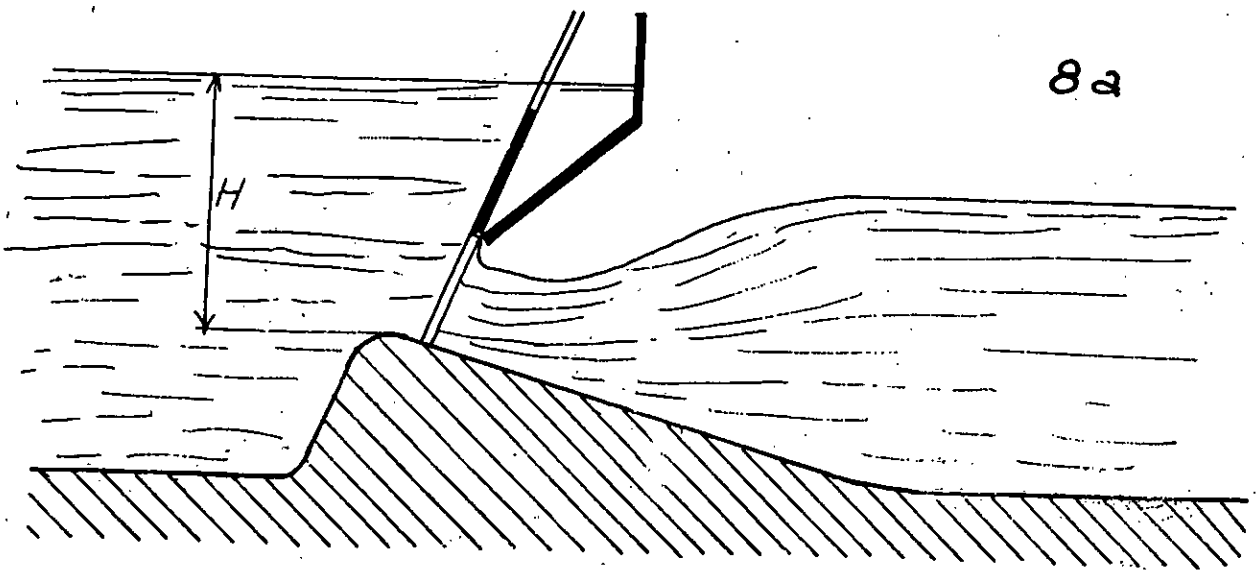
$$50 \text{ l/s} - 100 \text{ l/s} - 150 \text{ l/s} - 200 \text{ l/s} - 500 \text{ l/s}$$

Les formes et la mise en place de cet appareil sont telles que, après l'orifice en charge l'écoulement se fait à surface libre en régime torrentiel. Le passage au régime fluvial dans le canal à l'aval du module se fait par l'intermédiaire d'un ressaut qui récupère une grande partie de l'énergie ; finalement cet appareil nécessite une faible perte de charge pour faire passer le débit.

1.3. REALISATION :

Les modules à masques sont réalisés par des débits de quelques l/s, jusqu'à plusieurs m^3/s . Ils peuvent être également utilisés en tête de galerie pour limiter les débits introduits et éviter sa mise en charge (de tels appareils existent pour des débits de 5 à 6 m^3/s).

MODULE A MASQUE



Allure de la loi Hauteur - Débit d'un module à masque

FIGURE V-1

2. PARTITEUR DE DEBIT :

2.1. BUT DE L'APPAREIL :

Placé en bout d'un canal, cet appareil a pour but de répartir dans deux directions le débit venant de l'amont et cela dans les proportions désirées. De plus, cet appareil fonctionne avec une faible perte de charge et est « infraudable » par l'aval.

2.2. ASPECT ET FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL :

L'appareil se présente sous la forme (figure V-2) d'un seuil incliné de forme convenable sur le quel l'écoulement passe en régime torrentiel ; le raccordement au régime fluvial à l'aval de l'appareil se fait donc par l'intermédiaire d'un ressaut. Là encore, le passage en torrentiel sur le seuil crée une véritable coupure hydraulique entre l'aval et l'amont, de telle sorte que l'appareil est infraudable par l'aval, le débit qui est envoyé dans chacune des deux directions n'est pas affecté par un abaissement du plan d'eau aval ni par un changement de forme du canal à l'aval du seuil.

L'appareil est équipé d'un volet **V** à axe vertical **A** ; ce volet est réglable en position, un secteur gradué **G** permet d'obtenir commodément la répartition choisie des débits dans le branchement. L'appareil réalisant une excellente régularisation des vitesses sur le seuil et une répartition homogène des filets liquides à l'origine du radier conique, les tranches d'eau découpées sur le seuil **S** par le volet diviseur **V** et cela quelle que soit la cote du plan d'eau à l'amont du partiteur.

2.3. REALISATION :

Les partiteurs de débits sont réalisés par des débits allant de quelques litres par secondes (l/s) jusqu'à plusieurs dizaines de mètres cubes par secondes (m³/s).

Sur le même principe, on construit des partiteurs très simplifiés, à volet mobile fonctionnant par « tout ou rien » ; ces derniers appareils sont destinés sur les petits canaux, à envoyer ou couper tout le débit sur les terrains particuliers.

3. VANNE A NIVEAU AMONT CONSTANT : (Vanne AMIL)

3.1. BUT DE L'APPAREIL :

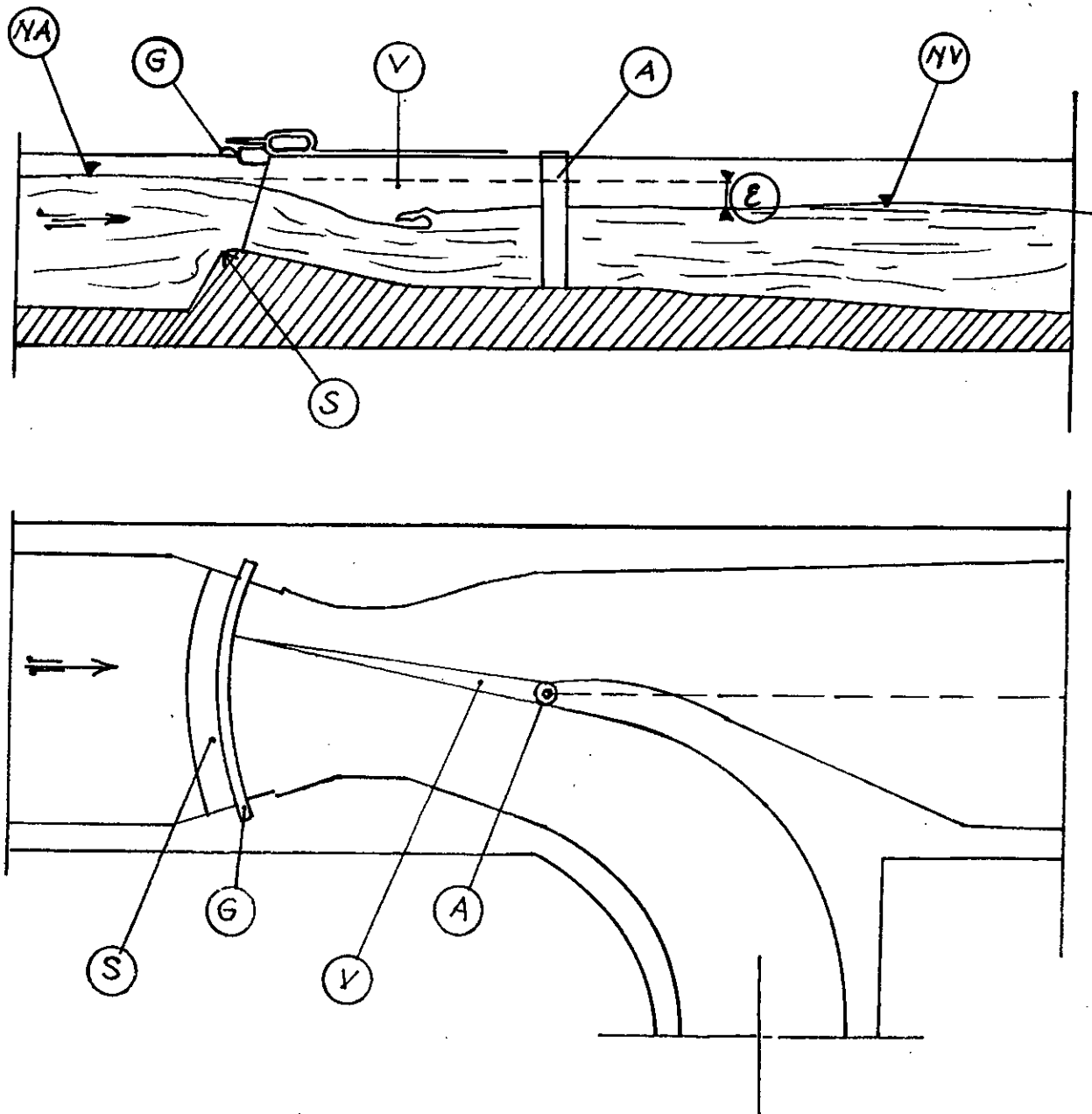
Le rôle de cette vanne est de maintenir juste à son amont un plan d'eau constant dans le canal et cela quel que soit le débit passant sous la vanne.

3.2. ASPECT ET FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL :

La vanne est du type secteur (figure V-3 et planche 3), en position fermée son tablier épouse la forme de la section en travers du canal d'eau dans lequel elle est installée.

PARTITEUR PROPORTIONNEL A FAIBLE PENTE

A VOLET MOBILE



- NA : Niveau amont
- S : Seuil
- V : Volet partiteur
- A : Axe du volet
- G : Secteur gradué
- NV : Niveau aval
- E : Perte de charge

FIGURE V-2

VAINE HYDRIQUE A NIVEAU AMONT CORRETE.

CONDITIONS DE STABILITE.

- 1. axe du flotteur coïncide avec l'axe de la vanne
- 2. niveau amont est constant par la vanne
- 3. centre de gravité de la vanne
- 4. poids de la vanne
- 5. force hydrostatique sur le casé du flotteur
- 6. poids spécifique du fluide
- 7. largeur du flotteur
- 8. δ
- 9. α
- 10. M

La vanne est réglée pour maintenir le niveau amont à une certaine hauteur.

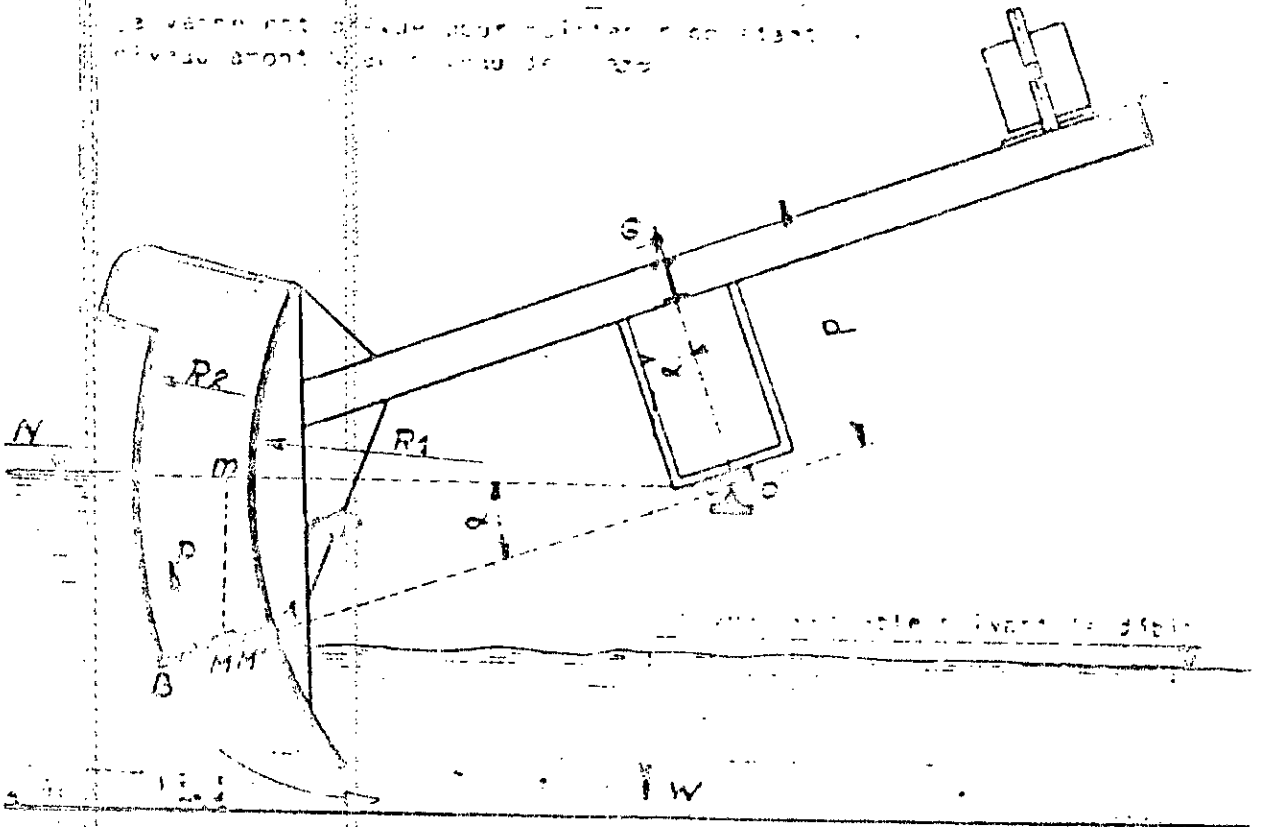


Figure V-3

Elle est équipée d'un flotteur de forme cylindrique soudé à l'amont de son tablier et l'extrémité aval du châssis métallique supporte un contrepoids susceptible d'être déplacé dans deux directions orthogonales.

Sur la figure V-3, nous avons écrit les équations permettant de préciser les conditions d'équilibre indifférent du système (le niveau amont étant réglé, la vanne doit être en équilibre quel que soit le débit passant dans le canal ou, ce qui revient au même, quelle que soit l'ouverture de la vanne.

Le niveau réglé N est sensiblement à la même cote que l'axe de rotation de la vanne. Comme le flotteur amont est un cylindre ayant son axe confondu avec l'axe de rotation de la vanne, les forces en présences sont dues :

- aux pressions agissantes sur la face **AB** du flotteur ;
- à la pesanteur.

Les équations montrent que l'équilibre de la vanne exige que son centre de gravité G se situe sur une normale en O à OAB (figure V-3) ; la distance de O à G est fonction du poids de la vanne.

Comme le montage et le réglages de la vanne sont généralement effectués par les utilisateurs, les deux conditions qui fixent la position du centre de gravité doivent être faciles à réaliser. Une fois la vanne montée, son réglage est décomposé en deux (2) opérations élémentaires. (planche 3)

1°/ Le canal étant à sec, la vanne est disposée horizontalement sur son axe à couteaux. Le contrepoids est déplacé avec son cadre jusqu'à ce que la vanne soit en équilibre ; la première condition est alors remplie ;

2°/ La vanne étant maintenue en position fermée, l'eau est lentement admise à l'amont jusqu'à ce qu'elle atteigne la cote normale (qui est celle de l'axe de rotation). Le contrepoids est alors déplacé à l'intérieur de son cadre perpendiculairement à la direction OAB , jusqu'à ce que la vanne ait une très légère tendance à l'ouverture, la deuxième condition est remplie, le contrepoids est alors bloqué, la vanne est prête à fonctionner normalement.

Remarques :

- La partie supérieure du flotteur porte un prolongement de sécurité qui n'est d'aucune utilité en marche normale.
l'expérience des réseaux d'irrigation a montré que lorsque une vanne reste longtemps fermée dans un canal à sec, les arêtes du tablier peuvent adhérer au béton du canal. Au début de la saison d'irrigation suivante, l'eau envoyée dans les canaux peut trouver des vannes bloquées en position fermée. La protubérance du flotteur permet donc une poussée hydraulique supplémentaire qui soulève rigoureusement les vannes fermées su l'eau dépasse son niveau normal.
- Les vannes sont munies de dash-pot à huile destinés à amortir les oscillations amorcées par les vagues susceptibles de prendre naissance dans les canaux.

3.3. REALISATION :

Pour des débits maximum allant de quelques litres par secondes (l/s) à plusieurs mètres cubes par secondes (m^3/s), on utilise des vannes séries.

Pour des débits importants, chaque vanne peut faire l'objet d'une étude particulière.

4. VANNE A NIVEAU AVAL CONSTANT : (AVIS et AVIO)

4.1. BUT DE L'APPAREIL :

Les vannes ont pour but de maintenir juste à leur aval un plan d'eau constant dans le canal et cela que soit le débit.

Selon leur fonctionnement, on les appelle :

- AVIO, quand elles fonctionnent sur un orifice (figure V-4). Ce type de vanne est utilisé quand le plan d'eau à l'amont de la vanne est susceptible de varier notablement ;
- AVIS, quand l'obturation provoquée dans l'écoulement est occasionnée uniquement par le tablier de la vanne. L'AVIS est utilisée quand le plan d'eau à l'amont de la vanne ne varie pas dans des limites trop importantes.

Dans ce qui suit, il sera fait une description d'une AVIO seulement. (En effet, les principes généraux de fonctionnement de l'AVIS et de l'AVIO sont les mêmes).

4.2. ASPECT ET FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL :

La vanne est du type secteur (figure V-4), en position fermée, elle obture l'orifice amont.

Elle est essentiellement constituée par un tablier et par des flotteurs convenablement disposés.

Cette vanne est équipée elle aussi d'un contrepoids susceptible d'être placé dans deux directions orthogonales.

Le niveau aval réglé N est sensiblement à la même cote que l'axe de rotation de la vanne ; sur la figure V-4, nous avons écrit les équations d'équilibre de cette vanne.

Le réglage de la vanne est effectué en deux temps :

1°/ Le canal étant à sec, la vanne est mise en place sur ses couteaux avec la base de son contrepoids en position horizontale. Le contrepoids est déplacé avec son cadre jusqu'à ce que la vanne soit en équilibre ; la première condition est alors remplie.

2°/ La vanne est complètement ouverte et le débit sous le tablier réglé à sa valeur maximum, le niveau aval étant à la cote de l'axe, le contrepoids est déplacé dans les rainures du cadre jusqu'à ce que la vanne soit en équilibre ; la deuxième condition est alors remplie.

Remarque :

Ces vannes sont actuellement réalisées pour des débits allant de quelques litres par secondes (l/s) jusqu'à plusieurs dizaines mètres cube par secondes (m^3/s).

5. VANNE A NIVEAU AVAL CONSTANT
ASSERVIE A CERTAINES CONDITIONS DE NIVEAU AMONT :

5.1. BUT DE L'APPAREIL :

Cette vanne a pour but de maintenir un niveau constant à son aval tout en surveillant le niveau dans le canal juste à son amont.

Quand ce dernier est inférieur à une certaine cote, la vanne ferme entièrement de manière à éviter des mises à sec trop importants du canal.

Au contraire, quand il devient supérieur à une certaine cote, la vanne ouvre entièrement de manière à éviter les débordements.

5.2. ASPECT ET FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL :

C'est une vanne de type secteur, équipée de flotteurs particuliers.

Les essais de cette vanne sur modèle réduit ont donné entière satisfaction et que dès aujourd'hui on entreprend la construction de ce type de vanne pour l'Afrique du Nord, pour des débits de plusieurs mètres cubes par secondes (m^3/s).

6. OBTURATEUR A PLAQUE :

6.1. BUT DE L'APPAREIL :

Cet appareil a pour but de maintenir un niveau quasi constant à son aval.

Utilisé avec une batterie de modules, il peut ainsi faire du réglage de débit et cela même si la conduite d'amenée d'eau est piquée sur un canal dans lequel il n'est fait aucun réglage. (figure V-5)

6.2. ASPECT ET FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL :

L'appareil se présente sous forme très simple, il est essentiellement constitué par :

- l'obturateur proprement dit : disque métallique plan ou légèrement conique ;

VANNE NEYRPEC A NIVEAU AVAL CONSTANT.

- O : AXE DU FLOTTEUR COINCIDENT AVEC L'AXE DE LA VANNE
- N : NIVEAU AVAL REGLE CONSTANT PAR LA VANNE
- G : CENTRE DE GRAVITE DE LA VANNE
- W : POIDS DE LA VANNE
- P : FORCE HYDROSTATIQUE SUR LA BASE DU FLOTTEUR
- γ : POIDS SPECIFIQUE DE L'EAU
- D : LARGEUR DU FLOTTEUR
- MM' : $d\phi$

LA VANNE EST PREVUE POUR MAINTENIR CONSTANT LE NIVEAU AVAL N.
AU NIVEAU DE L'AXE O.

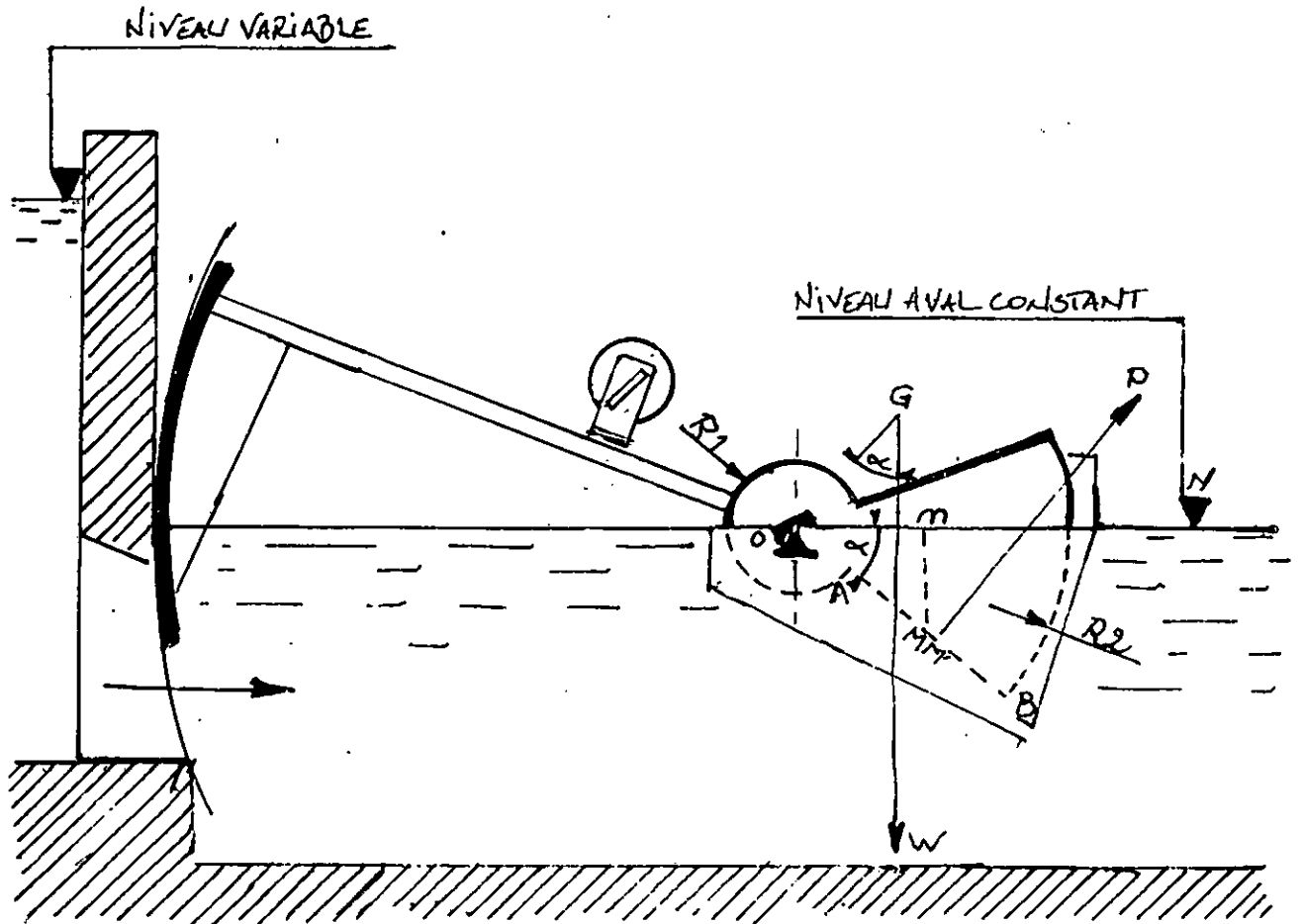


Figure V-4

OBTURATEUR A PLAQUE

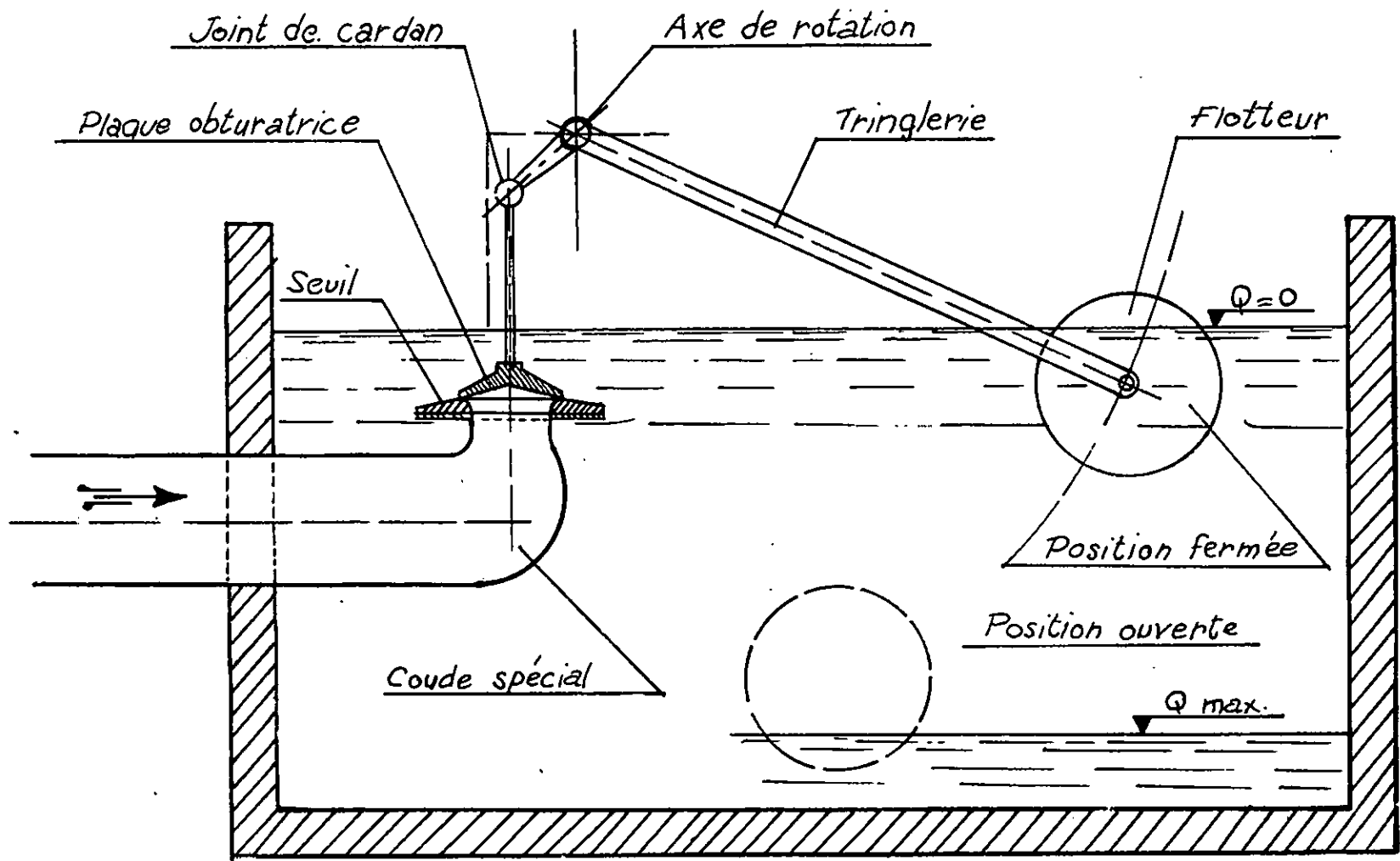


Figure V-5

- une triangelerie adaptée aux conditions particulières ;
- un flotteur.

Les forces antagonistes agissantes sur l'appareil sont :

- Les efforts hydrodynamiques agissants sur l'obturateur ;
- La poussée due au flotteur ;
- Les forces de pesanteur.

L'appareil règle le niveau à son aval avec un certain décrément qui est fonction des caractéristiques choisies (de l'appareil) et des conditions à l'amont. Si l'appareil à plaque est utilisé avec une batterie de modules, son décrément ne doit pas dépasser la tolérance des modules. Dans l'hypothèse contraire, quand le respect de la tolérance des modules conduit à un obturateur trop encombrant, on utilise alors un relais hydraulique particulièrement simple, qui permet d'obtenir le décrément convenable.

Remarque :

Cet appareil se présente très simplement et a un champ d'application de plus en plus étendu.

Il n'a besoin d'aucun guidage, le disque se centre en effet de lui même sur le jet sortant de la tuyauterie. Il n'y a aucun frottement et toutes les articulations sont hors de l'eau.

6.3. REALISATION :

Cet appareil peut être utilisé pour des débits allant de quelques litres par secondes (l/s) à plusieurs mètres cube par secondes (m³/s).

7. SIPHONS :

7.1. BUT DE L'APPAREIL :

Les siphons en tôle normalement utilisés sur les canaux d'irrigation sont livrés entièrement montés et se mettent en place aisément sur un génie civil très simple.

Ils n'ont aucune pièce mobile et ont un fonctionnement sûr, automatique et progressif.

Quand le plan d'eau à l'amont du siphon dépasse la cote normale imposée, il commence à fonctionner en simple déversoir, il s'amorce ensuite rapidement.

Toutefois, entre les deux extrêmes de fonctionnement, le siphon fonctionnant en déversoir et le siphon amorcé fonctionnant à plein débit, c'est grâce à un dispositif appelé « boîte de partialisation » (ne faisant intervenir aucune mécanique), le débit évacué par le siphon est asservi à la cote du plan d'eau amont et croit avec celle-ci.

Cette boîte de partialisation se présente sous la forme d'un orifice de formes convenables et judicieusement disposé ; elle est suivie d'une tuyauterie qui amène un débit d'air variable au droit de la gorge du siphon, ce qui permet un réglage des dépressions et donc des débits.

Remarque :

Certains appareils peuvent être utilisés en lieu et en place des vannes AVIS ou AVIO quand l'intérêt d'avoir de faibles pertes de charges n'entrent pas en considération.

CHAPITRE VI :
LES CANAUX D'IRRIGATION

Partie 1 :
Les problèmes généraux posés par les canaux

Le but d'un canal d'irrigation est d'amener une quantité d'eau de la source d'alimentation au point de livraison, de la manière la plus efficace, c'est à dire au bas prix, aux plus faibles frais d'exploitation.

1. LES PROBLEMES GENERAUX POSES PAR LES CANAUX :

La conception et la réalisation des canaux d'irrigation à surface libre sont fonction :

- des caractéristiques du terrain de soubassement ;
- de l'écoulement de l'eau dans le canal ;
- des pertes d'eau par infiltration ;
- des actions de l'eau sur l'ensemble revêtement-sol du soubassement ;
- des critères de revêtement d'un canal.

1.1. LES CARACTERISTIQUES DU TERRAIN DE SOUBASSEMENT :

Quel que soit le type de canal à concevoir (en terre, revêtu ou préfabriqué) l'élément de soutien est toujours le sol, d'où l'importance de l'étude de ce dernier. En démarrant du fait que l'infiltration est le défaut le plus grave d'un canal, l'étude de la composition du sol le long du tracé d'un canal est très importante, ce qui nous amène à faire très attention à la perméabilité qui est influencé à la fois par la dimension des pores et par le pourcentage des vides (la porosité) en notant que les sols les plus imperméables sont ceux constitués de graviers et d'argile, alors que les terrains à structure granulaire (sable, etc.) et les terrains à microfissures et fissures ouvertes (calcaires, grès, etc.) présentent des perméabilités non négligeable.

Pour la stabilité du profil, elle est tributaire de la constitution du sol qui est soit en matériaux sans cohésion (sables, graviers, galets) soit en matériaux avec une cohésion plus ou moins grande (argile, argilo-sableux, roches, etc) qui présentent, en général, une excellente stabilité.

Les terrains à forte cohésion, dans la mesure où la roche est saine, donnent des talus verticaux.

Alors que les pour terrains à faible cohésion les terrains argileux et les terrains gypseux donneront des glissements de talus et/ou la détérioration du revêtement ; si on est devant d'autres terres, les meilleurs sont les hétéro-granulométriques. Aussi, on doit tenir compte du fait que si la stabilité n'est pas atteinte naturellement, il est nécessaire de rechercher une zone d'emprunt (même avec un transport assez long).

On ne peut terminer ce point sans retenir le fait que le tracé passant par des roches tels que les calcaires, grès rend difficile les travaux de terrassement qui sont plus aisés dans les terrains à faibles et moyenne cohésion.

1.2. ECOULEMENT DE L'EAU DANS LE CANAL :

Le transport de l'eau doit être assuré dans les meilleures conditions économiques possibles.

Pour un profil donné il s'écoule un débit maximum.

La rugosité des parois et du fond est la plus faible possible. Les deux éléments dépendent directement du matériau choisi, qui devra de plus résister à l'érosion de l'eau en mouvement.

Avec l'âge, la couche de surface des parois et du fond se dégrade et entraîne un accroissement sensible de la rugosité, ce qui modifie le profil hydraulique de l'écoulement.

1.3. LES PERTES D'EAU PAR INFILTRATION :

Leurs importances dans les canaux en terre est la raison principale de l'amélioration de ces derniers par divers revêtement, car elle minimise ou plutôt elle touche à l'une des qualités essentielles d'un canal qui est son étanchéité.

Les pertes sont liées essentiellement :

- Aux caractéristiques du sol dans lequel se réalise le canal ;
- A la hauteur d'eau dans le canal, au périmètre mouillé de celui-ci et à la position de la nappe phréatique ;
- Aux quantités de matériaux charriées par l'eau et à la vitesse d'écoulement dans le canal.

1.4. LES ACTIONS DE L'EAU SUR L'ENSEMBLE REVETEMENT-SOL DU SOUBASSEMENT :

Le contact intime entre les milieux liquides et solides entraîne des problèmes complexes sous cités.

1.4.1 Les sous-pressions :

Elles peuvent prendre naissance soit par infiltration des eaux de pluie sous les revêtement et par apport des pertes au travers du revêtement, soit quand le canal recoupe la nappe phréatique ou une zone plus perméable (lentille de graviers)

Les sous-pressions sont à craindre quand il y a un revêtement étanche entre l'eau du canal et l'eau du sous-sol. Ainsi, lors de la vidange d'un canal (phénomène rapide par rapport aux écoulements en milieu poreux), une sous-pression prend naissance.

Lutter contre les sous-pressions nécessite que l'on précise les valeurs relatives de perméabilités du revêtement et du terrain sous-jacent. Ainsi, le canal est situé entièrement dans la nappe phréatique (ce qui est un cas rare), le revêtement devra être perméable. Les fuites seront réduites, voire nulles et les sous-pressions inexistantes. Mais, dans le cas le plus courant d'un canal situé au-dessus de la nappe phréatique, on aura les cas suivants :

Perméabilité du terrain constituant le corps du canal	Fuite du canal en terre	Revêtement	Sous-pressions
Faible	Négligeable	Pourra être perméable	Nulles
Forte		Étanche	Nulles dans deux cas : 1) où le terrain, suivant la valeur de cette perméabilité, constitue la couche de drainage permettant de supprimer les sous-pressions ; 2) le drainage est assuré par une couche drainante artificielle ou une buse poreuse longitudinale avec évacuation de l'eau (l'évacuation de l'eau sous-jacente vers le canal est assurée par des clapets).

1.4.2. Erosion du canal :

Le transport de l'eau s'effectue suivant une certaine vitesse. Cette vitesse doit toujours être inférieure à la vitesse d'entraînement des particules des parois de fond, (ainsi, la vitesse autorisée dans un canal en terre peut être aux environs de 5 fois plus faible que celle dans un canal bétonné), sinon, on aura le phénomène d'érosion.

1.4.3. Contacts ouvrages en durs-terre :

Un canal en terre comporte un certain nombre d'ouvrages en durs (ponts, prise d'eau, buses, etc.). le contact entre ces ouvrages et le sol compacté ou non est un lieu privilégié d'érosion. Le même phénomène a lieu quand le revêtement des canaux en terre est intermittent.

On protège ces raccords en créant des parfoilles et en compactant soigneusement la terre le long du contact.

1.4.4. Corrosion chimique :

L'eau du canal ou du terrain peut être agressive pour le revêtement du canal, de ce fait, le béton et le ferrailage ont une longévité réduite. Dans le cas où l'eau serait reconnue agressive, la solution consiste, en général, à utiliser soit un béton à base de ciment sulfaté, soit du béton spécial étanche.

1.5. CRITERES DE REVETEMENT D'UN CANAL :

La décision de revêtir un canal est prise en prenant en considération les points suivants :

- la présence d'une nappe phréatique ;
- la cote du niveau piézométrique de cette nappe par rapport au plan d'eau du canal ;
- la perméabilité du terrain ;
- le retrait ou le gonflement du terrain ;
- la topographie du terrain environnant.

1.5.1. Conditions imposées par la nappe phréatique et la perméabilité :

En fonction des trois premiers critères sus-cités, on a le cas d'absence de la nappe phréatique ou nappe phréatique à niveau bas par rapport au canal et le cas d'une nappe phréatique à niveau supérieur au fond du canal.

A/ Absence de nappe phréatique ou nappe phréatique à bas niveau par rapport au sol :

Pour un terrain perméable, c'est un revêtement qui s'impose nous devons avoir un revêtement étanche sans autres précautions qui s'impose, alors que pour un terrain peu perméable et inaltérable nous avons les cas suivants :

1^{er} cas : pour un terrain stable et saturé par les eaux du canal, il n'est pas nécessaire de faire de revêtement sauf si les berges sont érodables (revêtement non étanche localisé).

2^{ème} cas : pour un terrain instable, nous devons faire un revêtement étanche et drainé, tel qu'il évacue l'eau des drains hors du canal (sinon la nécessité de risbermes).

3^{ème} cas : pour un terrain gonflant et un revêtement étanche et drainé, on doit charger le terrain à une pression supérieure à celle du gonflement.

B/ Nappe phréatique à niveau supérieur au fond du canal :

Dans l'hypothèse que le niveau de la nappe est au-dessus du niveau d'eau du canal, on crée un revêtement perméable, à condition que l'eau de la nappe ne pollue pas celle du canal, et on draine vers le canal. Les berges devront être stables en cas de vidange de canal.

Dans l'autre hypothèse, où le niveau de la nappe est compris entre le fond du canal et le niveau d'eau, on a les cas suivants :

- Pour un terrain perméable, on met un revêtement étanche et on draine vers le canal ; les berges devront être stables. Les drains seront équipés à leurs débouchés dans le canal de clapets anti-retour ;
- Pour un terrain peu perméable, selon le cas :
 - si le terrain est stable, un revêtement ne s'impose pas sauf contre l'érosion des berges (revêtement perméable localisé) ;
 - s'il est instable, il faut revêtir et drainer ;
 - s'il est gonflant, un revêtement et un drainage efficace anti-retour s'imposent.

5.2. RETRAIT OU GONFLEMENT DU TERRAIN :

D'une manière générale, ce type de terrain s'accommode mal des revêtements rigides, il vaudra mieux prévoir un revêtement souple.

Parfois lorsque le canal doit traverser cette catégorie de sols sur une longueur réduite, il est peut être avantageux d'éliminer ces sols par surcreusement jusqu'à une certaine profondeur, et les remplacer par du sable ou tout autre matériau pouvant convenir comme sol de fondation pour un revêtement à surface dure.

5.3. LA TOPOGRAPHIE :

les canaux revêtus s'adaptent aux conditions du terrain d'une façon plus satisfaisante que les canaux en terre. Cela résulte principalement des vitesses admissibles compte tenu de la nature des parois. Les revêtements en dur (béton) qui admettent des vitesses plus conséquentes, permettent en particulier de mieux suivre les courbes de niveau, du fait qu'on peut y prévoir des rayons de courbure extrêmement faibles, et demandent également moins d'ouvrages destinés à rattraper les différences de niveau, du fait de la possibilité d'adopter des pentes plus fortes.

Partie 2 :
Caractéristiques techniques générales
des canaux d'irrigation

1. TRACE :

Pour le tracé, on doit faire attention à des faits très importants, qu'on peut résumer en les points suivants :

- Eviter les terrains glissants ou que les infiltrations pourraient rendre tel ;
- En principe, comme dans un tracé de route, on doit rechercher un équilibre de déblais et de remblais, avec la réserve toutefois que les remblais sujets à infiltration et à tassement doivent être limités et les profils entièrement en remblais à rejeter, sauf exception ;
- Dans le tracé des canaux secondaires et tertiaires on s'astreint à beaucoup moins de sujétions que dans celui du canal principal. Les canaux secondaires suivent la plupart du temps une ligne de faite et desservent sur chaque coté une surface limitée par les deux thalwegs voisins dont l'ensemble forme un «secteur» ; ces thalwegs sont généralement occupés par deux affluents du cours d'eau qui alimente en amont le canal principal. Pour ces canaux on suit le plus souvent de très près la surface du sol de sorte que leur pente est variable ; malgré cela, puisqu'ils suivent des lignes de faite, ces canaux dominent continuellement les terres avoisinantes et peuvent sans peine les alimenter en eau ;
- Les rigoles de répartition et distribution (qui amènent l'eau aux parcelles) ne sont, contrairement aux canaux, mises en eau qu'à certains moments. Leur tracé suit autant que possible la limite des parcelles ; leur pente est celle du sol dont elle suit ainsi exactement le relief. Ces rigoles sont souvent très sinueuses et leur profil est irrégulier ; seul un remaniement parcellaire, concomitant à la création du réseau, permettant un tracé rationnel.

2. PROFILS EN LONG ET PROFILS EN TRAVERS :

2.1. VITESSE DE L'EAU :

L'établissement du projet de profil en long du canal principal, et de sa tête morte en particulier, nécessite une étude approfondie en relation avec celle de son tracé. On n'hésitera pas, s'il le faut, pour obtenir toute sécurité et un écoulement parfait, à l'écarter du profil du terrain naturel grâce à des ouvrages d'art.

Pour les canaux moins importants, et encore davantage pour les rigoles de distribution, on s'efforce de suivre la pente naturelle du sol et d'éviter ces ouvrages d'art.

Le fait de parler de la pente nous amène à aborder la vitesse de l'eau ; la pente doit être telle que la vitesse de l'eau, tout en assurant un débit suffisant, n'entraîne pas une érosion du fond et des parois.

On a les relations approximatives suivantes :

$$U = 0.80V$$

$$W = 0.60V$$

Avec :

U = vitesse moyenne de l'eau dans le canal.

V = vitesse à la surface.

W = vitesse au fond.

Les vitesses maximales admissibles suivant la nature du lit du canal sont les suivantes :

LIT DU CANAL	W VITESSE MAXIMALE AU FOND (en m/s)
Sable fin	0.40 à 0.50
Argile compacte	0.60 à 0.75
Graviers fins	0.50 à 0.70
Gros graviers	0.70 à 0.90
Cailloux	1.00 à 1.20
Shistes tendres	1.50 à 1.80
Roches dures	2.00 à 4.00
Béton	4.00

Si l'eau est normalement chargée de matières en suspension colloïdales, les vitesses admissibles peuvent être largement majorées.

D'autres part, la vitesse ne doit pas trop s'abaisser en dessous d'un minimum pour éviter le dépôt des matières en suspension.

Pratiquement on admet couramment dans les canaux en terre des vitesses comprises entre 0.50 et 1.00 m/s. Lorsqu'il s'agit de canaux de petites dimensions, la pente est insuffisante la plupart du temps pour atteindre ces vitesses et l'on doit se contenter de vitesses inférieures. Dans les canaux revêtus, les vitesses courantes varient de 0.75 à 1.50 m/s.

2.2. PROFILS EN TRAVERS- PENTE DES TALUS :

Le profil normal des canaux d'irrigation est le profil trapézoïdal ; en général, il est constitué par une partie en cuvette ABCD (figure VI-2.1) et deux digues latérales ou « cavaliers », ACFG et DHIJ.

Evidemment, on a intérêt à n'utiliser pour les digues que les terres extraites de la cuvette (il est même envisageable de compenser exactement les déblais et les remblais).

Pratiquement la pente à adopter pour les talus varie avec la nature des terrains, suivant le tableau ci-dessus :

TALUS EN DEBLAI	1/m = hauteur /base
avec roches argile	1/0
terres argileuses	3/1
terres franches	2/1
terres sablonneuses	2/3

Pour les talus en remblai on peut adopter une pente de $1/m+(m/2)$, c'est à dire plus faible d'un tiers que pour les talus en déblai.

Dans le cas des canaux à flanc de coteau, la figure VI-2.1 nous donne le profil type généralement adoptés, ce profil comporte un cavalier et une banquette facilitant les curages et la surveillance.

Les petits canaux et les rigoles, lorsqu'ils sont aménagés en béton ou en fibro-ciment, ont souvent une section semi-circulaire.

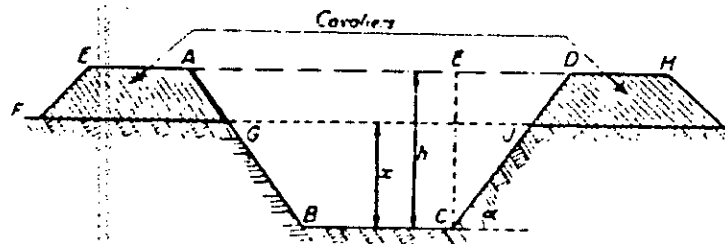


Figure VI-2.1

Partie 3 :
Les canaux en terre

Les premiers canaux ont été creusés dans le sol sans traitement particulier des parois et du fond.

Ultérieurement, de nombreux perfectionnements leur ont été apportés (revêtement), les éloignant considérablement du type primitif.

Malgré des défauts importants, les canaux enterrés ont souvent été réalisés par le passé.

1. DESCRIPTION DES CANAUX EN TERRE :

Les canaux en terre peuvent être soit creusés dans le sol, soit remblayés en terre, soit en profil mixte. Les fouilles sont en général exécutées à la pelle mécanique ou hydraulique et le talutage à la main ou à la machine.

Dans le premier cas, le sol ou le sous-sol est utilisé tel quel sans traitement, dans le second un travail géotechnique est nécessaire (compactage des terres).

Le terrain en place, matériau plus ou moins stable, nécessite sinon un traitement géotechnique, un respect de certaines normes géométriques pour l'équilibre du profil.

A partir du profil de base des canaux en terre, qui est le profil trapézoïdal, diverses variétés existent selon que le terrain est plat, pentu ou rocheux. (figure VI-3.1).

La largeur au plafond de la cuvette, la hauteur d'eau et la pente des talus sont conditionnées par des considérations hydrauliques et économiques.

La revanche destinée à combattre les débordements doit avoir au moins une hauteur de 0.30 m au dessus du plan d'eau normal.

Les risbermes ont une largeur minimum de 0.60 m. Elles évitent le ravinement des talus par les eaux de ruissellement.

Les cavaliers compactés ont une largeur variable suivant leur destinations. Ils peuvent être aménagés en piste de surveillance ou de circulation.

En ce qui concerne le coefficient de rugosité, l'expérience montre que chacune des trois formules d'hydraulique (BAZIN, KUTTER, MANNING) conduit à des résultats satisfaisants si l'application en est judicieuse.

Le coefficient de rugosité pour les canaux en terre utilisé dans la forme de MANNING à la valeur suivante :

Désignation	Etat des parois		Valeurs couramment utilisées
	Bon	Mauvais	
Canaux et fossés en terre, droits et uniformes	0.020	0.025	0.022
Canaux et fossés avec pierres, lisses et uniformes	0.030	0.035	0.033
Canaux et fossés avec pierres, rugueux et irréguliers	0.040	0.045	-
Canaux en terre dragés	0.027	0.033	0.027
Canaux avec lits de pierres rugueuses, herbes sur les rives	0.030	0.040	0.035

2. AVANTAGES :

L'avantage des canaux en terre réside dans leur faible coût de revient. Leur réalisation ne demande que des terrassements exécutés s'il le faut en partie par une main d'œuvre locale.

Pour les canaux mixtes (remblai-déblai), les matériaux sont trouvés sur place et leur transport reste très limité. Si les matériaux s'y prêtent, ces empreints éventuels sont prélevés dans le réseau de drainage. Chaque colature doublant généralement un canal d'irrigation.

3. INCONVANIANTS :

parmi les nombreux inconvénients de l'utilisation des canaux en terre, on peut citer :

- les pertes d'eau par infiltration au travers des parois et fond ;
- l'érosion des profils même pour des vitesses assez faibles ;
- le ravinement par le ruissellement des eaux pluviales et le passage des animaux ;
- les travaux d'entretien importants et permanents (lute contre les mauvaises herbes, dévasement et maintien de la cuvette au profil) ;
- enfin, si le terrain est sableux (terrain perméable sans cohésion), la réalisation des canaux en terre s'avère difficile à impossible.

Malgré ces défauts très importants les canaux en terre sont encore utilisés à cause de leur très faible coût de revient dans les régions où l'eau est surabondante, ou bien dans les périmètres d'eau de crue en Afrique du Nord dont la rentabilité marginale impose des équipements peu coûteux.

4. AMELIORATION POSSIBLE DES CANAUX EN TERRE :

L'amélioration des canaux en terre portera essentiellement sur la réduction des pertes par infiltration et éventuellement sur l'augmentation du débit porté et la réduction des travaux d'entretien.

Cette amélioration peut être exécuter :

- en améliorant les qualités intrinsèques du canal en terre ;
- en modifiant radicalement la nature du canal en terre par adjuction d'un revêtement artificiel (qui sera examiné dans la partie 4) ;

Les qualités intrinsèques du canal en terre peuvent être améliorer par :

- la modification des propriétés mécaniques du sol ;
- le colmatage des canicules des roches perméables ;
- le dépôt de couches paraperméables.

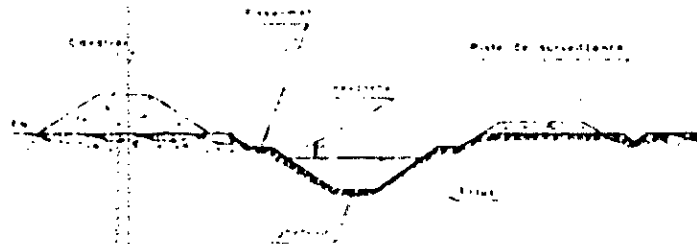


Figure VI-3.1

Partie 4 :
Revêtements des canaux

1. INTRODUCTION :

L'utilisation des canaux en terre nous à montrée l'importance de leurs inconvénients (fuites élevées, érosion aisée, entretien coûteux), ce qui à nécessité leurs abondons surtout pour les importants et les réseaux d'irrigation où l'eau est rare.

La solution de rechange préconisée à été la mise au point de revêtements efficaces s'appuyant sur le profil du canal en terre.

Le revêtement peut être défini comme suit :

« Le revêtement est une couche relativement mince d'un matériau cohérent, posée sur des terrains de cohésion très variable, couche destinée à améliorer les caractéristiques de surface du terrain »

Cette solution préconisée à été prise surtout pour ces qualités, qu'on peut citer comme suit :

- Qualités fonctionnelles (protection contre l'érosion, étanchéité, réduction des pertes de charge de l'écoulement) ;
- Qualité de conservation (résistance aux travaux agressifs, à l'air, au froid, à la chaleur, aux chocs, aux sous-pressions, à la végétation, aux animaux fouineurs. De plus, ce matériau ne devra pas en vieillissant voir ses qualités se dégrader ;
- Qualités économiques qui englobent le coût de réalisation et le coût d'entretien.

Mais le fait que le revêtement soit un élément étranger au couple eau-sol, à inciter à faire des réaménagements spéciaux qui consiste à la nécessité de séparer complètement le problème de la stabilité des talus de celui du revêtement imperméable ou de rendre ce dernier poreux et perméable.

Aussi, on doit noter que c'est selon la cote du plan d'eau par rapport au sol que le profil est différent tel que si le plan d'eau domine le sol naturel, on aménage deux risbermes successives dans le cavalier en remblai compacté; alors que si le plan est situé sous le sol naturel, on aménage également deux risbermes, mais dans la section en déblai.

Dans l'ordre d'ancienneté de leur emploi, on peut distinguer les revêtements :

- En perrés (maçonnés ou non), en briques, en parpaings ;
- En béton (armé ou non) ;
- En bitume avec enrobés (armés ou non) ;
- En matériaux synthétiques plastiques.

2. REVETEMENT EN PERRES, BRIQUES ET PARPAINGS :

2.1. LES MATERIAUX :

Il y a deux sortes de matériaux, les matériaux naturels et les matériaux artificiels. Les matériaux naturels sont les pierres et les moellons, les premières se trouvant en Afrique tropicale sont essentiellement des roches éruptives (granite, basalte) alors qu'en Afrique du nord, les sédimentaires dominent (calcaire, grès bien indurés).

Les qualités escomptées des roches sont :

- Que les matériaux soient durs, non poreux, et non friables ;
- Que la coupe de la pierre soit nette et que lorsqu'elle est cassée en morceaux, elle ne doit pas s'effriter.

En plus des qualités suscitées se rapportant à la structure de la roche, il y a l'homogénéité qui est une qualité essentielle, car vaut mieux avoir une pierre de qualité moyenne et homogène qu'une pierre de dure mais de structure irrégulière ; aussi on peut vérifier l'homogénéité d'une pierre par le son rendu au choc du marteau tel qu'une pierre exempte de défauts rend un son clair, alors qu'une pierre défectueuse rend un son sourd.

Les caractéristiques des diverses roches sont les suivantes :

ROCHES	DENSITE APPARENTE(kg/m3)	RESISTANCE A LA COMPRESSION(kg/cm2)
Granites	2400/3000	650/2000
Grès, latérites	1900/2600	200/2000
Quartzites	2200/2800	2300/3000

La dureté de la pierre se détermine approximativement en entaillant avec un couteau l'arête formée par deux faces perpendiculaires. Ce procédé ne présente toutefois d'intérêt que pour les roches relativement tendres et permettra d'éliminer les mauvais matériaux ayant des caractéristiques insuffisantes.

PROFONDEUR D'ENTAILLE (mm)	RESISTANCE A LA COMPRESSION (kg/cm2)
10	60
6	110
3	370
2	650
1	1500

En ce qui les matériaux artificiels, se sont les briques et les parpaings ; les premières sont constituées de matériaux argileux (argiles, limons, sables fins) séchés et cuits à une température de 550 à 1200°C, alors que les parpaings sont fabriqués avec un béton de ciment (50l de liant pour 210l d'agrégat) mis en œuvre dans un moule.

2.2. LES REVETEMENTS :

2.2.1. Revêtements en perres :

Sur les talus en remblais, l'exécution exige que les surfaces soient d'abord pilonnées. Le travail ne peut commencer avant que les remblais aient opéré leur tassement.

En général, le support doit être bien aplani ; les perrés sont exécutés par assises régulières ou à joints incertains sans couche de fondation. Les moellons de 20 à 30cm d'épaisseur sont posés normalement à la surface du canal de manière que la plus dimension se trouve dans le sens de l'épaisseur. On choisit le couronnement les pierres les mieux formées. Les vides entre moellons sont bourrés de tout-venant.

Si l'on désire un revêtement plus imperméable, on réalise un perré maçonné avec une légère fondation. Les joints sont garnis avec du mortier de ciment et des éclats de pierres. Le mortier refluant par les lits et joints, est relevé sans bavure et lissé à la truelle.

L'ensemble résiste bien à l'érosion et aux chocs. L'entretien est important dans le cas des perrés non maçonnés (végétation). La sensibilité aux sous-pressions et la fissuration sont importantes pour les perrés maçonnés. Dans l'ensemble, la stabilité est du terrain constituant le canal.

Le coût en général est assez élevé et l'exécution longue. Les perrés peuvent être intéressants quand la pierre est abondante, la main-d'œuvre peu coûteuse et les talus raides.

L'étanchéité est faible en moyenne, et pour l'amélioration on peut réaliser des perrés bitumineux ; cela se fait par pulvérisation ou déversement avec étalement à la raclette du bitume après traitement du perré au kérosène ou au gasoil.

Les perrés maçonnés au mortier de ciment ont été utilisés depuis très longtemps, pour exemple nous avons les revêtements en maçonnerie de moellons posés au XVI^{ème} et XVII^{ème} siècles en Espagne (qui sont encore en parfait état) ; mais l'utilisation de ces revêtements actuellement est assez rare en raison de leur coût à la construction.

2.2.2. Revêtement en briques :

Cette solution est considérée comme économique en partant du fait que la main-d'œuvre est abondante et que les briques sont peu coûteuses par rapport aux autres matériaux (ciment, bitume).

Aussi, la méthode est utilisable pour :

- Un sol bien compacté ;
- Une revanche suffisante ;
- Un drainage efficace ;
- Des pentes de talus inférieures à 1/1 (tout en retenant celles de 3/2 à 2/1).

Pour les canaux véhiculant plus de 15m³/s, on crée une double couche de brique, alors que pour les débits plus faibles, la couche est unique.

REMARQUE :

Le ferrailage utilisé dans les premiers essais a été abandonné ultérieurement. La mise en œuvre pratique s'effectue ainsi :

- On détermine en laboratoire les caractéristiques de compactage du sol à l'aide de prélèvements effectués tous les 200/500m. On vérifie les intermédiaires par des sondages à la tarière ;

- Par un passage de rouleaux, on réalise une couche compactée de 15cm (vérification de compactage : une mesure pour 150m³) ;

- La plate-forme est entièrement humidifiée pour éviter qu'elle n'aborde l'eau au détriment du mortier qui deviendrait poreux ;

- L'enduit au ciment est mis deux jours avant la pose de la couche de briques qui sont fortement trempées dans l'eau avant usage.

Pour le revêtement en briques, on doit éviter les sous-pressions et les remontées de sel ; pour les premières, elles sont supprimées à l'aide d'une couche drainante de 5cm, alors que pour les remontées de sel l'emploi du bitume est préconisé.

Ceci nous amène à parler de l'imperméabilisation du revêtement en briques. Le canal classique tel qu'il a été décrit (mortier et briques) est perméable. L'usage de briques sans couche de mortier accroît de 10 fois cette perméabilité et c'est pourquoi, pour améliorer l'imperméabilité de ces revêtements, deux solutions ont été retenues ; l'emploi du bitume et du surkhi.

L'application du bitume ne peut être réalisée que durant la construction du revêtement. Le profil comporte à partir de la première couche de briques pour :

- Une couche de briques ;
- Un cm de mortier de ciment 1/3.

Après une attente d'une semaine, dépôt d'huile lourde puis de bitume 30/40 et sur ce bitume encore chaud, on répand du sable sec (le mélange bitume - sable forme un mastic).

Le surkhi, qui est un matériau formé de briques brûlées, pilées et moulues, est utilisé suivant un certain pourcentage (25 à 40%) avec du mortier, ce qui nous donne une amélioration de l'imperméabilité sans diminution de la résistance à la rupture. De plus, le coefficient de dilatation est faible et la résistance à la pénétration des sels est élevée.

Pour la conception des parements en briques, elle est différente selon que les canaux soient en déblai ou en remblai, alors que la revanche oscille entre 15 et 60cm suivant l'importance des canaux.

2.2.3. REVETEMENTS EN PARPAINGS :

Les parpaings de mortier de ciment sont utilisés en section rectangulaire pour les canaux véhiculant un débit inférieur à 100l/s ; on notera aussi que dans certains périmètres d'irrigation on a remplacé les revêtements en briques par les parpaings en béton de terre ou sol ciment compacté.

3. REVETEMENTS EN BETON DE CIMENT ARME OU NON :

3.1. LE MATERIAU :

3.1.1. Composition du béton de ciment :

Le béton de ciment est un mélange de liant, de sable, de gravillons (ou de pierres) et d'eau. Le gravillon (ou la pierre) est réparti à dosages convenables et d'une manière aussi uniforme que possible dans le mélange intime des autres éléments.

Pour que les bétons soient de bonne qualité, il est nécessaire que les composants inertes (sables, graviers, pierres) adhèrent parfaitement au ciment. Cette adhérence suppose que ces grains soient mouillés, propres et bien dispersés dans le liant. L'eau de gâchage doit contenir moins de 2g/l d'impuretés et d'argiles. Elle ne doit pas être acide et doit contenir moins de 15g/l de sels dissous.

En ce qui concerne l'Afrique, les caractéristiques des ciments et béton peuvent être modifiées par des conditions imposées par son climat particulier ; on examinera en particulier :

- L'action des agents agressifs ;
- L'influence des climats sur le choix des ciments.

3.1.2. Action des agents agressifs :

La corrosion des bétons de ciment est un problème très grave en Afrique, car les causes de corrosion sont souvent présentes. Les causes de corrosion peuvent être :

- Les eaux très minéralisées ou très pures ;
- Certains corps particuliers situés dans les agrégats.

L'eau de gâchage et l'eau de contact ne doivent pas être agressives pour le ciment. Les eaux agressives sont celles chargées de CO₂ AGRESSIFS ? D4ACIDES HUMIDES. Citons aussi les eaux sulfatées, l'eau de mer et l'eau très pure.

Les limites inférieures de nocivité sont les suivantes :

- pH < 5 (ciments résistants : ciments alumineux riches en cendres volantes ou en pouzzolanes actives, riches en laitier actif) ;
- pH > 8 (les ciments précédents ne sont plus protégés, en particulier les ciments alumineux) ;

- $MgSO_4 > 0.1 \text{ g/l}$, $CaSO_4 > 0.2 \text{ g/l}$, sulfate quelconque $> 1 \text{ g/l}$ (ciments résistants : ciments portland prise mer, ciments portland siliceux, ciments riches en laitier granulé, en pouzzolanes, cendres volantes, ciments alumineux) .

On peut aussi trouver des éléments nocifs dans les agrégats, d'où la nécessité de faire une étude sérieuse pour éliminer les éléments nocifs tels que les gypses, feldspaths kaolinisés, pyrites.

Par ailleurs certains corps particuliers attaquent les ciments. Ainsi, les goudrons attaquent les ciments et en particulier les ciments portland (formation de phénate de calcium d'où la décalcification des ciments. Les nitrates (présents dans certaines eaux souterraines) sont actifs vis – à – vis des ciments à base de laitier, pouzzolane, alumineux. Les superphosphates, les pyrites (présentes dans certaines roches sédimentaires et éruptives) sont agressives.

La protection des bétons et des armatures métalliques consistera, soit à éliminer les corps agressifs, soit à utiliser des bétons inertes chimiquement ou très perméables (hydrofuges de masse ou de surface tels que fluosilicates, résines synthétiques, dosages suffisants).

3.1.3 Influence des climats sur le choix des ciments :

a). Ciment chaud et humide :

Il faut utiliser les ciments dont la prise est retardée par le froid et il faut exclure l'emploi des ciments alumineux.

b). Ciment chaud et sec :

Dans ce cas on n'utilisera pas les ciments à prise lente ou exigeant une forte humidification durant la prise (ciment de laitier, sursulfatés, pouzzolaniques), tout du moins pour les travaux aériens.

c). Climat très sec :

On utilisera les ciments à haute résistance initiale et les superciments si l'humidification est impossible.

3.1.4. Fissuration des betons :

Cette fissuration est due à l'expansion et à la rétraction en cours de prise, à l'influence de l'eau d'imbibition et aux variations thermiques, sans oublier les mouvements de terrain et les sous – pressions.

Pour lutter contre les fissures liées au mouvement de terrain et aux sous – pressions, on peut armer le béton ; d'une façon générale, on réalise des joints de dilatation et de retrait.

3.2. LES REVETEMENTS :

Selon le procédé de mise en place, nous avons les revêtements des canaux en béton de ciments suivants : les revêtements préfabriqués et les revêtements en béton répandu directement sur le talus.

Les revêtements préfabriqués, par leur utilisation on aura à craindre des tassements du sol, ainsi que des sous – pressions pour ceux d'entre eux qui sont perméables et des terrains perméables (sans crainte de sous – pressions) pour ceux qui sont imperméables. Alors que pour les revêtements en béton répandu directement sur le talus, la crainte consiste en l'inexistence des tassements en plus de sa sensibilité aux sous – pressions ; dans ce type de revêtement, on a les revêtements en béton répandu de façon continue, ceux répandu de façon discontinue et ceux en béton projeté.

3.3. CARACTERISTIQUES ET PREPARATION DU SUPPORT DE REVETEMENT :

Les caractéristiques à donner aux revêtements sont liées à celle de leur support dont les principales sont les suivantes :

3.3.1. Pente des talus :

Celle-ci est en fonction :

- Des d'implantation des ouvrages ;
- De la nature même du terrain. ;
- Cette pente est comprise en général entre 3/1 et 1/1 et l'on peut classer le talus en deux catégories :
 - Talus à pente moyenne comprise entre 3/1 et 2/1. Ils permettent un travail aisé et une mise en place économique du béton ;
 - Talus à pente raide comprise entre 3/2 et 1/1. L'exécution est assez coûteuse au mètre carré.

La pente de 1/1 est la limite au-delà de laquelle le béton ne peut être coulé et vibré que derrière un coffrage. Cette pente permet toutefois la d'éléments préfabriqués.

3.3.2. Compactage des talus :

Le compactage des talus est nécessaire pour réduire, sinon éviter, les tassements qui risqueraient de fissurer les revêtements insuffisamment articulés.

Après le compactage du corps de digue, parfois il est préférable d'attendre plusieurs mois avant de revêtir, surtout si le compactage n'a été que l'effet du roulage des engins de transport.

Deux méthodes de compactage sont à distinguer (indépendamment de la nature des terrains rencontrés) :

On laisse un « gras » en cours d'exécution de façon à ce que la surface définitive de fondation du talus ne recoupe, après réglage, que des terrains ayant obtenu la densité voulue lors des essais. Cette façon de procéder est peut-être la plus longue, mais c'est aussi celle qui assure le meilleur résultat.

On ne laisse pas le « gras » et le talus est compacté après exécution du réglage du profil.

Dans le cas où les sols de fondation des revêtements en béton devraient être constitués par de l'argile gonflante, cette argile devra être remplacée par un matériau sableux ou graveleux sans argile.

3.3.3. Réglage des talus :

Il se fait en deux phases successives ; un premier réglage approximatif réalisé par le terrassier après achèvement du talus. Il consiste à laisser un gras de 5 à 15 cm ; après, c'est un second réglage définitif réalisé juste avant la mise en place du revêtement (au plus 2 à 3 jours avant) pour éviter la dégradation de la surface définitive. Il doit permettre d'obtenir une surface définitive avec une bonne tolérance

NOTE :

le réglage au profil du talus peut être réalisé à l'aide d'une machine spéciale, la taluteuse.

3.4. GENERALITES SUR LE MODE D'EXECUTION DES REVETEMENTS :

3.4.1. Epaisseur :

Le talus étant stable par lui-même, l'épaisseur du revêtement ne dépend pas de la pente mais :

- De la qualité de l'étanchéité recherchée ;
- Des mouvements éventuels du support ;
- De l'importance des joints .

L'épaisseur varie entre 8 à 20 cm pour les dalles préfabriquées, de 13 à 20 cm (tolérance de 1 à 3 cm) pour le béton coulé sur place.

3.4.2. Joints :

Pour les revêtements en béton, deux sortes de joints doivent être prévues, des joints de construction et des joints de dilatation.

A/ Joints de construction :

Ils sont destinés à fractionner pendant la construction une structure continue pour compenser le retrait des bétons au séchage (par exemple : arrêt des travaux de coulage en fin de journée).

Ils peuvent être exécuter par :

- simple collage de béton frais sur du béton pris ;
- bourrage de produits plastiques ou bitumineux sur une localisation éventuelle de fissure prévue ou occasionnée de tassement. Pour exécuter ce joint, on ouvre avec un couteau mécanique (disque) une entaille dans le béton frais sur le tiers environ de l'épaisseur du revêtement, et c'est dans cette cavité que l'on pratique des produits plastiques ou bitumineux ;
- Aussi, on peut prévoir des joints de construction en caoutchouc, en P.V.C ou placer dans le béton frais une plaque de cuivre ou d'acier ou simplement suivant les caractéristiques désirées, étendre deux couches de peinture bitumineuse.

NOTE :

Ces joints sont généralement espacés de 4 à 5 m maximum lorsque le terrain forme une bonne assise (ils peuvent être rapprochés).

B/ Joints de dilatation :

Ce sont des joints «ouverts» d'épaisseur variable, destinés à permettre les mouvements dus aux effets thermiques (variation de température). Ils sont coffrés sur une au moins présentant sur un côté une gorge de dimension variable en fonction de la structure. Ils peuvent être équipés de plusieurs façons ; la première est la mise en place de matériau de joints dans la gorge seulement, la deuxième est semblable à la précédente mais complété d'une bande d'étanchéité en dessous de la gorge (Waterstop P.V.C ou caoutchouc).

Dans les deux cas, l'espacement libre du joint (2 cm environ selon la longueur de la structure) est garni de matériau compressible (type flexell, isorel mou ou autres similaires) destiné à la protection du joint proprement dit contre les agents extérieurs(cailloux, terre, etc.).

Dans la gorge du joint, les matériaux de remplissage sont en général des matériaux plastiques ou bitumineux qui peuvent être cachetés par un mortier maigre dans les zones exposées aux effets thermiques (exemple : dans la zone de battillage, sur un canal).

En général les joints se présentent en surface plane, mais ils peuvent également présenter des décrochements (boite d'ancrage) destinés à assurer une continuité relative dans l'alignement en cas de mouvements locaux.

NOTE :

Les joints de dilatation sont généralement espacés de 12 à 15 m.

3.4.3 Armatures :

Les armatures peuvent réduire les fissurations dues aux variations thermiques. Une proportion d'acier de 0.25% à 0.30% est suffisante. On peut l'augmenter si le revêtement doit résister aux tassements et aux sous-pressions.

3.4.4. Drainage :

Dans le cas de terrain ne permettant pas le drainage naturel, un dispositif doit être prévu sous le revêtement. Il consiste soit en trous de décharge (barbacanes), soit en couches drainantes, soit en drains.

3.5. MISE EN PLACE DU REVETEMENT :

3.5.1. Dalles préfabriquées :

Les grosses dalles sont mises en place à l'aide d'une grue équipée d'un plateau, alors que les dalles « Rosacometta » sont mises en place à la main ; on notera que ce procédé limite les cassures.

3.5.2. Béton coulé en place :

La recherche de l'abaissement du prix de revient a conduit à mettre aux points des machines appropriées. Les plus courantes sont les suivantes :

- Profileurs commandés par des treuils et agissant transversalement sur chaque bajoyer. Cette méthode est utilisable pour les petites longueurs de canaux importants ne justifiant pas l'usage d'autres procédés ;
- Coffrage glissant fonctionnant longitudinalement porté par des rails le long des deux risbermes du canal ou par des engins pour du genre tracteur ; ces procédés sont valables pour les grandes longueurs de canaux importants.

Suivant ce procédé, un train de bétonnage a été réalisé par les établissements DINGLER. Le train est composé de quatre machines :

- Une taluteuse ;
- Une bétonneuse ;
- Une coupeuse de joints ;
- Une finisseuse.

La taluteuse précède les autres machines et règle les parois au profil exact. La bétonneuse est alimentée par une bétonnière automotrice. Le béton est répandu par des goulottes et comprimé par une tôle de lissage sur le talus.

La coupeuse de joints réalise, dans la masse du béton, des joints à l'aide d'un couteau vibrant. La finisseuse termine le train DINGLER et supporte tous les organes auxiliaires nécessaires à la finition.

Les petits canaux et fossés, outre une mise en place manuelle de revêtement peuvent supporter l'usage de coffrages glissants guidés et actionnés longitudinalement et supportés directement par la surface d'application sans l'aide des rails.

3.6. COMPORTEMENT DES REVÊTEMENTS EN BETON **DES CANAUX EN EXPLOITATION :**

Les revêtements en béton conviennent aux canaux de grandes et petites dimensions, que la vitesse de l'eau soit faible ou élevée, et ils satisfont pratiquement à tous les objectifs recherchés.

3.6.1. Protection contre l'érosion et le batillage :

Convenablement étudiés, construits et entretenus, les revêtements en béton doivent pouvoir, en moyenne, assurer un service satisfaisant pendant plus de 40 ans, justifiant ainsi leur coût élevé. D'une manière générale, la vitesse de l'eau ne doit pas dépasser 2.5 m/s avec les revêtements en béton non armé, afin d'éviter qu'ils risquent d'être soulevés et entraînés par le courant. Ce qui se produit lorsque l'effet de vitesse se transforme en effet de pression à travers une crevasse dont le bord supérieur se présente opposé au côté amont ou au sens du courant.

3.6.2. Etanchéité :

Ces crevasses qui entraîneraient des fuites appréciables, peuvent être facilement colmatées avec des composées à base d'asphalte.

Les pertes anormales peuvent aussi être dues soit à un défaut de conception de l'ouvrage, soit à un défaut de conception de l'ouvrage, soit à la porosité du béton employé, soit enfin aux méthodes adoptées pour la mise en œuvre du béton lui-même. Ce sont en général le manque de compacité du revêtement et la mauvaise exécution des joints qui sont à l'origine des fuites.

On estime que, dans un canal en béton correctement exécuté, les pertes ne devraient pas excéder 15 l au m² de surface mouillée et 24 h.

3.6.3. Réparations :

Les revêtements en béton ne demandent généralement pas des frais d'entretien élevés. La réparation la plus importante consiste à remplacer le revêtement en béton endommagé par du béton de ciment ou du mortier. Ce procédé est onéreux, et il ne faut y recourir qu'au cas de dégradations importantes du revêtement. Pour les dégradations moins graves, d'autres moyens de réparation peuvent être adoptés tel que l'emploi du gunité ou l'aspersion avec du ciment bitumineux soufflé catalytiquement. De même l'application d'un matelas asphaltique à raison de 0.2 à 0.4 litres par mètre carré puis d'un enduit d'accrochage par pénétration à chaud de bitume 50-60 donne de bons résultats. Ces produits s'appliquent à chaud de (175° à 210°) et sont souvent répandus à l'aide de rampes de pulvérisation sous une pression de l'ordre de 3 à 4 kg/cm.

Partie 5 :
Les canaux préfabriqués

Les canaux préfabriqués sont des portions de canaux constituant une section complète, préfabriquées en usine. Les longueurs sont très variables. Ils peuvent reposer soit sur des supports spéciaux soit, plus rarement, directement sur le sol.

L'origine de ce mode de réalisation peut être cherchée dans le généralisation des passages en surplomb ou dans la possibilité de corriger les défauts de pente du terrain.

Suivant la nature du matériau de construction on distingue le canaux en :

- béton armé (vibré, centrifugé, précontraint) ;
- amiante ciment ;
- éléments « Rosacometta » ;
- aluminium et autres matériaux.

1. AVANTAGES ET INCONVANIANTS DES CANAUX PREFABRIQUES :

Les avantages sont nombreux :

- La fabrication en usine assure une qualité excellente et régulière. La section peut être économique et le faible coefficient de rugosité assure un débit élevé ;
- Leur étanchéité est absolue ;
- La pose peut se faire même sur des mauvais terrains (stabilité) et ne craint aucune sous pression ;
- Placés sur supports élevés les dégradations sont très réduites.

Les inconvénients sont dus essentiellement aux problèmes d'éloignement et de transport ; En effet, les canaux préfabriqués sont à la fois encombrants et fragiles ce qui constitue un important facteur limitant pour les zones ou les pays éloignés des actuelles usines de production.

2. CONSIDERATIONS SUR L'EMPLOI DE CANAUX PREFABRIQUES

EN AFRIQUE :

Les problèmes d'éloignement peuvent faire envisager la mise en place d'une usine de préfabrication sur le lieu du projet.

En pratique, une telle hypothèse est à exclure pour un périmètre inférieur à 25 000 ha. Cependant, si la densité des canaux portés est importante, on peut éventuellement admettre qu'une usine puisse être installée pour des surfaces à équiper pouvant descendre jusqu'à 20000 ou même 15 000 ha, superficie en dessous de laquelle l'installation d'une usine de préfabrication n'est pas à envisager.

3. CHANTIERS DE POSE DES CANAUX PREFABRIQUES :

La pose de canaux préfabriqués nécessite l'emploi d'engins de levage. Le type d'engin à utiliser est fonction du diamètre des canaux à poser, de la nature du terrain et de la hauteur maximale de pose.

D'une manière générale, le choix peut se faire sur toute la gamme des engins de levage existants depuis la grue jusqu'au pipe-layer.

La cadence de pose des canaux portés varie en principe entre 3 et 5 km par mois, suivant les conditions de travail (topographie, facilités de circulation, différences climatiques).

CONCLUSION

Au terme de ce travail, il ressort que l'étude d'un réseau d'irrigation est une entreprise longue et délicate où interviennent des techniques très variées qu'on ne peut aborder qu'avec des équipes homogènes et spécialement préparées à ce genre de travail ; de là, la nécessité de donner la priorité à la formation et au perfectionnement des agriculteurs et des techniciens, à l'amélioration de la gestion et du développement des capacités d'expertise.

La situation actuelle des réseaux d'irrigation (négligés, au mieux mal exploités) nous interpelle sur la nécessité d'édification d'une politique cohérente d'exploitation des potentialités existantes.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - BAUME J-P, 1990, «régulation des canaux d'irrigation : étude du sous-système bief avec vanne », CEMAGREF, ENGREF, DEA national d'hydrologie de l'USTL, Montpellier.
- 2 - BAUME J-P, KOSUTH P, MALATERRE P.O, 1992, «régulation des canaux d'irrigation : note de cours » CEMAGREF.
- BOULLOT R, «hydraulique agricole », 1988, ENSH de Grenoble.
 - CARLIER M, «hydraulique générale et appliquée », éditions Eyrolles.
 - CHEVEREAU G, 1991, «contribution à l'étude de la régulation dans les systèmes hydrauliques à surface libre », thèse de doctorat de l'INP de Grenoble.
 - CHOW V T, 1988, « Open-channel hydraulics », McGraw Hill Book Company, NY.
 - C-N-A-I-D, mars 1992, «l'irrigation en Algérie ».
 - DELTOUR J-L, 1988, «la régulation des systèmes d'irrigation », DEA, ENSH de Grenoble.
 - GEC ALSTHOM, 1981, «gestion de canaux et irrigation. Les matériels NEYPTEC d'équipement pour réseaux régulés ».
 - KELLER R J, fév 1989, « flow measurement with trapézoïdal free overfall, Journal of irrigation and drainage engineering.
 - LABORATOIRE DAUPHINOIS D'HYDRAULIQUE : « irrigation par canaux à surface libre ».
 - OLLIER CH et POIREE M, «irrigation, les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages ».
 - RE M, «des études des réseaux d'irrigation », conférence.
 - ROSSET P, 1986, : « la régulation des réseaux d'irrigation », la houille blanche.
 - SOGREAH, «irrigation gravitaire par canaux, conception du périmètre, étude des canaux et leurs revêtements ».
 - UNÉSCO, jan 1985, «merveille de l'eau ».
 - Université de LAVAL, «construction et aménagement des cours d'eau en milieu agricole », département de Génie Rural.