L'IRRIGATION LOCALISEE OU LA MICRO-IRRIGATION

L'IRRIGATION LOCALISEE OU LA MICRO-IRRIGATION

A. GENERALITES

I. DEFINITION :

L'irrigation localisée est une méthode d'irrigation qui regroupe un certain nombre de techniques nouvelles qui se sont développées depuis une quinzaine d'années.

Du fait des faibles débits utilisés au niveau des distributeurs on lui donne également sur le plan international le nom de micro-irrigation.

Cette technique dont l'application se traduit sur la parcelle par la mise en place d'un réseau dense de canalisations en couverture totale, se caractérise par :

- l'apport direct de l'eau au voisinage de la plante,
- l'utilisation de faibles débits unitaires, de faibles doses avec une fréquence d'apport élevée.

a) Apport direct de l'eau au voisinage de la plante, c'est-à-dire dans la zone du sol la mieux explorée par les racines; l'eau étant délivrée sans pression ou presque au niveau du sol, il en résulte une localisation de l'eau sur une partie seulement de la surface du sol et dans une partie seulement du volume du sol pouvant être exploré par les racines.

L'eau qui pénètre dans le sol à l'aplomb d'un goutteur ne se déplace pas seulement verticalement par gravité, mais suit des cheminements obliques et mêmes horizontaux par capillarité ; le volume de sol ainsi humidifié, appelé bulbe humide comprend (fig. 1) :

- une zone saturée autour du goutteur, étroite et peu profonde (10 cm au maximum en sol moyen) en forme de soucoupe ;
- une frange capillaire non saturée ou l'humidité décroit proportionnellement à la distance du goutteur.

Pendant la période séparant deux arrosages, l'utilisation de l'eau par la plante provoque une variation de l'humidité de cette zone qui, étant aérée, est propice au développement des racines qui viennent y absorber l'eau.

La largeur D de la frange capillaire dépend de la nature du sol, du débit du goutteur, de l'humidité du sol au début de l'arrosage, de la fréquence des arrosages.

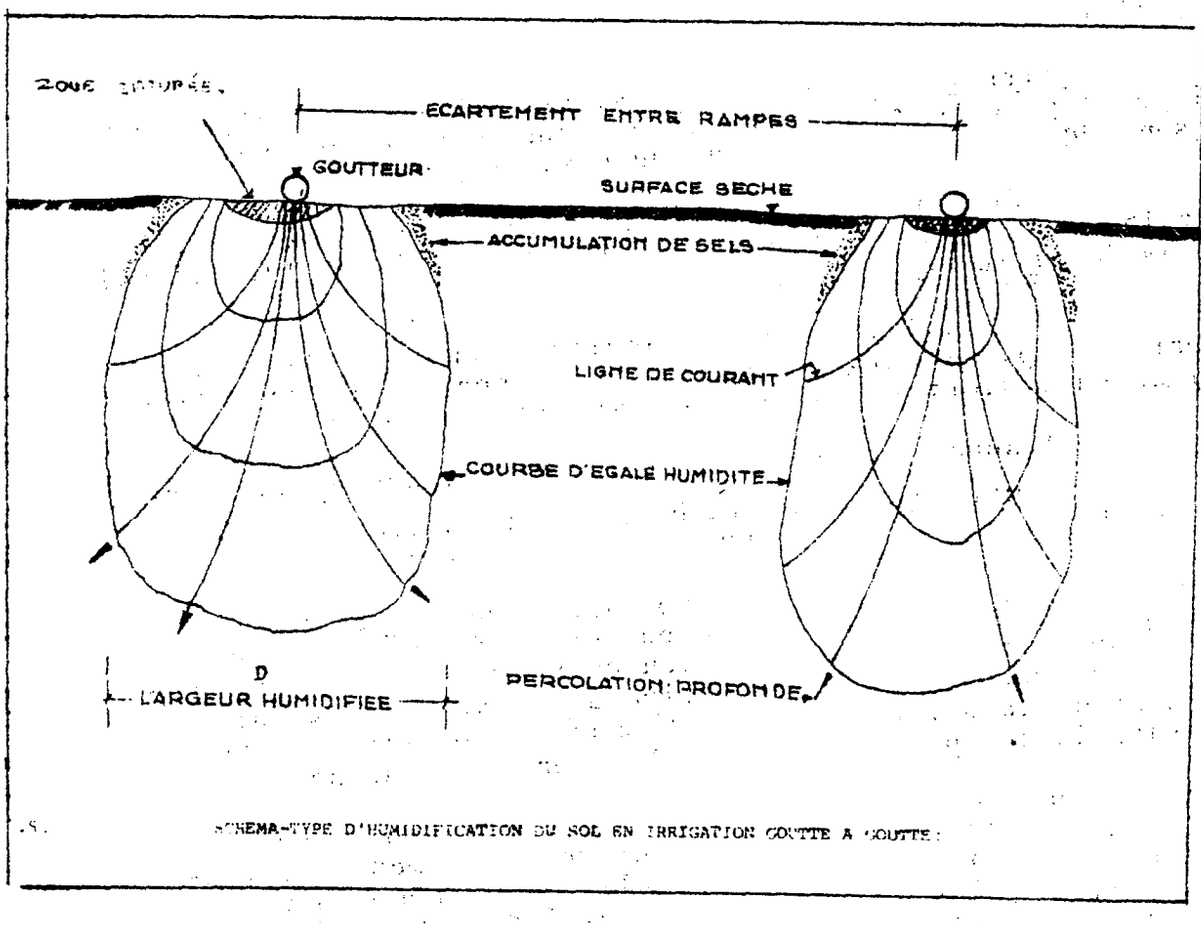


Fig. 1

Dans certains cas, pour favoriser le développement du bulbe ou limiter les pertes par percolation (cas des sols légers et filtrants), on peut faire des irrigations de très courtes durées mais avec des fréquences élevées (Pulse irrigation) (jusqu'à 9 arrosages par jour).

b) Utilisation de faibles débits unitaires, de faibles doses, avec fréquence d'apport élevée.

Les débits unitaires, tout en restant très inférieurs à ceux de l'aspersion, peuvent varier selon les types de distributeurs utilisés (2 à 150 l/h).

Les doses utilisées sont faibles, en général une fraction de l'ETP journalière, soit quelques millimètres par jour (5 à 6 mm/jour en période de pointe et selon le type de cultures).

Par contre, les fréquences sont élevées. Alors qu'en aspersion l'intervalle entre deux arrosages varie de 5 à 10 jours, en micro-irrigation il est de 1 à 2 jours maximum avec des durées de quelques heures seulement et parfois moins (cas de pulse).

Il en résulte que le sol ou plutôt la partie de celui-ci où se développe préférentiellement les racines des cultures, est maintenue à une humidité élevée proche de la capacité au champ . L'eau s'y trouve sous un faible potentiel à la disposition des racines qui n'ont qu'une faible succion à exercer pour s'alimenter en eau et en sels minéraux..

II. AVANTAGES ET INCONVENIENTS

2.1 AVANTAGES

Par rapport à l'aspersion ou à l'irrigation gravitaire* la micro-irrigation présente les avantages suivants :

Economie d'eau

La surface de contact eau-air étant très faibles (qq dm²) les pertes par évaporation sont très faibles. D'autre part la ligne de goutteurs étant en général placée au voisinage immédiat des cultures, le développement des adventices est limité et de ce fait les phénomènes de concurrence s'en trouvent réduits. Les doses étant faibles les pertes par percolation se trouvent limitées.

Contrôle précis des quantités d'eau apportées

A condition que l'installation soit bien calculée, variation de moins de 10 %, et compte tenu de ce qui a été dit au paragraphe précédent (pertes réduites) on peut contrôler précisément les quantités d'eau apportées au niveau de chaque plante.

Pression de fonctionnement faible

La pression nominale de fonctionnement des distributeurs est en général de 10 m de C.E. Si on estime que les pertes de charge au niveau d'une station de tête se situent entre 10 et 15 m selon la complexité de l'installation, la pression nécessaire en tête de parcelle est de 20 à 25 m contre 30 à 40 m pour l'aspersion, et de 80 à 100 m pour les enrouleurs.

Facilité de travail

La surface mouillée étant réduite et localisée au voisinage des cultures, les allées dans le cas de cultures de plein champ ou les passe pieds pour les cultures sous serre restent secs et rendent possible le passage d'engins (traitements, récoltes ... etc..).

---

* ou irrigation de surface

Enherbement réduit

La localisation de l'eau limite le développemet des adventices entre les rangs.Un désherbage chimique sur le rang et un desherbage mécanique entre les rangs permettent de maintenir un sol propre.

Possibilité d'arrosage sous paillage plastique

L'irrigation localisée permet l'irrigation sous paillage plastique (cas des fraisiers ou des melons).

Réduction du tassement du sol et maintien d'une structure favorable

L'eau étant délivrée sans pression ou presque, il n'y a pas, comme dans le cas de l'aspersion ou pire des machines d'arrosage, choc entre les gouttelettes et les particules de sol et risque de détérioration de la structure du sol dans le cas de sols fragiles (phénomènes de battance). De plus les allées restant séches, le tassement du sol humide par le passage d'engins est très limité.

Contrôle de la fertilisation

L'irrigation localisée ne peut s'envisager sans irrigation fertilisante. En effet, dans les zones à fort déficit pluviométrique ou sous serre, l'entraînement d'engrais par la pluie ne pourra pas se faire et la fertilisation doit être apportée en même temps que l'eau d'irrigation.

L'utilisation de matériels tels que doseurs, dilueurs et pompes doseuses rendent possibles les opérations de fertilisation.

Possibilité d'automatiser

L'intervalle de temps séparant deux irrigations étant faible, les installations de micro-irrigation doivent être automatisées. Ceci est possible par la présence sur le marché d'un grand nombre d'appareils remplissant cette fonction et limitant le rôle de l'irrigant à un simple contrôle.

2.2 INCONVENIENTS

Bouchage

Les inconvénients les plus important sont ceux liés au problème de bouchage soit en raison de la qualité de l'eau soit à cause de l'utilisation de certains engrais.

Investissement

L'équipement se fait pour une parcelle donnée sans possibilité de rotation sur d'autre parcelle comme c'est le cas pour l'aspersion ou les enrouleurs.

Mise en place

Temps de démontage et de mise en place de l'installation, la micro-irrigation est actuellement utilisée en plein champs surtout sur les cultures pérènnes mais des essais sur cultures annuelles ont été entrepris.

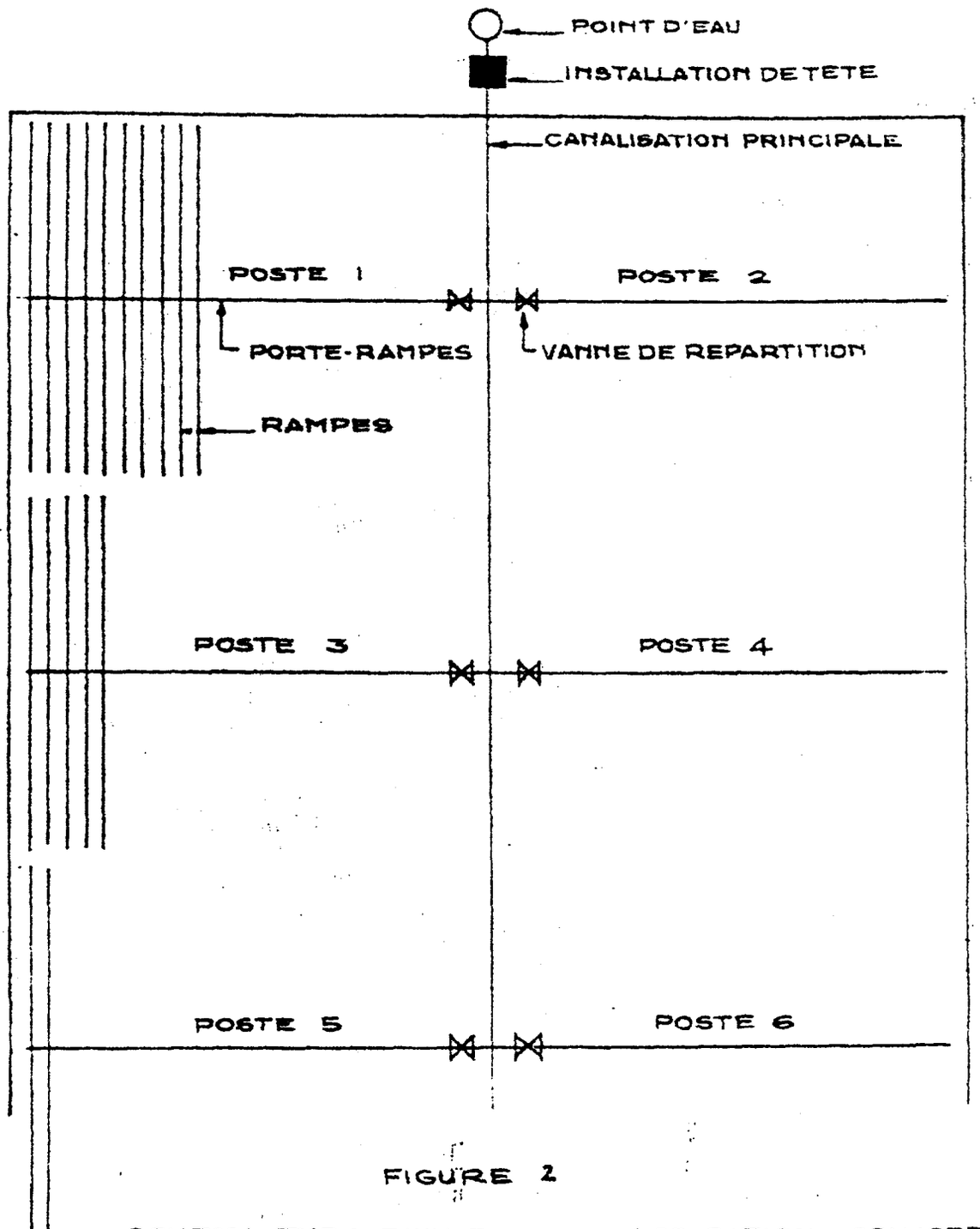


FIGURE 2

SCHEMA TYPE D'UN RESEAU D'IRRIGATION LOCALISEE

(CAS D'UNE PARCELLE REGULIERE)

D'autre part la micro-irrigation impose à l'exploitant certaines contraintes :

- connaître les besoins en eau de la culture en fonction du stade végétatif et des conditions climatiques.

En micro-irrigation le sol joue un rôle de transfert entre le goutteur et la plante et non plus un rôle de réservoir comme c'est le cas pour l'aspersion.

Les doses apportées à chaque arrosage devant satifaire les besoins journaliers des plantes, un apport trop faible entraînera un rétrécissement du bulbe dans la zone bien explorée par les racines et donc une diminution de l'alimentation hydrique de la culture. De même des doses excessives maintiendront le sol à un niveau d'humidité trop élevé avec risque d'asphyxie racinaire, percolation de l'eau et entraînement des engrais vers les couches profondes :

- connaître le sol (détermination de l'écoulement et du débit des goutteurs), la connaissance de la composition granulométrique du sol détermine le type du distributeur à utiliser (microjet, goutteur, ajutage Bas-Rhône) ainsi que le débit ;

- connaître les besoins en éléments fertilisants de la culture en fonction de son stade végétatif. L'établissement d'un programme d'apport est nécessaire en prévoyant une possibilité de rattrapage si une période pluvieuse limite les irrigations et par voie de conséquence les apports en éléments fertilisants;

- utiliser des engrais adaptés pour éviter les problèmes de bouchage, l'utilisation des engrais peut provoquer des modifications de Ph de l'eau d'irrigation et des risques de reprécipitation des engrais. Donc s'assurer auprès du revendeur des conditions d'utilisation des engrais ;

- utiliser un matériel sûr et fiable principalement au niveau de la station de tête et des distributeurs ;

- avoir un projet bien conçu de façon à ce que la variation de débit entre les différents distributeurs ne dépasse pas 10 % du débit nominal.

B. CONSTITUTION D'UNE INSTALLATION DE MICRO-IRRIGATION

Une telle installation comprend de l'amont vers l'aval les éléments suivants (Fig. 2) :

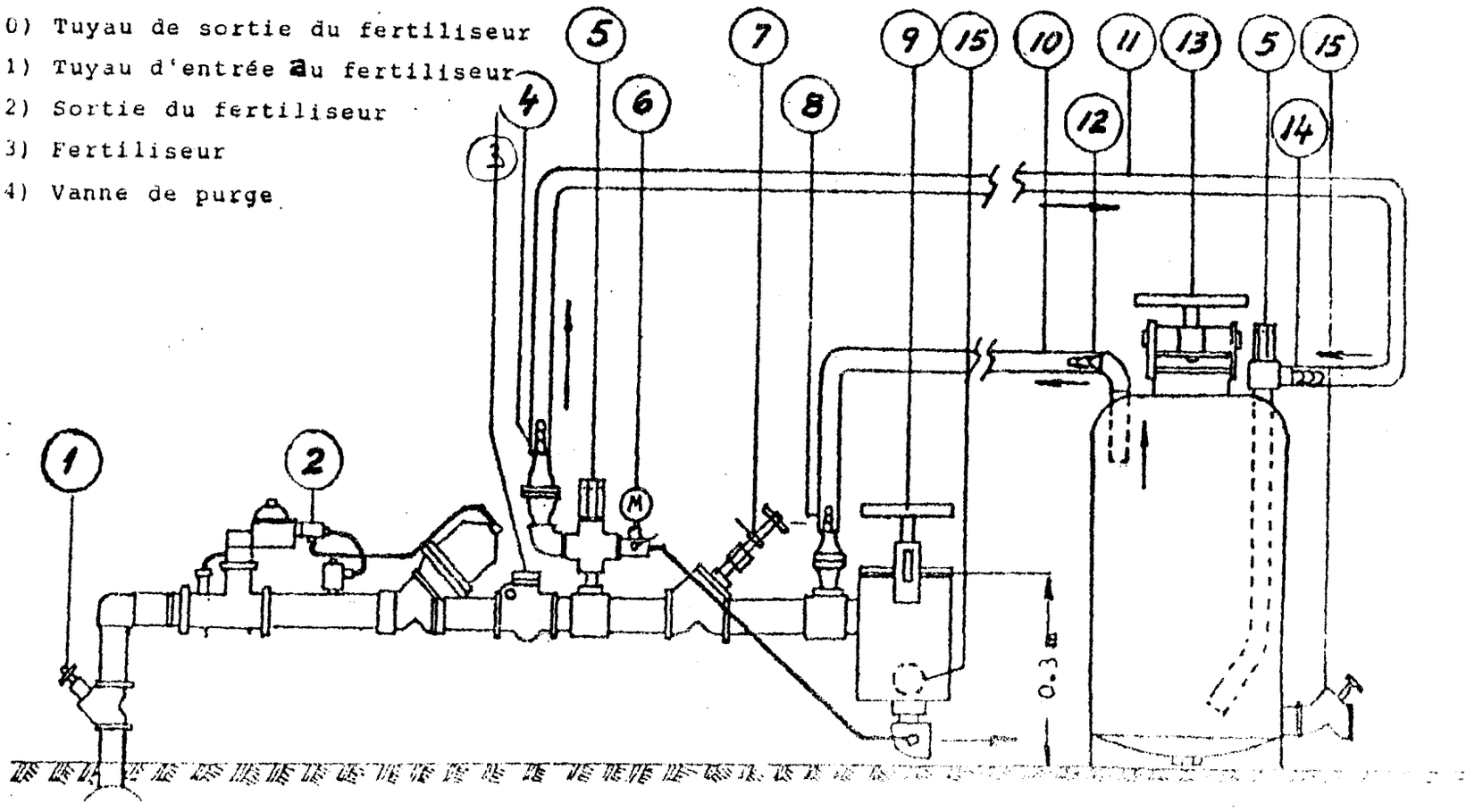
- un point d'eau,
- un équipement de tête,
- des conduites (canalisation principale, porte-rampe, rampes),
- des distributeurs,
- un dispositif d'automatisation.

I. LE POINT D'EAU

Il peut être constitué soit par la borne d'un réseau collectif sous pression, soit par une station individuelle de pompage à partir d'un puits, d'un forage, d'un cours d'eau, d'un canal ou d'un bassin de stockage.

FIGURE 3 - SCHEMA D'UNE INSTALLATION DE TETE (ICWA, ISRAEL)

1) branchement au réseau collectif
2) Vanne volumétrique de 2"
3) Clapet anti-retour
4) Départ vers le fertiliseur
5) Ventouse
6) Manomètre
7) Robinet permettant de créer une perte de charge
8) Raccordement au fertiliseur
9) Filtre à tamis
10) Tuyau de sortie du fertiliseur
11) Tuyau d'entrée au fertiliseur
12) Sortie du fertiliseur
13) Fertiliseur
14) Vanne de purge



Cette ressource en eau se caractérise :

- Dans le cas d'une alimentation continue : par son débit et sa pression (réseau collectif - pompage individuel à partir d'un point ou d'une ressource en eau non limitée),

- Dans le cas d'une desserte en eau discontinue : par son débit, sa pression, mais également par le volume journalier ou le temps d'utilisation possible du débit disponible (cas des tours d'eau).

II. L'EQUIPEMENT DE TETE (fig. 3)

Il comprend l'appareillage nécessaire au conditionnement de l'eau, au point de vue :

Hydraulique : mise en pression (pompe ou régulateur de pression),

Propreté : filtration (dessableurs, filtres à sable, filtres à tamis),

Enrichissement en engrais et autres substances chimiques : fertilisation et traitement de l'eau (fertiliseurs et pompes doseuses),

Organisation des arrosages : programmation (vannes hydrauliques, vannes volumétriques, vannes électriques, programmateurs),

Contrôle des volumes : comptage (compteurs)

ainsi que les sécurités nécessaires au bon fonctionnement :

- clapet anti-retour,
- soupape de mise à l'air libre.

Ces différentes fonctions sont importantes et les matériels utilisés doivent être parfaitement fiables pour faciliter l'exploitation et la maintenance de l'ensemble du réseau.

2.1 LE COMPTEUR D'EAU

Tout réseau d'irrigation localisée doit comporter un compteur d'eau placé soit directement sur la borne (installations collectives), soit immédiatement après la pompe (installations individuelles).

Il permet :

- de s'assurer du bon fonctionnement du réseau par un contrôle ponctuel du débit (volume/temps),

- de connaître la hauteur d'eau apportée sur une parcelle pour un arrosage,

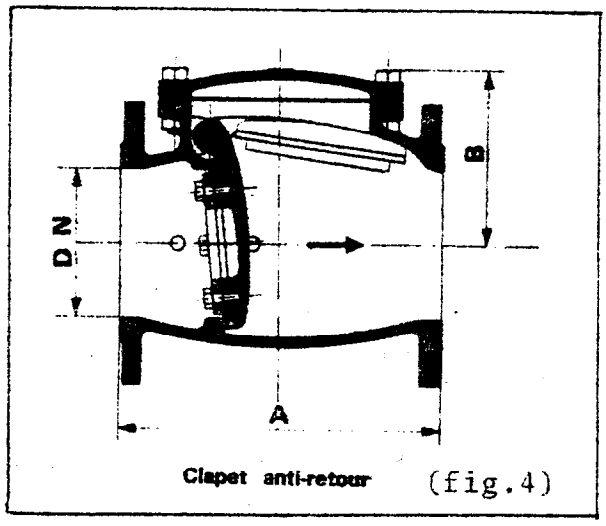
- de dresser le bilan pour l'ensemble de la campagne d'irrigation (volume/ha).

Il est préférable de travailler en volume plutôt qu'en temps car connaître la durée d'arrosage ne suffit pas. En effet le débit de la pompe (installation individuelle), de même que la pression donc le débit à la borne d'un réseau collectif, peuvent varier au cours du temps.

2.2 LE CLAPET ANTI-RETOUR (fig. 4)

Son rôle est d'éviter tout risque de pollution par retour de l'eau du réseau d'irrigation et de la solution fertilisante dans la source, le puit ou le réseau collectif, en cas d'arrêt de fonctionnement de la pompe ou de dépression dans une installation collective.

Il est en général constitué par un boitier à l'intérieur duquel se déplace un clapet qui ne permet qu'un seul sens de passage de l'eau. Ce dispositif est monté en série sur la canalisation principale.



Clapet anti-retour (fig.4)

Source BCMEA

2.3 LA FILTRATION DE L'EAU

En irrigation goutte à goutte, la propreté de l'eau est un élément essentiel pour le bon fonctionnement du réseau.

En raison du faible diamètre de sortie des goutteurs généralement inférieurs au millimètre (0,5 à 0,8 mm), il est nécessaire d'utiliser une eau qui soit débarassée de toutes ses impuretés, pour limiter les risques d'obstruction et conserver le débit nominal du goutteur. En réduisant ce débit, on diminue la quantité d'eau apportée à la plante mais également dans le cas d'une irrigation fertilisante, la quantité d'engrais.

Les causes d'obstruction des goutteurs sont d'ordre physique, chimique ou biologique.

- D'ordre physique : particules de sable, de limon ou d'argile en suspension dans l'eau ; les particules les plus grosses provoquent un bouchage quasi instantané des goutteurs (sable) tandis que les particules les plus fines modifient peu à peu le débit des goutteurs par un dépôt lent à l'intérieur de ceux-ci.

- D'ordre chimique : précipitations de sels dissous contenus dans l'eau d'irrigation. L'analyse de l'eau permet de déterminer sa teneur en calcaire et d'évaluer les risques d'obstruction.

Si l'eau est de type incrustante (teneur importante en calcaire), on peut soit utiliser le système Bas-Rhône, soit utiliser des brise-jets anti-calcaires (cas des capillaires), soit utiliser de l'acide nitrique diluée à 5/1000 que l'on fait séjourner dans les tuyauteries pendant une nuit. On enlève ensuite les bouchons d'extrémité de rampe et on rince à l'eau claire.

Les éléments chimiques à prendre également en compte sont le fer (développement de bactéries ferrugineuses) l'hydrogène sulfuré, et le manganèse.

Il faut remarquer que dans le cas d'une irrigation fertilisante, du fait que l'on modifie les propriétés chimiques et physiques de l'eau, on peut avoir également des risques de précipitation (voir § 2.2).

- D'ordre biologique : sans doute la plus difficile à maitriser. L'eau de surface (rivière, canal ou bassins) contient en effet, outre de la matière organique morte plus ou moins décomposée, toutes sorte de micro-organismes vivants : algues, bactéries, protozoaires, champignons. Les éléments de dimension supérieure à 50 ou 100 µ tels que les algues pluricellulaires et une grande partie de la matière organique morte, sont arrêtés au niveau de l'installation de tête, par un filtre à sable.

Par contre, les organismes monocelluleires passent facilement à travers les filtres, ainsi que les argiles et les limons fins.

Dans les tuyaux P.E. noir, les algues ne se développent pas puisqu'elles sont privées de lumière mais les champignons et les bactéries peuvent former des colonies, souvent gelatineuses, qui fixant les particules physiques augmentent la vitesse de colmatage.

Le fer ou l'hydrogène sulfuré provoquent également des proliférations de diverses bactéries, d'où des obstructions rapides, parfois en quelques jours.

Pour lutter contre les risques d'obstruction d'ordre biologique, on peut utiliser l'eau de javel ou hypochlorite de sodium qui est un oxydant et un désinfectant puissant et qui détruit les matières organiques et les micro-organismes.

Le tableau (1) donne les risques d'obstruction potentiels des goutteurs en fonction des principaux éléments physiques chimiques et biologiques contenus dans l'eau d'irrigation.

Tableau 1 :

Essai de critère de classification des eaux en fonction du risque d'obstruction potentiel des goutteurs.

Facteur	Unité	Risque d'obstruction		
		Faible	Moyen	fort
Physique				
- Solides en suspension	max-ppm (a)	< 50	50-100	> 100
Chimique				
- pH		< 7	7 - 8	> 8
- Sels dissous totaux	max-ppm (a)	< 500	5000-2000	> 2000
- Manganèse	max-ppm (a)	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
- Fer	max-ppm (a)	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
- H_2S	max-ppm (a)	< 0,5	0,5-2,0	> 2,0
Biologique				
- Bactéries	nombre max. (b) par ml.	< 10 000	10 à 50 000	> 50 000

(a) = concentration maximale mesurée selon une méthode normalisée sur un nombre représentatif d'échantillons.

(b) = nombre maximal de bactéries par millilitre obtenu sur échantillons prélevés au champ et analysés en laboratoire.

Afin de débarasser l'eau d'irrigation de ces différentes impuretés, on peut utiliser divers types de filtre qui retiennent les particules solides mais qui n'effectuent pas de filtration chimique.

2.3 LES FILTRES

Les différents types de filtre pouvant être utilisés sont :

- les séparateurs cyclone,
- les filtres à sable,
- les filtres à tamis.

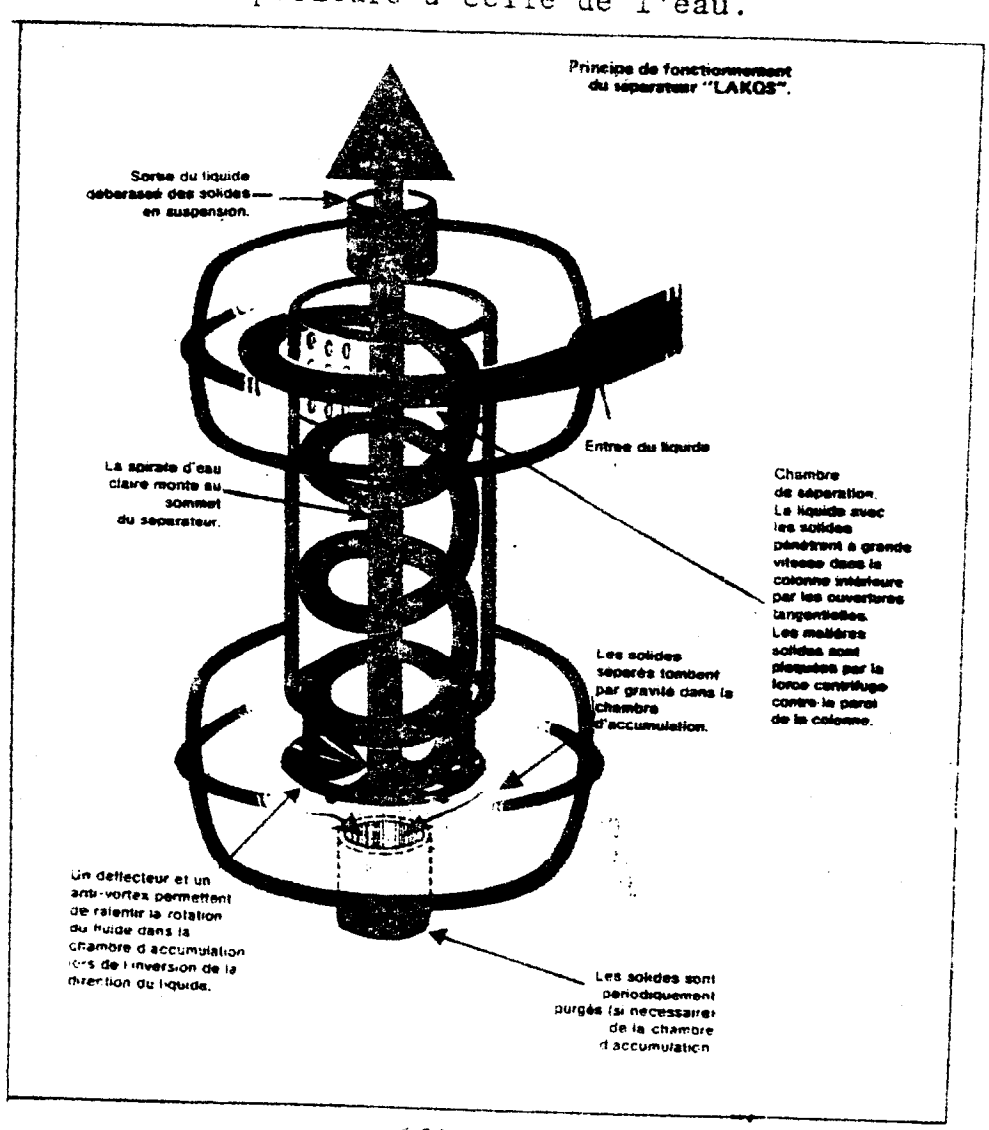
2.31 Les séparateurs cyclone

Principe de fonctionnement (fig. 5)

L'arrivée tangentielle de l'eau entraîne une mise en rotation de celle-ci, ce qui permet sous l'action de la force centrifuge ainsi créée, de séparer des particules plus denses que l'eau et leur accumulation à la partie inférieure de l'appareil. Une purge régulière permet d'évacuer les particules solides ainsi déposées.

Utilisation

Ce type d'appareil placé à l'entrée de la station de tête permet l'élimination des particules d'assez grosses dimensions, sable en particulier. Pour que la séparation eau/particules solides se fasse, la densité des particules doit être supérieure à celle de l'eau.



(fig. 5)

2.32 Les filtres à sable (fig. 6)

Ils sont utilisés lorsque la quantité de particules transportées par l'eau d'irrigation est élevée et leurs dimensions relativement faibles (limons, argile).

Ils comprennent une cuve métallique contenant les matériaux de filtration constitués par du sable. Les granulométries les plus couramment utilisées correspondent à un sable de 0,7 à 1,4 mm de Ø.

Les éléments ronds sont préférables aux éléments anguleux car ils s'interpénètrent mieux et assurent une meilleure filtration à dimensions de particules équivalentes. Le nettoyage des filtres se fait par contre-lavage.

Lorsque la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre est comprise entre 0,4 et 0,7 bars un nettoyage est nécessaire.

Un dispositif d'inversion du courant permet de mettre en suspension les grains de sable et les impuretés retenues dans celui-ci. Arrivée dans la partie haute du filtre, l'eau perd de sa vitesse et le sable retombe tandis que les impuretés plus légères restent en suspension et sont évacuées avec l'eau de vidange.

- Filtre à sable

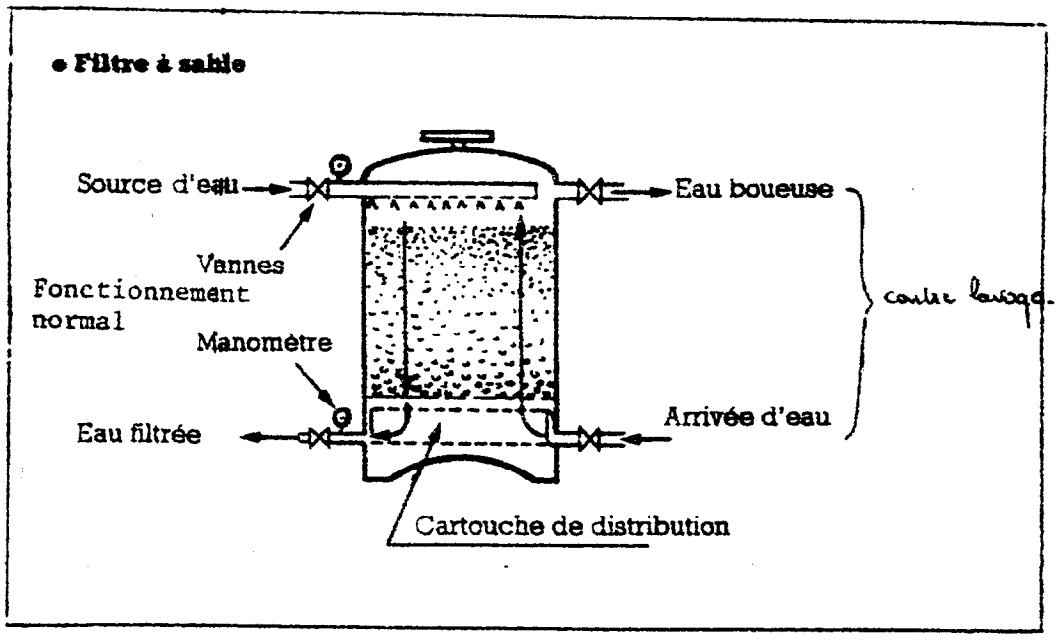


Fig. 6 : Filtre à sable

Dès que l'eau de rejet apparait propre, l'opération de nettoyage est terminée. Pour que ce nettoyage soit effectué dans des conditions convenables, l'eau utilisée doit être propre. On peut donc soit monter un petit filtre à tamis à l'entrée du réseau de nettoyage du filtre, soit lorsqu'on a deux filtres montés en parallèle, utiliser l'eau épurée provenant de l'un pour nettoyer l'autre. Un contre-lavage de 10 à 15 mn avec un débit égal à la moitié du débit de filtration suffit généralement au nettoyage.

Le dimensionnement d'un filtre à gravier est fonction de la qualité de l'eau et du débit horaire. A titre indicatif, pour un débit de 10 à 15 m³/h et une eau limoneuse, il faut un filtre permettant d'emmagasiner 100 à 150 litres d'éléments filtrants.

2.33 Les filtres à tamis

Cet appareil est l'élément de sécurité car il termine et fignole la filtration.

La filtration jusqu'à quelques µ (micron) est possible avec des toiles adéquates en inox ou en plastique. L'inconvénient de ces toiles très fines est leur fragilité (déchirure et abrasion par les particules de sable et de limon). Elles ne conviennent pas pour la matière organique ou l'argile.

Montage : on monte soit un seul filtre, soit 2 filtres à tamis en parallèle, ce qui permet lors du nettoyage de procéder de la même façon qu'avec les filtres à sable.

La présence d'un filtre à tamis à l'aval des autres est indispensable pour arrêter les particules qui échappent au déssableur cyclone ou qui sont entrainées lors du nettoyage du filtre à sable.

Toute installation de filtration comprend au moins un filtre à tamis à titre de sécurité même si l'eau parait parfaitement propre.

Un filtre à tamis est défini :

- d'une part par sa finesse, exprimée soit en nombre de mesh*(nombre de mailles par pouce valant 2,54 cm), soit en vide de maille qui est l'intervalle existant entre 2 fils contigus du tamis.

En irrigation goutte à goutte, les filtres utilisés ont une finesse de filtration de 80 à 120 µ.

La règle est que le vide de maille ne doit pas dépasser le tiers de la plus petite dimension de la plus petite section de passage du goutteur.

- d'autre part par sa surface nette de passage de l'eau qui est de 50 % environ de la surface brute du tamis et qui est d'autant plus faible que la toile est plus fine.

Quelle que soit la nature du filtre, il faut qu'il soit largement dimensionné (grande surface nette de passage) pour avoir une faible vitesse de passage, (<0,02 m/s) ce qui améliore la qualité de la filtration et permet d'espacer les nettoyages.

Lorsque les eaux sont très chargées, le filtre sera surdimensionné par rapport au débit de l'installation.

Lorsque l'eau est pompée à partir d'un ruisseau ou d'un étang, on peut utiliser des filtres flottants (Fig. 6).

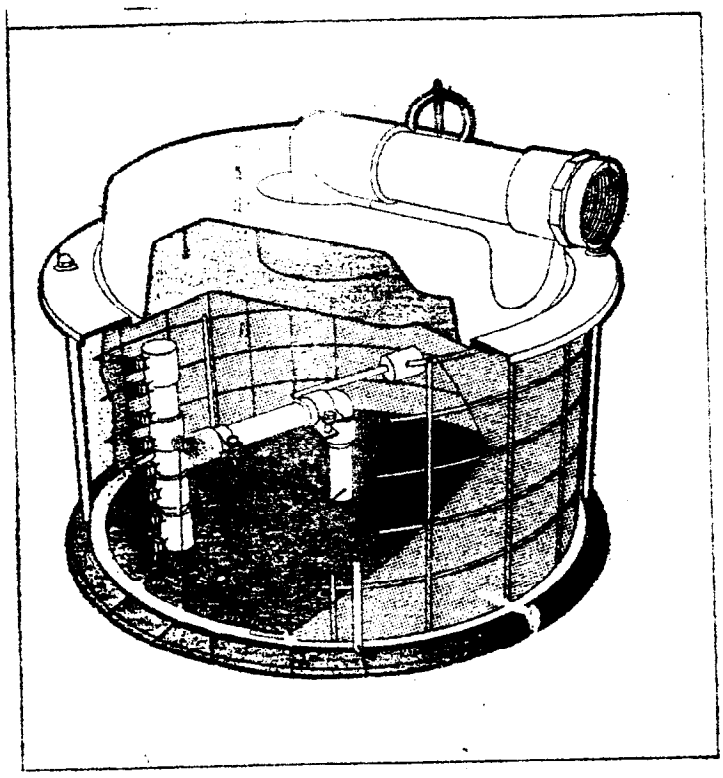


Fig. 6 : filtre flottant auto-nettoyant (source Eurofiltre).

Décolmatage des filtres :

Le colmatage d'un système filtrant se repère par une augmentation importante de la perte de charge entre l'entrée et la sortie du filtre. Cette perte de charge se mesure par un manomètre. Il convient d'effectuer un nettoyage aussi fréquent que nécessaire, pour éviter qu'un colmatage complet ne diminue pas trop le débit car, à ce moment-là, le régulateur de pression du réseau ne fonctionne plus et la pression statique du réseau collectif se transmet intégralement jusqu'au filtre qui peut être soit déchiré, soit écrasé, avec toutes les conséquences que cet accident entraine au niveau des goutteurs.

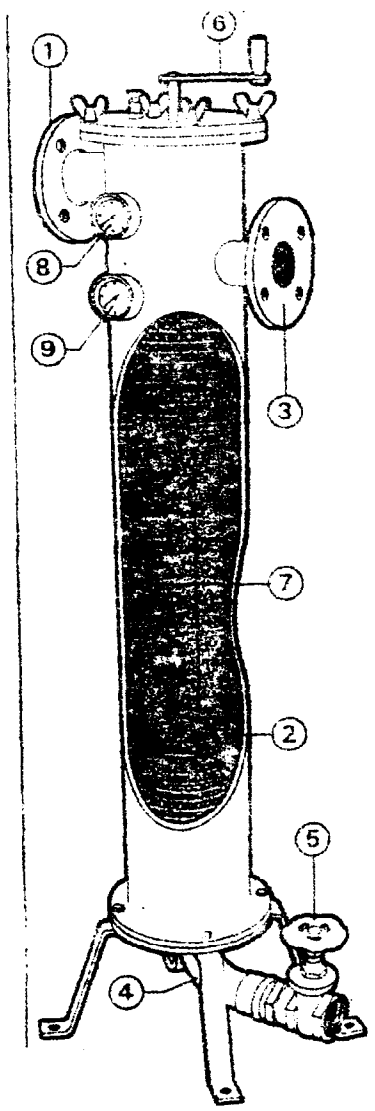
Le décolmatage peut être :

- manuel : (démontage, brossage de la toile et remontage du filtre) ;

- semi-automatique (fig. 7) : certains modèles possèdent une brosse qui peut être manoeuvrée de l'extérieur (modèles Eurofiltre - types 1010, 2500, 5000, Bermad) ;

- automatique : il est soit hydraulique, soit électrique. Dans le cas d'un décolmatage automatique hydraulique, c'est la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre qui entraîne le déclenchement du processus de nettoyage (voir principe de fonctionnement du filtre Bermad fig. 8).

Dans le cas d'un décolmatage automatique électrique, cette même différence de pression provoque, par l'intermédiaire d'un pressostat la mise en route d'un moteur électrique entraînant une brosse placée à l'intérieur, du filtre et l'ouverture d'une électrovanne de purge.



L'eau à filtrer entre par la bride 1, traverse l'élément 2 de l'intérieur vers l'extérieur, et ressort par la bride 3.

Les impuretés à éliminer tombent en partie au fond du filtre, vers le coude 4, et l'autre partie se dépose sur la face interne de l'élément.

Pour effectuer le décolmatage, la vanne 5 est ouverte, et le violent courant d'eau qui circule alors à l'intérieur de l'élément entraîne, en quelques secondes, la plus grande partie des impuretés, et, toujours pendant que l'eau s'écoule par le bas du filtre, quelques tours de manivelle 6, qui actionne la brosse interne 7, finissent le décolmatage.

La vanne 5 est ensuite refermée, et le filtre reprend son service normal.

Des manomètres placés en 8 et 9 permettent de s'assurer de la qualité du décolmatage.

Le filtre représenté est le modèle 2500. Le principe de fonctionnement des autres modèles est identique.

Fig. 7 : filtre à nettoyage semi-automatique.

Principe de fonctionnement du décolmatage (décolmatage hydraulique automatique fig. 8)

Lorsque la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre atteint une valeur prédéterminée, la commande automatique envoit un signal qui déclenche le mécanisme d'autonettoyage.

Filtre à tamis à décolmatage automatique sans éléctricité

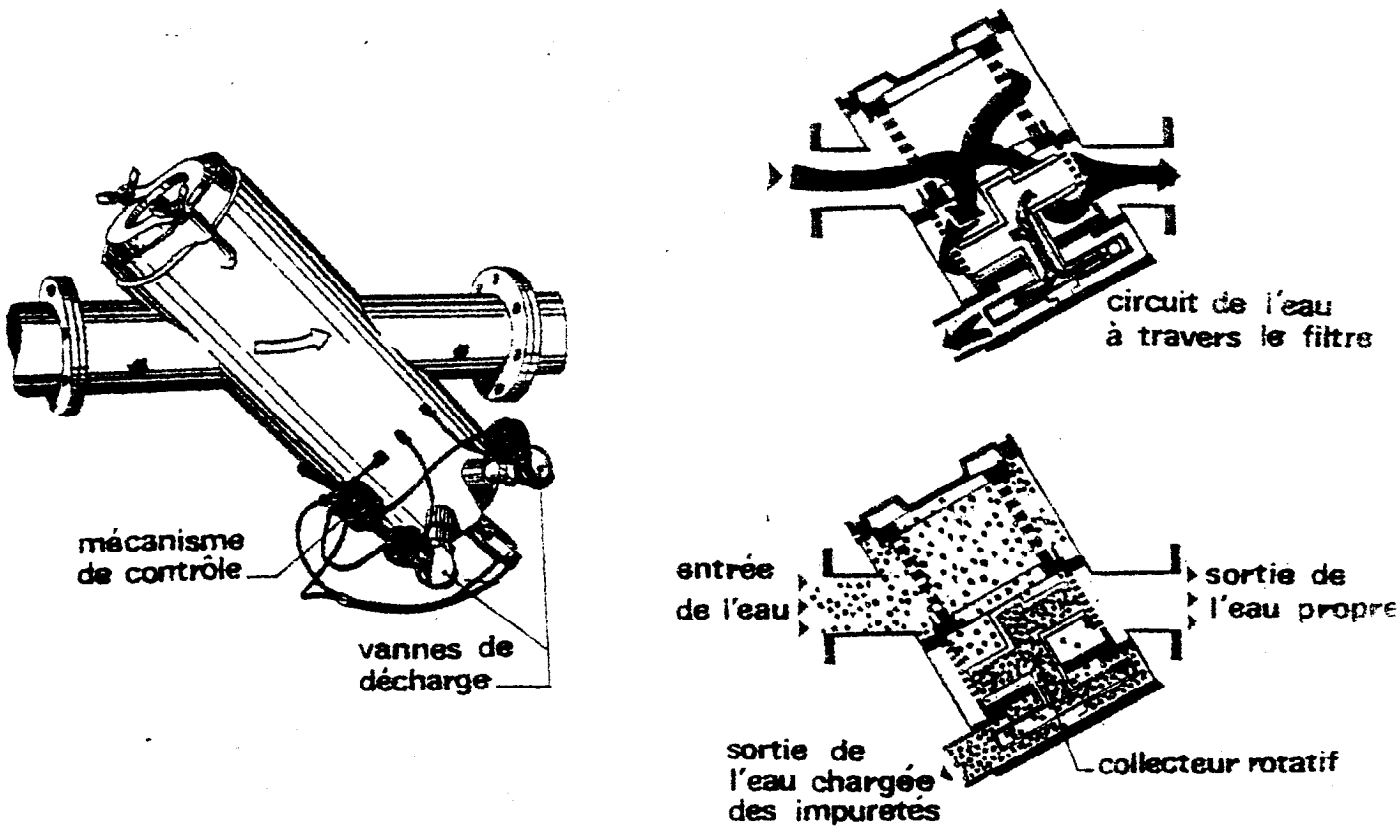


Fig. 8

(Source. DITAM)

Le clapet hydraulique s'ouvre pendant une période brève et les valves de succion, tournant autour de l'axe, enlèvent le dépot amassé sur l'élément filtrant. L'eau sale entre dans les fentes aspirantes des valves, d'où elle passe au clapet hydraulique avant de s'écouler par l'ouverture de vidange.

2.4 LA FERTILISATION

Lorsque l'on utilise le système Bas-Rhône ou des mini-diffuseurs, il est possible d'apporter l'engrais de façon localisée soit dans la rigole, soit sur la surface du sol. Les éléments fertilisants peuvent être entraînés dans le sol au voisinage des racines par l'eau d'irrigation.

Lorsque l'on utilise des goutteurs, la surface mouillée est trop faible pour permettre la solubilisation de l'engrais et son entraînement. Dans ce cas, l'injection d'engrais dans l'eau d'irrigation est donc la seule solution possible, surtout en serre où le sol n'est pas soumis à l'influence de la pluie naturelle, ainsi que dans les régions ou le déficit pluviométrique est important pendant la période de végétation de la culture et où les besoins en éléments fertilisants sont importants.

Les matériels utilisés pour l'incorporation des engrais ou des produits de traitement dans l'eau d'irrigation sont de différents types.

- Aspiromètres.
- Doseurs.
- Dilueurs.
- Pompes doseuses hydrauliques.
- Pompes doseuses électriques.

2.41 Les aspiro-doseurs ou aspiromètres (fig. 9)

Principe de fonctionnement

La dépression créée par la pompe permet l'aspiration de la solution mère : plus la dépression augmente (donc le débit d'eau), plus le débit de la solution mère augmente.

Schéma

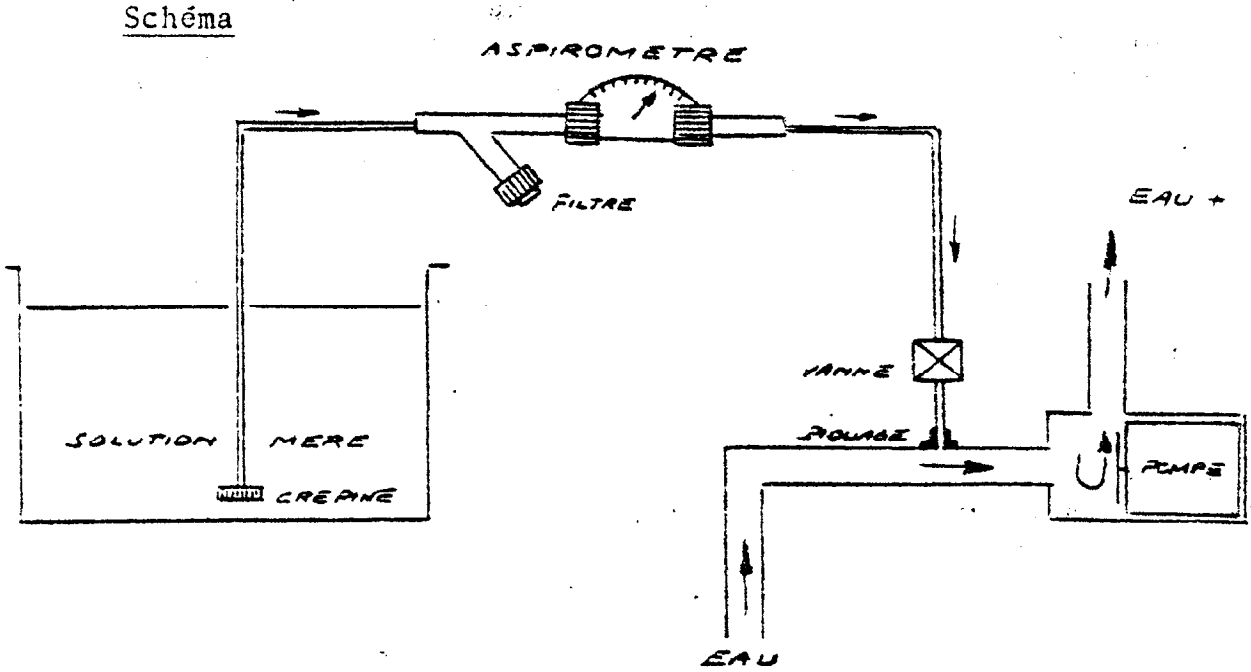


Fig. 9

Avantages

- Rusticité.
- Appareil de fonctionnement simple.
- Prix d'achat peu élevé (400 à 600 f).
- Simplicité d'installation.
- Matériel indiqué pour une installation provisoire.
- Bonne homogénéisation de la solution fertilisante avec l'eau d'irrigation par l'intermédiaire de la pompe.
- Possibilité d'utiliser une ou plusieurs solutions mères

Inconvénients

- Appareil non fiable : le débit de l'appareil varie avec celui de la pompe.
- Le débit varie avec la hauteur de la solution dans la cuve et avec la vitesse de rotation de la pompe.
- Nécessité d'une pompe, ce type de matériel n'est pas utilisable sur un réseau collectif ou dans le cas d'une station de pompage importante.
- Risque de détérioration rapide de la pompe (l'engrais passe dans la pompe), ou de corrosion du matériel non protégé.

Pour éviter le désamorçage de la pompe, il est nécessaire que l'aspiromètre soit muni d'un clapet.

Un étalonnage préalable de l'appareil permet de connaître la quantité d'engrais aspirée dans un temps déterminé.

Critère de choix

Par son prix faible et sa simplicité d'installation, ce matériel convient dans le cas d'installation provisoire.

En général les engrais sont apportés à chaque arrosage. Aussi pour faciliter le travail de l'utilisateur, différentes possibilités peuvent être envisagées.

La solution est préparée pour plusieurs jours dans un réservoir placé en hauteur. (fig. 10).

Chaque jour la quantité nécessaire est transvasée dans un bac à partir duquel elle est aspirée. Il est nécessaire que le réservoir soit muni d'un agitateur pour homogénéiser la solution. Il est également possible de relier le tuyau d'aspiration de l'aspiromètre à un réservoir contenant une quantité d'engrais supérieure à celle qui est nécessaire aux besoins de l'irrigation fertilisante. Le tuyau d'aspiration est monté sur une règle graduée et plonge dans le liquide jusqu'à un certain niveau. Le volume de solution fertilisante à aspirer correspond à la différence de niveau.

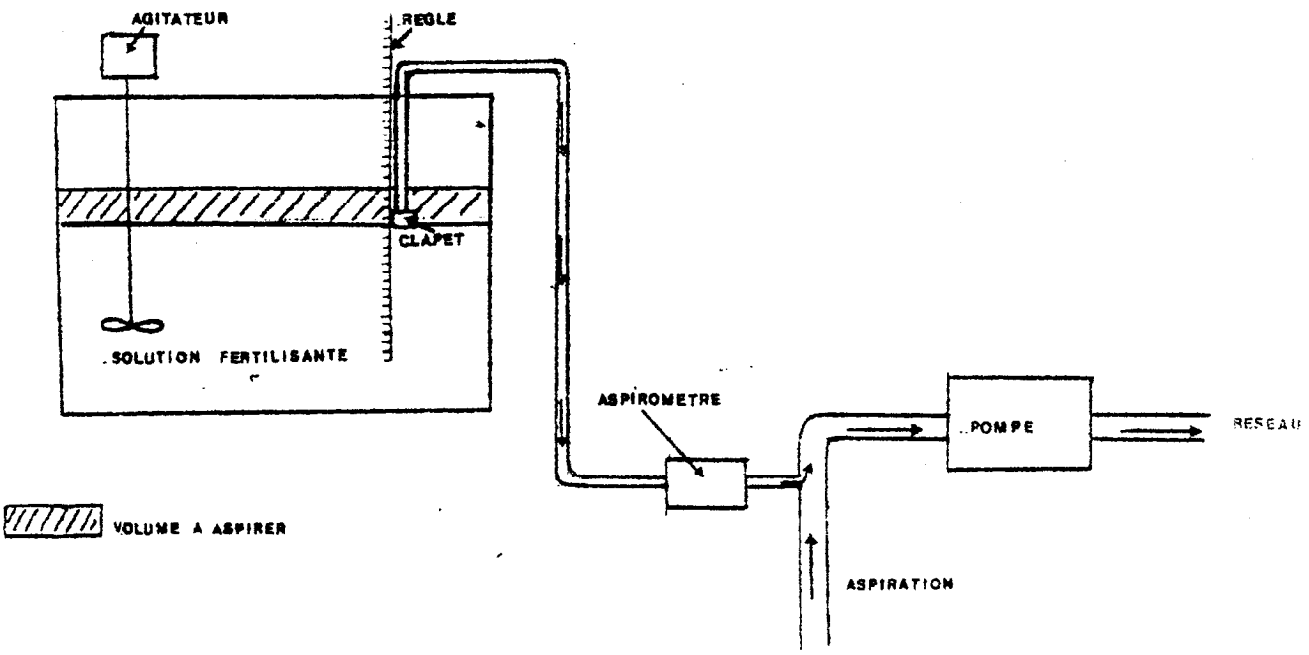


Fig. 10

2.42 Injecteurs a pression differentielle (dilueurs-doseurs) (fig. 11, 12).

2.421 Description de l'appareil

L'appareil se compose essentiellement d'une cuve étanche obturée par un tampon utilisé pour l'introduction des substances à injecter. La cuve a une capacité variable pouvant aller d'une dizaine à quelques centaines de litres et comporte :

- un bouchon de vidange,

- deux orifices pour le raccordement de l'appareil à deux points de piquage distincts de la canalisation d'arrosage sous pression.

L'équipement de l'appareil peut être complété par :

- les tuyaux de raccordement à la canalisation,

- un filtre amont,

- un filtre aval afin de prévenir l'injection de particules de produits non dissoutes dans le réseau,

- une colonne de verre pour le contrôle des niveaux de la solution mère,

- des robinets-vannes pour le réglage des débits et la mise hors service de l'appareil,

- un débitmètre,

- deux manomètres "amont" et "aval",

- une tête doseuse ou bloc d'alimentation groupant les appareils nécessaires :

  . à la dérivation d'une fraction du débit vers la cuve,
  . à l'injection de la solution,
  . au contrôle du débit injecté.

2.422 Classification des injecteurs à pression différentielle

On distingue deux catégories d'injecteurs : les doseurs (régime d'écoulement tranquille) et les dilueurs (régime d'écoulement turbulent).

- Les doseurs (fig. 11)

L'eau sous pression est admise sans turbulence à la partie supérieurs de la cuve et refoule par l'orifice d'évacuation situé à la base de la cuve la solution-mère vers la canalisation maîtresse.

L'absence de turbulence et la différence de densité entre l'eau et la solution-mère font que ces deux liquides ne se mélangent pas.

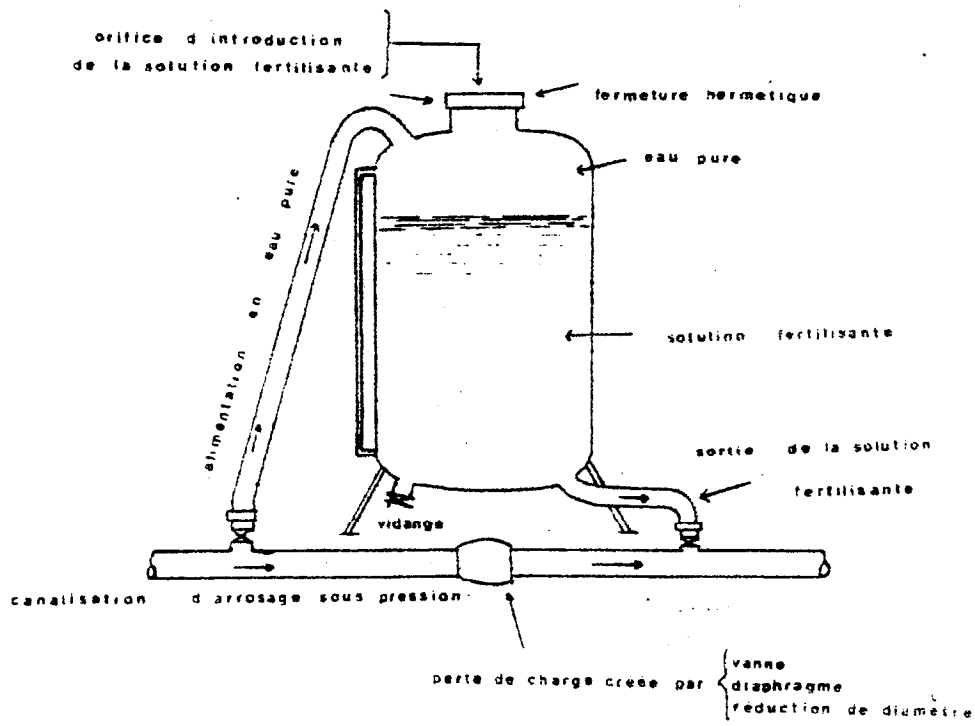
- Les dilueurs (fig. 12)

L'admission de l'eau sous pression est étudiée pour créer à la base de la cuve, un régime turbulent qui provoque la dilution de l'engrais solide ou liquide et le refoulement vers la canalisation maîtresse. Pour favoriser un mouvement centrifuge, l'arrivée de l'eau est parfois tangentielle.

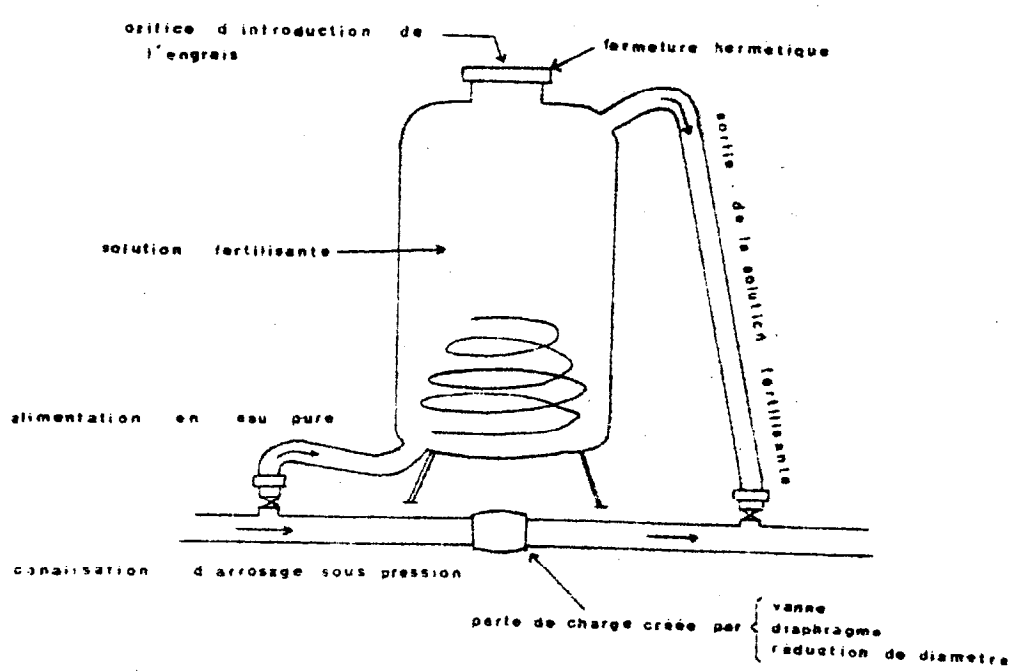
Pour assurer une meilleure dilution de l'engrais et éviter l'entraînement des éléments insolubles qui restent en fond de cuve, l'orifice d'évacuation est situé au point haut de la cuve.

Pour ces deux types d'appareils le débit d'injection est difficile à déterminer précisément et s'ils sont bien adaptés à l'injection de quantités connues de produits, ils ne conviennent pas lorsque l'on doit obtenir un débit d'injection et un taux de concentration constants pendant une période déterminée (traitement de cure au chlore ou à l'acide par exemple).

Doseur en cours de fonctionnement (Fig. 11)



Dilueur en cours de fonctionnement (Fig. 12)



2.423 Fonctionnement

La cuve étanche est raccordée à la canalisation d'arrosage par deux tuyaux souples de raccordement piqués en deux points voisins où règnent des pressions différentes.

On provoque la différence des pressions en installant sur la conduite entre ces deux points un organe susceptible de créer une perte de charge et donc d'établir une pression différentielle.

L'existence de cette pression différentielle provoque la formation d'un écoulement dans le circuit dérivé d'injection.

2.424 Avantages et inconvénients

Avantages :
- appareil autonome,
- fonctionnement simple,
- matériel robuste,
- concentration constante de la solution-mère (doseurs),
- possibilité d'utiliser des engrais solubles (dilueurs),
- prix relativement modeste.

Inconvénients :
- en automatisme, ne permet de travailler que sur des blocs identiques,
- utilisation limitée par le volume de la cuve,
- réglage du débit de l'appareil plus ou moins précis,
- nécessité de mettre l'engrais en solution (doseur),
- injection à taux de concentration dégressif de la solution-mère pour un débit constant dans la conduite maîtresse (dilueur),
- nécessité de vider l'appareil entre chaque injection.

2.425 Critères de choix

Ces appareils autonomes peuvent être utilisés en plein champ. Ils présentent l'avantage d'être simples, robustes, entièrement statiques et de pouvoir s'installer sur n'importe quelle conduite sous pression, qu'il s'agisse d'une alimentation en réseau collectif ou partivulier... Ils sont facilement transportables et pratiquement sans entretien. La variation du débit injectée est très facilement opérée par la simple manoeuvre de robinet-vanne destiné à créer la pression différentielle.

2.43 <u>Les pompes doseuses</u> (fig. 13 et 14)

Ces pompes injectent directement sous pression dans l'eau d'irrigation une solution fertilisante concentrée. Cette injection peut, soit utiliser une énergie extérieure (électricité), soit utiliser l'énergie même du réseau d'irrigation. Dans ce dernier cas, on prélève en général une petite partie du débit qui sert à actionner la pompe d'injection et qui est ensuite rejetée (débit de fuite).

Les matériaux utilisés pour la fabrication des pompes doivent être hautement résistants aux risques de corrosion causés par les engrais chimiques ou par l'acide nitrique (PVC, acier inoxydable, plexisglas, élastomètres fluorés, etc...).

En fonction de leur mode de fonctionnement, on distingue les pompes doseuses électriques, les pompes doseuses hydrauliques et les pompes doseuses hydrauliques à commande électrique.

2.431 Les pompes doseuses électriques

A membrane ou à piston, entraînées par un moteur électrique, elles ne sont utilisables qu'à proximité d'une source de courant (serres en particulier).

Elles peuvent soit injecter directement la solution fertilisante dans la canalisation principale, soit servir à préparer dans un bac une solution diluée qui est ensuite reprise par pompage.

Le volume de solution fertilisante injecté peut être soit indépendant du débit principal, soit asservi à ce débit par l'intermédiaire d'un volucompteur emetteur d'impulsions.

Dans le premier cas, la pompe est réglée pour injecter un volume v à une cadence déterminée (x coups/minute).

L'inconvénient de ce système est que, lorsque le débit dans la canalisation principale varie, le volume de solution fertilisante injecté restant constant, la concentration de la solution finale varie et ceci peut entrainer des risques importants d'accident pour les cultures.

Dans le second cas par contre, la pompe doseuse étant dépendante du débit principal par l'intermédiaire du volucompteur, la concentration de la solution finale sera constante quelque soit ce débit principal.

L' asservissement des pompes doseuses électriques peut également se faire par la mesure d'une caractéristique physique de la solution finale (mesure de conductivité ou du ph).

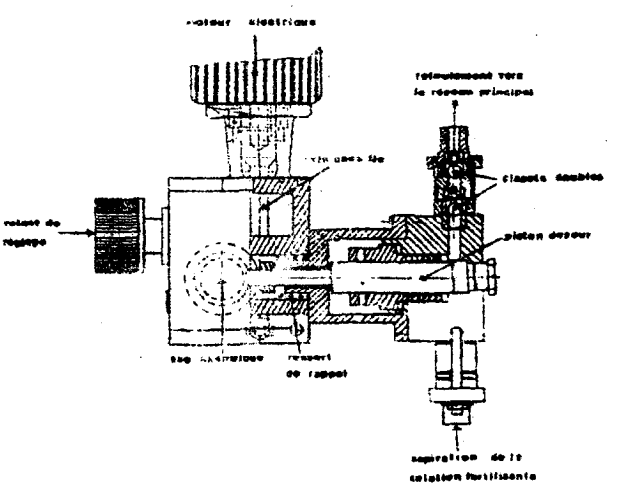


Schéma de pompe doseuse à piston et à retour par ressort

Fig. 13

Exemple : pompes doseuses électriques à membrane simple ou double et à commande mécanique (fig. 14).

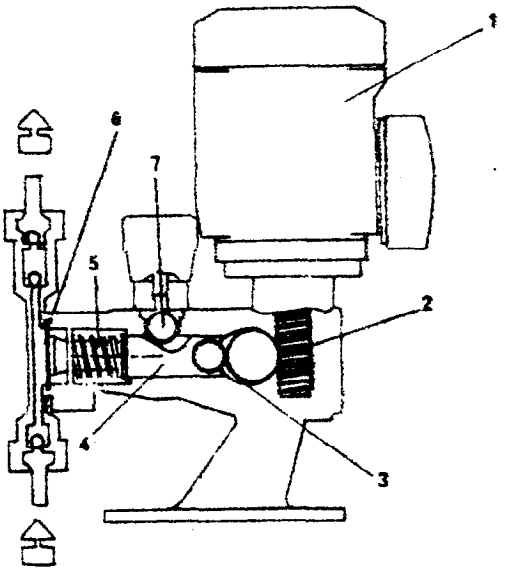
Principe de fonctionnement

Le moteur électrique (1) accouplé à un réducteur de vitesse (2), transmet un mouvement alternatif au piston (4) par l'intermédiaire d'un excentrique (3) à came et galet. Un ressort de rappel (5) ramène le piston vers l'arrière.

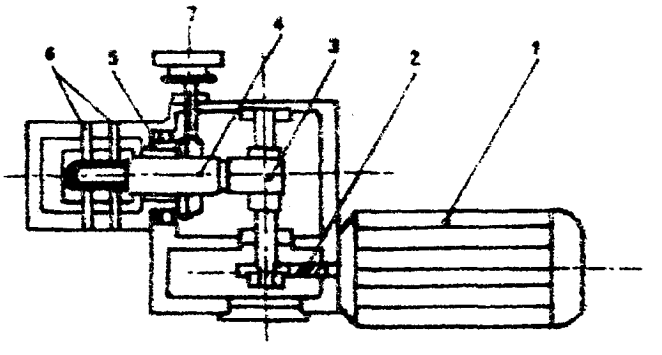
Le mouvement du piston déplace une membrane (6) simple ou doble. C'est en limitant la course du piston par une butée (7) que l'on règle le débit de la pompe.

Le moteur électrique accouplé à un système de réduction à roue et à vis, lubrifié par un bain d'huile, transmet un mouvement alternatif au piston par l'intermédiaire d'un système d'entraînement positif. Pour certains modèles, un ressort de rappel ramène le piston vers l'arrière (5).

(Fig. 14) Schéma - Pompes doseuses électriques à membrane



Pompe à membrane simple
(Coupe verticale)



Pompe à membrane double
(Coupe horizontale)

2.432 Les pompes doseuses hydrauliques (fig. 15)

Principe de fonctionnement

Ces pompes utilisent l'énergie du réseau lui-même, et sont donc entièrement autonomes. Elles se composent d'un distributeur, d'une partie motrice et d'une partie injectrice. Elles peuvent injecter une ou deux solutions fertilisantes. Certains modèles ont un débit constant préréglé, alors que d'autres sont utilisés en doseurs-volumétriques par l'adjonction d'un volucompteur placé sur la canalisation principale. Le débit de la pompe varie avec le débit du réseau et maintient une concentration constante en fertilisant (pompe doseuse TMB). Ceci permet de passer d'un poste à un autre poste dont le débit d'irrigation est différent mais pour lequel la concentration finale est la même.

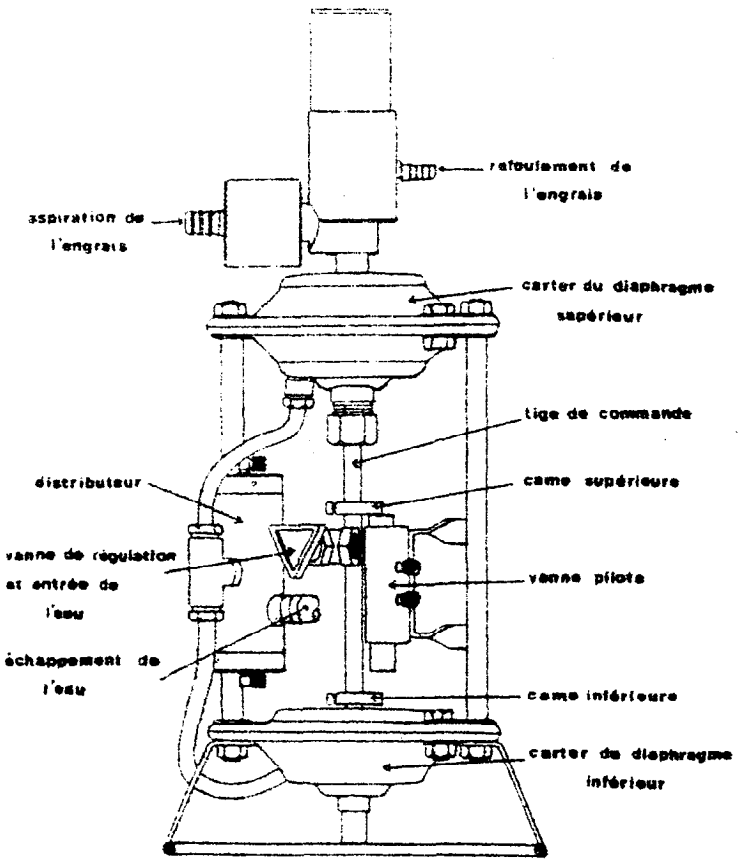


Schéma de doseur volumétrique hydraulique à distributeur et vanne-pilote

Fig. 15

2.433 Les pompes doseuses hydrauliques à commande électrique (fig. 16)

Principe de fonctionnement

Un faible débit d'eau sous pression est prélevé depuis la canalisation principale et dérivé vers un moteur hydraulique (à piston ou à membrane) asservi à deux électrovannes montées en opposition (admission et échappement).

L'ouverture ou la fermeture des électrovannes est commandée par un signal électrique, issu d'une minuterie ou d'un volucompteur à tête émettrice placé sur la canalisation principale. La fréquence des impulsions est fonction du débit d'eau principal. L'eau sous pression arrive sur une face de la membrane ou du piston moteur, et en provoque le déplacement. Celui-ci est transmis à la partie injectrice de la pompe provoquant alternativement l'aspiration de la solution à injecter et son refoulement dans le réseau principal.

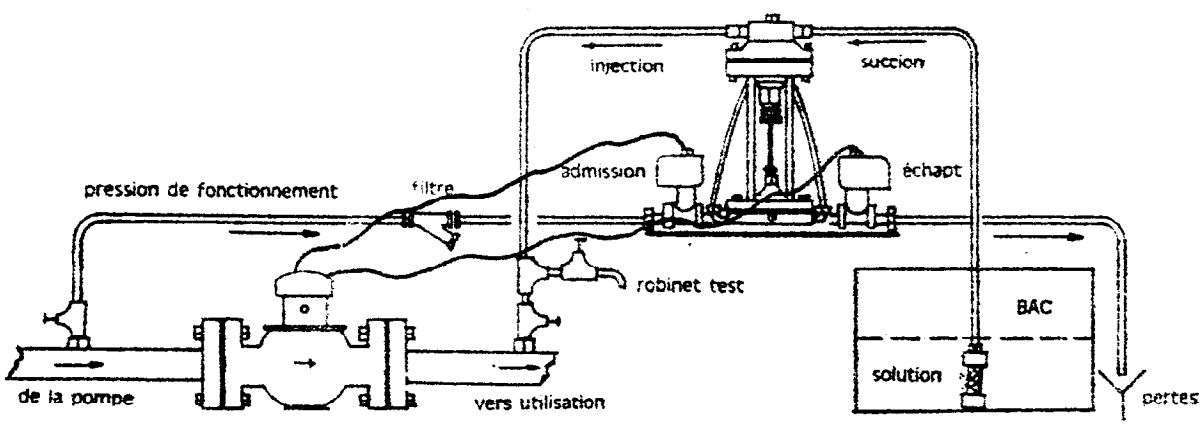


Schéma de pompe doseuse hydraulique à commande électrique

Fig. 16

Remarque

Afin d'éviter des risques d'entraînement de particules de produits non dissoutes dans le réseau de distribution, il est recommandé d'installer un filtre sur la canalisation principale, immédiatement à l'aval de l'injecteur.

De même, afin de pallier tout retour de solution fertilisante vers l'amont des installations, il est impératif de prévoir la pose d'un clapet anti-retour à l'amont immédiat de l'injecteur.

2.434 Réglage des pompes doseuses

. Exemple

Soit T le taux de concentration de la solution finale (g/l)

Soit Q le débit dans le réseau principal (l/h)

Soit v le volume délivré par la pompe pour une impulsion (l)

Soit c la concentration de la solution-mère (g/l)

Quantité d'engrais délivrée pour une impulsion

v.c

Le volume que la pompe doseuse doit débiter V.(l/h)
n coups/h

$V_{l/h}$ v_l .n

Quantité d'engrais apportée en 1 h

PE = V.c = v.n.c.

$T = \frac{PE}{Q}$ $\frac{v.n.c.}{Q}$

A partir de cette équation on peut déterminer : soit n.
soit v.
soit c.

2.435 Avantages et inconvénients des pompes doseuses

Pompes doseuses électriques

Inconvénients

. Pas d'autonomie (nécessité de disposer d'énergie électrique)
. Risques d'accidents dus à la présence de courant électrique.

Avantages

. Gamme de débits et de réglage très étendue,
. Possibilité d'injecter plusieurs solutions simultanément,
. Possibilité d'injecter à grande distance.

Pompes doseuses hydrauliques

Inconvénients

. Parfois gêne provoquée par la présence d'un débit de fuite de l'eau motrice,
. Nécessité d'une pression minomale pour le fonctionnement de la pompe,
. Gamme de débits moins importante.

Avantages

. Autonomie : pas besoin d'énergie autre que l'énergie hydraulique,
. Pas de risques de surpression,
. Moindre risque de surdosage accidentel car s'il y a un arrêt du courant d'eau principal, la pompe s'arrête.

2.436 CRITERES DE CHOIX

	ASPIRO-DOSEUR	DOSEUR	DILUEURS	POMPES DOSEUSES
- Prix	Faible	Large gamme de prix	Large gamme de prix	Large gamme de prix
- Gamme des débits	Importante	Importante	Importante	Importante
- Régularité de la concentration	Mauvaise	Assez bonne	Mauvaise	Bonne
- Conditions d'installation	Nécessité d'une pompe de surface	Autonomes	Autonomes	-Autonomes (pompes hydrauliques) -Nécessité de disposer de courant électrique (pompes électriques et pompes à asservissement électrique).
- Utilisation sur réseau collectif	Non (1)	Oui	Oui	Oui
- Automatisation	Possible sur certains modèles asservis (2)	Non	Non	Oui
- Autonomie	Limitée	Limitée	Limitée	Importante
- Nécessité de préparer une solution-mère	Oui	Oui	Non	Oui

(1) Il existe un aspirodoseur à double venturi pouvant être utilisé sur un réseau collectif.

(2) Certains modèles sont asservis par mesure de la conductivité de la solution (modèles hollandais). Un programmateur ouvre ou ferme une électrovanne à la sortie de l'aspiromètre.

2.5 LE REGULATEUR DE PRESSION (Fig. 17)

Un régulateur de pression est un appareil permettant de protéger un dispositif contre les variations de pression. La pression à maintenir constante peut être la pression amont (régulateur amont) ou la pression aval (régulateur aval).

Principe de fonctionnement

Un ressort taré A, comprimé à une valeur prédéterminée l'est également par le piston B sur lequel s'exerce la pression aval. Soumis à ces deux forces opposées, le piston prend une position telle que la perte de charge créée au niveau du siège C assure une réduction de pression nécessaire à l'obtention de la pression aval désirée.

Ce type de matériel se monte, soit au niveau d'une station de tête, soit au niveau des différents postes d'une même installation.

Dans le premier cas il joue un rôle de protection et dans le second cas, il permet d'avoir au niveau des différents postes la pression de fonctionnement déterminée par le projeteur.

Remarque : un régulateur de pression ne régule pas à débit nul. Il est donc nécessaire, lorsque celui ci est monté au niveau de la station de tête, de prévoir à l'aval une soupape de sécurité pour protéger le reste de l'installation.

En effet, lorsque le débit devient nul (filtre colmaté par exemple) toute la pression du réseau amont s'exerce sur la cartouche filtrante, avec risques de détérioration et passage des impuretés retenues vers les goutteurs (risque d'obstruction).

Par contre, la présence d'une soupape de sécurité pouvant s'ouvrir en cas de surpression permettra un débit et le fonctionnement du régulateur.

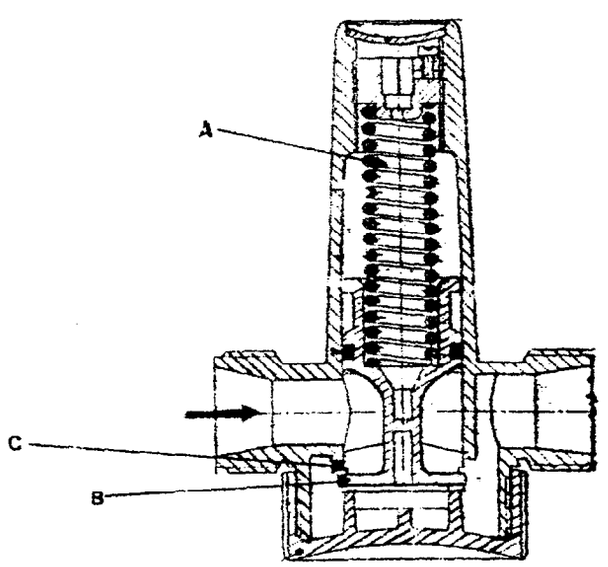


Fig. 17 : régulateur de pression

III. LES CONDUITES

Au niveau de la parcelle, les canalisations sont constituées par :

- la conduite principale,
- le porte-rampes,
- les rampes.

3.1 LA CONDUITE PRINCIPALE

Il s'agit en général de conduites enterrées. Les matériaux utilisés sont le polyéthylène ou le PVC. Il faut éviter le métal car il peut à la longue s'oxyder et apporter des impuretés dans l'eau qui y circule provoquant le bouchage des distributeurs. De même en irrigation fertilisante, il faut éliminer les raccords en métal (bronze par exemple), à cause des risques de corrosion et utiliser des raccords plastiques. Les raccords utilisés sont à compression et s'adaptent à l'extérieur du tuyau. Ils ne réduisent pas la section de passage et diminuent donc les pertes de charge locales.

3.2 LE PORTE RAMPE

En général en polyéthylène ou parfois en PVC (cas des minidiffuseurs), il alimente les rampes par des départs sur un ou sur les deux cotés.

Le porte rampes est fixé à la conduite principale par des tés de type PLASSON. Lorsque le porte rampes est à la surface du sol, seul le P.E doit être utilisé.

3.3 LES RAMPES

Elles constituent l'organe essentiel de transport et de distribution de l'eau. C'est sur ces rampes que sont disposés les distributeurs. Elles sont fixées sur le porte rampes par des colliers de prise en charge. Elles sont établies le long des rangs de culture ou parfois, cas des cultures maraichères, entre deux rangs rapprochés.

Le matériau utilisé est en général le P.E. basse densité. Les diamètres les plus couramment employés sont le 13/16, le 14,5/17, le 17/20 et le 22/25. Dans les rampes la pression de l'eau ne dépasse pas en général 2 bars sauf lorsque les distributeurs sont auto-régulants. Dans ce cas elle peut atteindre 4 bars. Il faudra donc s'assurer que les tuyaux utilisés peuvent supporter cette pression.

Dans la matière première est incorporé du noir de carbone qui protège le tuyau de l'action des ultra violets, qui provoqueraient un vieillissement rapide , et empêche le développement des algues à l'intérieur de la rampe. Pour la même raison, on ne doit pas utiliser de pièces spéciales (raccords ou té) en matière plastique transparente.

En ce qui concerne la position des rampes sur la parcelle, toutes les solutions existent, surtout en goutte à goutte :

- simplement posées sur le sol (cas général),

- enterrées avec le goutteur qui dépasse du sol dans le cas par exemple de récoltes mécaniques d'arbres de plein vent,

- accrochées au premier fil de palissage ou à un fil tendu spécialement (microjets) dans le cas de haies fruitières ou de vignes palissées,

- posées d'arbre en arbre sur les charpentières, toujours de façon à dégager le sol,

- posées au fond d'une rigole triangulaire de faible profondeur et immobilisée par des diguettes en terre qui délimitent les biefs (système Bas-Rhône).

IV. LES DISTRIBUTEURS

La facilité d'emploi des matières plastiques, polyéthylène (PE) et polypropylène (PP) en particulier, a permis la fabrication de nombreux modèles de distributeurs, soit par extrusion à travers une filière comme les capillaires, soit surtout par injection dans un moule. Cependant certains sont usinés en laiton comme les ajutages Bas-Rhône.

Comme pour les rampes et tubes conducteurs*, les distributeurs en plastique doivent être opaques au rayonnement solaire, afin d'éviter le développement des algues à l'intérieur du réseau, dans la partie de ce dernier située au-dessus du sol et subissent les mêmes traitements que les rampes (§3.3).

Certains cependant sont colorés autrement qu'en noir, ce qui permet de différencier les calibres d'un même modèle. C'est le cas notamment du goutteur TIROSH, israélien, ainsi que de certains modèles de minidiffuseurs.

---

* L'appellation "tubes conducteurs" recouvre l'ensemble des tuyaux de petit diamètre (Ø ext. 4 à 8 mm) compris entre les capillaires et les rampes, dont la fonction est de "conduire" sur de courtes distances le débit d'une rampe à un distributeur ou d'un distributeur au point de délivrance de l'eau sans perte de charge appréciable.

Parmi les distributeurs, on peut distinguer 4 grandes familles : (fig. 18)

1°/ Les goutteurs, dont le débit reste inférieur à 12 l/h sous 1 bar de charge (soit environ 10 m de colonne d'eau), ce qui permet théoriquement un écoulement "goutte à goutte" et une infiltration immédiate, donc ponctuelle, de l'eau dans le sol ;

2°/ Les ajutages calibrés, dont le débit, beaucoup plus important, va de 35 à 100 l/h toujours sous 10 m de colonne d'eau. Grâce à un brise-jet, l'eau s'écoule sans pression sur le sol, mais ne peut s'infiltrer ponctuellement : elle s'écoule donc et s'infiltre sur une certaine surface, aménagée en général sous forme de dépression où elle peut être stockée temporairement.

Dans le procédé Bas-Rhône, cette dépression est constituée par un bief aménagé dans une rigole de section triangulaire et de faible profondeur au fond de laquelle est maintenue la rampe.

3°/ Les mini-diffuseurs (type MICROJET d'Afrique du Sud ou MAMTAZ 7700 israélien) qui fonctionnent comme de petits asperseurs statiques ne couvrant qu'une partie de la surface, au voisinage des arbres (il s'agit en effet de techniques d'irrigation particulières aux vergers, du moins aux cultures arbustives).

Leur débit, qui était à l'origine (Afrique du Sud 1972) du même ordre de grandeur que celui des ajutages calibrés, doit être tel que la pluviométrie effective délivrée reste inférieure à la vitesse d'infiltration du sol considéré.

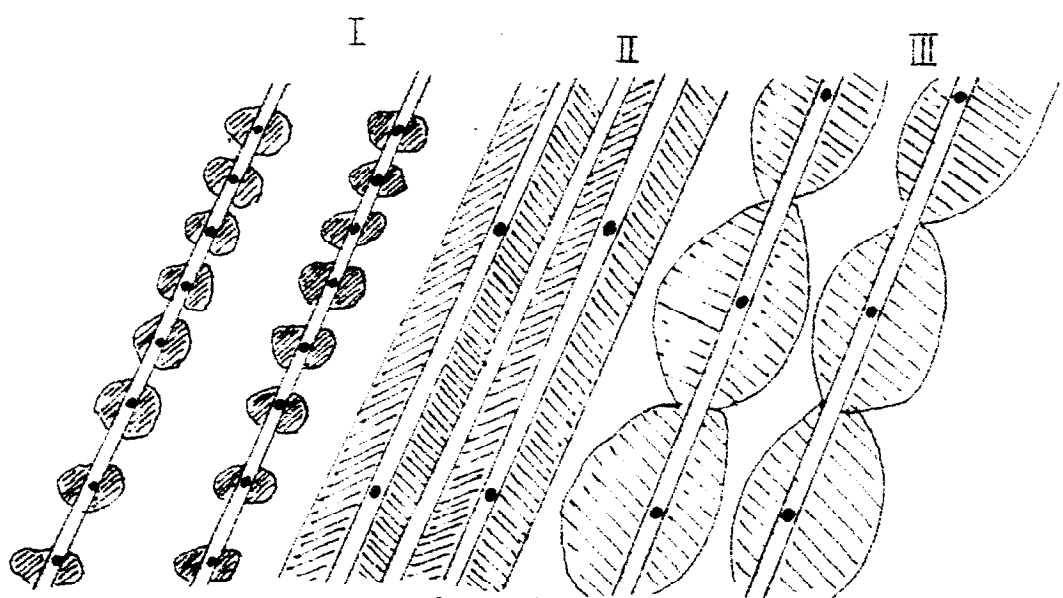


Fig. 18

I) Irrigation localisée ponctuelle :
- goutteurs,
- gaines perforées.

II) Irrigation localisée linéaire :
- système Bas-Rhône,
- gaines et rampes poreuses.

III) Irrigation localisée par aspersion :
- microjets.

Initialement conçus pour être utilisés sur des sols très grossiers dans lesquels l'eau s'infiltre verticalement, sans diffusion latérale, ils ont été ensuite étendus à des sols peu filtrants où, en aspersion, des problèmes de pluviométrie pouvaient se poser. Cette évolution, jointe à la tendance de réduire le coût des réseaux, a entraîné une utilisation préférentielle de débits plus réduits, de l'ordre de 18 à 20 l/h : les sections de passage sont devenues alors inférieure à celles des goutteurs à long circuit, d'où des problèmes de filtration, au moins aussi importants qu'en goutte à goutte, qui n'existaient pas à l'origine.

Dans le cas des minidiffuseurs, la portée du jet est de l'ordre de 1 à 2 m.

Signalons que certains asperseurs à jet rotatif, en plastique et de très petite taille, appelées "micro-asperseurs", utilisables en aspersion en plein, sont également utilisés en aspersion localisée dans les vergers. Ils sont de fabrication israélienne (DAN, NAAN, EIN TAL, LEGO).

4.1 LES GOUTTEURS

4.11 Généralités

Un distributeur est avant tout conçu pour distribuer un débit aussi constant que possible malgré la variation de la pression (sous l'effet des pertes de charge ou de variations topographiques du terrain) régant à l'intérieur de la rampe sur laquelle il est fixé. Cette constance s'exprime par la valeur de l'exposant x de la pression dans la loi $q = K K^x$ qui, dans la majorité des cas, exprime le débit du distributeur.

Dans le cas des goutteurs il existe un débit nominal qui caractérise chaque modèle de telle ou telle marque : c'est le débit (en l/h) qu'il délivre sous une pression de référence indiquée par le fabricant et qui est en général de 10 m de colonne d'eau. Dans la fourchette 0-12 l/h, les débits nominaux les plus fréquents sont 2, 4 et 8 l/h, soit approximativement 1/2, 1 et 2 gallons U.S. par heure, le gallon américain étant égal à 3, 785 l.

4.12 Classification des goutteurs

On peut classer les goutteurs suivant différents critères.

Si on les considère d'un point de vue hydraulique, on trouve : les goutteurs à circuit long et les goutteurs à circuit court.

a)- Les goutteurs à circuit long : l'eau suit un cheminement de grande longueur (de l'ordre de 0,1 à 1 ou 2 m) le long duquel la charge en tête, c'est-à-dire la pression dans la rampe, est pratiquement entièrement dissipée sous forme de perte de charge.

Parmi eux, on peut ranger :

. Les capillaires, goutteurs à circuit quasi rectiligne, constitués par un tronçon de microtube en PE dont le diamètre intérieur (de la grosseur d'un cheveu, d'où son nom) peut varier de 0,5 à 1,1 mm, et dont la longueur pratique est comprise entre 0,25 et 1,50 m. Leur pose se fait en effectuant dans la paroi de la rampe un trou de diamètre légèrement supérieur au diamètre extérieur du microtube avec un poiçon conique, directement sans enlèvement de matière ou après avoir réalisé un avant-trou, soit avec un emporte-pièce, soit avec une mèche spéciale permettant de sortir un copeau continu. Le capillaire est introduit immédiatement après et les parois de l'orifice se referment, réalisant ainsi l'étanchéité de la jonction capillaire-rampe. Il est nécessaire que les parois du capillaire soient suffisamment épaisses pour que la section intérieure ne soit pas déformée sous l'effet de la pression créée par le resserrement des lèvres de l'orifice sur le capillaire lui-même. Un diamètre extérieur de 3 à 3,5 mm paraît convenable à ce point de vue (fig. 19)

En général, les capillaires sont posés extérieurement à la rampe, c'est-à-dire, que seule une petite partie, de l'ordre de 4 à 5 cm de long, est introduite à l'intérieur de la rampe. On peut aussi en introduire une plus grande longueur, quitte à augmenter la perte de charge singulière. Il existe également des capillaires "intérieurs" (fabriqués par CHAPIN aux U.S.A.) qui sont introduits sur toute leur longueur à l'intérieur de la rampe, dans le sens du courant. Un renflement de la paroi à leur extrémité aval permet l'obturation de l'orifice qui en a permis l'introduction. Dans ce cas, les parois du microtube peuvent être beaucoup plus minces, le diamètre extérieur étant de l'ordre de 2 mm.

Il faut noter que les capillaires ne sont pas naturellement pourvus à leur sortie de dispositif brise-jet. Sauf réduction extrême du débit (0,3 l/h environ), l'eau sort donc sous forme d'un petit jet.

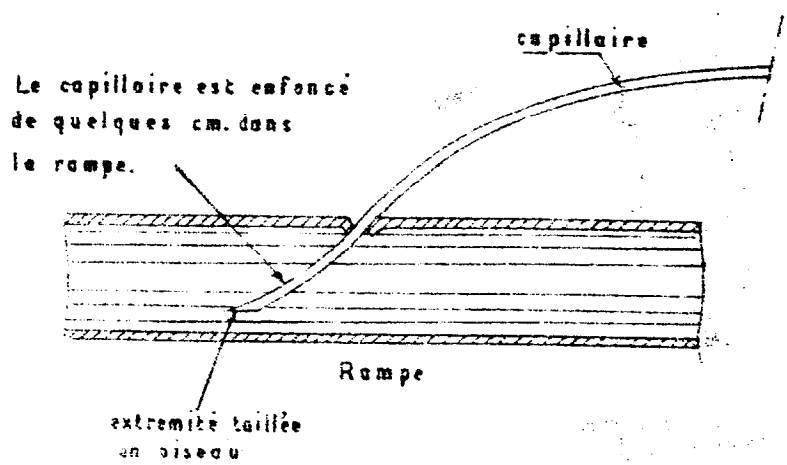
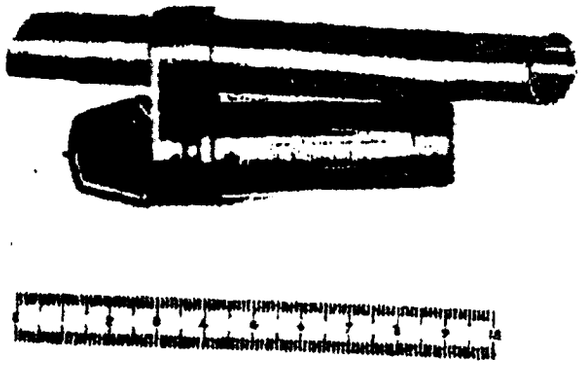


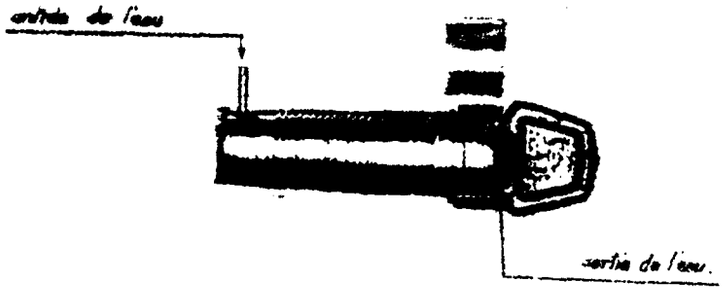
Fig. 19

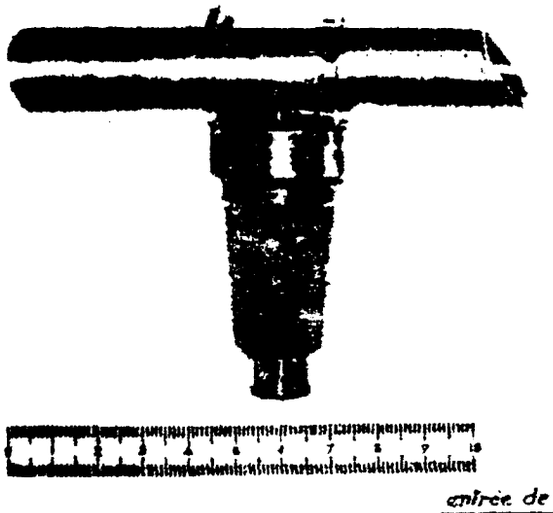
. Les goutteurs à circuit hélicoïdal, tels que ceux qui ont été ou sont fabriqués en Israël par D.I.I. (anciens modèles), aux U.S.A. par OLSON, en Australie par RIS (KEY-CLIP), en France par PLUIDOR, IRRIFRANCE et DROSTUB. (Fig. 20, 21).



Goutteur KEY-CLIP

Fig. 20

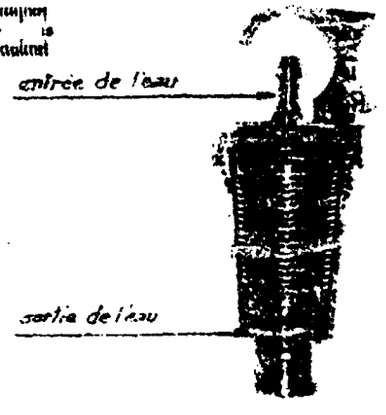




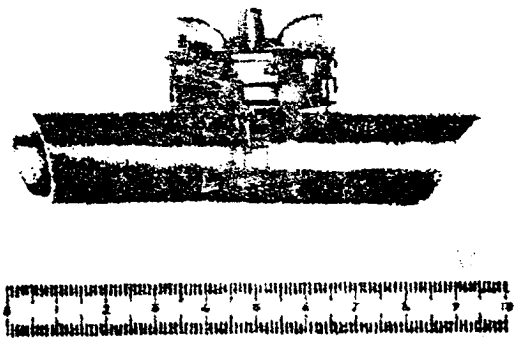
Goutteur GANA

(IRRIFRANCE)

Fig. 21

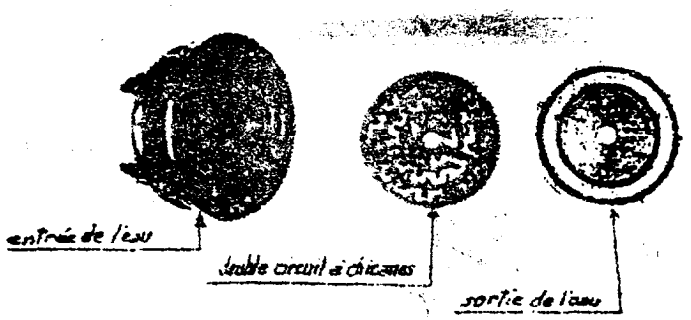


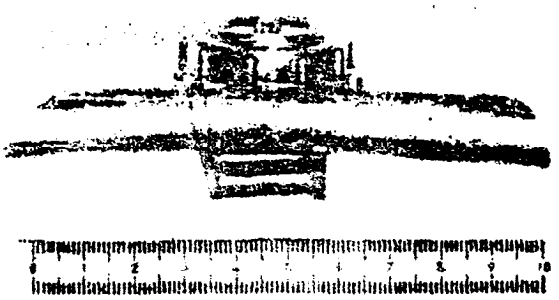
. Les goutteurs à circuit long avec effet de turbulence comme ceux qui sont fabriqués en Israël par LEGO, D.I.I. (nouveaux modèles en ligne et en dérivation), BAR RAM, BANIAS, en Italie par STALAX... Un effet de turbulence est provoqué par des changements brusques de direction du filet liquide et s'ajoute aux frottements le long des parois pour transformer en perte de charge la pression en tête (Fig. 22, 23)



STALAX 4 l/h

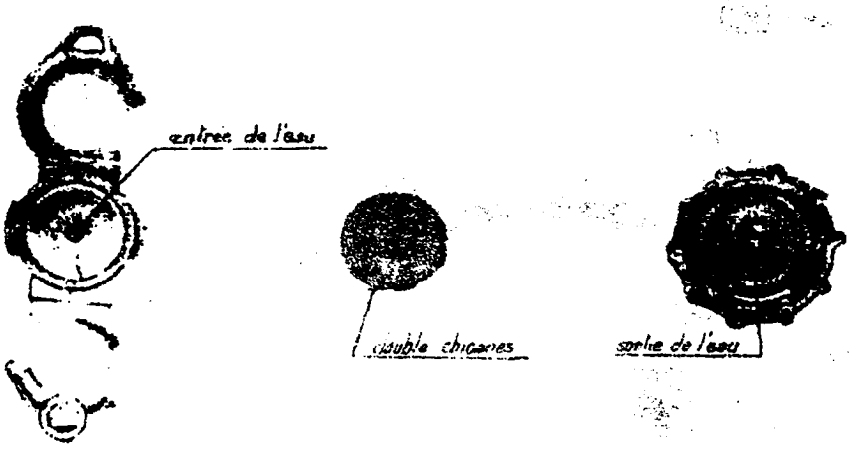
Fig. 22



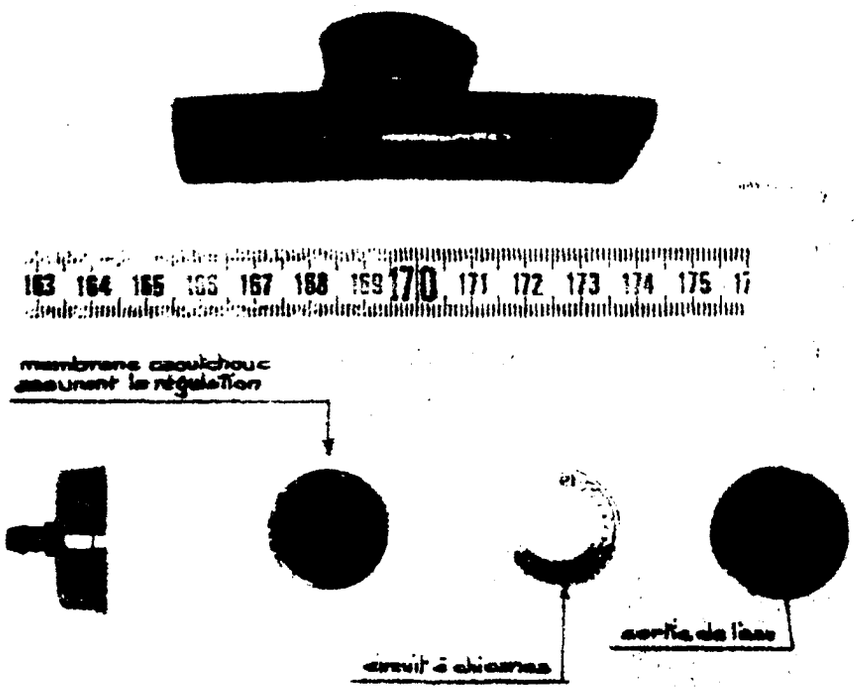


BANIAS 4 l/h

Fig. 23

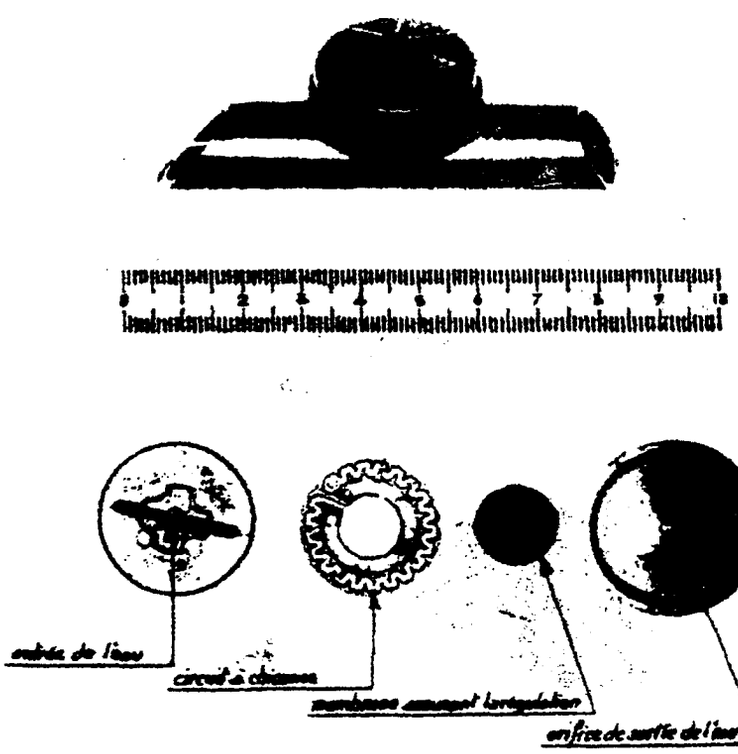


. Les goutteurs à circuit long auto-régulants comme ceux fabriqués par RIS (KEY EMITTER), D.I.I., PLASTRO (PLASTIF) et qui sont conçus pour délivrer un débit aussi constant que possible quelle que soit la pression à laquelle ils sont soumis (fig. 24, 25).



Goutteur PLASTIF

Fig. 24



Goutteur D.I.I.

Fig. 25

b) - Les goutteurs à circuit court, constitués essentiellement d'un orifice de section réduite à travers lequel la pression à l'amont est transformée en vitesse, aux pertes de charge près. L'eau sort donc sous la forme d'un jet très fin qui doit être brisé par un dispositif approprié pour pouvoir s'écouler goutte à goutte ou sous forme d'un filet continu.

Parmi eux, on peut ranger :

. Les goutteurs à simple orifice, tels que ceux qui sont fabriqués en Israël par TECHNORAM et en France par MILGOUTT. (Fig. 26).

Goutteur TECHNORAM
en dérivation (13 l/h)

Fig. 26

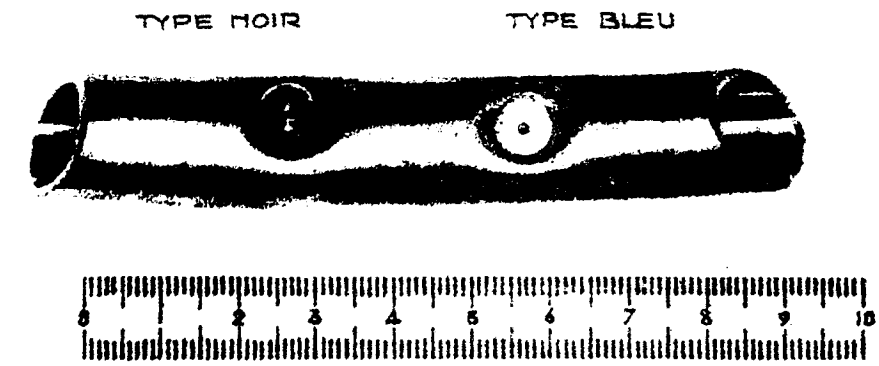
. Les goutteurs à double orifice et effet de turbulence, appelés encore goutteurs cyclones ou vortex, tels que ceux qui sont fabriqués en Israël par TIROSH, aux U.S.A. par SPOT-SYSTEMS.

Dans ces goutteurs, l'admission de l'eau, dans une chambre de turbulence de forme cylindrique, se fait tangentiellement par un orifice calibré. Cette disposition permet de créer, à l'intérieur de la chambre, un mouvement tourbillonnaire intense générateur de pertes de charge. L'eau s'échappe à grande vitesse par un 2ème orifice centré dans l'axe de la chambre. Le jet qui en résulte est ensuite brisé dans une 2ème chambre.

. Les goutteurs à circuit court auto-régulants comme ceux qui sont fabriqués aux U.S.A. par RAIN BIRD (modèle 1010), ETERNOMATIC et TURBO-FLO et en Israël par EIN TAL. L'objectif est de maintenir le débit constant quelle que soit la pression s'exerçant sur l'appareil (fig. 27, 28).

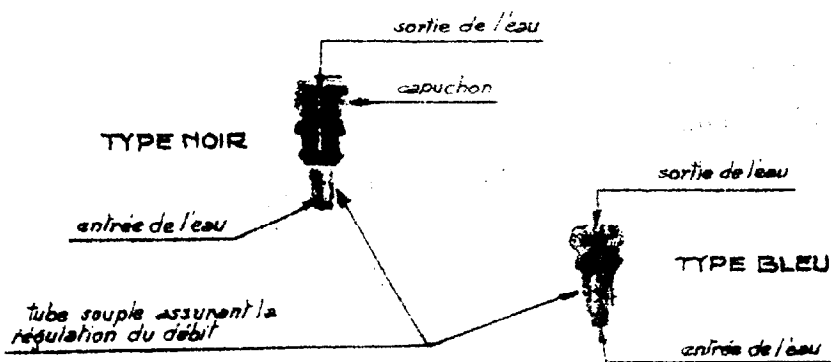
Le principe est de réaliser, au fur et à mesure de l'augmentation de la pression, une diminution de la section de passage de l'eau telle que le débit ne change pas.

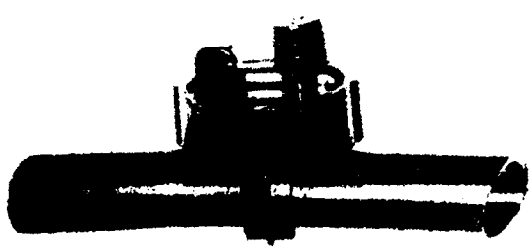
Comme pour les goutteurs auto-régulants à circuit long, une membrane déformable est souvent utilisée, parfois même des pièces mobiles.



ETERNOMATIC

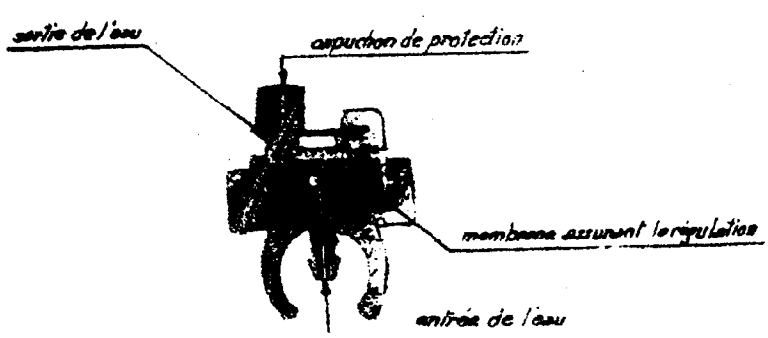
Fig. 27





RAIN BIRD (1010) 4 l/h

Fig. 28



Si on considère les goutteurs sous l'aspect technologique de la fixation sur la rampe, on peut les ranger en 2 grandes classes :

a) - Les goutteurs latéraux, généralement équipés d'un embout cannelé en forme de tête de vipère par lequel ils se fixent en dérivation dans la paroi de la rampe, formant saillie sur celle-ci. Leur montage sur le tuyau se fait soit à l'aide d'un poinçon (sans enlèvement de matière) soit après perçage à la mèche d'un avant-trou où sera rentré en force l'embout cannelé (ou lisse) du goutteur. Nous avons vu que pour les capillaires les 2 techniques sont utilisées.

Sont montés en dérivation les goutteurs D.I.I. (boutons), LEGO, TIROSH, SISCO, SPOT-SYSTEMS, PLUIDOR, GANA, KEY EMITTER, KEY CLIP, PLASTIF, RAIN BIRD, EM 1010 et EMTA 6, et bien entendu les capillaires (Fig. 29).

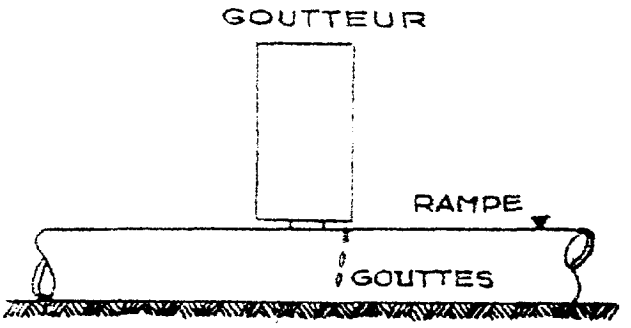
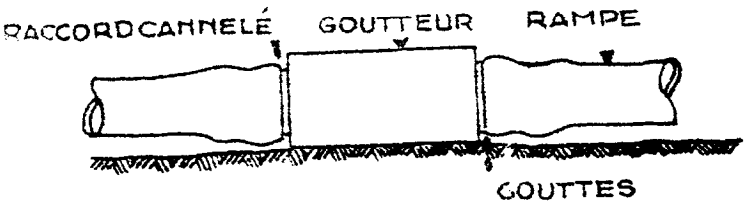


Fig. 29

GOUTTEUR LATÉRAL (RACCORD CANNELÉ DE FIXATION SUR LA RAMPE NON TRONÇONNÉE)

b) - Les goutteurs en ligne, qui s'insèrent dans la rampe à l'aide de 2 embouts cannelés, le débit transporté par la rampe les traversant axialement. Leur montage nécessite donc un tronçonnement préalable du tuyau. L'ensemble des opérations ne peut guère se faire qu'en usine où il existe des machines qui les réalisent de façon automatique.

Sont montés en ligne les goutteurs D.I.I., BAR RAM, LEGO.(Fig. 30)



GOUTTEUR EN LIGNE (RACCORDS CANNELÉS POUR RELIER 2 TRONÇONS DE RAMPE)

Fig. 30

c) Il existe également une 3ème classe, intermédiaire entre les 2 autres, lorsque la rampe est enterrée et en PVC. Le goutteur, qui est lui-même au niveau du sol, est fixé sur un embout ou un té inséré dans la rampe. (Fig. 31).
Le même principe (goutteur à l'extrémité d'un prolongateur) peut aussi être utilisé avec des rampes classiques en PE posées sur le sol lorsqu'on veut éloigner le point de gouttage de la rampe, par exemple dans le cas des arrosages de plantes en conteneurs. Le prolongateur qui est alors souple, n'est autre qu'un tube conducteur PE, en principe de diamètre 4 x 6 mm, au bout duquel est fixé le goutteur. Une autre solution consiste d'ailleurs à fixer le tube conducteur sur le goutteur lui-même, qui doit alors être pourvu d'un embout spécial.

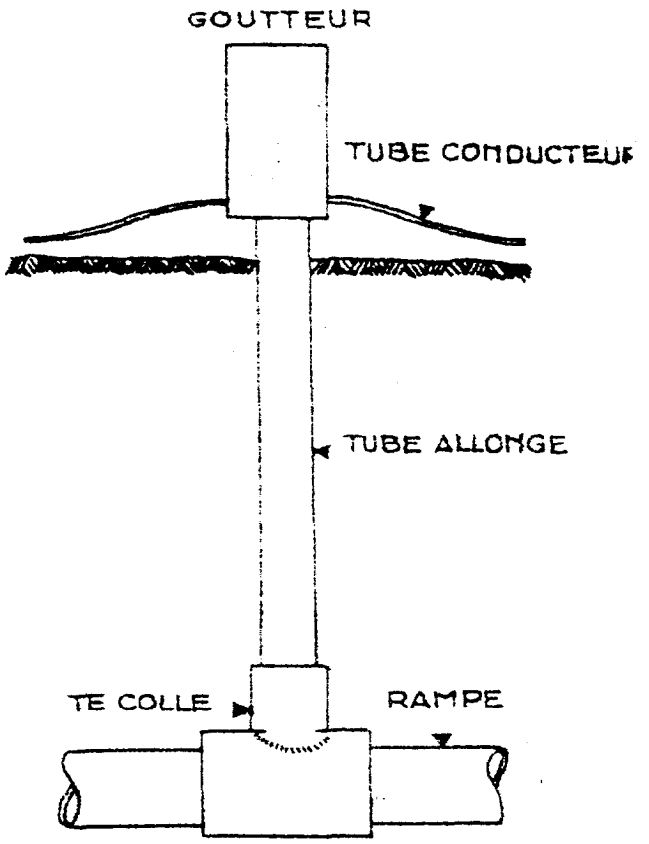


Fig. 31

GOUTTEUR EN DERIVATION SUR ALLONGE (RAMPE ENTERRÉE AVEC TÉ COLLÉ)

4.13 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DIVERS MODES DE FIXATION

- Le montage latéral est le plus simple et le premier qui a été utilisé. Il se fait sur la parcelle, à la demande, et on peut éventuellement ajouter des goutteurs si le besoin s'en fait sentir.

Il est donc très souple : on peut dans un jeune verger commencer par installer 1 ou 2 goutteurs par arbre, à proximité immédiate du tronc, et compléter ensuite au fur et à mesure du développement, à condition que le calcul de la rampe ait été fait pour le stade définitif.

Son inconvénient essentiel est que les goutteurs qui sont en saillie sur la rampe peuvent faire obstacle à l'enroulement et au déplacement de la rampe, ou se détacher de celle-ci. Ils conviennent donc mieux pour l'irrigation des cultures pérennes (vergers et vignes) où les rampes sont installées une fois pour toutes.

- Le montage en ligne est une technique plus industrialisée, qui diminue le travail à faire sur la parcelle et présente l'avantage de tout travail d'atelier (possibilité d'automatisation, meilleure précision).

Par ailleurs, les rampes sont plus faciles à enrouler et à déplacer ; cet avantage étant essentiel pour les cultures annuelles (maraîchage).

Mais c'est une technique moins souple : les rampes doivent être posées telles qu'elles sortent de l'atelier de fabrication, et elles sont réalisées en vue d'une utilisation bien précise : tel diamètre de rampe (qui définit d'ailleurs le diamètre extérieur des embouts cannelés), tel débit de goutteur et tel espacement sur la rampe.

Par ailleurs, la discontinuité de la rampe au droit de chaque embout de goutteur provoque des pertes de charge singulières plus importantes.

Enfin les points de distribution sont alignés sur la rampe ce qui ne convient pas lorsqu'on désire, soit déplacer ces points, soit alimenter des plants déportés par rapport à la rampe (cas de l'irrigation de plants en conteneurs). Dans ce cas, le montage latéral d'un capillaire suffisamment long, un goutteur monté à l'extrémité d'un tube conducteur, ou prolongé par un tube conducteur (goutteur T d'IRRIFRANCE), est préférable.

En Israël, NAAN a mis au point depuis 1979 une rampe constituée d'un tube en PE d'un seul tenant, à l'intérieur duquel, lors de son extrusion, les goutteurs, réduits à leur virole interne, ont été introduits, le tube lui-même constituant la virole externe du goutteur. Ce procédé de fabrication industrialisée permet de produire à bon prix une rampe facilement enroulable, robuste et présentant une perte de charge réduite (pas d'embout de raccordement sur les goutteurs).

On peut également classer les goutteurs suivant le nombre de points de distribution.

a) - Les goutteurs à sortie unique n'ont qu'un point de distribution qui, nous l'avons vu, peut être éloigné du goutteur dans le cas des goutteurs latéraux.

b) - Les goutteurs à sorties multiples alimentent plusieurs points de distribution, l'utilisation de tubes conducteurs étant dans ce cas obligatoire. Chaque sortie est ainsi prolongée vers le point précis où l'on désire que se fasse l'infiltration.

Se rangent dans cette catégorie les goutteurs RAIN BIRD EMTA (débitant 3,8 l/h par sortie)et EMTB (débitant 7,6 l/h par sortie) qui peuvent comporter 2 ou 6 sorties individualisées sur le plan du circuit hydraulique(fig. 32).

Ce type de goutteur convient plus particulièrement à l'irrigation des vergers "plein vent", comportant des arbres isolés, souvent de dimension importante : chaque goutteur est affecté à un arbre déterminé et alimente, grâce aux tubes conducteurs, des points de distribution disposés symétriquement autour du tronc.

On peut également, dans le cas du maraîchage, alimenter individuellement plusieurs plants à partir d'un même goutteur.

Dans les autres cas, notamment pour les haies fruitières, les goutteurs à sortie unique paraissent mieux adaptés.

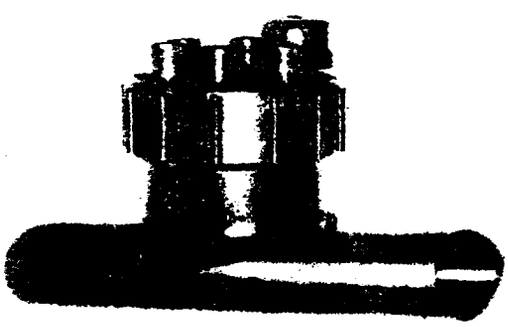
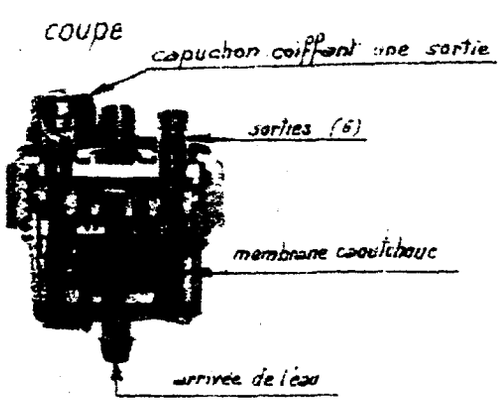


Fig. 32
RAIN BIRD EMTA 6
en dérivation
6 sorties.



4.14 CONDITIONS AUXQUELLES DOIT SATISFAIRE LE GOUTTEUR

- Donner un débit faible de 2 à 12 l/h mais surtout régulier et constant, peu sensible aux différences de pression ;

- Avoir un orifice de passage suffisamment important pour réduire les risques d'obstruction et de colmatage ;

- Etre bon marché et de faible volume.

Débit faible, uniforme et constant : débit entre 2 et 12 l/h sous une charge de 10 m de C.E. ≃ 1 bar.

En raison de la faible section d'écoulement du goutteur (Ø généralement < à 1 mm), la fabrication doit être précise. De petites différences de diamètre entraînent des variations assez grandes de débit.

Les pertes de charge le long de la rampe ainsi que les dénivellations du terrain entraînent une diminution de la pression donc du débit des goutteurs.

On limite en général la fourchette de variation du débit à 10 % de la valeur moyenne de celui-ci.

Afin de provoquer une grande perte de charge et obtenir un faible débit, la plus petite dimension de la section d'écoulement varie de 0,3 à 1 mm et ces faibles sections s'obstruent facilement.

Aussi se trouve-t-on devant deux exigences contradictoires : obtenir un faible débit, moyennant une forte perte de charge et conserver une section importante pour éviter l'obstruction. Ceci explique la grande variété des goutteurs actuellement disponibles.

Bon marché : Les goutteurs interviennent pour 25 à 35 % du coût d'un réseau goutte à goutte dans le cas d'un verger et de 55 à 65 % dans le cas d'une irrigation de serre. Deux facteurs peuvent réduire cette proportion :

- l'utilisation de rampes de plus faible diamètre, ce qui diminue la dimension donc le poids des goutteurs en ligne ;

- l'utilisation de goutteurs à orifices multiples équipés de "tubes conducteurs" permettant d'augmenter l'écartement entre les rampes et donc de diminuer la longueur totale des rampes nécessaires.

Nettoyage : Certains goutteurs à purge automatique ont une certaine capacité d'auto-nettoyage. La section de l'orifice varie en fonction de la charge. Elle est grande à faible charge (début et fin de chaque arrosage), et petite lorsque la pression nominale est atteinte. Ceci permet donc le passage en début et en fin d'arrosage de particules arrêtées au cours du fonctionnement.

Quelques-uns sont démontables pour permettre un nettoyage manuel. Certains (DRIP EZE) sont purgeables manuellement.

4.2 LE SYSTEME BAS-RHONE

Ce procédé d'irrigation, mis au point par la CNABRL * est caractérisé par une rampe en P.E. noir de 23/25 mm portant des ajutages calibrés espacés de 3,5 à 6,5 m (fig. 33).

Suivant l'utilisation qui en est faite, il existe 2 types différents d'ajutages :

. dans le "type verger", l'ajutage est plat et recouvert d'une bague brise-jet en P.E. noir, cannelée intérieurement,

. dans le "type conteneur", l'ajutage est plus allongé et on peut y adapter un tube conducteur dont l'autre extrémité est fixée à la partie supérieure de la paroi latérale du conteneur, ou sur un support amovible planté au voisinage de végétal à arroser.

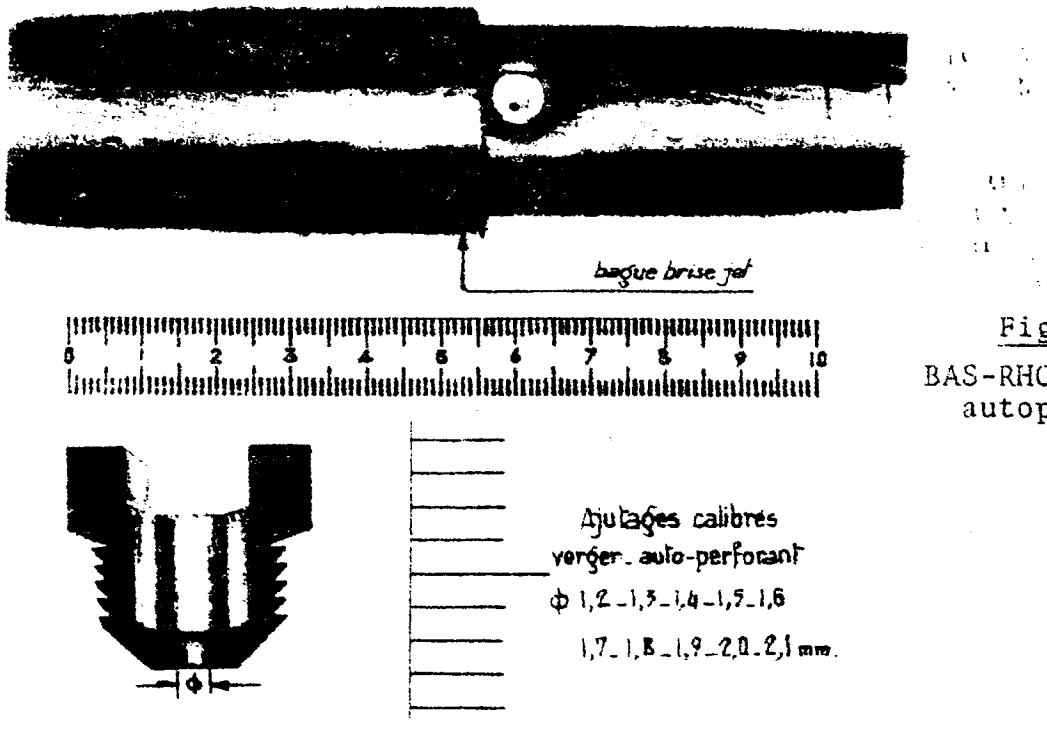


Fig. 33
BAS-RHONE (verger autoperformant)

* CNABRL = Compagnie Nationale d'Aménagement du Bas-Rhône et du Languedoc

Dans le cas des vergers, la rampe est placée au fond d'une rigole creusée parallèlement aux rangées de la plantation et cloisonnée par de petits barrages de terre, placés tous les 6 m (fig. 34).

Une rigole par rangée d'arbres suffit et peut être placée de manière plus ou moins rapprochée du rang, à la convenance.

Le débit est réparti uniformément sur toute la longueur de la rampe (jusqu'à 200 m), grâce au calibrage des ajutages. Dix diamètres d'orifice s'échelonnent tous les 1/10 de mm, de 1,2 à 2,1 mm. Le débit correspondant sous 10 m de colonne d'eau va de 30 à 100 l/h, soit environ 10 fois le débit d'un goutteur.

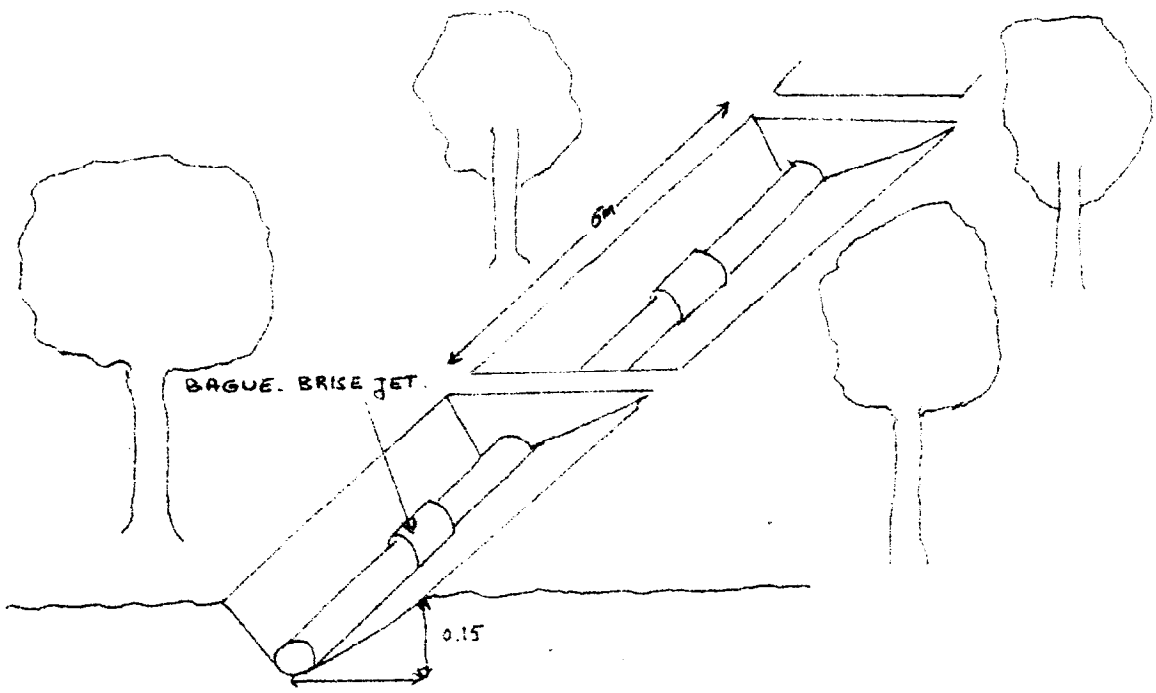


Fig. 34

Mise en place du système BAS-RHONE (cas des vergers).

- Du point de vue hydraulique, ce sont des orifices en mince paroi (diamètre de passage égal ou supérieur au double de l'épaisseur de la paroi), à travers lesquels la pression amont est transformée en vitesse. Un brise-jet est donc nécessaire.

- Du point de vue du montage, ils sont montés en dérivation sur la paroi de la rampe. La rampe habituellement utilisée est une rampe P.E. 23 x 25 mm (épaisseur 1 mm).

L'insertion de l'ajutage dans la paroi de la rampe se fait sans enlèvement de matière,au moyen d'une pince spéciale,par enfoncement de l'ajutage muni d'un bout conique autoperforant.

4.3 LES MINI-DIFFUSEURS (fig. 35, 36).

D'origine Sud-Africaine, les mini-diffuseurs sont actuellement utilisés surtout en arboriculture. Ils fonctionnent comme des mini-asperseurs statiques et ne couvrent qu'une partie de la surface du sol, au voisinage des arbres.

Parmi les différents modèles existants, on peut distinguer :

- les mini-diffuseurs fixes (c'est à dire sans pièces mobiles) dont le débit varie selon les modèles de 20 à 50 l/h sous 10 m de charge,

- Les mini-diffuseirs auto-régulants dont le débit varie selon les modèles de 40 à 120 l/h entre 10 et 60 m de charge.

-La base comportant un orifice de passage dont l'une des extrémités sectionnée en biseau pénètre dans la rampe sur laquelle elle s'y fixe,soit par un filetage (cas des microjets DITAM),soit par l'intermédiaire d'une tête de vipère. L'autre extrémité située à l'extérieur de la rampe permet à l'eau de s'échapper sous forme de jet.

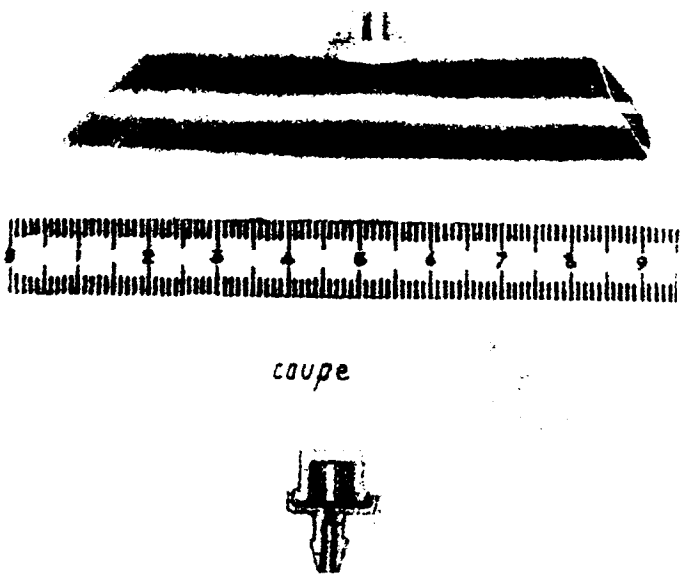
Le diamètre de l'orifice de passage dépend du modèle. En général, le diamètre des orifices de sortie est repéré par une couleur.

Ex. :

Microjet (DITAM)				Midjet (IRRIFRANCE)			
noir	19,8 l/h	sous 1 bar		orange	40 l	sous 1,5 bar	
bleu	32 l/h	"	"	bleu	40 l	sous 1 bar	
vert	51,5 l/h	"	"	vert	40 l	sous 0,5 bar	
rouge	76,7 l/h	"	"				
blanc	141 l/h	"	"				

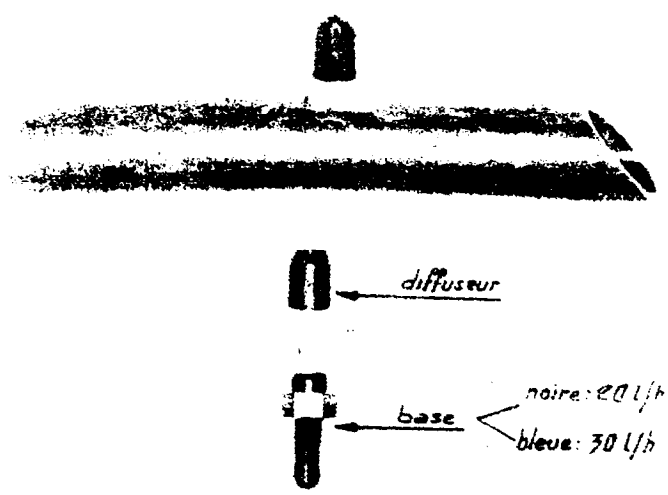
— La partie supérieure ou tête qui brise le jet, l'oriente et détermine la forme de la zone qui sera humidifiée au sol. La surface humidifiée par le mini-diffuseur est plus importante que pour le goutte à goutte. Une faible partie de l'eau est perdue par évaporation, mais cette perte est sans commune mesure avec celle de l'aspersion classique. La forme de cette surface varie avec le type de diffuseur choisi : demi-cercle, cercle, aile de papillon, pinceaux. L'eau est apportée sur le sol en fines gouttelettes et de ce fait, les risques de dégradation de la structure sont limités même en sol fragile (fig. 37).

Les mini-diffuseurs auto-régulants sont équipés en outre à l'amont d'un limiteur de débit incorporé dont le rôle est de maintenir un débit constant quelle que soit la pression sur le mini-diffuseur (fig. 38).



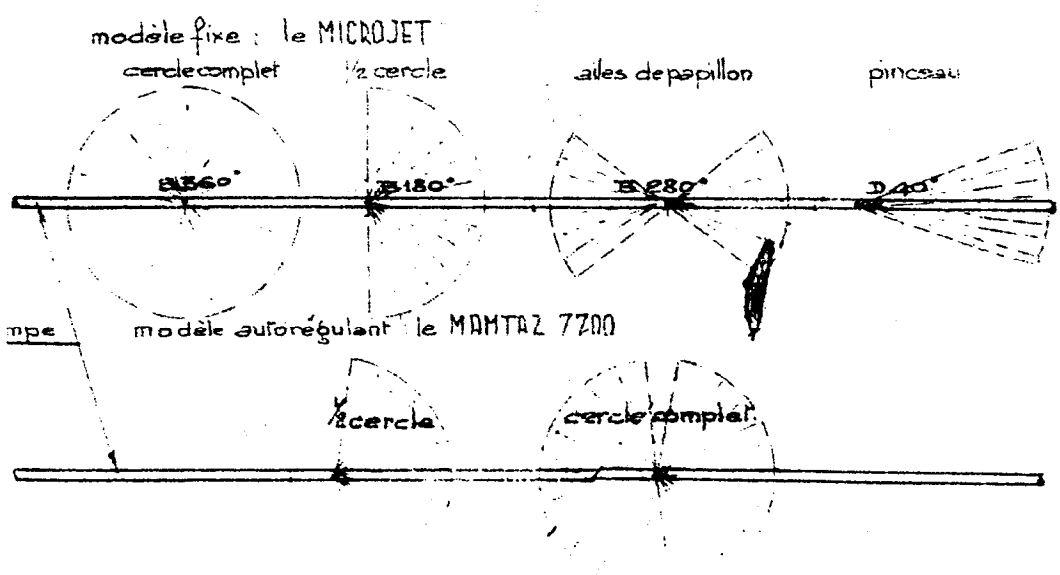
Midjet IRRIFRANCE

(Fig. 35)



Microjet DITAM

(Fig. 36)



Forme des surfaces arrosées selon les types de mini-diffuseurs utilisés (Fig. 37).

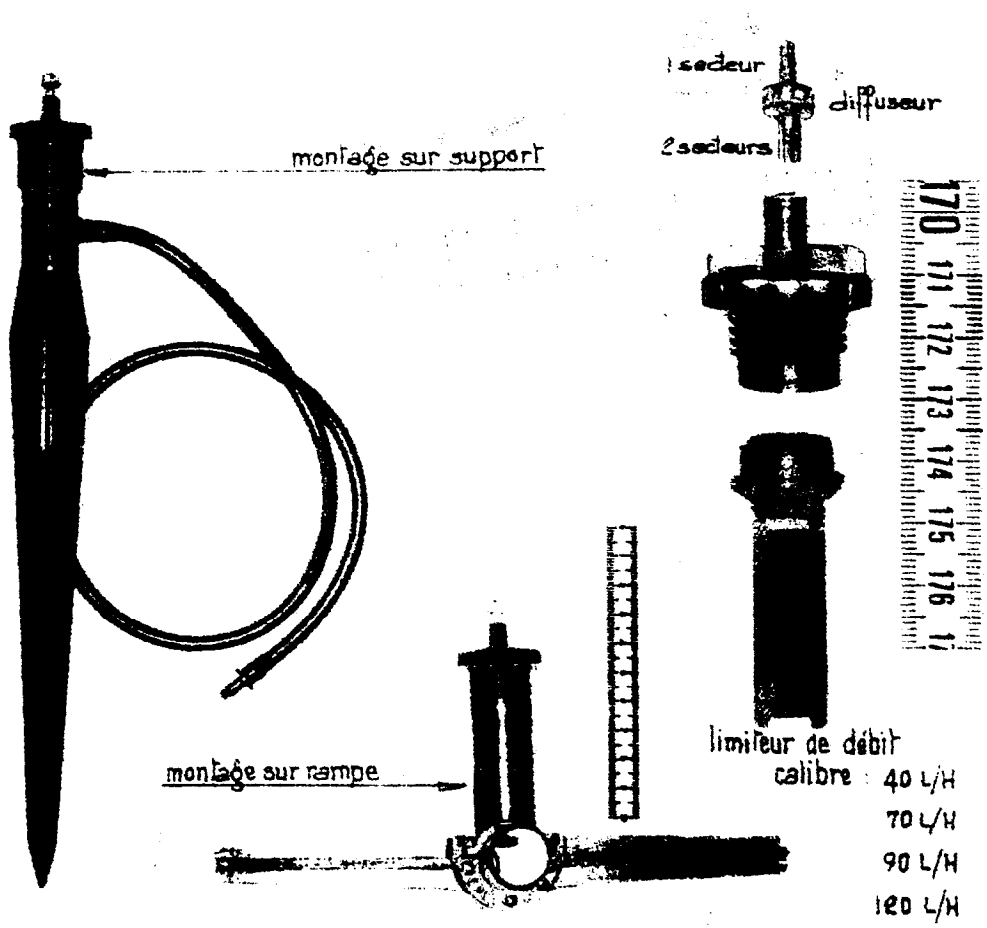
Les mini-diffuseurs sont montés en dérivation sur les rampes qui sont :

- soit enterrées à 0,3 - 0,4 m dans le sol ou posées au sol, et dans ce cas le mini-diffuseur est fixé à l'extrémité d'un tube conducteur en PE ou en PVC à 0,20 - 0,25 m au-dessus du sol. Un piquet en bois ou en matière plastique sur lequel est fixé le mini-diffuseur permet d'obtenir une bonne verticalité de celui-ci ;

- soit suspendues à 0,4 - 0,5 m au-dessus du sol à un fil de fer galvanisé tendu sur des poteaux. Dans ce cas, le mini-diffuseur est plutôt disposé tête en bas sous la rampe.

La distance entre microjet doit être assez faible (2,5 à 3 m). Dans les sols limono-sableux ou sableux, on doit encore diminuer cette distance (2 m).

Il est également nécessaire d'éviter tout ce qui peut gêner la projection de l'eau dont maintenir un sol propre le long des rangées d'arbres et dégager par la taille la zone qui environne le microjet.



Distributeur auto-régulant avec montage sur support. Marque DAN Type MAMTAZ 7700. (Fig. 38).

4.4 LES RAMPES POREUSES ET LES GAINES PERFOREES (fig. 39)

La rampe assure 2 fonctions différentes :

- une fonction de transport, de son origine (débit maximal) jusqu'à son extrémité (débit nul), le débit variant linéairement entre les deux ;

- une fonction de distribution, qui doit être aussi régulière que possible.

. Dans les rampes poreuses (Ex. : PORTUBE), les 2 fonctions sont assurées simultanément du fait de la porosité de la paroi.

. Certaines rampes aplatissables (VIAFLO de la firme DUPONT DE NEMOURS USA) appelées gaines, sont également poreuses. Leur paroi est constituée par des fibres de polyéthylène soudées entre elles thermiquement de façon à réaliser des pores de quelques microns. La résistance à la pression est faible (pression de service 5 m de charge d'eau) et la transparence relative de cette gaine permet le développement des algues à l'intérieur. L'une des fabrications est protégée de la lumière par un film de polyéthylène (P.E.) noir, constituant la face supérieure de la gaine. Cependant il semble recommandé d'utiliser plutôt la gaine VIAFLO enterrée dans le sol de quelques cm. Il paraît difficile de réaliser une rampe poreuse dont le débit soit régulier.

. D'autres gaines sont réalisées en P.E. noir et perforées à intervalles réguliers et rapprochés.

Certaines sont simples, d'autres sont doubles (Ex. : BIWALL d'ANJAC PLASTIC ou TWINWALL de CHAPIN). Ces dernières, d'origine USA (brevet CHAPIN), sont très utilisées en cultures maraîchères de plein champ (tomates) mais ne durent guère plus d'une campagne, car elles sont en général fragiles (paroi 0,5 mm). Elles sont dites doubles, car elles sont composées de 2 gaines accolées : la gaine principale qui sert au transport et la gaine secondaire, qui répartit en 4, 6 ou 10 orifices le débit qu'elle reçoit de la gaine principale à partir de chaque orifice percé dans la paroi commune. Cette distribution "en cascade" permet d'obtenir une meilleure régularité qu'avec une gaine simple. En ce qui concerne le mode de fabrication, TWINWALL est obtenu à partir de 2 bandes de P.E. perforées mécaniquement puis soudées, BIWALL est extrudé mais les orifices initialement réalisés au laser, sont maintenant réalisés mécaniquement.

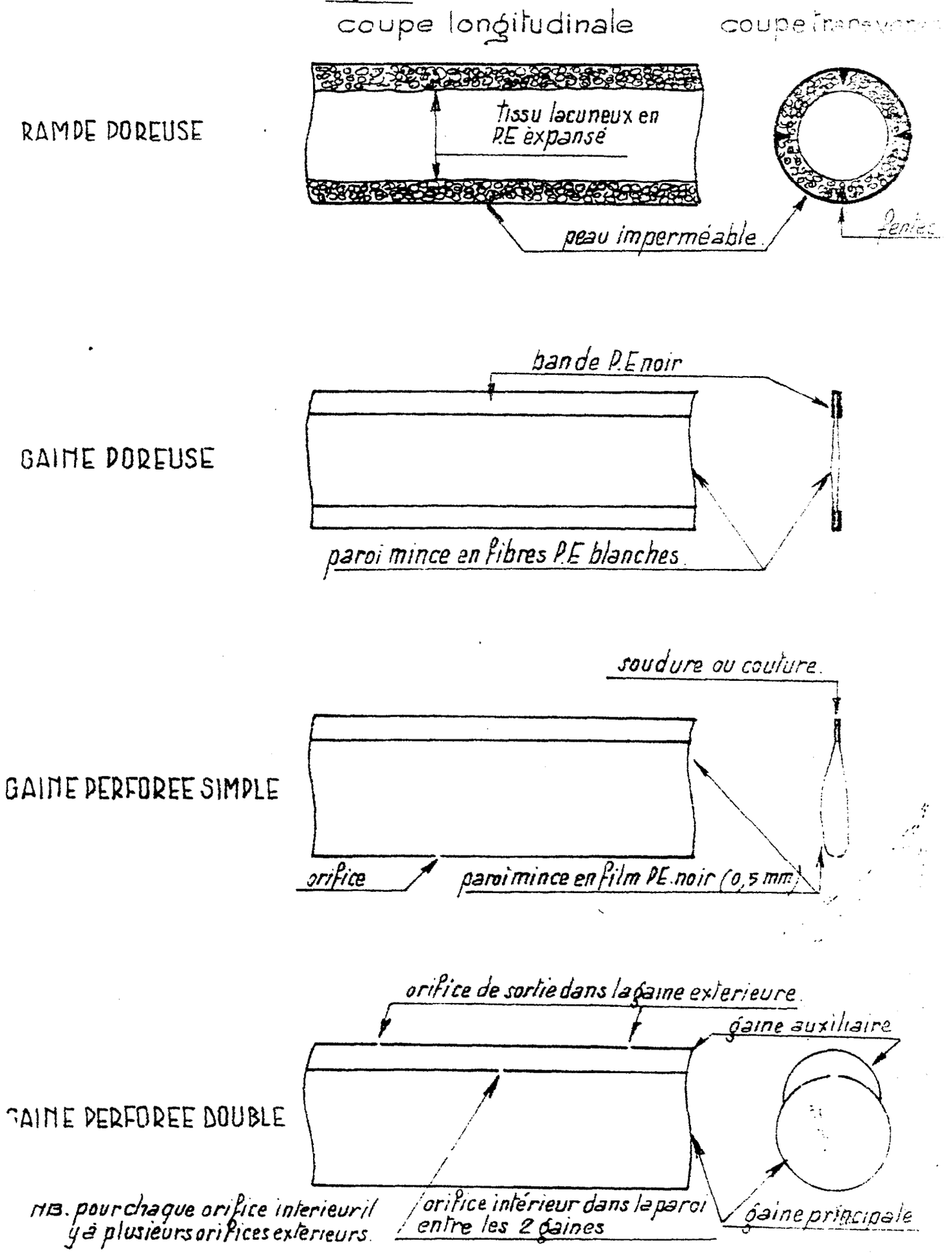
Avantages

La mise en place est très facile dans la raie de plantation ou sur le sol. Le débouchage des orifices est facilité par la possibilité d'augmenter la pression de fonctionnement jusqu'à 2 kg/cm2.

Inconvénients

Si les gaines perforées ne sont ni enterrées ni déposées sous un paillage plastique, les jets mouillent les feuilles des plantes et le sol.

Fig. 39


coupe longitudinale
coupe transversale
RAMPE POREUSE
tissu lacuneux en P.E expansé
peau imperméable
fentes
GAINE POREUSE
bande P.E noir
paroi mince en fibres P.E blanches
GAINE PERFOREE SIMPLE
soudure ou couture
orifice
paroi mince en film P.E. noir (0,5 mm)
GAINE PERFOREE DOUBLE
orifice de sortie dans la gaine exterieure
gaine auxiliaire
NB. pour chaque orifice interieur il y a plusieurs orifices exterieurs
orifice intérieur dans la paroi entre les 2 gaines
gaine principale

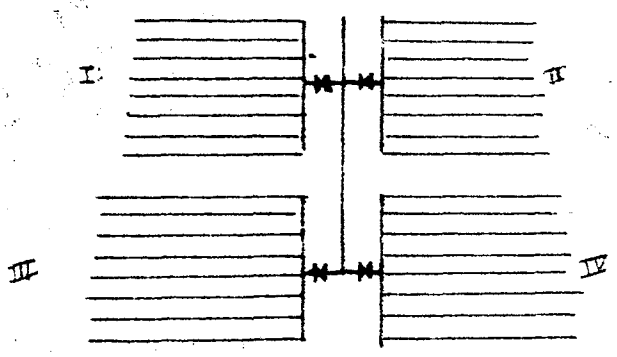
V. AUTOMATISATION

En micro-irrigation, on a une couverture totale. Toute la surface à arroser est entièrement équipée.

De façon à limiter l'installation de tête et les canalisations l'ensemble de la surface à irriguer peut être divisée en postes qui seront arrosés les uns après les autres. Le passage d'un poste à l'autre s'appelle la commutaition.

Un poste est défini comme l'ensemble des rampes fonctionnant en même temps à un moment donné et qui sont alimentées à partir d'un même ressource en eau. Chaque poste peut également être divisé en sous-postes.

Un sous-poste est constitué par l'ensemble des rampes situées à l'aval d'un même organe de commutation.



Exemple :

Q débit nécessaire pour l'ensemble de la parcelle.

Si on fait 4 postes, le débit devient Q/4.

Les matériels utilisés comme composant pour la commutation sont :

- les vannes hydrauliques,
- les vannes volumétriques,
- les vannes électriques
- les programmateurs.

On associe en général vannes hydrauliques et vannes volumétriques, vannes électriques et programmateurs.

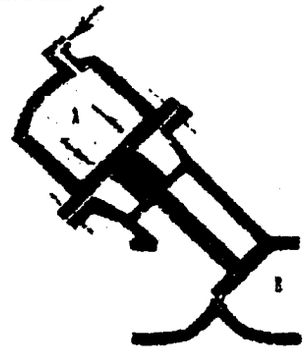
5.1 LES VANNES HYDRAULIQUES (fig. 40,41)

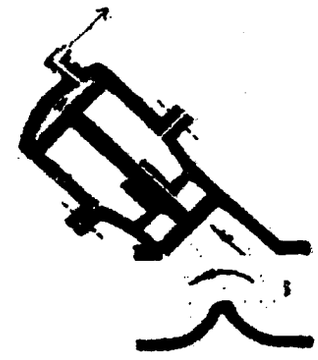
L'ouverture ou la fermeture de la vanne s'obtient par l'application de la pression d'un fluide sur une membrane ou un piston.

Il existe deux types de vannes hydrauliques :

. les vannes hydrauliques normalement ouvertes qui se ferment lorsque l'on applique une pression sur la membrane ou le piston,

. les vannes hydrauliques normalement fermées qui s'ouvrent lorsque l'on applique une pression sur la membrane ou le piston.

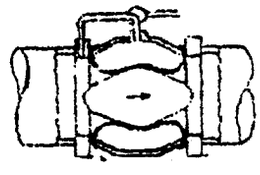


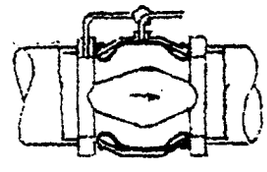


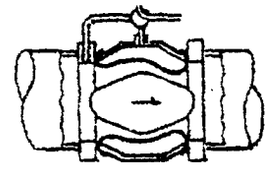
Vanne hydraulique fermée
la pression sur la tête
de vanne A ferme le circuit
d'eau B

Vanne hydraulique ouverte.
L'absence de pression en A
permet à la pression du
réseau de repousser le
clapet et de permettre
l'ouverture de la vanne

Vanne hydraulique normalement ouverte (Fig. 40)







Position I

L'espace entre la paroi et la membrane est rempli d'eau prise à l'amont de la vanne.
La membrane se plaque contre le noyau.

La vanne est fermée

Position 2

L'eau de cet espace est libérée et la pression d'eau dans la canalisation plaque la membrane contre la paroi de la vanne

La vanne est ouverte
Pression Minimum : 500gr

Position 3

Une certaine quantité d'eau est maintenue dans l'espace entre la paroi et la membrane
La pression est régulée.
Ceci pouvant s'effectuer automatiquement avec un pilote de régulation.

Vanne à membrane (Fig. 41)

5.2 LES VANNES VOLUMETRIQUES (BERMAD, DALIA)

Les vannes volumétriques sont simples, robustes et d'un coût modeste, du moins dans les petites dimensions (1", 1,5", 2").

Une turbine entraînée par le flux de l'eau traversant la vanne provoque par l'intermédiaire d'un train d'engrenage la fermeture de la vanne lorsque le volume affiché sur le bouton gradué est totalement passé. Pour les vannes hydrauliques supérieures à 2", la fermeture est hydraulique.

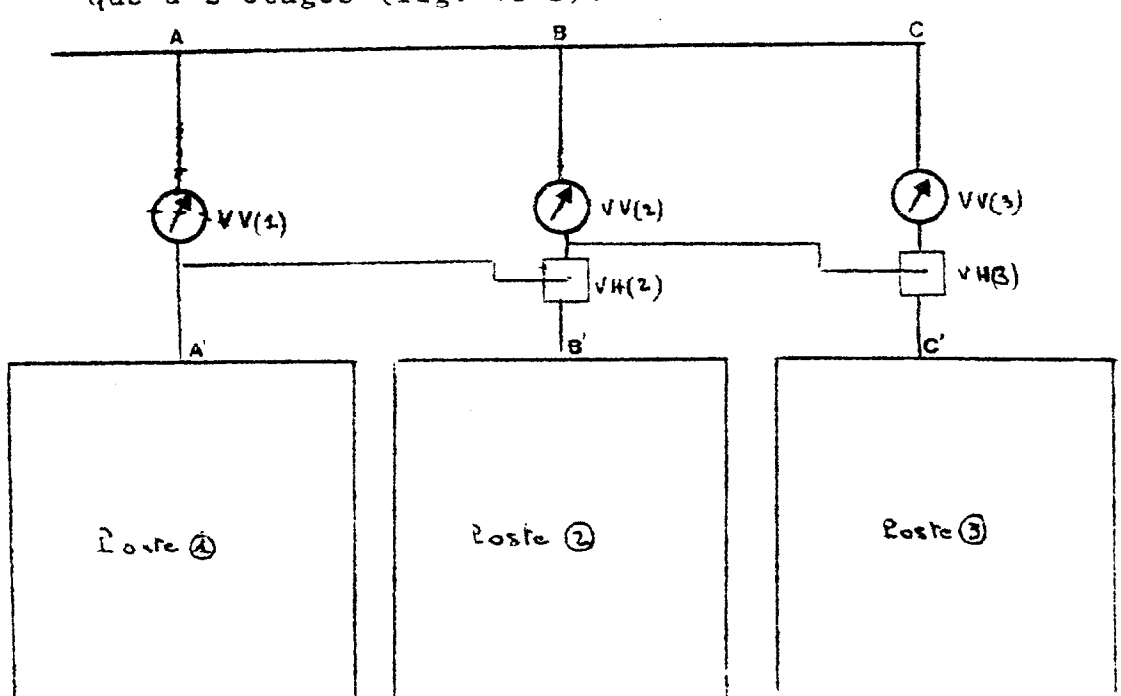
Ce type de matériel est en général utilisé en combinaison avec des vannes hydrauliques. Il rend automatique la commutation ce qui est d'autant plus intéressant que le nombre de postes est élevé et les arrosages fréquents.

5.3 COMMUTATION HYDRAULIQUE (fig. 42)

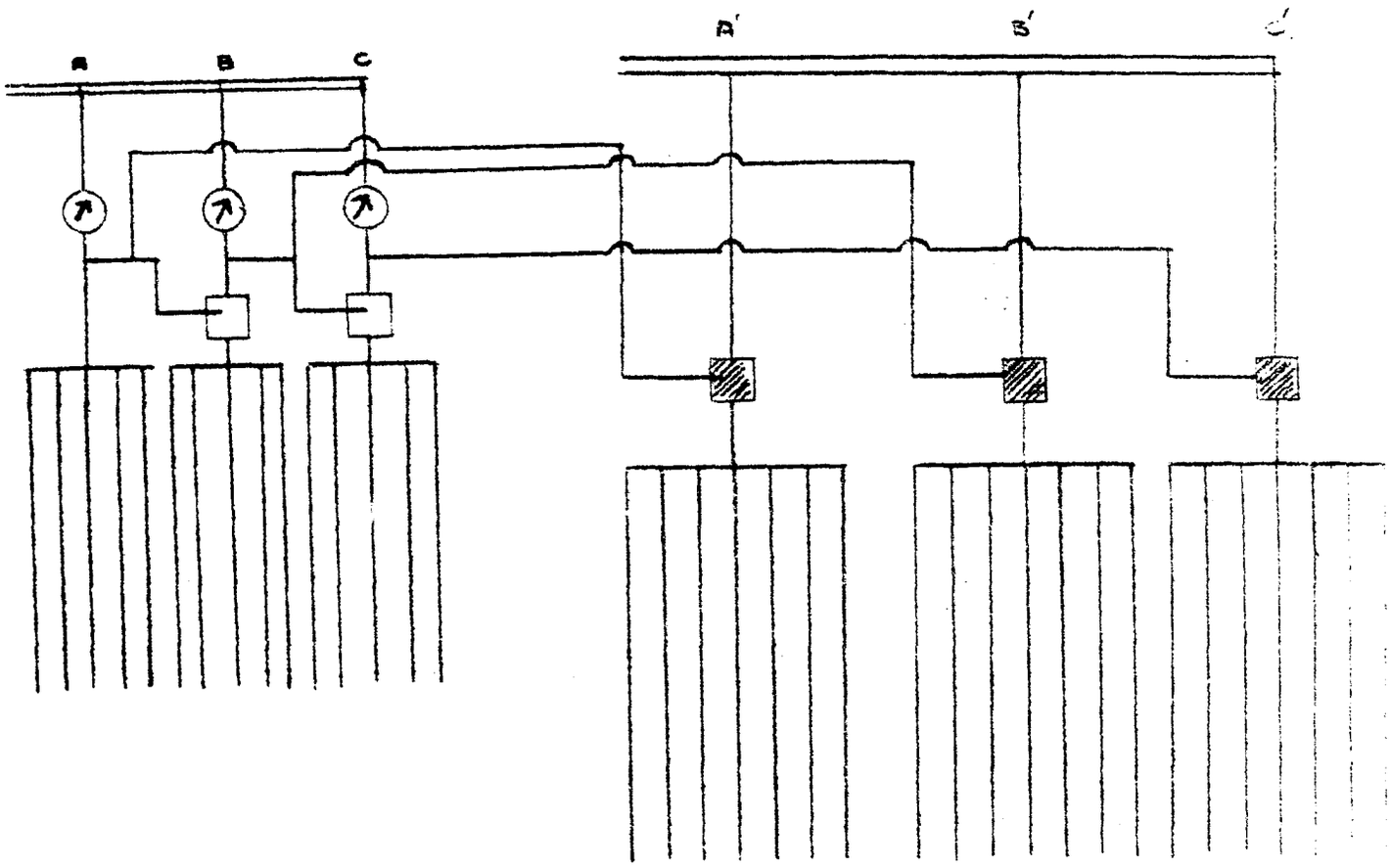
L'association de vannes volumétriques et de vannes hydrauliques, permet de réaliser sans énergie autre que celle du réseau, une commutation hydraulique séquentielle, c'est-à-dire se déroulant toujours dans le même ordre. Cette commutation peut être à 1 ou 2 étages :

. Commutation hydraulique à 1 étage (fig. 42 a),
. Commutation hydraulique à 2 étages (fig. 42 b).

Les vannes volumétriques de gros diamètre deviennent rapidement d'un prix élevé et leur fonctionnement perd en fiabilité. De ce fait, pour les surfaces importantes, on a intérêt à utiliser une commutation hydraulique à 2 étages (fig. 42 b).



Commutation hydraulique à 1 étage (fig. 42a)



vanne volumetrique.

vanne hydraulique normalement ouverte

vanne hydraulique normalement fermée

Principe de fonctionnement

En début d'irrigation, les vannes volumétriques VV(1), VV(2), VV(3) sont ouvertes.

L'eau circule donc dans le poste (1), dans le tronçon B- VH(2) et C- VH(3).

Les vannes hydrauliques VH(2) et VH(3) sont fermées

Lorsque la vanne volumétrique VV(1) se ferme, la pression dans le tronçon VV(1)-A' devient nulle et la vanne VH(2) s'ouvre. Le poste (2) se met en route.

De la même façon, lorsque VV(2) se ferme la pression dans le tronçon VV(2)-VH(2) s'annule et la vanne VH(3) s'ouvre. Le poste (3) se met en route.

5.4 LES VANNES ELECTRIQUES

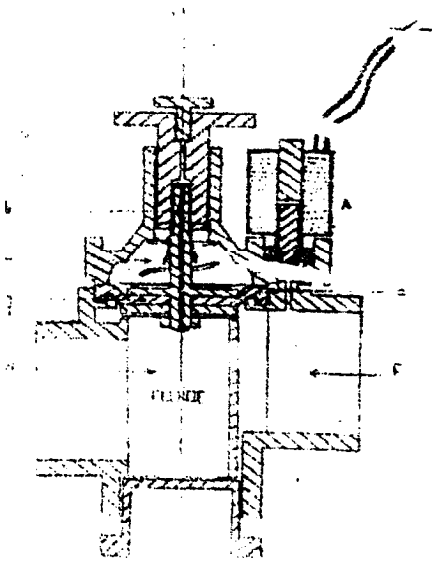
Ce sont des vannes hydrauliques dont l'ouverture ou la fermeture se font par l'intermédiaire d'une électrovanne 2 voies ou 3 voies, commandée en général à partir d'un programmateur.

Electrovanne + vanne hydraulique = vanne électrique

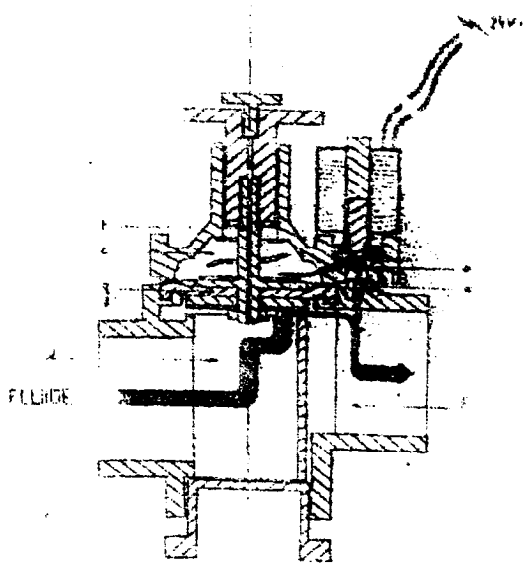
Principe de fonctionnement d'1 vanne électrique commandée par une électrovanne 2 voies. (Fig. 43, 44).

Lorsque la tension 24 V est établie aux bornes du solénoïde A, le noyau de fer doux est attiré vers le haut et ouvre le canal (a). La pression dans la chambre (c) étant supérieure à celle du réseau à l'aval de la vanne, l'eau s'écoule donc de la chambre vers le réseau aval par l'intermédiaire du canal (a). Sous l'action de la pression du réseau, la membrane est repoussée et la vanne hydraulique s'ouvre. On a toujours un écoulement qui se produit à travers l'axe (x).

A la mise hors tension du solénoïde, le noyau de fer doux reprend sa place et obture le canal (a). La chambre (c) se remplit par l'intermédiaire de l'axe (x). Comme la surface de la membrane côté chambre est supérieure à celle côté réseau la membrane est repoussée sur son siège et obture le passage de l'eau. La vanne se ferme.



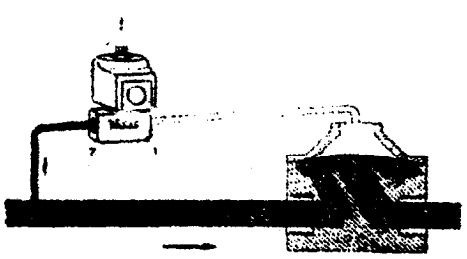
Principe de fonctionnement
(vanne fermée)
(Fig. 43)

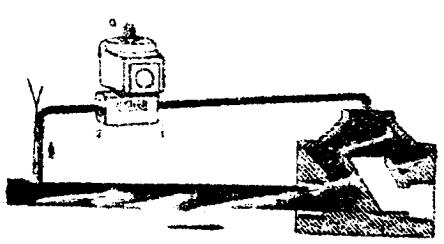


Principe de fonctionnement
(vanne ouverte)
(Fig. 44)

Principe de fonctionnement d'une électrovanne 3 voies

La vanne électrique agit comme un robinet 3 voies mettant en liaison la face supérieure de la membrane de la vanne hydraulique soit avec le réseau amont (vanne fermée) soit avec l'atmosphère (vanne ouverte). (Fig. 45, 46).





(Schéma Lucifer)

vanne ouverte
(Fig. 45)

vanne fermée
(Fig. 46)

Les élecrovannes peuvent par exemple être placées au voisinage du programmateur et les vannes hydrauliques à plusieurs centaines de mètres sur la parcelle (1000 m), les liaisons entre les électrovannes et les vannes hydrauliques se faisant par l'intermédiaire d'un tuyau de P.E. de faible diamètre (Tubing).

5.5 LES PROGRAMMATEURS

Ils permettent à l'irrigant de déterminer à l'avance et de réaliser automatiquement le déclenchement ou l'arrêt de l'arrosage ou bien souvent les deux à la fois.

Ce sont des mécanismes électriques à horloge horaire avec répétition du cycle qui est souvent journalier ou hebdomadaire. Aux heures fixées par l'irrigant, l'établissement ou l'interruption de circuits électriques permettent la mise en marche ou l'arrêt de l'arrosage sur tel ou tel poste. Ils fixent le temps d'arrosage et non le volume écoulé ce qui peut être un inconvénient. Certains sont assujettis à un compteur d'impulsion et agissent donc en fonction du volume.

Cette solution est utilisée dans le cas des arrosages fertilisants qui nécessitent une meilleure précision de la dose (serres).

Ils peuvent desservir 1 ou plusieurs postes (programmateur à une ou plusieurs voies ou directions).

Pour les plus simples, la durée d'arrosage qui peut varier de quelques minutes à quelques heures est la même pour tous les postes alors que pour d'autres, on peut choisir une durée particulière en fonction de la nature des cultures ou du sol ou encore de la pluviométrie horaire délivrée par les distributeurs utilisés.

Les plus anciens sont de type électromécanique, mais l'oxydation des contacts peut provoquer des pannes ainsi qu'un certain manque de précision,et l'avenir est certainement aux types électroniques à circuit imprimé ou intégré dont la précision et la fiabilité sont plus grandes.

Signalons enfin les vannes à programmation constituées par la combinaison d'un petit programmateur à une voie et d'une vanne électrique.

Les installations de micro-irrigation sont caractérisées par des arrosages fréquents,d'où l'intérêt de les automatiser.

On peut automatiser,soit l'exécution des déclenchements et des arrêts (programmateurs), soit automatiser l'élaboration même de ces ordres.

On peut par exemple utiliser un système permettant une commutation séquentielle hydraulique, un simple programmateur horaire, mais on peut également adjoindre des capteurs permettant de fixer la durée des arrosages.

a) Le déclenchement se fait par le programmateur à l'heure prévue par l'irrigation, l'arrêt par une sonde sensible à l'humidité (tensiomètre, résistimètre, capacimètre, etc...).

b) La durée de l'arrosage est affichée sur le programmateur : la dose se trouve donc fixée et c'est le capteur qui déclenche l'arrosage. Le paramètre choisi peut-être l'humidité du sol (Solmatic) ou une variable atmosphérique qui intègre l' ETP.

Par exemple le rayonnement solaire global sur l'évaporation d'un petit bac (système de pilotage automatique Bas-Rhône).

VI MAINTENANCE DU RESEAU

Il s'agit des opérations périodiques d'entretien et de contrôle du réseau effectuées par l'exploitant mais à faciliter par le projeteur grâce à certaines dispositions. Le contrôle porte essentiellement sur les filtres et les distributeurs.

Filtres : vérification de la perte de charge par lecture des manomètres amont et aval ou utilisation d'un seul manomètre branché successivement sur l'amont et l'aval grâce à un robinet à 3 voies.

Distributeurs : contrôle du débit (pour une même charge en tête) de plusieurs distributeurs (toujours les mêmes) et calcul du coefficient d'uniformité. Surveillance de l'évolution de ce coefficient et netoyage du réseau (acide ou eau de Javel) s'il y a lieu.

Rampes, porte-rampes : purge des extrémités, au moins 1 fois par an avant l'arrêt de l'installation. Les purges doivent commencer par les porte-rampes et se poursuivre par les rampes, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval.

Des robinets de purge aux points bas permettent également de faire des chasses, si l'eau distribuée contient beaucoup d'éléments fins.

- La régulation du débit peut être temporelle (par horloge horaire) ou volumétrique, ce qui présente l'avantage de remédier automatiquement aux variations du débit des gouttteurs dues aux variations de pression, de température, au vieillissement ainsi qu'à l'obstruction progressive.

Dans la plupart des installations, le débit est fixé par le réglage de la pression en tête des porte-rampes, soit automatique, soit manuel, afin d'avoir des débits de distributeurs identiques sur les divers postes. Les vannes de réglage doivent être contrôlées par l'exploitant de façon régulière.

- Dans certains cas, il est également nécessaire, en plus de la purge des rampes, de faire des détartrages périodiques par l'utilisation de l'acide chlorydrique. La concentration dans les eaux d'irrigation étant de l'ordre de 0,5 %, on peut également lutter contre les algues et les bactéries en injectant en fin de campagne et hors culture de l'eau de javel à une concentration de 0,5 l/m³ d'eau pendant 30 mn.

- Remarque l'acier inoxydable supporte mal l'eau de javel.

C. CALCUL D'UN PROJET D'IRRIGATION

I. LES DONNÉES PRÉLIMINAIRES DU PROJET

La conception d'un réseau d'irrigation goutte à goutte nécessite une étude préalable complète de la parcelle (dimension et topographie), ainsi que la connaissance d'un certain nombre de données préliminaires nécessaires au projeteur pour dimensionner son projet et le chiffrer, besoins d'irrigation, débits, volumes et temps d'arrosage, et à l'agriculteur pour irriguer correctement (dose et fréquence des arrosages).

Ces données dépendent du climat, du sol et de la culture.

1. DESCRIPTION GEOMETRIQUE ET TOPOGRAPHIQUE DE LA PARCELLE

- Dresser 1 plan à l'échelle 1/500 ou 1/1000 si les parcelles sont grandes,

- Reporter avec précision la planimétrie et l'altimétrie (la densité de points cotés sera de 25 points à l'hectare sur terrain plat et de 40 à 50 points par hectare en terrain accidenté),

- Tracer à partir des points cotés les courbes de niveau,

- Indiquer sur le plan les ruptures de pente importantes ainsi que les points ayant la cote maximale (P_{max}) et la cote minimale (P_{min}),

- Positionner le point d'alimentation,

- Reporter sur le plan le tracé des rampes et du porte-rampes.

1.2 LES BESOINS D'IRRIGATION

Il faut tout d'abord distinguer clairement d'une part les besoins en eau et les besoins d'irrigation et d'autre part les besoins de pointe et les besoins annuels.

Besoins en eau et besoins d'irrigation

. Les besoins en eau d'une parcelle correspondent à toute l'eau utilisée par cette parcelle, ou évapotranspiration réelle ETR, pour le développement de la culture qu'elle porte et comprennent non seulement la transpiration de la culture mais aussi celle des adventices, ainsi que l'évaporation directe à partir du sol ou des plantes. Cette eau peut provenir de l'irrigation mais aussi et d'abord de la réserve Re du sol (constituée avant l'installation de la culture ou le démarrage de la végétation dans le cas des plantes pérennes), des pluies utiles P et éventuellement de l'eau provenant d'une nappe située à faible profondeur Pn.

. Les besoins en eau d'irrigation I ne sont que le complément des ressources en eau naturelle

$$I = ETR - (Re + \Sigma P + \Sigma Pn)$$

Une étude précise des besoins d'irrigation à partir des bilans hydriques est donc à faire dans chaque cas particulier, en tenant compte de la place du cycle végétatif de la culture considérée dans l'année climatique. Cette étude ne doit pas être basée sur des moyennes, mais être conduite de façon fréquentielle sur le plus grand nombre d'années possible. Le choix de la fréquence (les besoins sont dits biennaux, quinquennaux, ou decennaux s'ils sont couverts 5, 8 ou 9 années sur 10) doit resulter d'un calcul économique. Les besoins des années les plus sèches seront d'autant mieux couverts que la culture sera plus rémunératrice, l'eau plus abondante et moins coûteuse, la compétence de l'agriculteur mieux affirmée.

Lorsque l'irrigation est la seule source d'eau disponible en période de pointe, les besoins d'irrigation de pointe sont égaux aux besoins en eau de pointe et même supérieurs pour tenir compte des pertes. Dans le cas contraire, ils peuvent leur être notablement inférieurs (cas des régions d'irrigation de complément).

Besoins de pointe et besoins annuels

. Les besoins de pointe déterminent le dimensionnement du réseau et, s'il y a lieu, de la station de pompage

. Les besoins annuels déterminent le volume de la réserve qui peut être à constituer ainsi que le coût annuel de l'irrigation nécessaire au calcul économique.

1.21 Calculs des besoins en eau en micro-irrigation

- Une estimation théorique de l'E.T.P. peut être effectuée à partir d'une formule utilisant un nombre plus ou moins grand de mesures climatiques. Pour une irrigation aussi fréquente que la micro-irrigation, il faut choisir une formule du type journalier : ex : en France formule de Brochet Gerbier). On peut également mesurer l'intensité de la radiation solaire, soit directement (solarimètre) soit indirectement à partir de relevés d'évaporation de l'eau en bacs normalisés (type classe A ou Colorado). L'évaporation à partir d'une nappe d'eau libre est égale à 80 % de l'évaporation en bac classe A.

En micro-irrigation, les apports d'eau sont localisés sur une partie très petite de la surface du sol, située en plus au voisinage des plantes, donc à l'ombre du feuillage, ce qui minimise la part évaporation du complexe évapotranspiration. Des économies d'eau sont donc possibles dans la mesure où la culture ne couvre pas tout le sol.

- On applique donc à l'estimation théorique (ETP ou E bac) :

a) *Un coefficient cultural K_1* dependant de la culture et de son stade végétatif.

b) *Un coefficient de couverture K_2* qui tient compte de la réduction des besoins lorsque la culture ne couvre pas toute la surface du sol.

Etant donné l'imprécision de sa détermination, ce coefficient peut être pris égal au pourcentage P de la surface couverte par la projection verticale du feuillage de la culture.

On a donc :

$$\boxed{\text{Besoins en eau} = K_1 \cdot K_2 \cdot ETP \text{ (ou } E_{bac}).}$$

L'agriculteur qui utilisera le réseau devra tenir compte de la valeur réelle de K_1 et K_2 pour évaluer la dose ou la fréquence de ses arrosages.

Le projeteur par contre, prendra le coefficient K_1 correspondant à la période du cycle végétatif de la période de pointe et le coefficient K_2 correspondant à la valeur maximale de P, qui est celle de la culture arrivée à son plein développement (sauf peut-être le cas où il s'agirait d'arbres mettant très longtemps à atteindre leur âge adulte et où la mise en place d'un réseau allégé s'avèrerait plus intéressante sur le plan économique).

Choix des besoins de pointe à prendre en compte dans le calcul du réseau

Nous avons vu que ce choix doit résulter d'un calcul économique permettant de déterminer la fréquence de retour des besoins d'irrigation à satisfaire. C'est en effet un compromis entre le coût supplémentaire entraîné par une augmentation des besoins de pointe et la perte de production (en quantité et en qualité) entraînée par la non satisfaction de ces besoins supplémentaires certaines années seulement.

D'un point de vue pratique, on peut observer que, même dans le cas d'une irrigation journalière, il ne semble pas utile de satisfaire la pointe de consommation que l'on peut enregistrer certains jours exceptionnellement chauds, secs et ventés. Ces jours-là en effet, il est fréquent qu'intervienne la régulation stomatique même si toute l'eau nécessaire est apportée au sol, et par ailleurs les plantes peuvent mobiliser dans une certaine mesure l'eau qu'elles auront pu recevoir les jours précédents. On peut donc se contenter de réaliser un apport moyen, peut-être pas au niveau du mois, mais à celui de la décade, qui est acutellement le "pas de calcul" le plus utilisé pour les besoins en eau.

En outre, dans le cas de cultures pérennes (vergers, vignes), le système racinaire, qui est très profond, est capable de mobiliser les réserves de l'ensemble du sol. Ces réserves peuvent durer longtemps à condition de les ménager et peuvent assurer le complément d'une irrigation volontairement un peu insuffisante. Il convient naturellement de réserver les déficits d'irrigation aux périodes du cycle végétatif où le rationnement est le mieux supporté.

La micro-irrigation permet ainsi de réaliser des économies d'eau et en même temps d'énergie, par rapport aux autres méthodes d'irrigation où les arrosages sont massifs et espacés. Leur importance réelle dépend de la réserve en eau du sol considéré (jusqu'à 250 mm dans les sols profonds limono-argileux). Dans les pays à climat méditerranéen, typique, les pluies d'hiver suffisent souvent à remplir cette réserve.

Ces économies s'ajoutent à celles qui résultent d'une meilleure conduite des arrosages par rapport aux besoins des cultures. En effet avec des arrosages non localisés, une pluie importante survenant après un arrosage qui a rempli la réserve du sol provoquera une perte par percolation en profondeur.

- *Sols à tendance hydromorphique* : les arrosages doivent être calculés de façon très précise, plutôt par défaut que par excès. En effet, lorsque le sous-sol est imperméable, un excès d'eau peut s'accumuler dans le sol et le rendre asphyxiant pour les racines des plantes. De travaux anglais et israéliens, il semble résulter que les racines émettraient alors de l'éthylène qui, s'accumulant dans le sol saturé, deviendrait toxique et entraînerait la mort des plantes.

- *Sol à texture très grossière* (sable et graviers) : la capacité de rétention de ces sols est très faible, la diffusion latérale de l'eau à partir des distributeurs très réduite. Dans ce cas, il convient d'éviter les pertes d'eau par percolation profonde, et de même que dans le cas précédent, on doit suivre les besoins au plus près.

TABLEAU 2

- Profondeur racinaire moyenne de quelques cultures

. Légumes.....	0,3	à	0,6	m	selon la nature du sol
. Bananes.....	0,4	à	0,6	m	" " " " "
. Tomates.....	0,8	à	1	m	" " " " "
. Agrumes.....	0,8	à	1,2	m	" " " " "
. Autres arbres fruitiers..	1	à	1,2	m	" " " " "
. Vigne.....	1	à	3	m	" " " " "

TABLEAU 3

- Caractéristiques hydrodynamiques moyennes de quelques sols

Texture	Sol	Densité	Capacité de rétention en % pondéral Cr	Point de flétris. en % pondéral Cf	Capacité utile Cr-Cf	Réserve utile mm/m
grossière (	Sableux	1,7	9	4	5	85
	Limono-sableux	1,5	14	6	8	120
moyenne (	Limoneux	1,42	22	10	12	170
	Limono-argileux	1,36	27	13	14	190
fine (	Argilo-limoneux	1,31	31	15	16	210
	Argileux	1,28	35	17	18	230

Les plantes ne photosynthétisent et ne transpirent que pendant le jour, et le maximum de la radiation solaire est émis de 9h du matin à 3 h de l'après-midi. Si donc on désire éviter les pertes par percolation, il importe d'irriguer uniquement pendant le jour et de préférence de 9 à 15 h, si possible en irrigations fractionnées. C'est le cas général des irrigations sous serre où l'on se trouve dans des conditions quasi-désertiques (pas de pluies), avec des sols à faible capacité de rétention et des plantes délicates à faible enracinement. Les jours de forte insolation, il est recommandé de faire 2 irrigations (l'une le matin, l'autre l'après-midi, et au besoin de passer à l'irrigation par pulsations où des arrosages de faible dose sont répartis sur toute la journée grâce à un programmateur électronique.

- - *En première approximation*, si l'on ne dispose pas d'informations permettant une estimation plus précise, on peut s'inspirer des indications moyennes données par K.K* pour choisir le niveau des besoins journaliers de pointe, à savoir :

Vigne ..... 3 à 5 mm/jour
Vergers sauf agrumes ..... 5 à 7 mm/jour
Agrumes ..... 4 à 6 mm/jour
Cultures maraîchères..... 6 à 8 mm/jour.

1.3 DOSE ET FREQUENCE D'ARROSAGE

La dose est la quantité d'eau apportée lors d'un arrosage. La fréquence est l'intervalle de temps séparant le début de deux arrosages successifs.

Ces deux termes varient en sens inverse : lorsque les besoins journaliers sont fixés, plus la dose est petite plus la fréquence d'arrosage doit être grande. Il nous suffira donc d'examiner en détail le problème du choix de la dose d'arrosage.

La nature du sol et notamment sa texture, joue un rôle fondamental. Nous avons vu que dans les conditions de sol extrêmes (trop ou trop peu perméable), les arrosages doivent être calculés de façon précise et apportés au fur et à mesure des besoins de la plante, c'est-à-dire avec une grande fréquence, ce que permet aisément la micro-irrigation puisque le réseau d'irrigation est en couverture totale.

Les arrosages très fréquents peuvent constituer une servitude pour l'agriculteur et augmentent l'hétérogénéité de la distribution (vidange et remplissage des canalisations) Il est intéressant de savoir jusqu'à quel point il est possible de les espacer, c'est-à-dire d'évaluer la dose maximale que l'on peut apporter.

1.31 DOSE MAXIMALE D'ARROSAGE

Il s'agit d'un calcul qui diffère de celui que l'on fait pour une irrigation en plein, puisque en micro-irrigation une partie seulement du volume du sol est humidifiée. La dose maximale sera donc plus faible qu'en aspersion ou en submersion, car si on prenait la même dose, une partie importante serait perdue par percolation en profondeur.

* KELLER et KARMELI

Il s'agit également d'une dose exprimée en pluviométrie fictive, puisque, par analogie avec une irrigation en plein air, il est commode de la déterminer en mm de hauteur d'eau supposée uniformément répartie sur l'ensemble de la surface, ce qui correspond à une profondeur humidifiée moyenne.

La dose maximale d'arrosage dépend de la profondeur que l'on veut humidifier (en fonction de la nature de la culture et de la nature du sol), de la capacité utile de rétention du sol, de la variation d'humidité possible ou souhaitée, enfin de la proportion du volume du sol qui est effectivement humidifiée. Dans un premier temps nous supposerons que la répartition de l'eau est parfaite, c'est-à dire qu'elle se fait sans pertes. Il s'agit donc d'une <u>dose théorique ou dose nette</u>.

$$d(\text{nette})_{max} = y(C_r - C_f)\frac{zP}{100} \qquad (9)$$

avec :

$d(\text{nette})_{max}$	= dose nette maximale en mm
y	= proportion de la capacité utile à recharger
c_r	= humidité volumique à la capacité de rétention en mm/m
c_f	= humidité volumique au point de flétrissement en mm/m
z	= profondeur à humidifier en m
p	= pourcentage du sol effectivement humidifé.

- *Valeur de z* : le tableau 2 donne la profondeur racinaire moyenne z, pour quelques cultures.

- *Valeur de c_r et c_f* : le tableau 3 donne les caractéristiques hydro-dynamiques moyennes de quelques sols.

- *Valeur de y* : le degré d'humidité du sol à partir duquel on doit irriguer dépend du sol, de la culture, et des coûts comparés de l'eau et du produit récolté. On ne peut cependant pas prendre y = 1 car il est nécessaire de conserver un certain coefficient de sécurité et de plus il ne faut pas oublier que la micro-irrigation est basée sur le maintien à une humidité élevée d'une partie du volume du sol.

En pratique on prendra y égal à :

- 0,3 pour les cultures sensibles à la sécheresse.
- 0,6 pour les autres.

- *Valeur de P* : c'est la pourcentage du sol à humidifier. c'est un paramètre important mais peu aisé à déterminer. pour un sol et un climat donnés, il dépend :

- dans le cas du goutte à goutte du débit et surtout de l'espacement des goutteurs (ou des sorties s'il s'agit de goutteurs à plusieurs sorties) ;

- dans le cas du système Bas-Rhône de l'espacement des rampes ;

- dans le cas des mini-diffuseurs des rampes et des surfaces arrosées.

Il est difficile de fixer pour P une valeur minimale car cette valeur est étroitement dépendante de y, de Z, de la capacité utile de rétention et surtout de la fréquence des arrosages car plus l'alimentation en eau de la culture est continue, plus le volume de sol à humidifier peut être réduit.

Cependant il est évident que les installations calculées avec une grande valeur de P offrent une plus grande sécurité en cas de panne, sont plus aisées à conduire car elles n'exigent plus un calcul aussi précis des besoins de pointe, enfin permettent de disposer, dans le volume de sol humidifié, d'une source ou d'une réserve plus importante d'éléments nutritifs. Cependant P ne doit pas être trop grand car l'intérêt de la micro-irrigation réside surtout dans le maintien d'interlignes secs.

D'après Keller et Karméli, on peut considérer comme raisonnable d'humidifier le tiers (P = 33) du volume total du sol accessible aux racines dans le cas de plantations d'arbres largement espacés, ceci en climat aride. Car en climat tempéré, dès que l'irrigation n'est plus la seule source d'alimentation de la culture, on peut se contenter, surtout si l'on commence les arrosages assez tôt pour assurer une utilisation graduelle des réserves, de valeurs plus faibles de P pouvant descendre en dessous de 20 %. Ceci est surtout valable pour les cultures largement espacées comme les vergers, car en pratique pour des cultures plus serrées telles que les cultures maraîchères, la nécessité de placer une rampe par rangée (ou, en rangs jumelés, pour 2 rangées), conduit dans la pratique à une valeur de P supérieure.

Le dispositif le plus simple et le meilleur marché comporte par rangée de culture une seule rampe rectiligne portant des distributeurs qui, en goutte à goutte, sont assez rapprochés (de l'ordre de 1m ou moins) pour que leurs bulbes constituent dans le sol un volume continu de sol humide.

Ce dispositif conduit, dans le cas de cultures annuelles à une valeur de P largement suffisante (puisqu'on peut mettre dans certains cas une rampe pour 2 rangs jumelés) mais dans le cas de cultures fruitières à grand écartement, une seule rampe munie de goutteurs peut ne pas suffire pour obtenir la valeur de P jugée minimale. Dans ce cas, il est possible d'augmenter P en adoptant des dispositifs plus complexes qui conduisent à élargir la bande de sol humidifiée (dispositif zig-zag ou en queue de cochon, ou encore rampe double)

On peut également, par l'utilisation de goutteurs capillaires dont le point d'émission de l'eau serait fixé à une certaine distance de la rampe, obtenir le même résultat.

Le tableau empirique 4 permet d'estimer P en fonction de la texture du sol (fine, moyenne ou grossière), du débit et de l'espacement des goutteurs. Il donne également S_g, écartement conseillé entre goutteurs sur la rampe en fonction du débit et du type de sol. Cet écartement est d'autant plus grand que le débit du goutteur est plus important et la texture du sol plus fine.

Dans le cas de 2 rampes par rang, on s'efforce de disposer ces rampes à un écartement E_a tel que P soit maximal mais que l'interligne sec E_b soit aussi large que possible. Pour cela on choisit E_a égal à la valeur maximale de E_r pour laquelle on ait P = 100 % et on calcule P par la formule :

$$(10) \qquad P = \frac{PaEa + PbEb}{Ea + Eb}$$

Enfin dans le cas de dispositifs zig-zag ou en queue de cochon, chaque goutteur, pour avoir une efficacité maximale, doit être placé à une distance S_g des goutteurs voisins et P est donné par la formule ci-après.

$$(11) \qquad \frac{P}{100} = e\frac{S_g l_h}{S_a E_l}$$

avec :

e	nombre de points de distribution par arbre
S_g	espacement des points de distribution
l_h	largeur de la bande de sol humidifiée égale à E_r tiré du tableau pour P = 100 % à partir du débit et du type de sol considéré
S_a	espacement entre arbres sur la ligne
E_l	écartement entre lignes d'arbres

1.32 DOSE PRATIQUE D'ARROSAGE

La dose réellement appliquée (Dose brute) doit être supérieure à la dose nette pour tenir compte du rendement de l'irrigation à la parcelle :

$$R = \frac{\text{Dose nette}}{\text{Dose brute}}$$

R dépend de 2 facteurs

Le coefficient d'uniformité de l'arrosage C.U. et le coefficient d'efficacité de l'arrosage C.E. qui traduit l'importance des pertes (évaporation et percolation).

a) le coefficient d'uniformité de l'arrosage (C.U.) qui donne une estimation du pourcentage de la dose moyenne appliquée qui est effectivement reçue par les parties de la parcelle recevant le moins d'eau. C.U. dépend lui-même de l'uniformité de fabrication des distributeurs (coefficient de variation) et de l'uniformité des pressions auxquelles sont soumis les divers distributeurs d'un même poste (variations en fonction des pertes de charge dans les conduites et des dénivellations du terrain).

b) le coefficient d'efficacité de l'arrosage (CE)

$\frac{\text{eau transpirée}}{\text{eau appliquée}}$ qui traduit l'importance des pertes (évaporation et percolation profonde dans les parties de la parcelle recevant le moins d'eau).

On admet que selon la texture du sol, CE peut avoir les valeurs suivantes :

- Sable grossier ou sol peu profond avec sous-sol en gravier et galets 0,85
- Sable 0,90
- Limon 0,95
- Limon argileux et argile 1

Cependant lorsqu'on sous-irrigue la culture (rationnement en eau) les pertes diminuent et peuvent pratiquement s'annuler.

On a donc :

$$R = CU.CE$$

d'où :

(13) $$\boxed{\text{dose brute} = \frac{\text{dose nette}}{CU.CE}}$$ en mm.

1.4 DEBITS NECESSAIRES

. *UNITES UTILISEES*

. au niveau du sol de la parcelle, on exprime les débits en mm/h fictifs, c'est-à-dire supposés uniformément répartis sur toute la surface.

. au niveau des distributeurs on les exprime en l/h

. au niveau des conduites on les exprime en m^3/h, l/h, l/s

Avec les équivalences suivantes :

1 mm/h sur 1 ha = 10 m^3/h
1 l/s = 3,6 m^3/h

DEFINITIONS

a) *Le débit fictif continu par ha en période de pointe* (dfc) est déterminé par les besoins de pointe. Il représente le débit maximal que doit pouvoir fournir le réseau fonctionnant 24h sur 24 avec un nombre de postes maximal. Il dépend des besoins de pointe journaliers ET_{max} et du rendement de l'irrigation R.

(14)a $$dfc = \frac{ET_{max}}{24R}$$

A.N. ET_{max} = 7 mm/j
R = 0.8
dfc = 0.36 mm/h

avec :
dfc en mm/h
ET_{max} en mm/jour

(14)b ou $$dfc = \frac{ET_{max}}{2,4R}$$

A.N. dfc = 3.6 m^3/h/ha

avec :
dfc en m^3/h/ha
ET_{max} en mm/jour

(14)c ou encore $$dfc = \frac{ET_{max}}{8,64R}$$

dfc = 1 l/s/ha

avec : dfc en l/s/ha
ET_{max} en mm/jour

b) *Le débit réel instantané par ha* (dri) dépend du nombre de distributeurs à l'hectare n/S et de leur débit q.

(15)a $$dri = \frac{nq}{S}$$

A.N. 800 goutteurs/ha S = 3 ha
débit l/h = 4
dri = 3200 l/h/ha

avec :
dri en l/h/ha
q en l/h
S en ha

(15)b ou $$dri = \frac{nq}{1000S}$$

avec :
dri en m^3/h/ha
q en l/h
S en ha

(15)c ou encore $$dri = \frac{nq}{3600\ S}$$

avec :
dri en l/s/ha
q en l/h
S en ha

Il représente le débit maximal/ha que doit fournir le réseau dans le cas où la parcelle est desservie en un seul poste.

Comme en aspersion, le débit d'un distributeur est proportionnel à la surface qu'il doit arroser, à la dose qu'il doit apporter, et inversement proportionnel à sa durée de fonctionnement.

Or la surface qu'il doit arroser est le produit de l'espacement sur la rampe S_g par l'écartement entre rampes E_r et le nombre de distributeurs par ha, $\frac{n}{s}$

est aussi égal à $\frac{10000}{Sg.Er}$ avec S_g et E_r en m.

On a donc également en m^3/h/ha :

$$dri = \frac{10000}{S_g E_r} \cdot \frac{q}{1000}$$

(16) $$\boxed{dri = \frac{10q}{S_g E_r}}$$ avec | dri en m^3/h/ha
S_g et E_r en m.

Mais il est également très commode pour les calculs de rampes d'utiliser le <u>débit par mètre linéaire de rampe</u> <u>d</u>, qui est supposé uniformément réparti (en anglais SDR = Specific Discharge Ratio)

(17) On a $d = \frac{q}{Sg}$

avec | d en l/h/m
q en l/h
S_g en m

Si Q est le débit disponible en tête de parcelle en m^3/h/ha, la longueur totale de rampes sera $\frac{10000}{E_r}$ en m/ha.

Par exemple :

pour E_r =	10	8	6	4	3	2	1	m
on a	1000	1250	1666	2500	3333	5000	10000	m de rampes

Et si l'on veut irriguer toute la parcelle en même temps, c'est-à-dire en un seul poste, il faut un débit réel instantané par hectare ,

$$dri = \frac{10000}{E_r} \times d \text{ en l/h/ha}$$

(18) $$\boxed{\text{Soit } dri = \frac{10d}{E_r} \text{ en } m^3\text{/h/ha.}}$$

On vérifie que dri peut être d'autant plus petit que d est petit et E_r grand.

<u>Le débit d'équipement du réseau</u> der qui est le débit par hectare adopté par le projecteur en fonction du nombre de postes qu'il est amené à réaliser.

der est compris entre dfc, débit minimal, et dri, débit maximal

$$dfc \leqslant der \leqslant dri$$

Pour avoir le débit d'équipement Q en tête de parcelle, on doit évidemment multiplier der par S surface de la parcelle :

(19) $$\boxed{Q = S.der}$$

1.5 CALCUL DU NOMBRE DE POSTES

Soit N le nombre de postes de la parcelle.

Le débit d'équipement du réseau der est alors N fois plus petit que le débit réel instantané dri :

$\frac{dri}{der} = N$ ce qui conduit selon que l'on prend comme expression de dri (17) ou (16), aux formules suivantes exprimées en $m^3/h/ha$ par exemple.

(20)a et (20)b $$\boxed{der = \frac{10d}{NEr}} \quad \text{ou} \quad \boxed{der = \frac{10q}{N\,Sg\,E_r}}$$

Le nombre maximal de postes Nmax est obtenu quand der = dfc : $\frac{dri}{dfc} = N_{max}$

c'est-à-dire en remplaçant dans (20)a et (20)b avec (14)b

(21)a (21)b $$\boxed{N_{max} = \frac{24dR}{E_r ET_{max}}} \quad \text{ou} \quad \boxed{N_{max} = \frac{24\,qR}{Sg.Er.ET_{max}}}$$

avec
- q : débit du distributeur en l/h
- R : rendement de l'irrigation à la parcelle
- ET_{max} : en mm/jour
- E_r et S_g en m.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA SUBDIVISION EN POSTES

AVANTAGES

. Diminution du débit nécessaire en tête de parcelle (réduction de la puissance de pompage en cas de pompage individuel, réduction de la prime fixe de souscription de débit en cas de branchement sur un réseau collectif)

. Diminution du débit à transporter (surtout dans le cas où la prise d'eau est éloignée de la parcelle), d'où réduction du diamètre des canalisations.

. La réduction de la surface du poste tend à améliorer le coefficient d'uniformité sur l'ensemble de la parcelle, à condition que le volume à apporter à chaque poste puisse être dosé avec précision (vannes volumétriques), et elle permet de tenir compte des hétérogénéités locales des besoins entre les divers postes.

INCONVENIENTS

. Une complexité plus grande du réseau qui se traduit par :

- des investissements plus importants en appareillages de branchement et de commutation du débit entre les postes
- des manoeuvres plus longues de commande des arrosages en matière d'exploitation

- Une perte de souplesse quant au choix de la période d'arrosage dans la journée de travail. Pour ne pas limiter les possibilités de rattrapage il ne faut pas dimensionner l'installation pour un fonctionnement de 24 h sur 24 h mais de 16 ou 18 h sur 24 h.

EXEMPLES CONCRETS DE SUBDIVISION EN POSTES

1er exemple

Verger avec E_r = 6m, ET_{max} = 5 à 6 mm/jour, R = 0,9

. Système Bas-Rhône : d = 10 (par exemple 1 ajutage de 60 l/h tous les 6 m), dri = 1,67 mm/h, N_{max} = 6 ou 7 postes.

. Système goutte à goutte : d = 4 (par exemple 1 goutteur de 4 l/h par m), dri = 0,67 mm/h ou 16,08 mm, N_{max} = 2 ou 3 postes.

2ième exemple

Maraîchage avec E_r = 1 m, ET_{max} = 6 à 7 mm/jour, R = 0,9

. Système goutte à goutte : d = 2 (par exemple 1 goutteur de 2 l/h par m), N_{max} = 6 à 7 postes également si on veut réduire au strict minimum le débit nécessaire en tête de la parcelle.

Remarque : en aspersion, la subdivision en postes est encore plus poussée si on se place dans la même hypothèse der = dfc et si le matériel est disposé en couverture totale, c'est-à-dire si le changement de poste se réduit à une simple commutation. En effet 5 mm/h, pluviométrie faible, correspond en fait à dri = 5 x 24 = 120 mm/jour et le N_{max} est alors de 20 à 24 dans le cas de verger.

Parmi toutes les méthodes d'irrigation, c'est donc la micro-irrigation qui a la pluviométrie fictive instantanée la plus faible. C'est aussi la méthode qui avec un débit donné, permet d'irriguer la plus grande surface à la fois.

Peut-on avoir $N_{max} = 1$?

On aurait alors $\frac{24dR}{E_r ET_{max}} = 1$ d'où $d = \frac{E_r ET_{max}}{24R}$

En adoptant $R = 0,9$ et $ET_{max} = 6$ mm/jour, on obtient

$d = \frac{E_r}{3,6}$ l/h/m

Ce n'est pas absolument impossible en vergers :

$E_r = 6$ m → $d = 1,666$ l/h/m soit 1 goutteur de 1,666 l/h tous les mètres par exemple ou 1 goutteur de 2 l/h tous les 1,2 m, car en maraîchage Er = 1 m, d = 0,277 l/h/m on tombe à des débits de goutteur très faibles, d'où des risques d'obstructions importants. De plus ce fonctionnement en continu n'est possible que pendant la période de pointe. En dehors de cette période, il faudrait encore réduire le débit ou revenir à un fonctionnement discontinu sur une partie du temps. Enfin, d'après les essais réalisés en France, le bulbe est très petit et les risques d'hydromorphie plus importants.

Cette technique est donc à rejeter. Il est préférable d'utiliser des débits unitaires par distributeur plus importants et de pratiquer une commutation entre plusieurs postes pour réduire le débit en tête de parcelle.

1.6 VOLUME ET DUREES D'ARROSAGE

1.61 VOLUME ET DUREE D'UN ARROSAGE (en période de pointe)

Soit t1 la durée d'arrosage (en période de pointe)
t2 l'espacement des arrosages (en période de pointe)

Le volume délivré par arrosage sur l'ensemble de la parcelle est égal à :

(22) $$V = 10\ S \times \text{dose brute}$$

avec V en m^3
S en ha
dose brute en mm.

Pour les temps, on a :

(23) $$t1 = \frac{\text{dose brute} \times SgEr}{q}$$

avec t1 en h
dose brute en mm
Sg et Er en m
q en l/h

(24) $$\boxed{t2 = \frac{\text{dose nette}}{ET_{max}}}$$ avec | t2 en jours
dose nette en mm
ET_{max} en mm/jour

Il en résulte que $24 \cdot \frac{t2}{t1} = \frac{24q\ R}{S_g E_r . Et_{max}} = N_{Max}$, nombre maximal de postes.

On a donc également la relation :

(25) $$\boxed{N \text{ nombre réel de postes} \leqslant 24 \frac{t2}{t1}}$$

1.62 VOLUME ET DUREE ANNUELLE D'ARROSAGE

Sur la campagne d'irrigation, on a pour l'ensemble de la parcelle :

(26)a $$\Sigma V = 10\ S\ \Sigma \text{ dose brute} \quad \text{en } m^3$$

(26)b ou $$\boxed{\Sigma V = \frac{10\ S}{CU.CE}\ \Sigma \text{ dose nette}} \text{ en } m^3$$

(26)c ou encore $$\boxed{\Sigma V = \frac{10S}{CU.CE} (\Sigma \text{ Besoins en eau} - \text{Réserve du sol} - \Sigma \text{Pluies})} \text{ en } m^3$$

les besoins en eau, la réserve du sol (au début de la culture) et les pluies (utiles pendant la culture) étant exprimés en mm de hauteur d'eau.

Quant à la durée totale de fonctionnement du réseau nécessaire pour appliquer le volume ΣV avec le débit d'équipement Q = S. der, elle sera en heures ;

(27)a $$\boxed{T = \frac{\Sigma V}{Q}}$$ avec Q en m^3/h

(27)b ou $$T = \frac{\Sigma V}{3,6Q}$$ avec Q en l/s

(27)c ou encore $$\boxed{T = N \times \frac{\Sigma \text{dose nette}}{\text{dose nette}} \times t1}$$

° ° ° ° °
° ° °
°

II. CALCUL HYDRAULIQUE D'UN PROJET

2.1 BUTS

Dans une installation de micro-irrigation, le rôle des distributeurs est de répartir l'eau d'arrosage avec la meilleure uniformité possible.

Cette uniformité doit être à la fois spatiale, car elle doit s'étendre à l'ensemble de la parcelle ou, tout au moins au poste d'arrosage, et temporelle, car elle doit se maintenir pendant toute la vie de l'installation (5 à 10 ans ou davantage).

Le calcul hydraulique d'un projet en micro-irrigation consiste donc à déterminer la configuration de l'ensemble des canalisations, la position du porte-rampe et la longueur maximale des rampes utilisées pour que la variation de débit ΔQ entre les différents distributeurs ne dépasse pas une certaine valeur fixée par le projeteur

exemple : $\frac{\Delta Q}{Q} = \pm 5\ \%$

A.N. Si le débit nominal du goutteur utilisé est de 4 l/h, les valeurs respectives de q_{min} et de q_{max} seront 3,8 l/h et 4,2 l/h.

2.2 CAUSES DE VARIATION DU DEBIT D'UN DISTRIBUTEUR

Les différences de débits entre les distributeurs d'un même poste d'arrosage sont dues :

- aux hétérogénéités de fabrication du distributeur choisi (disuniformité technologique),

- aux différences de pressions s'excerçant dur les distributeurs dues aux perte de charge dans les rampes et porte-rampes et aux variations topographiques (disuniformité hydraulique).

En effet, la loi débit-pression d'un distributeur est de la forme :

$$Q = K\ H^x$$

Les valeurs de x sont différentes selon le type de distributeur :

. goutteur à circuit long $x = 0,8$
. goutteur à circuit court $x = 0,4$

La variation de débit en fonction de la variation de pression à pour expression

$$\frac{\Delta Q}{Q} = x\ \frac{\Delta H}{H}$$

Ainsi, pour une variation de débit donnée (ΔQ) toutes conditions étant égales par ailleurs, la variation maximale de pression le long d'une rampe sera différente selon le type de distributeurs utilisé :

Ex. si $\frac{\Delta Q}{Q} = 10\ \%$ et $H_n = 10$ m

. dans le cas d'un goutteur à circuit long (x=0,8) :

$$\Delta H = \frac{0.1 \times 10}{0.8} = 1.25 \text{ m.c.e.}$$

. dans le cas d'un goutteur à circuit court (x=0,4)

$$\Delta H = \frac{0.1 \times 10}{0.4} = 2.50 \text{ m.c.e.}$$

Il en résulte que la longueur maximale de rampe utilisable (même débit et même diamètre) sera différente.

Ex. q = 4 l/h/m Ø = 13/16

Dans le cas d'un goutteur à circuit long :

$L_{max} = 71$ m

Dans le cas d'un goutteur à circuit court :

$L_{max} = 92$ m

- à des phénomènes de vieillissement ou d'obstruction différentiels des distributeurs apparaissant au bout d'une certaine période d'utilisation et s'aggravant avec le temps (disuniformité temporelle).

MM. J. KELLER et D. KARMELI, spécialistes en micro-irrigation, ont proposé, au niveau du projet , 2 formules qui permettent de quantifier, pour chaque poste, l'uniformité d'arrosage prévisible (1).

1) Coefficient d'uniformité simple CU_s :

$$CU_s = 100 \left(1 - \frac{1,27}{\sqrt{e}} CV\right) \frac{q_{min}}{\bar{q}}$$

2) Coefficient d'uniformité absolu CU_a :

$$CU_a = 100 \left(1 - \frac{1,27}{\sqrt{e}} CV\right) \frac{1}{2} \left(\frac{q_{min}}{\bar{q}} + \frac{\bar{q}}{q_{max}}\right)$$

avec :

.CV : Coefficient de variation de fabrication des distributeurs,

.e : Nombre de distributeurs par plante (1 au minimum),

.$\bar{q}$: Débit moyen de l'ensemble des distributeurs du même poste,

.q_{min} : Débit minimal du distributeur le plus défavorisé au plan hydraulique, c'est-à-dire fonctionnant sous la pression minimale H_{min}, calculé à partir de la loi débit-pression du distributeur $q = f(H)$,

.q_{max} : Débit maximal du distributeur le plus favorisé au plan hydraulique, c'est-à-dire fonctionnant sous la pression maximale H_{max}, calculé à partir de la loi débit-pression du distributeur $q = f(H)$.

On utilise généralement CU_s qui est plus facile à calculer, CU_a n'intervenant que dans le cas des sols hydromorphes où les excès de débit ont une influence négative sur la croissance des plantes. Dans ce cas, on fait intervenir, non seulement les déficits d'alimentation (par q_{min}) mais aussi les excès (par q_{max}).

Il est admis généralement qu'aucune installation de micro-irrigation ne devrait être calculée avec un coefficient d'uniformité CU_a inférieur à 90 % (qui correspond sensiblement à une variation maximale du débit des distributeurs de $\frac{q_{max} - q_{min}}{\bar{q}} = 10\ \%$).

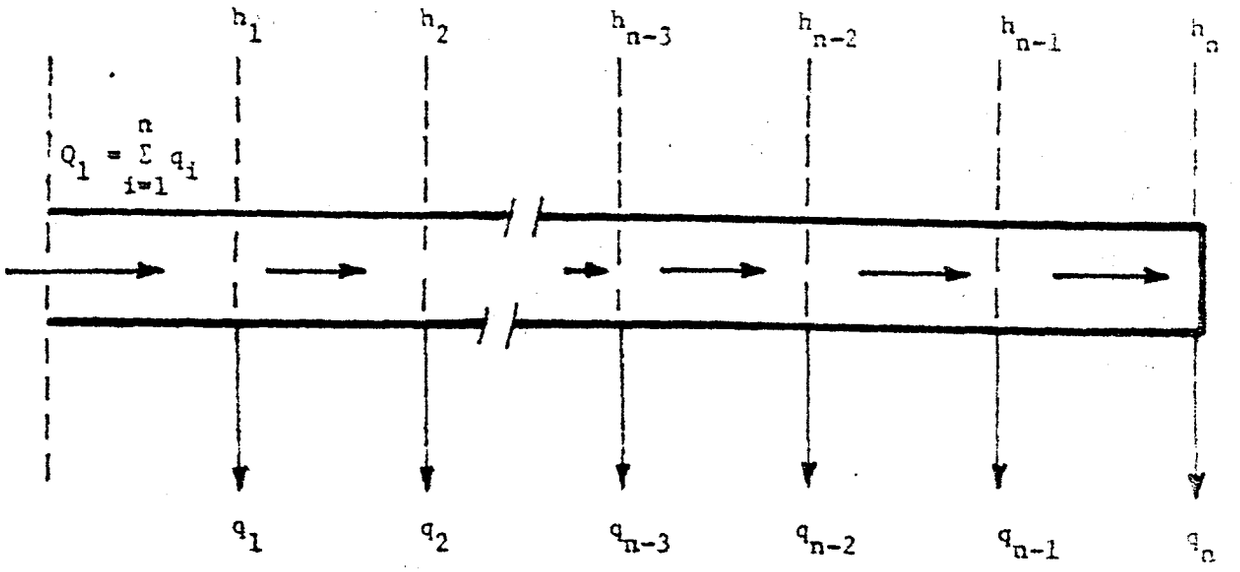
La valeur souhaitable serait de 95 %.

Le rôle d'un projeteur est donc de répartir au mieux la perte de charge admissible sur l'ensemble de la parcelle, de façon à obtenir un projet correct au point de vue hydraulique et optimisé au point de vue coût.

L'étude hydraulique d'un projet comprend les étapes suivantes :

1- Calcul des rampes,
2- Calcul du ou des porte-rampes
3- Calcul des primaires,
4- Détermination des pertes de charge dans la station de tête
5- Détermination si nécessaire de la station de pompage.

- REPARTITION DU DEBIT ET DE LA PRESSION LE LONG D'UNE RAMPE EN MICRO-IRRIGATION



$$Q_p = \sum_{i=p}^{n} q_i$$

2.2 CALCUL HYDRAULIQUE D'UNE RAMPE EN MICRO-IRRIGATION

Soit une rampe de diamètre Ø, de longueur L, comportant n distributeurs de débit q_i aussi constant que possible et équidistant de $\frac{L}{n}$.

Le débit en tête de rampe est :

$$Q = q_1 + q_2 \ldots + q_n = \sum_{i=1}^{i=N} q_i$$

A tout point p de la rampe le débit est :

$$Q_p = \sum_{i=p}^{i=N} q_i$$

Le débit transporté par la rampe est donc variable de l'origine à l'extrémité (si les débits transportés sont égaux, cette variation est linéaire depuis Nq avant le premier distributeur jusqu'à 0 après le dernier distributeur).

On dit en hydraulique que l'on a affaire à un "service en route" par rapport à un "service d'extrémité" qui correspond au cas où le débit reste constant sur toute la longueur de la rampe.

Les formules de perte de charge utilisées donnent la perte de charge pour un service d'extrémité (transport), il faut donc voir la relation qu'il y a entre une rampe ayant un service en route et la même rampe ayant un service d'extrémité.

2.21 FORMULES DE PERTE DE CHARGE UTILISEES (service d'extrémité)

Les tuyaux constituant les rampes sont en plastique et peuvent être considérés comme parfaitement lisses du point de vue hydraulique.

a) La formule empirique de WILLIAMS-HAZEN est souvent utilisée pour calculer la perte de charge J occasionnée par le passage d'un débit d'extrémité Q dans une conduite de longueur L.

(32)a $$\boxed{J = \frac{j}{L} = 9{,}76 \,.10^4 \, Ø^{-4{,}871} \, Q^{1{,}852}}$$

avec
- J perte de charge unitaire en m/m
- j perte de charge en m
- L longueur de la conduite en m
- Ø diamètre intérieur en cm
- Q débit en l/s.

ou (32)b $$\boxed{J = 0{,}188 \, Ø^{-4{,}871} \, Q^{1{,}852}}$$ en exprimant Ø en mm, Q en l/h

b) Cependant nous utiliserons plutôt la formule établie par PERNES et GUYON spécialement pour le P.E. (bulletin du Génie Rural n°60 de sept. 1964) que nous avons pu vérifier à diverses reprises :

(33)a $J = \frac{j}{L} = 8.10^5 \, \emptyset^{-4,75} \, Q^{1,75}$ avec | Ø en mm | Q en l/s

ou

(33)b ou $J = 0,478 \, \emptyset^{-4,75} \, Q^{1,75}$ avec | Q en l/h. | Ø en mm | Jm/m

cf. Annexe (abaque) N° 1.2.3

2.22 CALCUL D'UNE RAMPE AYANT UN SERVICE EN ROUTE

Etant donné que l'on a des distributeurs situés sur la rampe, le débit Q transporté varie de Q(o) à 0. De ce fait les pertes de charge vont varier le long de la rampe (Ø étant supposé constant).

2.221 METHODE DE CALCUL CLASSIQUE

On suppose que les n distributeurs ont tous le même débit quelle que soit leur position sur la rampe.

$$q_1 = q_2 = q_3 = \ldots\ldots\ldots = \overline{q}_m$$

$\overline{q}_m$ étant le débit moyen $\frac{Q}{n}$

Quelle que soit la formule utilisée la perte de charge dans chaque tronçon de rampe de longueur l délimité par 2 distributeurs successifs, où le débit reste constant est :

$$J_i = \frac{j_i}{l} = K \, Q_i^{\alpha} \quad \text{d'où } j_i = K \, l \, Q_i^{\alpha}$$

Or la perte de charge totale j est la somme des pertes de charge Σj_i dans les divers tronçons numérotés à compter du dernier distributeur.

Dans le dernier tronçon : $j_1 = K \, l \, \overline{q}_m^{\,\alpha}$

puis : $j_2 = K \, l \, (2 \, \overline{q}_m)^{\alpha}$

$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

$j_n = K \, l (n \, \overline{q}_m)^{\alpha}$ en supposant que la rampe débute à une distance l avant le 1er distributeur.

Au total $j = \Sigma \, j_i = K \, l \, \overline{q}_m^{\,\alpha} \, (1^{\alpha} + 2^{\alpha} + \ldots + n^{\alpha})$

et comme $l = \frac{L}{n}$ et $\overline{q}_m = \frac{Q}{n}$:

$$f = \frac{n\alpha}{2} + \frac{n^{\alpha+1}}{\alpha+1}$$

$$j = K \, L \, Q^{\alpha} \, \frac{1^{\alpha} + 2^{\alpha} + \ldots + n^{\alpha}}{n^{\alpha+1}} = f \, . \, K \, L \, Q^{\alpha}$$

$K\,L\,Q^{\alpha}$ étant la perte de charge en débit d'extrémité, f est un coefficient de réduction dû au service en route.

$$(34) \qquad f = \frac{1^{\alpha} + 2^{\alpha} + \dots + n^{\alpha}}{n^{\alpha+1}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} i^{\alpha}}{n^{\alpha+1}} \simeq \frac{n^{\alpha}}{2} + \frac{n^{\alpha+1}}{\alpha+1}$$

On calcule donc la perte de charge comme si tout le débit de la rampe était conduit à son extrémité, puis on multiplie par le coefficient f qui dépend du nombre de distributeurs.

Il existe des tables donnant f en fonction de n, mais elles diffèrent entre elles suivant la valeur choisie pour l'exposant α, et aussi suivant que l'on prend en compte, avant le 1er distributeur, une longueur de rampe égale à $\frac{L}{n}$ (1 espacement), $\frac{L}{2n}$ (1/2 espacement) ou 0.

Ces tables sont utilisées en aspersion, c'est-à-dire lorsque n est un nombre petit (jusqu'à 10 ou 12).

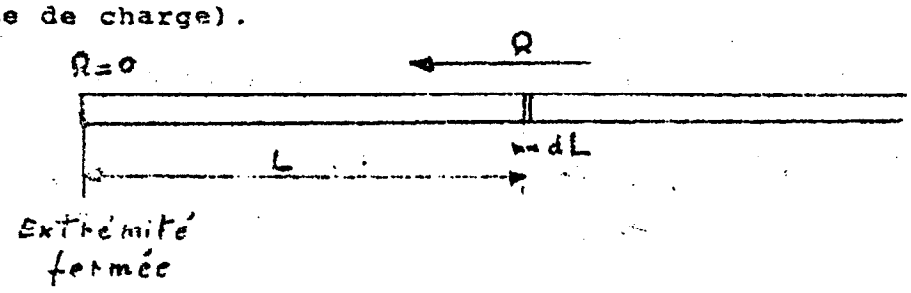
En micro-irrigation, n est souvent supérieur à 20 et f peut être considéré comme constant ($f \# 0,36$), surtout si l'on prend en compte, avant le 1er distributeur, une longueur de rampe égale à 1/2 espacement.

On peut également supposer que f s'applique à L et fL représente alors une conduite équivalente de longueur réduite pour laquelle on calcule la perte de charge comme si tout le débit était porté à son extrémité.

2.222 METHODE DU DEBIT UNIFORMEMENT DISTRIBUE

La méthode précédente a l'ambition d'être un calcul exact, mais nous avons vu qu'en réalité, les débits des n distributeurs ne pouvaient pas être égaux en raison des pertes de charge et des dénivellations le long du tracé de la rampe.

Aussi pourquoi ne pas faire une approximation supplémentaire et considérer que l'on a affaire à une rampe théorique distribuant l'eau de façon parfaitement continue et uniforme sur toute sa longueur ?
(Cas d'une rampe poreuse parfaitement uniforme, horizontale et sans perte de charge).



Supposons donc que cette rampe existe et appliquons la formule de la perte de charge à un tronçon dL infiniment petit situé à une distance L de l'extrémité de la rampe et dans lequel le débit Q peut être considéré comme constant.

Soit M un point situé entre l'origine O et l'extrémité E. Considérons les 2 tronçons OE et ME : ils assurent tous deux un service en route (pas de débit d'extrémité) et l'on peut écrire :

pour OE : $j = K\ L^{2,75}$

pour ME : $j_2 = K\ L_2^{2,75}$

Sur le tronçon OM de longueur L_1 qui assure à la fois un débit en route et un débit d'extrémité, on a :

$$j_1 = j - j_2 = j(1 - \frac{j_2}{j}) = j(1 - (\frac{L_2}{L})^{2,75}) = j(1 - (1 - \frac{L_1}{L})^{2,75})$$

(36)a $\boxed{\text{Donc } \frac{j_1}{j} = 1 - (1 - \frac{L_1}{L})^{2,75}}$ A partir de $\frac{L_1}{L}$ on peut calculer $\frac{j_1}{j}$.

Or j est facile à calculer à partir de L et d, débit par mètre linéaire de rampe.

On peut également écrire en posant $\frac{L_1}{L} = i$ (avec i variant de 0 en tête de rampe à 1 en extrémité de rampe) :

(36)b $\boxed{\frac{j_i}{j} = 1 - (1 - i)^{2,75}}$

La figure 47 donne en continu $\frac{j_1}{j}$ en fonction de i mais en pratique, il suffit de déterminer quelques valeurs de $\frac{j_i}{j}$ pour pouvoir tracer la ligne piézométrique.

On notera en particulier :

- qu'à une distance 0,25 L de l'origine, on a déjà 0,55 j
- " " " 0,50 L " " " " " 0,85 j
- " " " 0,75 L " " " " " 0,98 j.

L_1	J_1
L	J
0,75	0,98
0,50	0,85
0,40	0,75
0,30	0,62
0,25	0,55
0,20	0,46
0,15	0,36
0,10	0,25
0,05	0,13
0	0

Tableau donnant J_1 en fonction de J pour quelques valeurs caractéristiques du rapport $\frac{L_1}{L}$.

Graphique donnant le rapport des pertes de charge en fonction du rapport des longueurs d'un tronçon compté à partir de l'origine de la rampe et de la rampe entière.

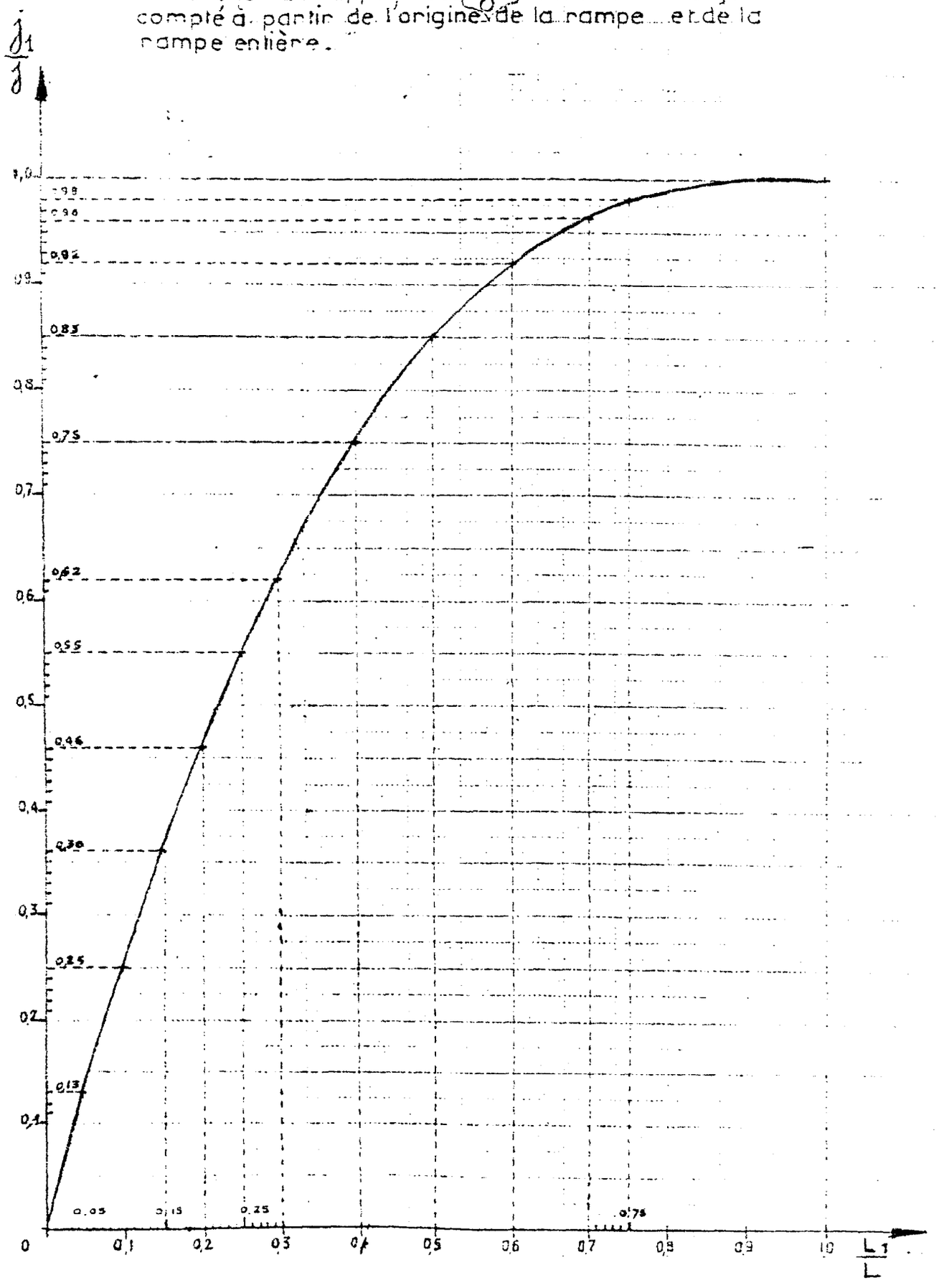


Fig. 47

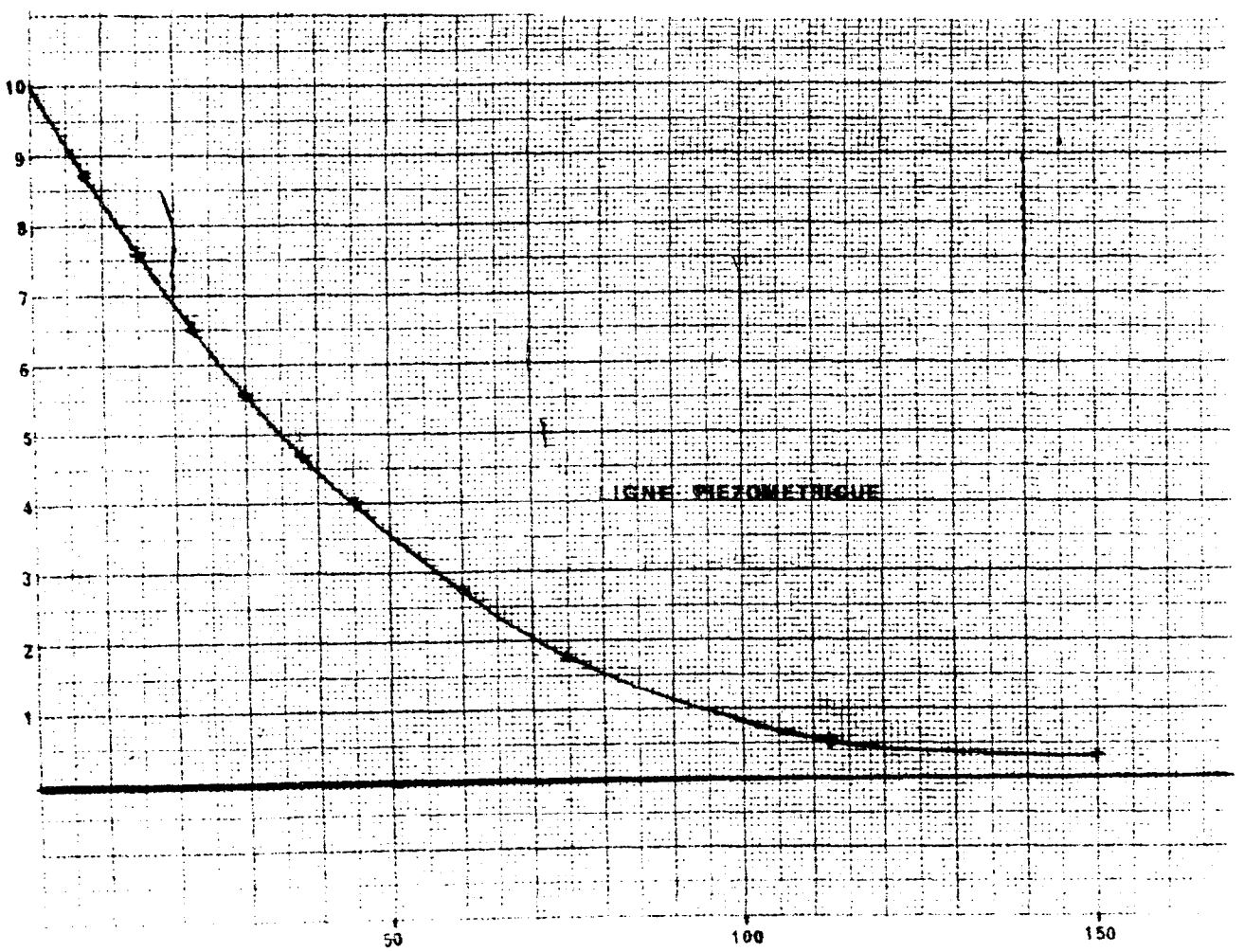
EXEMPLE D'APPLICATION

- Rampe : 150 m
- Diamètre : 13 mm
- Débit l/h/m : 4 l/h
- Ecartement des capillaires : 2 m
- Débit des capillaires : 8 l/h
- Pression en tête: 10 m.

PERTE DE CHARGE TOTALE

$$J = \frac{0,478 \cdot 13^{-4,75} \cdot 600^{1,75} \cdot 150}{2,75} = 9,69$$

L_1	J_1	Charge
150	9,69	0,31
112,5	9,49	0,51
75	8,23	1,77
60	7,26	2,74
45	6	4
37,5	5,32	4,68
30	4,45	5,55
22,5	3,48	6,52
15	2,42	7,58
7,5	1,25	8,75
0	0	10



REMARQUE

Les calculs précédents sont faits dans le cas d'une rampe ne comportant pas de distributeurs.

Or la présence de ceux-ci sur la rampe occasionne des pertes de charge singulières.

Si le distributeur est de type latéral et la densité des goutteurs faible, cette perte de charge est négligeable; par contre dans le cas des distributeurs en ligne, on a une chute locale de pression qu'il est difficile de négliger.

Les expériences conduites au CEMAGREF ont montré que ce coefficient est de la forme :

$$m = K' \, Q^{x}$$

avec les valeurs suivantes :

	K'	x
Nétafim sur Ø = 10/12,5	0,973	0,08
Nétafim sur Ø = 13/16	1,04	0,055
Capillaire sur Ø = 13/16	1,07	0,014

En tenant compte de ce coefficient, la perte de charge s'écrit :

$$J_T = \frac{0.478.K'.Ø^{-4.75}.Q^{1.75+x}}{2.75+x}$$

Exemple

Rampe 13/16 équipée de goutteurs Nétafim :

$K' = 1,04 \qquad x = 0,055$

$$J_T = \frac{0,497 \times Ø^{-4,75} \times Q^{1,805}}{2,805}$$

En reprenant l'exemple précédent :

J(tuyau lisse) = 9,69
J_T = 14,05

Il est nécessaire de poursuivre les essais pour d'autres distributeurs afin d'avoir une vue plus générale dans ce domaine.

Lorsque la rampe est posée sur sol horizontal, la variation de la pression hydraulique en tout point sera indiquée par la ligne piézométrique. Sinon la variation de la pression hydraulique dépendra également de la pente du sol, et, en intégrant, la courbe h (L), que j'appellerai ligne de pression effective dans la rampe, sera une combinaison linéaire de la ligne piézométrique H(L) et de la ligne de pente.

2.23 RAMPES TELESCOPIQUES

Ce sont des rampes constituées de tronçons de diamètres différents.

. Dans la partie terminale où le débit est beaucoup plus faible qu'à l'origine on peut utiliser un tuyau de plus faible diamètre sans modifier beaucoup la perte de charge totale. Celle-ci est donnée par la formule suivante :

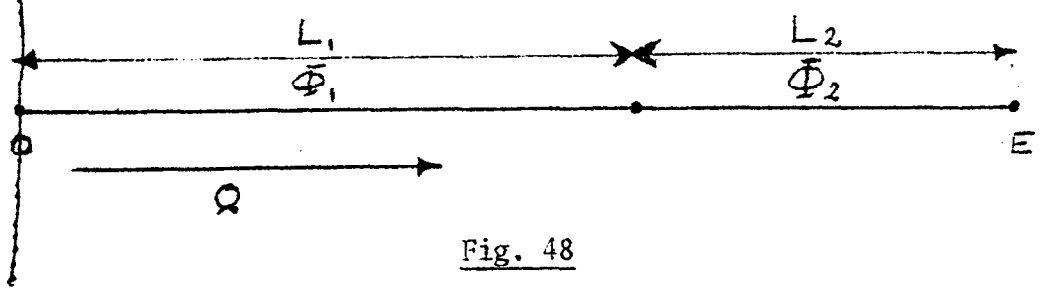


Fig. 48

$$\Delta H\ (\emptyset_1\ L_1,\ \emptyset_2\ L_2) = \Delta H\ (\emptyset_1,\ L_1+L_2) - \Delta H\ (\emptyset_1,\ L_2) + \Delta H\ (\emptyset_2,\ L_2)$$

avec

- $\Delta H\ (\emptyset_1,\ L_1+L_2)$ = perte de charge que l'on aurait si toute la rampe était en diamètre $\emptyset_1$
- $\Delta H\ (\emptyset_1,\ L_2)$ = perte de charge que l'on aurait si le 2ème tronçon était en diamètre $\emptyset_1$
- $\Delta H\ (\emptyset_2,\ L_2)$ = perte de charge dans le 2ème tronçon.

L'utilisation de rampes télescopiques permet une diminution du coût de l'installation par réduction du poids de P.E. utilisé et de la ligne piézométrique de mieux suivre le profil naturel du terrain. En améliorant à la fois l'amont et l'aval, on donne à la ligne piézométrique un profil plus rectiligne. Il convient cependant de tenir compte de l'augmentation de perte de charge et du prix (fourniture et pose) de la pièce spéciale nécessaire au raccordement des 2 tuyaux.

2.24 DETERMINATION DE LA DISTANCE x A PARTIR DE LAQUELLE ON DOIT CHANGER DE DIAMETRE POUR OBTENIR UNE PERTE DE CHARGE CONNUE

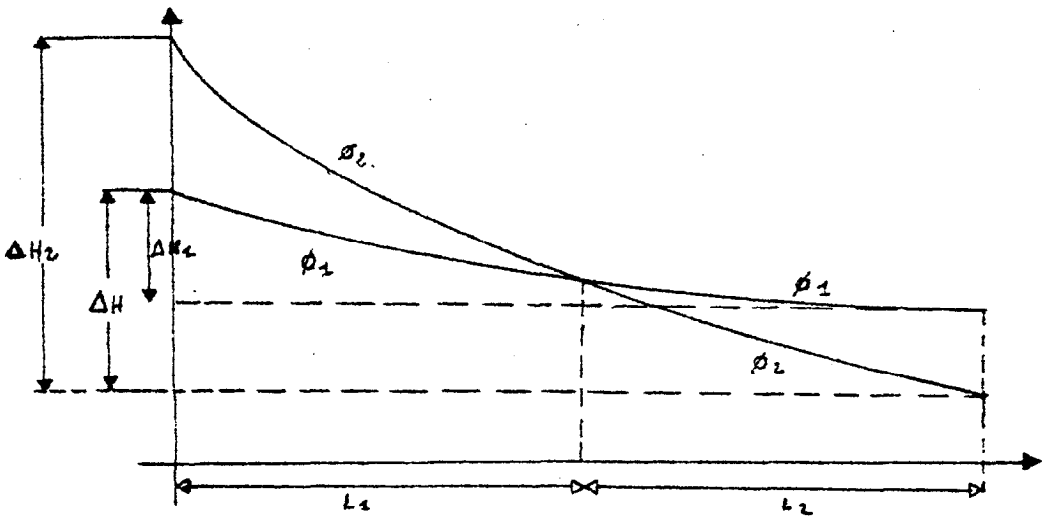


Fig.49

$$\Delta H = \Delta H(\emptyset_1, L_1) + \Delta H(\emptyset_2, L_2) \text{ et } \Delta H(\emptyset_1, L_1) = \Delta H(\emptyset_1, L) - \Delta H(\emptyset_1, L_2)$$

$$\Delta H = \Delta H(\emptyset_1, L) - \Delta H(\emptyset_1, L_2) + \Delta H(\emptyset_2, L_2)$$

Formule générale $\Delta H = K\, \emptyset^n\, q^m\, l^{m+1}$ avec $K = \frac{0,478}{2,75}$

$n = -4,75$

$m = 1,75$

$$\Delta H = K\, \emptyset_1^n\, q^m\, L^{m+1} - K\emptyset_1^n\, q^m\, L_2^{m+1} + K\emptyset_2^n\, q^m\, L_2^{m+1}$$

$$Kq^m = K_o$$

$$\Delta H = K_o \left[\emptyset_1^n\, L^{m+1} - \emptyset_1^n\, L_2^{m+1} + \emptyset_2^n\, L_2^{m+1} \right]$$

$$\frac{\Delta H}{K} - \emptyset_1^n\, L^{m+1} = L_2^{m+1} (\emptyset_2^n - \emptyset_1^n)$$

$$L_2 = \sqrt[m+1]{\frac{1}{\emptyset_2^n - \emptyset_1^n} \cdot \left[\frac{\Delta H}{K_o} - \emptyset_1^n \cdot L^{m+1} \right]} = L - x$$

$$\boxed{x = L - \sqrt[m+1]{\frac{1}{\emptyset_2^n - \emptyset_1^n} \cdot \left[\frac{\Delta H}{Kq^m} - \emptyset_1^n\, L^{m+1} \right]}}$$

A.N $L = 150$ m $\Delta H = 7.5$

$\emptyset_1 = 14.5$ cm $q = 4$ l/m

$\emptyset_2 = 13$ mm.

$$x = 150 - \sqrt[2.75]{\frac{1}{13^{-4.75} - 14.5^{-4.75}} \cdot \left[\frac{7.5 \times 2.275}{0.478 \times 4^{1.75}} - 14^{-4.75} \times 150^{2.75}\right]}$$

$= 39$ m

2.25 CALCUL DE LA LIGNE DE PRESSION EFFECTIVE DANS LA RAMPE

En tout point de la rampe, l'énergie totale est exprimée par la loi de Bernouilli :

$$H = Z + h + \frac{V^2}{g}$$

avec :

- Z cote de la rampe
- h pression hydraulique
- $\frac{V^2}{g}$ énergie équivalente à la vitesse de l'eau

et en différenciant : $\frac{dH}{dL} = \frac{dZ}{dL} + \frac{dh}{dL} + d(\frac{V^2}{2g})/dL$

Mais $\frac{dV^2}{2g}$ peut être négligé devant les 2 autres termes. En effet, pour $V = 2$ m/s en tête de rampe, on a $\frac{V^2}{2g} = \frac{4}{2 \times 9,81} = 0,2$ cette énergie diminuant graduellement jusqu'à 0 en bout de rampe, ce qui représente une droite de pente très faible.

On peut donc simplifier en écrivant

$$\frac{dH}{dL} = \frac{dZ}{dL} + \frac{dh}{dL}$$

ou

$$\frac{dh}{dL} = \frac{dH}{dL} - \frac{dZ}{dL}$$

En orientant l'axe des Z vers le bas (pentes descendantes, on a :

$$\boxed{\frac{dh}{dL} = \frac{dH}{dL} + \frac{dZ}{dL}}$$

2.26 DETERMINATION DE LA LONGUEUR x POUR LAQUELLE LA PRESSION EFFECTIVE EST MINIMALE (fig. 50)

- La perte de charge à un point x quelconque de la rampe est

$$J(x) = J_T(1-(1-\frac{x}{L})^{2.75})$$

Cas d'une pente favorable.

Le point de pression minimale est situé à un point x pour lequel la dérivée de P-J(x) est parallèle à la pente du terrain I.

$$D'(x) = \frac{2.75\ J_T}{L}(1-\frac{x}{L})^{1.75} = I$$

d'où $$x = L(1-\sqrt[1.75]{\frac{I.L}{2.75\ .\ J_T}})$$

Si la pente est nulle ou si la pente remonte, la pression effective est minimale en x=L.

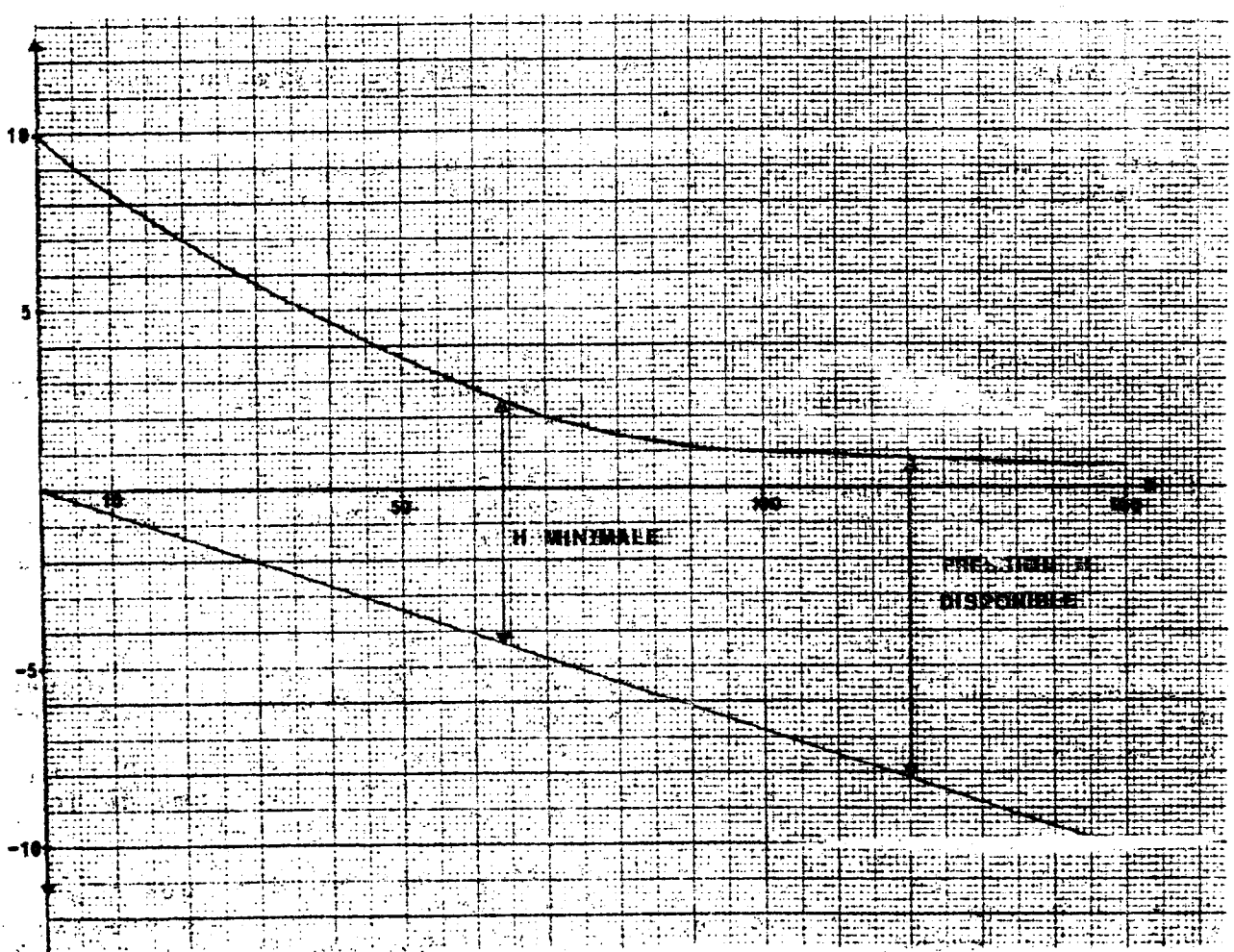


Fig. 50

2.3 CALCUL D'UNE RAMPE

Principes de calcul d'une rampe

La variation de la pression hydraulique dans la rampe va provoquer une variation du débit des distributeurs ($q = kh^x$) donc diminuer l'uniformité de la distribution le long de la rampe.

Deux cas peuvent se présenter:

- le distributeur est adaptable c'est-à-dire qu'on peut le modifier en fonction de la pression à laquelle il sera soumis en tel ou tel point de façon que son débit reste égal à lui-même tout au moins dans la limite de la tolérance que l'on s'est fixée

Le calcul consistera à déterminer l'importance de cette modification, en fonction de la distance à l'origine de la rampe par exemple.

- le distributeur n'est pas adaptable, c'est-à-dire qu'il reste le même d'un bout à l'autre de la rampe.

Le calcul consistera dans ce cas à déterminer la longueur maximale que pourra avoir telle ou telle rampe avec un tuyau de diamètre le plus petit possible. pour ne pas dépasser la tolérance que l'on s'est fixée.

2.3.1 CALCUL D'UNE RAMPE EQUIPEE DE DISTRIBUTEURS ADAPTABLES

Nous entendrons par distributeur "adaptable" un distributeur dont l'un des paramètres qui le caractérise (diamètre,longueur) peut varier le long de la rampe.

Exemple :

- dans les distributeurs à circuit long, le capillaire (ou microtube) est un goutteur dont on peut faire varier la longueur du circuit en le coupant à telle ou telle longueur.

- dans les distributeurs à circuit court, l'ajutage Bas-Rhône est un distributeur-orifice dont on peut faire varier le diamètre de passage de l'eau, donc les caractéristiques hydrauliques.

Mais on voit qu'il est plus difficile de faire varier le diamètre d'un ajutage que de couper un capillaire à une longueur variable. Le capillaire aura donc une plage de réglage pratiquement continue et on pourra toujours calculer un capillaire dont le débit sera identique quelle que soit la charge, alors que l'ajutage Bas-Rhône aura un réglage discontinu (il existe 1 gamme de 10 calibres allant de 1/10 en 1/10 de mm, de 1,2 à 2,1 mm).

L'intérêt du distributeur adaptable est donc que l'on puisse le calculer en tout point de la rampe,dont on aura préalablement déterminé la pression effective,pour que son débit reste égal au débit recherché.

Il en résulte :

a) *une meilleure utilisation de la pression disponible* en tête de la rampe (on peut éventuellement descendre en extrémité de rampe à quelques mètres de charge), donc *une plus grande souplesse* dans la disposition des rampes qui pourront plus aisément être disposées à contre-pente.

b) *un mode de calcul distributeur par distributeur*, qui peut être conduit *à partir de l'origine de la rampe* : il suffit de calculer le débit total en tête de rampe et au fur et à mesure que l'on progresse vers l'aval de défalquer le débit de chaque distributeur rencontré. Le débit en extrémité de rampe sera obligatoirement nul dans le cas des capillaires, et très voisin de 0 dans le cas des ajutages Bas-Rhône dont les débits successifs oscilleront autour du débit recherché, à la tolérance près.

—

Ce mode de calcul se prête bien au traitement par ordinateur.

2.3.1 CALCUL D'UNE RAMPE EQUIPEE DE GOUTTEURS CAPILLAIRES

2.311 Présentation des abaques (abaque n° 4 à 10)

A partir des essais technologiques réalisés au CTGREF sur des capillaires du commerce de divers diamètres a été établie une formule générale exprimant le débit Q(l/h) d'un capillaire à partir de son diamètre intérieur Ø (en mm), de sa longueur L(en m) et de la charge à laquelle il est soumis (en m de colonne d'eau).

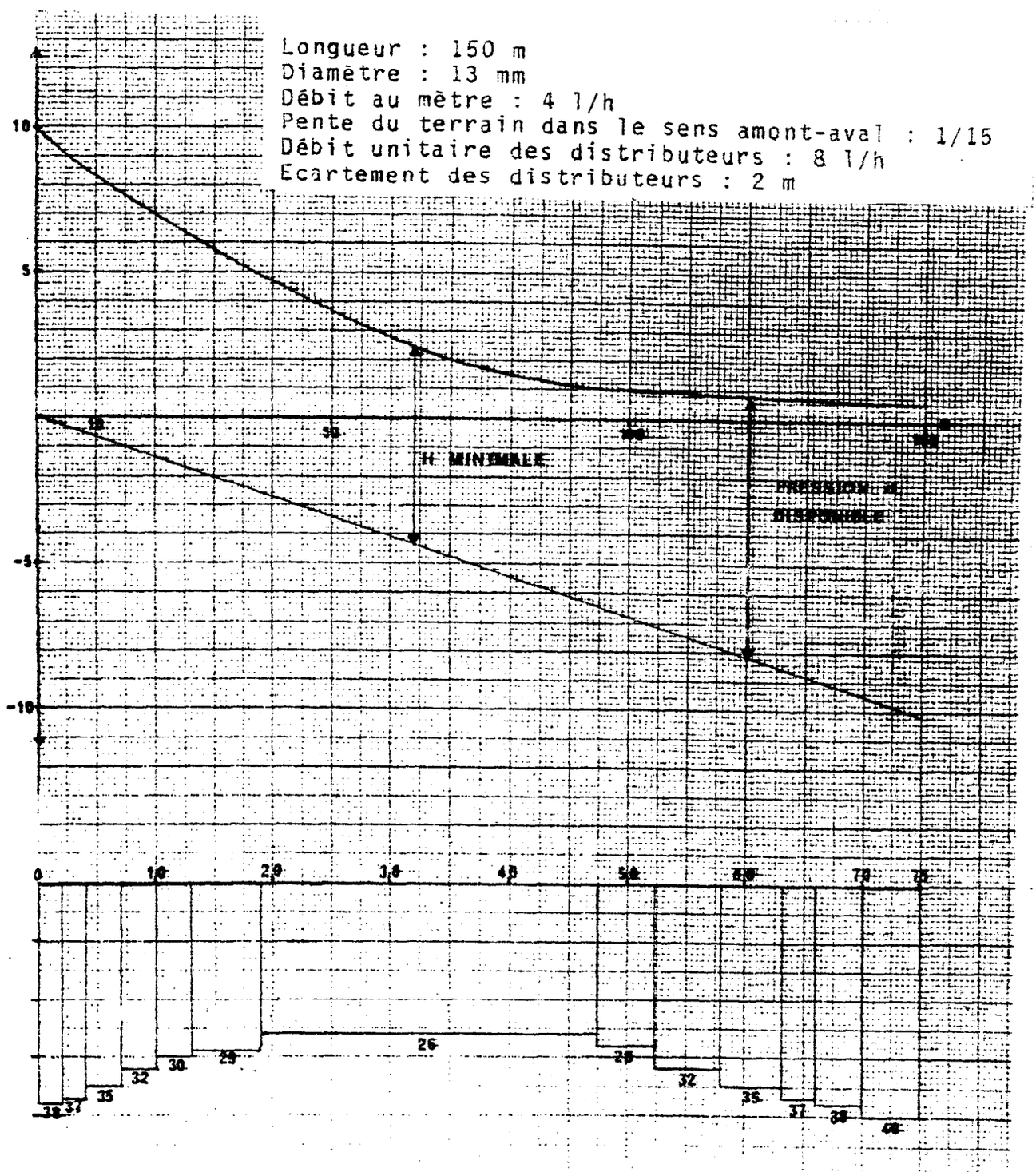
$$Q = \alpha L^{\beta} H^{\gamma} \phi^{\delta}$$

Ø mm	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
α	0,86	0,91	1,02	1,14	1,16	1,28	1,38
β	-0,78	-0,75	-0,72	-0,68	-0,65	-0,62	-0,58
γ	0,85	0,82	0,78	0,75	0,72	0,69	0,65
δ	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1

A partir de cette formule, ont été réalisés une série d'abaques par débit de 0,5 à 12 l/h permettant pour un diamètre donné, en fonction de la charge existant au droit du capillaire de déterminer sa longueur.

Ces abaques permettent également d'interpoler entre deux diamètres de capillaires car il est difficile d'obtenir un diamètre rigoureusement égal au diamètre nominal recherché.

Détermination graphique des longueurs des capillaires (fig. 51)



Pour chaque rampe, sur un même graphique, on trace le profil de terrain le long de la rampe, on reporte point par point la ligne piézométrique déterminée à partir de la perte de charge totale calculée, dès que l'on connait la pression en tête de rampe. Celle-ci peut être imposée au projeteur par les conditions régnant à l'amont ou le projeteur peut au contraire partir de la rampe pour calculer la charge nécessaire en tête du réseau.

Quoiqu'il en soit, il convient de caler la ligne piézométrique (en la modifiant au besoin par un changement de diamètre ou l'utilisation d'une rampe télescopique), par rapport au profil du terrain de manière que les capillaires ne soient pas (si possible) de longueur trop inégale, et soient d'une longueur moyenne convenable, voisine en général de 0,50 m.

On détermine graphiquement la pression effective s'excerçant au droit de chaque goutteur et à l'aide des abaques correspondantes (4 à 10), on détermine la longueur de capillaire.

La figure 51 montre un exemple de calcul d'une rampe de 150 m de long équipée avec des goutteurs capillaires de 8 l/h tous les 2 m (d=4 l/h/m). La fiche de calcul est complétée par un graphique de calcul sur lequel on peut lire la pression disponible en tout point de la rampe. L'abaque L = f(H) de la figure 10 (capillaires de 8 l/h) permet de déterminer la longueur à donner à chacun des capillaires. On obtient ainsi la répartition des longueurs figurant dans la partie inférieure du graphique.

On peut également, par un programme informatique, calculer la longueur exacte à donner à chaque capillaire. Le temps de calcul étant très faible, on peut alors calculer toutes les rampes. Cependant si le profil du terrain est très accidenté, l'introduction des données topographiques risque de prendre beaucoup de temps et le calcul manuel, qui permet une approche plus globale, semble préférable.

Dans le cas où le diamètre réel du capillaire est différent du diamètre porté au projet, l'installateur n'est pas obligé de recalculer les rampes mais peut réaliser une correction de la longueur des capillaires portée au projet.

Il peut pour cela appliquer un coefficient unique de correction, calculé pour la charge moyenne.

Exemple : dans le cas de la rampe de 150 m traité précédemment, supposons que le diamètre de capillaire disponible ne soit pas de 0 ,9 mm mais de 0,86 mm.

L'installateur trace par interpolation la droite Ø = 0,86 sur l'abaque 8 l/h et détermine pour la charge moyenne ($\frac{10,20 + 6,40}{2}$ = 8,30 m) le coefficient de correction de longueur qui est de :

$$\frac{\text{longueur de capillaire en Ø 0,86}}{\text{longueur de capillaire en Ø 0,90}} = \frac{0,275}{0,325} = 0,84$$

Les longueurs corrigées doivent évidemment, comme les longueurs projet, être arrondies au cm le plus proche, ce qui est très largement suffisant dans la pratique compte tenu de la précision atteinte dans la fabrication du micro-tube.

2.32 CALCUL D'UNE RAMPE EQUIPEE D'AJUTAGES BAS-RHONE

La méthode utilisée est voisine de celle qui est utilisée pour les capillaires, mais au lieu de déterminer une longueur qui peut être quelconque, on doit pour chaque ajutage calculé, déterminer le calibre qui donne le débit le plus proche du débit recherché :

L'abaque peut être bilogarithmique ou arithmétique

- Supposons que la rampe soit horizontale. On commence par utiliser l'ajutage le plus petit qui donne le débit désiré sous la charge disponible. Après une certaine longueur de rampe, la perte de charge a fait suffisamment baisser la charge pour que le débit arrive à la limite inférieure de tolérance. Il faut alors passer à l'ajutage de calibre immédiatement supérieur dont le débit est à la limite supérieure de tolérance. Et ainsi de suite jusqu'à l'extrémité. Plus la rampe est longue, avec un débit par mètre linéaire élevé, plus on doit partir avec un ajutage de petit calibre donc une pression en tête élevée (jusqu'à 1,5 bar). En arboriculture fruitière, on arrive ainsi, en utilisant un grand nombre de calibres successifs à faire baisser la charge jusqu'à quelques centaines de grammes et à atteindre des longueurs allant jusqu'à 200 mètres.

- Lorsque la pente est légèrement descendante, les longueurs peuvent aller jusqu'à 200 m. Mais nous avons vu que l'on ne peut dépasser des pentes de l'ordre de 3 à 5 %.

On peut de même réaliser sans difficulté des rampes légèrement montantes, ou suivant un profil plus complexe. Le processus de calcul est explicité dans les documents 49 et 50 extraits d'un manuel de calcul du système Bas-Rhône.
Il existe des programmes de calcul par ordinateur.

FIGURE 49

. CALCUL GRAPHIQUE DE LA RAMPE PERFOREE -

Ce calcul ne doit être fait qu'au moment de l'approvisionnement du chantier.

La principale difficulté dans l'établissement d'un projet, est le calcul de la répartition des ajutages sur la rampe perforée.

La méthode ici proposée permet de déterminer très rapidement la répartition des ajutages sur la rampe en fonction du débit au mètre linéaire choisi et de la pression en tête de rampe.

1) PRINCIPE DE LA METHODE

On utilise :

1 - Une base fixe quadrillée en m en abscisses et en kg/cm2 en ordonnées.

2 - A gauche de ce quadrillage, les courbes expérimentales de débit-pression de chacun des ajutages dont on dispose.

- Sur support transparent, une série de courbes de pertes de charge dans une rampe Ø 20 - 25, dont le débit est réparti linéairement sur toute sa longueur et correspondant à chaque débit au mètre linéaire utilisé : elles sont établies jusqu'à une longueur de 200 m.

Exemple :

Hypothese :

- Longueur de rampe 200 m
- Debit au ml 3, 6 cm3/s
- Espacement entre ajutage 5 m
- Debit par ajutage : 18 cm3/s (± 10 %)
- Pression minimum en bout de rampe : 0, 3 kg/cm2

PROCESSUS

a) On repère la zone des débits : 18 cm3/s ± 10 % (entre 16, 2 et 19, 8) sur la courbe des débits à gauche de la base fixe.

b) On ajuste le point 200 m du support transparent sur le point 0, 3 kg/cm2 de la base fixe. La courbe 3, 6 cm3/s/ml coupe alors l'axe des ordonnées de la base fixe au point 1, 38 kg/cm2 : pression en tête de rampe.

c) A partir du point : 1, 38 kg/cm2, on trace une horizontale qui coupe la bande hachurée ; elle y intercepte la courbe débit-pression de l'ajutage Ø 1, 6.

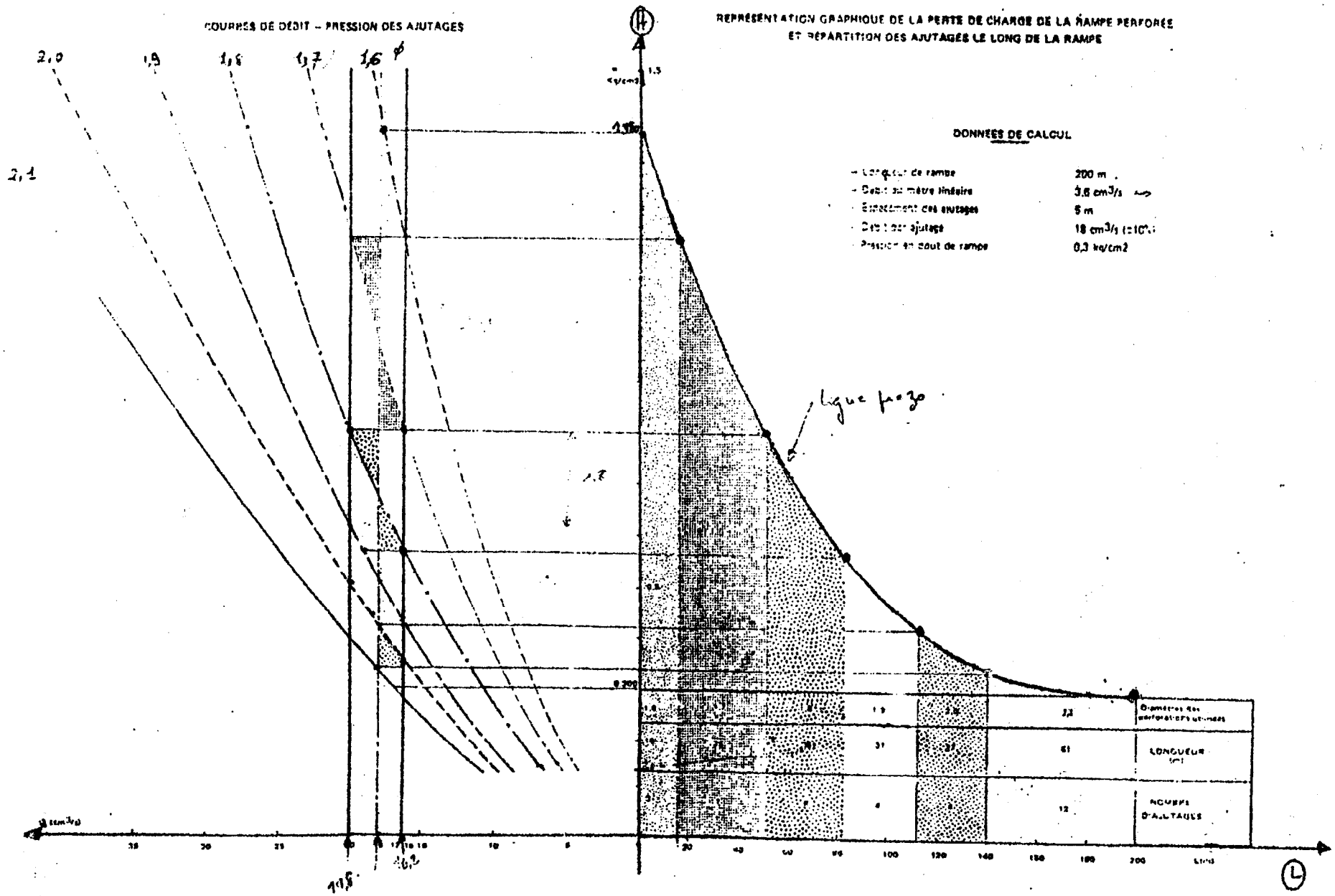
d) On suit cette courbe jusqu'à son intersection avec la limite 18 cm3 - 10 % (16, 2) ; l'horizontale correspondant à ce point (ici d'ordonnée 1, 17 kg/cm2) coupe la courbe 3, 6 cm3/s/ml, sur le support transparent, en un point dont l'abscisse donne la longueur de rampe à équiper en ajutages Ø 1, 6 (ici 16 m).

e) L'horizontale d'ordonnée 1, 17 kg/cm2, sur la base fixe, intercepte la courbe de l'ajutage Ø 1, 7. On procède alors de la même manière que précédemment.

f) On continue ainsi jusqu'à l'horizontale d'ordonnée 0, 3 kg/cm2.

FIGURE 50

CALCUL GRAPHIQUE DE LA RAMPE PERFORÉE



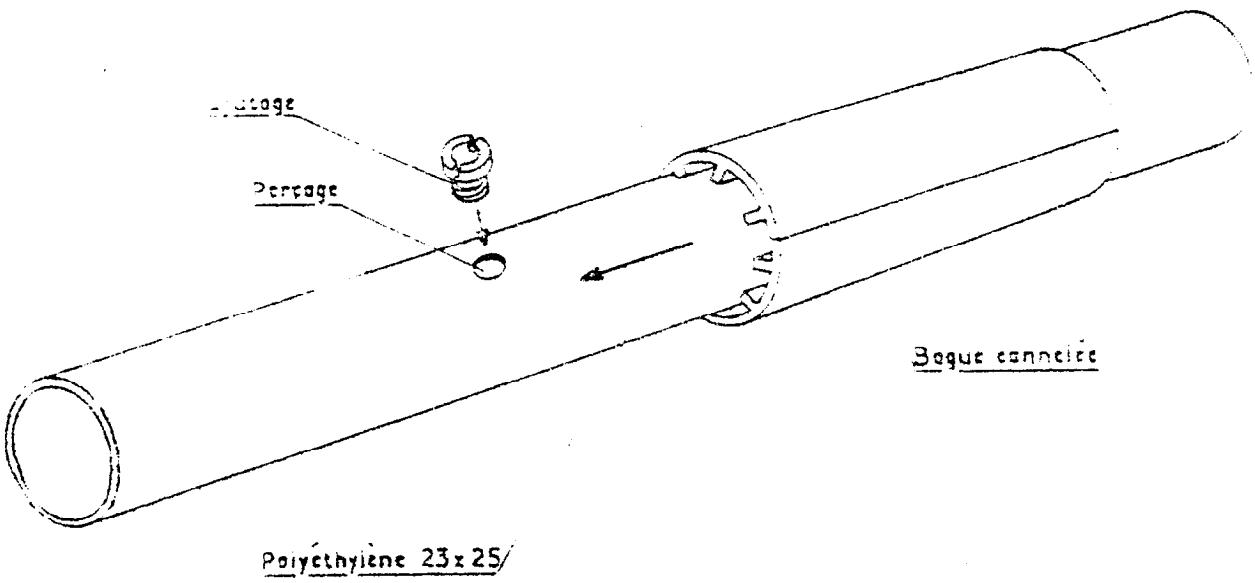
LES AJUTAGES CALIBRES

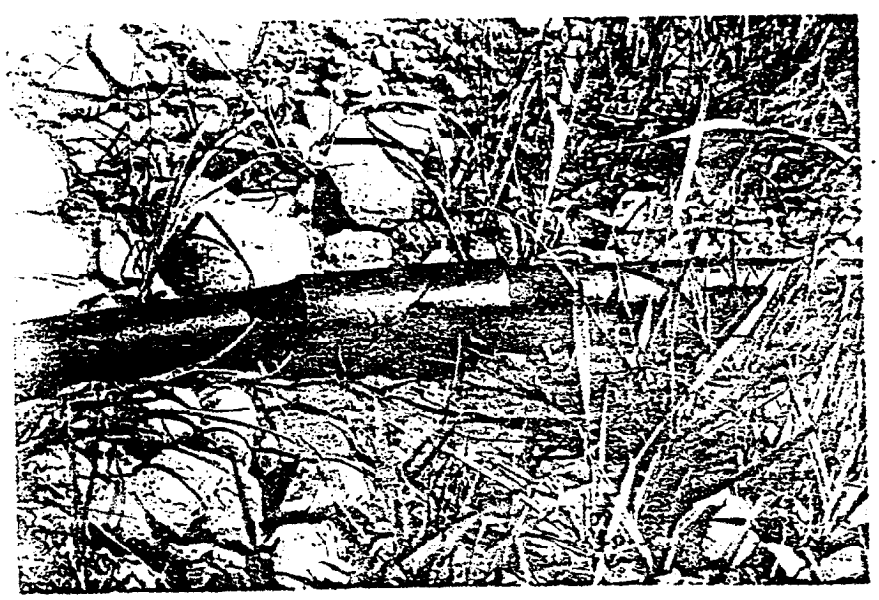
L'ajutage

Il est en laiton. Son calibre varie de 1,4 à 2,1 mm.

La bague cannelée

La bague [illegible] en polyéthylène et on la glisse sur l'ajutage après la pose de celui-ci. Elle est en polyéthylène 23 x 32. Le diamètre sur cannelure est de 26 mm. Elle est fendue sur la génératrice afin de faciliter la pose. Sa longueur est de 5 cm environ.





REMARQUE.

1 - Il peut arriver [illegible] l'on n'utilise pas un ajutage intermédiaire dans la zone de faible pression où les courbes [illegible] rapprochées (Ø 2,0 dans l'exemple cité). Il est bon de le faire, non seulement pour [illegible] mais aussi pour que la moyenne des débits le long de la rampe reste proche de la [illegible] 19 cm3/s).

2 - Le paramètre "pente de terrain" peut être intégré d'une manière rapide et simple.

La courbe prise en place comme en 1) ci-dessus, doit tourner autour du point : 1,35kg/cm2 d'un angle correspondant à la pente.

- dans le sens négatif pour une pente favorable,
- dans le sens positif dans le cas contraire.

Modèle de tableau pour répartition des ajutages

Poste n° [illegible] Charge avec vanne à fermeture hydraulique : 16,50 m

AJUTAGE			REPARTITION PAR DIAMETRE		INVENTAIRE					
Numéro	Longueur (m)	Nombre d'orifices (n)			1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
1	140	35	35 Ø 1,6				35			
2	140	35	35 Ø 1,6				35			
3	140	35	35 Ø 1,6				35			
4	140	35	35 Ø 1,6				35			
5	140	35	35 Ø 1,6				35			
6	140	35	5 Ø 1,5	30 Ø 1,6		5	30			
7	140	35	7 Ø 1,5	28 Ø 1,6		7	28			
8	140	35	10 Ø 1,5	25 Ø 1,6		10	25			
9	140	35	18 Ø 1,5	17 Ø 1,6		18	17			
10	140	35	18 Ø 1,5	17 Ø 1,6		18	17			
11	140	35	20 Ø 1,5	15 Ø 1,6		20	15			
12	140	35	35 Ø 1,5			35				
13	140	35	35 Ø 1,5			35				
14	130	33	33 Ø 1,5			33				
15	130	33	33 Ø 1,5			33				
16	130	33	33 Ø 1,5			33				
17	130	33	2 Ø 1,4	31 Ø 1,5	2	31				
18	130	33	5 Ø 1,4	28 Ø 1,5	5	28				
19	130	33	5 Ø 1,4	28 Ø 1,5	5	28				
20	130	33	7 Ø 1,4	26 Ø 1,5	7	26				
21	130	33	12 Ø 1,4	21 Ø 1,5	12	21				
22	130	33	20 Ø 1,4	13 Ø 1,5	20	13				

2.4 CALCUL D'UNE RAMPE COMPORTANT DES DISTRIBUTEURS NON ADAPTABLES

- Données de départ
  - Ecartement des goutteurs
  - Q goutteur
  - Loi débit pression du distributeur
  - Topographie
  - Longueur de la rampe

A partir de la loi débit-pression du distributeur on détermine la perte de charge totale maximale pour une variation débit déterminée.

$$Q = K\,H^x \qquad \frac{\Delta Q}{Q} = x \cdot \frac{\Delta H}{H} \qquad \frac{\Delta Q}{Q} = CU$$

On établit ainsi de part et d'autre de la pression nominale une zone de tolérance à l'intérieur de laquelle doit se situer la ligne de charge de la rampe. (Fig. 52).

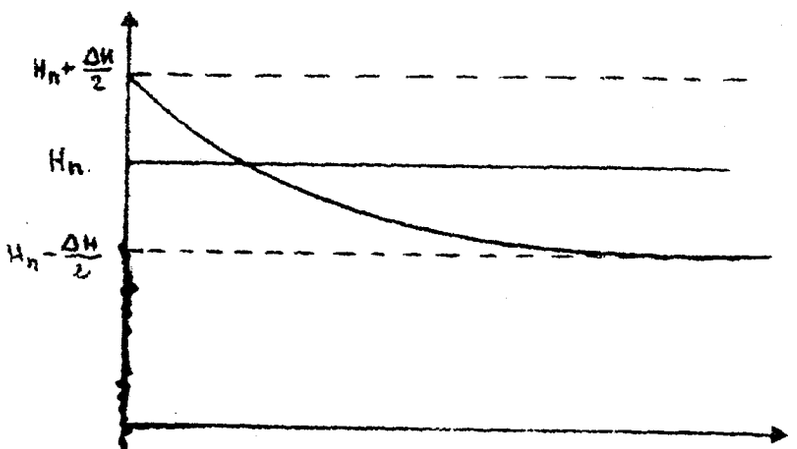


Fig. 52

A partir de ΔH et connaissant la longueur L de la rampe, on peut déterminer le diamètre Ø à utiliser.

$$\varnothing_c = \sqrt[n]{k\,\frac{\Delta H}{Q^m L}}$$

En général $\varnothing_c$ ne correspond pas à un diamètre commercial.

Dans ce cas. Si on veut utiliser un seul diamètre on choisira le diamètre commercial immédiatement supérieur.

Si on veut utiliser 2 diamètres on choisira les diamètres commerciaux encadrant le diamètre $\varnothing_c$.

Exemple : L = 100 m
q = 4 l/h/m
H_n = 10 m.CE. $\frac{\Delta Q}{Q} = 0.1$
Q = K H^x, x = 0.5

$$\Delta H = \frac{0.1 \times 10}{0.5} = 2 \text{ m.CE.}$$

3ème cas pente dans le sens contraire à l'écoulement (Fig.

$P = 1/100 \quad \Delta Z = -1$

$\Delta H = 11 - 9 - 1 = 1$ m

- Détermination du diamètre

$$\varnothing_c = \sqrt[-4.75]{\frac{1 \times 2.75}{0.478 \times 400^{1.75} \times 100}} = 16.5$$

Dans ce cas on choisira du 17/20.

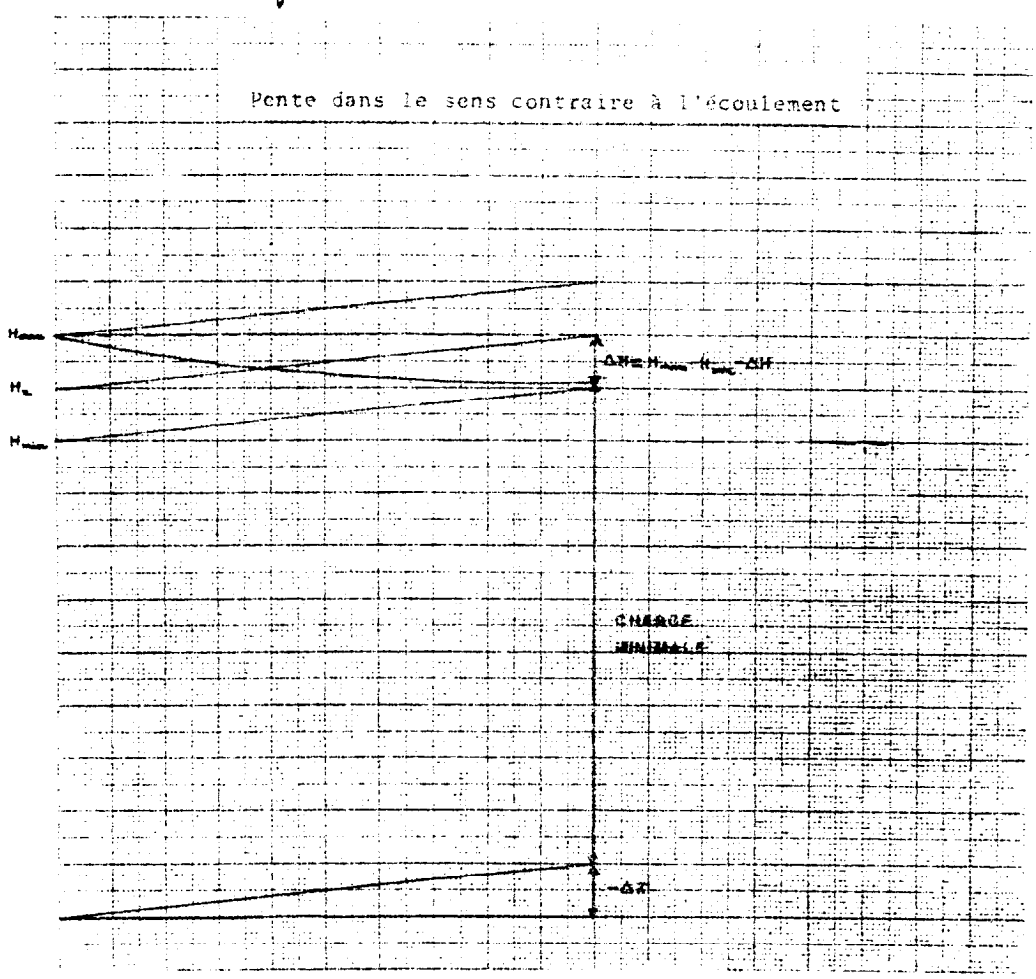


Fig. 54

4ème cas pente dans le sens de l'écoulement puis en sens contraire (Fig.55)

Données $P_1 = 2$ % $\quad L = 100$ m $\quad Eg = 1$ $\quad$ Changement de pente 60m/ rapport à l'origine

$P_2 = 1$ % $\quad q = 41/h/m \quad q_g = 41/h$ $\quad \Delta Z1 = 1,20$ m

$\Delta Z_2 = -0,4$ m

Perte de charge possible

$$\Delta H = H_{max} - H_{min} + \left|\Delta Z_1 + \Delta Z_2\right|$$

H max = 10 + 1 = 11 m.CE.

H min = 10 - 1 = 9 m.CE.

<u>1er cas</u> <u>terrain plat</u> $\Delta Z = \emptyset$

$$\emptyset_c = \sqrt[4.75]{\frac{2 \times 2.75}{0.478 \times 400^{1.75} \times 100}} = 14.3$$

Dans ce cas, on peut choisir du 14.5/17.

<u>2ème cas</u> <u>pente dans le sens de l'écoulement</u> (fig. 53)

P = 2.5/100 ΔZ = 2,5

ΔH = Hmax - Hmin + ΔZ = 4,5

$$\emptyset_c = \sqrt[4.75]{\frac{4.5 \times 2.75}{0.478 \times 400^{1.75} \times 100}} = 12.08$$

Dans ce cas on peut choisir du 12.5, JT = 3.8

Il faut également vérifier qu'au point où la pression est minimale on ne sort pas de la zone de tolérance.

$$x = L\left(1 - \sqrt[1.75]{\frac{I.L}{2.75\ J}}\right) = 61m$$

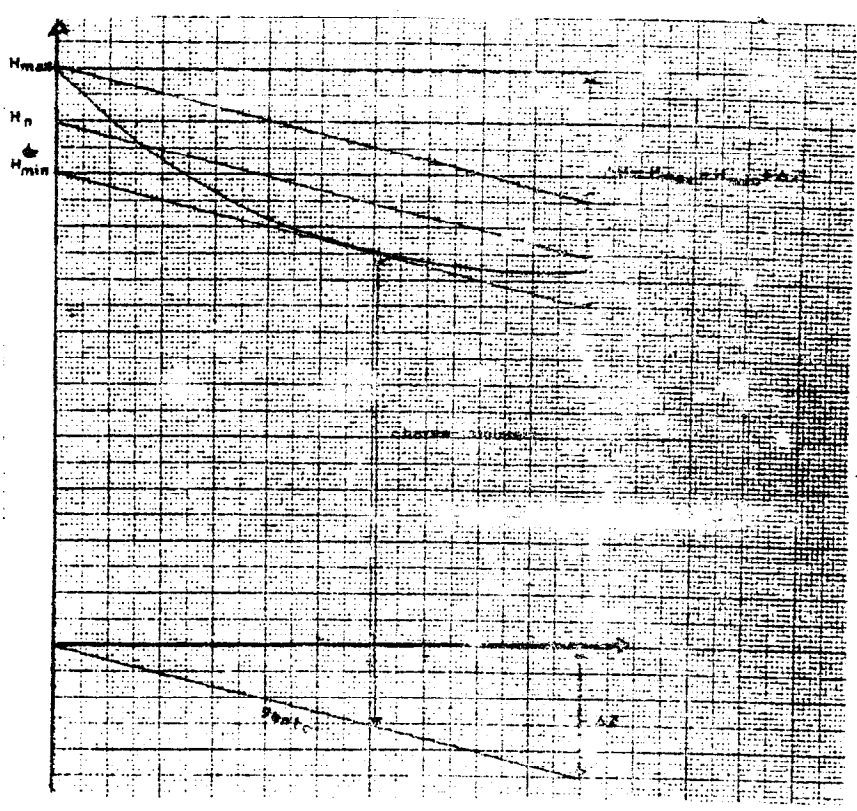
La perte de charge correspondante est

$$j(x) = JT\left(1 - \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{2.75}\right) = 3.5$$

La charge que l'on peut perdre au point x: Hmax - Hmin + ΔZ

= 2 + 1,5 = 3.5

Donc le 12.5 convient



pente dans le sens d'un écoulement

Fig. 53

$\Delta H = 11 - 9 + 1.20 - 0.4 = 2.8$

$$\emptyset_c = \sqrt[-4.75]{\frac{2.8 \times 2.75}{0.478 \times 400^{1.75} \times 100}} = 13.35$$

Dans ce cas on choisit du 14.5/17
JT = 1.89

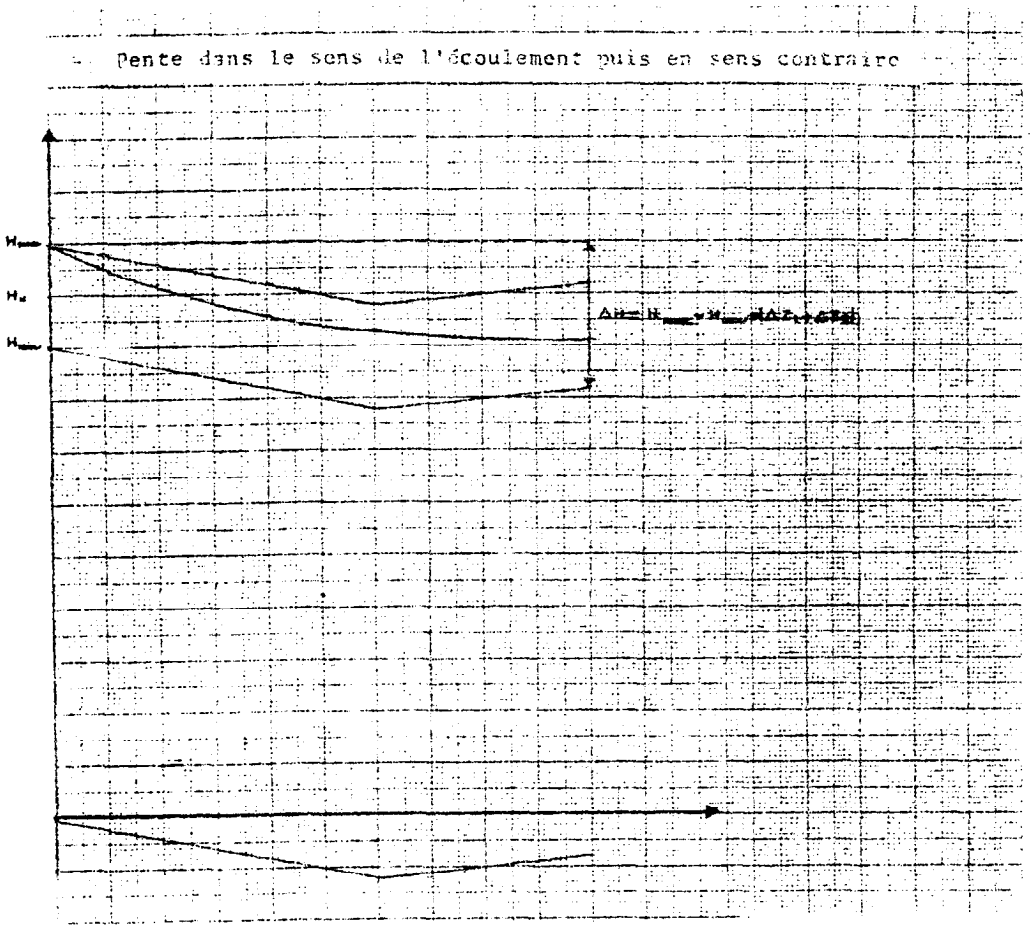


Fig. 55

5ème cas pente dans le sens contraire à l'écoulement puis dans le même sens (fig. 56)

Données $P_1 = 1\%$ $L = 100m$ $Eg = 1$ m Changement de pente 40m/ rapport à l'origine
$P_2 = 2\%$ $q = 4$ l/h/m $qg = 4$ l/h $\Delta Z_1 = -0.4$
$\Delta Z_2 = 1.20$

Perte de charge possible

$\Delta H = H_{max} - H_{min} + \Delta Z_1 + \Delta Z_2 = 11-9+1.20-0.4 = 2.8$

$$\emptyset_c = \sqrt[-4.75]{\frac{2.8 \times 2.75}{0.478 \times 400^{1.75} \times 100}} = 13.35$$

Dans ce cas on choisit du 14.5/17
JT = 1.89

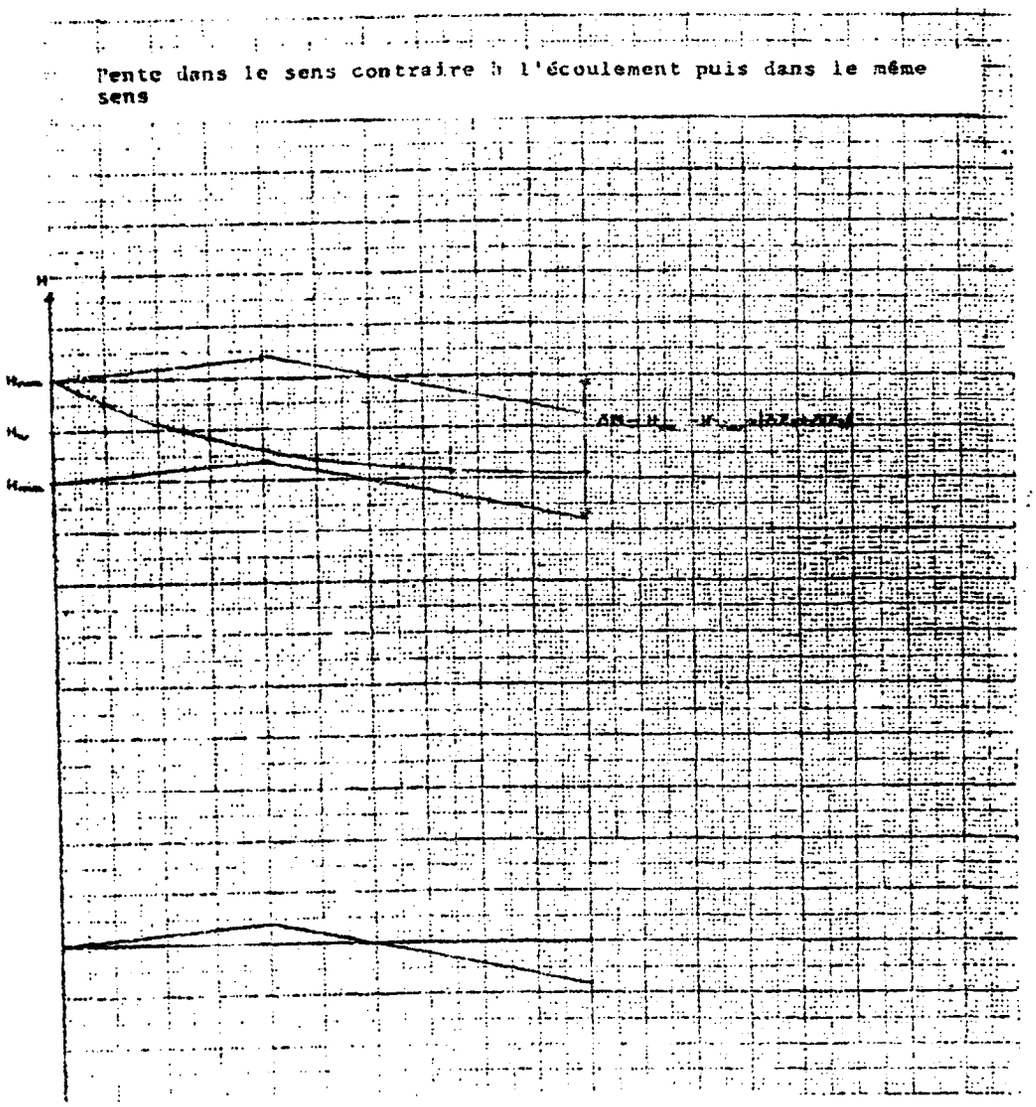


Fig. 56

Remarque : Il arrive parfois que le point de rupture de pente soit un point contraignant. En effet, selon le diamètre choisi , on peut sortir de la zone de tolérance.

Dans ce cas on doit décomposer la rampe en autant de tronçons que l'on a de changement de pente.

Exemple :

Données $L = 100$ m $\quad Eg = 1$ m $\quad L_1 = 60$ m $\quad \Delta Z_1 = 0.60 \quad P_1 = 1\%$

$q = 4$ l/h/m $\quad qg = 4$ l/h $\quad L_2 = 40$ m $\quad \Delta Z_2 = 0.80 \quad P_2 = 2\%$

Perte de charge possible .

$$\Delta H = 11 - 9 - 0.60 + 0.80 = 2.2 \text{ m}$$

$$\phi_c = \sqrt[-4.75]{\frac{2.2 \times 2.75}{0.478 \times 400^{1.75} \times 100}} = 14.04 \quad \text{On choisit du } 14.5$$

On constate qu'entre le point A et B, la ligne piézométrique sort de la zone de tolérance.(Fig. 57).

Il est donc nécessaire d'utiliser deux diamètres différents.

Perte de charge possible dans le premier tronçon

$$\Delta H_1 = H_{max} - H_{min} + (\Delta Z_1) = 1.4$$

$$J(x) = J_T(1-(1 - \frac{L2}{L})^{2.75} \qquad J(x) = 1.4 \quad J_T = 1.52$$

$$\emptyset_c = 15.1 \text{ on choisira } 17/20$$

La perte de charge totale avec du 17/20 est de 0.88 m.CE. La perte de charge au point de changement de pente est 0.80. On peut ensuite continuer la rampe avec du 14.5, mais en réalité on n'épuise pas toute la charge possible.

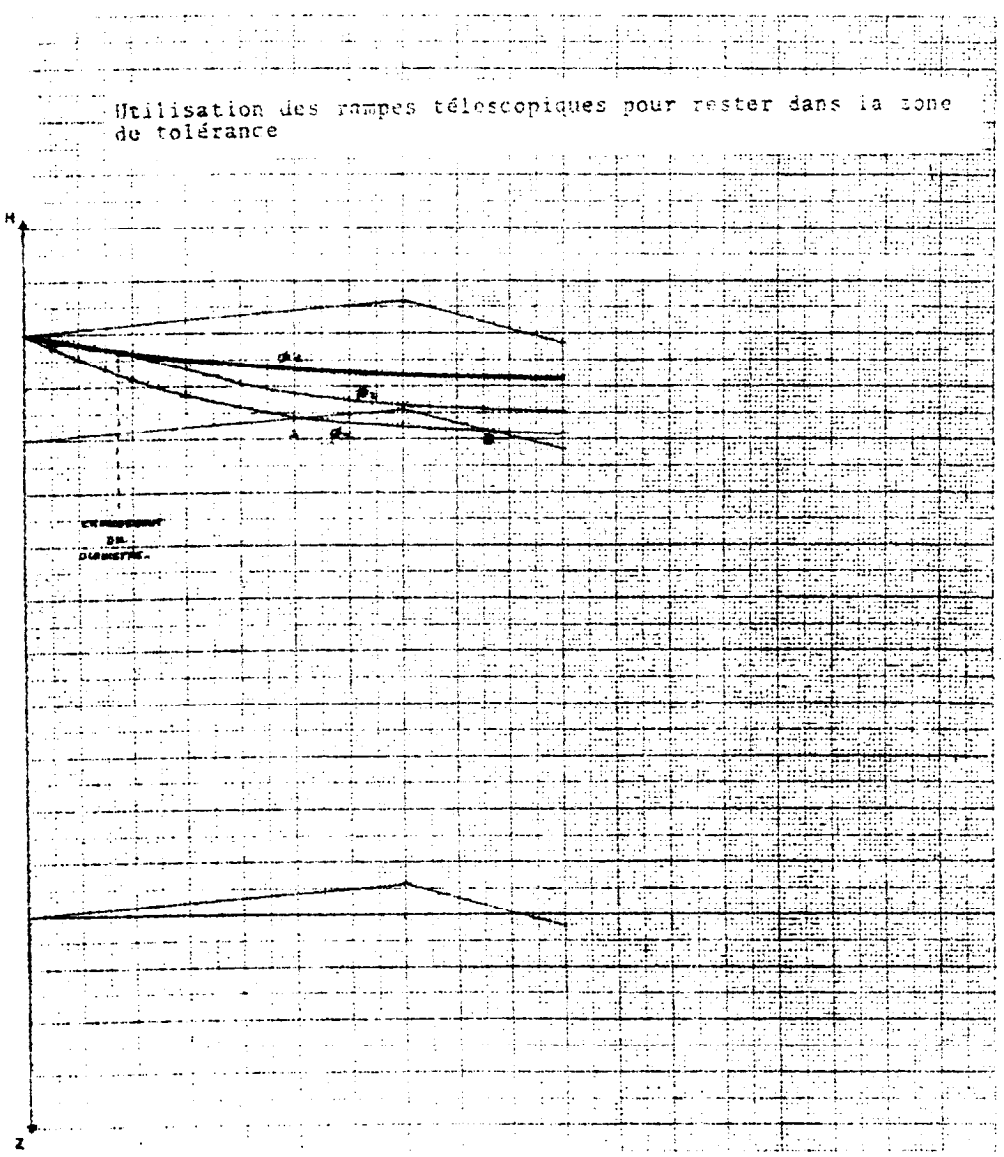


Fig. 57

Il faut déterminer quelle est la longueur maximale que l'on peut donner au plus petit diamètre pour épuiser toute cette charge.

La charge restante au point de changement de pente est :

$$1.4 - 0.8 = 0.6$$

La perte de charge globale que l'on peut se permettre est :

$$0.88 + 0.6 = 1.48$$

La formule utilisée dans le cas de rampes télescopiques permet de déterminer la longueur à partir de laquelle on peut changer de diamètre

$$x = 17.5$$

2.4 METHODE PRATIQUE DE CALCUL DES RAMPES

- On voit dans les exemples précédents les difficultés qu'il y a à calculer une rampe surtout lorsque la topographie varie.

Différents auteurs ont essayé de mettre au point des méthodes de calcul de façon à simplifier la tâche du projeteur.

2.41 METHODE POLYPLOT ET METHODES DERIVEES

2.411 Présentation de la méthode Polyplot

Polyplot est une méthode graphique de calcul basée sur la fixation d'une tolérance portant sur les variations de la pression effective s'exerçant le long d'une rampe.

Proposée par I.C.I. (Australie) en 1970, elle se prête particulièrement bien au calcul des rampes télescopiques en terrain accidenté, ainsi qu'à celui des rampes dont le débit au mètre linéaire est variable. Elle permet également de positionner et de dimensionner les réducteurs de pression nécessaires. Son avantage essentiel est de permettre une visualisation directe des diverses solutions possibles, ce qui permet une optimisation rapide des longueurs et des diamètres.

Elle tient compte des 2 facteurs essentiels que sont les pertes de charge et les dénivellations.

a) Les pertes de charge sont données par des courbes tracées sur des graphiques séparés (reliés dans une brochure), en fonction de la distance à partir de l'extrémité aval de la rampe. Leur tracé dépend de 2 facteurs :

- le diamètre intérieur Ø de la rampe,
- le SDR (Specific Discharge Ratio) qui n'est autre que le débit par mètre linéaire de rampe d.

Chacun des 52 graphiques a été établi pour une valeur particulière de SDR et une gamme de diamètres de rampes.

b) Les changements de pression dûs à la pente se traduisent également de façon graphique en dessinant sur un calque spécial à la même échelle que les graphiques, le profil en long du terrain le long de la rampe en partant de l'extrémité aval.

En superposant le calque et le graphique adéquat (SDR donné), on peut voir en même temps l'effet sur la pression de la perte de charge et de la pente pour tous les points de la rampe. On peut donc choisir la courbe (donc le diamètre) ou la combinaison de plusieurs courbes qui tient le mieux compte des 2 facteurs, et qui donne une pression constante tout le long de la rampe, à la tolérance près.

Cette tolérance est représentée graphiquement en dessinant au-dessus du profil en long du terrain, un 2ème profil situé à une distance Δh, ce qui réalise une bande de hauteur égale à la variation de pression admissible, que l'on appelle "enveloppe des profils en long". On détermine donc la ligne piézométrique de la rampe de façon qu'elle reste constamment dans cette enveloppe.

Le calcul se traduit par la recherche d'une succession de portions de courbes de perte de charge à l'intérieur de l'enveloppe depuis l'extrémité de la rampe jusqu'à son origine, et par la lecture des diamètres et longueurs de canalisations correspondants.

La figure 58 représente l'exemple du calcul d'une rampe de 600 pieds de longueur, avec SDR = 0,05 gph/pied soit 0,621 l/h/m sur un terrain dont la pente moyenne est de 25 pieds sur 600 pieds soit 4,16 %. La variation de pression admissible est ici de 3 psi (pound per square inch) c'est-à-dire 6,9 pieds ou 2,1 m de colonne d'eau.

2.412 Traduction du Polyplot en système metrique par Sogréah (France)

Le Polyplot est un document volumineux, cher, et peu commode dans les pays où l'on utilise le système metrique.

Aussi Sogréah en a-t-il réalisé une adaptation qui utilise les unités décimales : l/h/et m ont remplacé gph et pieds. Les diamètres intérieurs des tuyaux ont également été adaptés aux normes européennes

ABAQUES SOGREAH POUR CONDUITES PLASTIQUES (PE ou PVC) - PERTES DE CHARGE A DEBIT LINEAIREMENT DECROISSANT

Ces abaques sont utilisables pour le calcul soit des rampes, soit des porte-rampes.

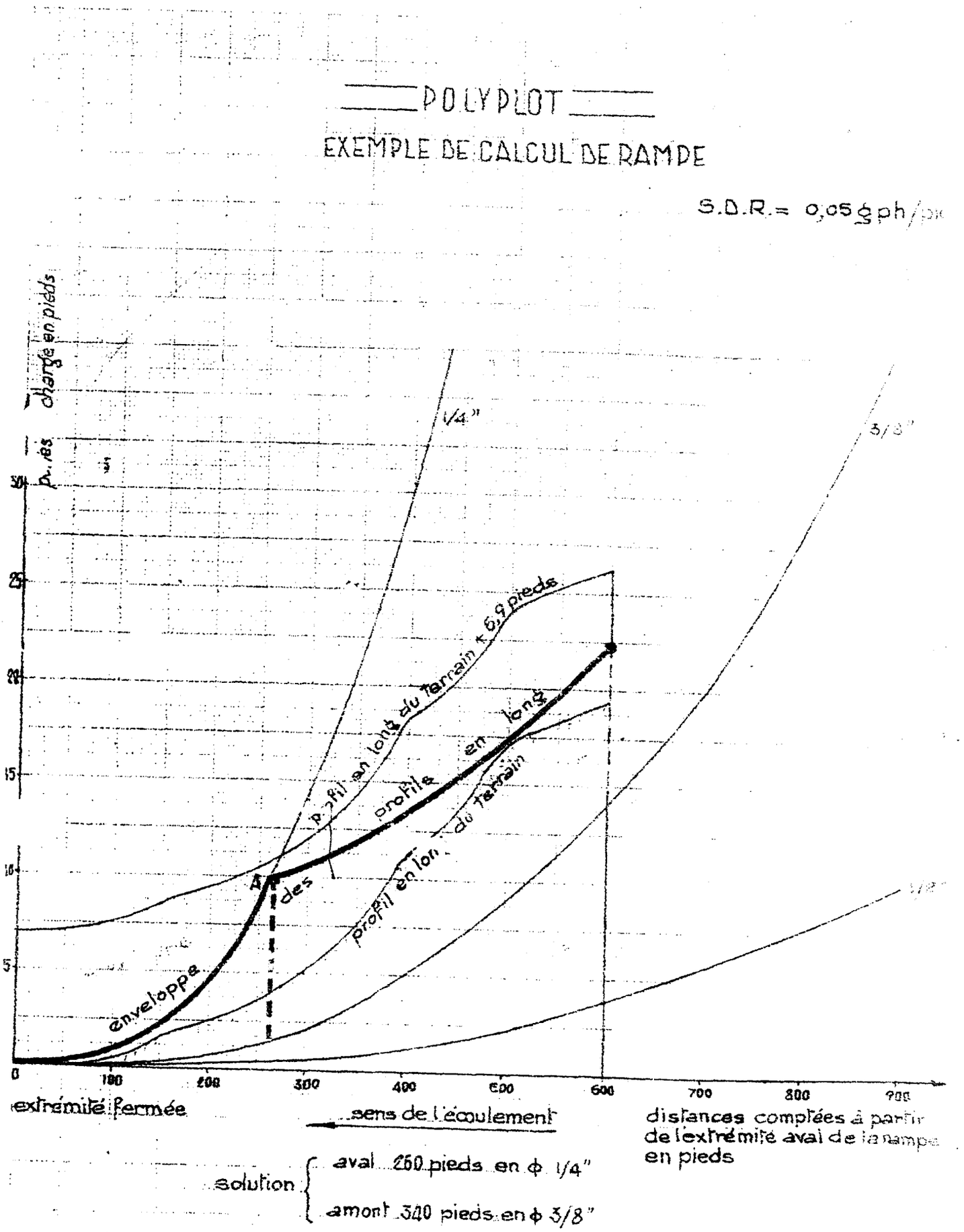
CALCUL DES RAMPES

Il est la conséquence directe des possibilités offertes par le relief.

On essaie de trouver un diamètre qui, le débit étant déterminé, présente une ligne de charge comprise entre les limites de fonctionnement admises (celles-ci étant des parallèles au terrain naturel).

En général, les rampes sont disposées dans un sens sensiblement proche de celui des courbes de niveau, et leur diamètre est uniforme.

FIGURE 58

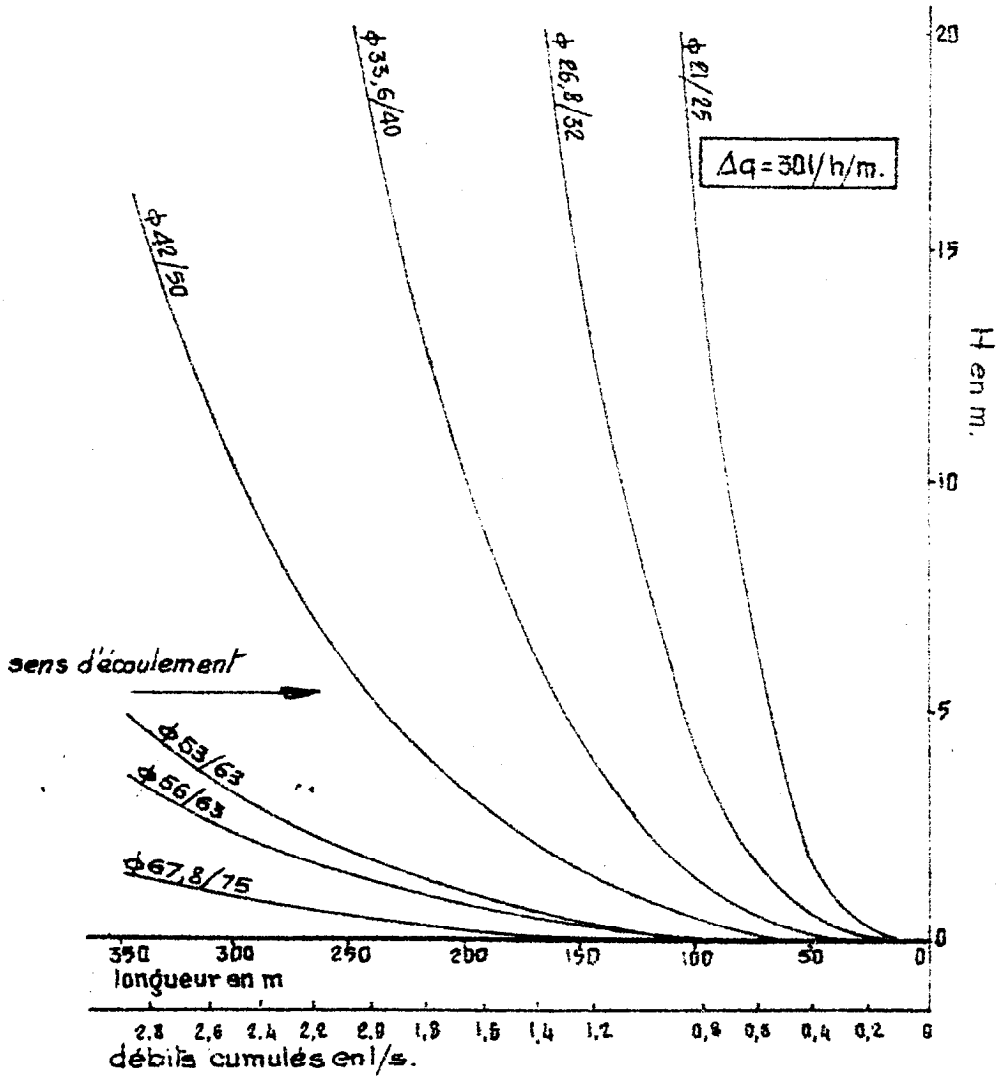


solution { aval 260 pieds en ϕ 1/4"
amont 340 pieds en ϕ 3/8"

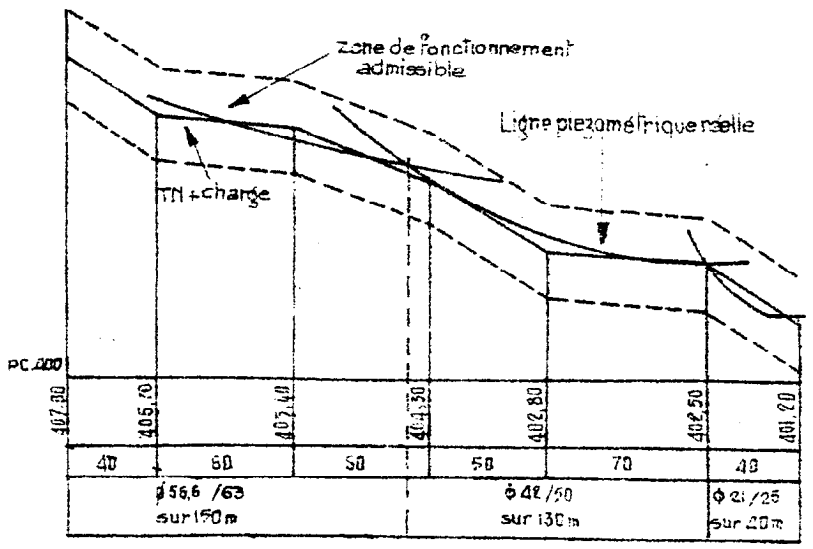
ABAQUES SOGREAH 59

perte de charge à débit linéairement décroissant (à raison de Δq l/h/m)

EXEMPLE D'ABAQUE



EXEMPLE D'UTILISATION



CALCUL DES PORTE-RAMPES

Ces porte-rampes étant disposés généralement dans le sens de la plus grande pente, la recherche de leur diamètre est plus complexe mais le principe reste le même : la ligne de charge ne doit pas sortir des limites tolérées.

Les abaques du type figuré ci-dessous simplifient énormément le problème, dans ce cas.

Mode d'emploi

Dessiner les profils en long sur calque millimétrique, l'eau coulant de gauche à droite avec un débit dégressif.

Echelles : L = 1/2000 - H = 1/100

En superposant l'abscisse de chaque point du profil en long avec l'abscisse de l'abaque correspondant au débit transporté, on obtient la ligne piézométrique en calquant la courbe du Ø choisi (procéder de droite à gauche).

Exemple d'utilisation - Calcul des porte-rampes assurant un débit réparti de 30 l/h/m

. Nous supposons que, d'après les calculs des besoins en eau, le débit sur la conduite décroît de 30 l/h/m.
. Le profil en long (qui devrait être porté sur calque) représente le terrain naturel augmenté de la charge nécessaire au fonctionnement normal goutteur, au droit de la conduite à poser, et aux échelles indiquées sur l'abaque.
. Compte tenu des variations de charge tolérées, on porte, en pointillés les limites à l'intérieur desquelles doit se trouver la ligne de charge.
. En partant de droite, on superpose l'abscisse des points du profil en long avec l'abscisse des courbes de l'abaque, en cherchant celle qui est contenue de la meilleure manière dans les limites qu'on s'est fixé.
. Par translations verticales successives (c'est-à-dire en faisant glisser les axes des ordonnées sur eux-mêmes) on s'aperçoit que, dans le cas considéré, les diamètres s'adaptant le mieux au profil donné sont : 56,5/63, 42/50 et 21/25.

NOTA : Dans le cas où le porte-rampe comporte une ou plusieurs dérivations, il y aura lieu d'en tenir compte en translatant, dans le sens horizontal, le profil en long à étudier d'une valeur égale à la diminution du débit, la valeur du (ou des) décrochement étant déterminée par l'échelle des débits figurant au bas de l'abaque.

Le nombre de graphiques a été réduit à 35 et ces graphiques ont été réalisés sur support opaque ce qui est beaucoup moins cher mais nécessite l'utilisation de calques pour le tracé des profils en long.

Enfin les tolérances de pression en plus et en moins sont portées de part et d'autre de la ligne piézométrique théorique parallèle au terrain ce qui permet de réduire à leur minimum les variations de pression autour de la moyenne.

Nous joignons en annexe un de ces graphiques ainsi que le mode d'emploi réalisé par Sogréah pour leur utilisation. (fig. 58 et 59).

Noter que l'indication PVC signifie seulement qu'il s'agit de conduites en matière plastique (P.E. pour les petits diamètres, PVC pour les gros diamètres, la formule de perte de charge étant la même pour les 2 matériaux).

CONDUITES P.V.C

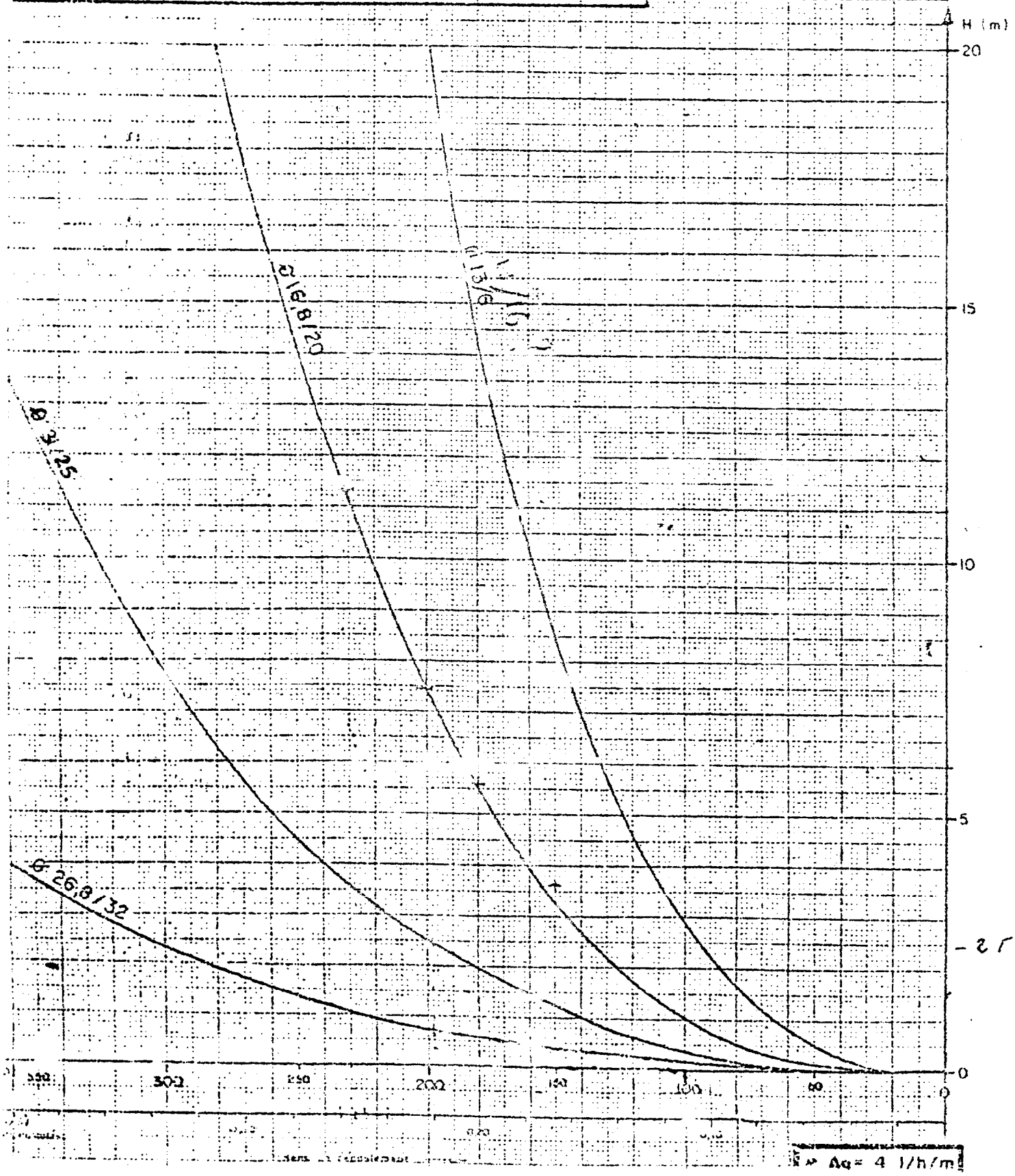
P.d.C A DEBIT LINEAIREMENT DECROISSANT

* (Débit décroissant à raison de Δq litres/heure/par mètre linéaire)

UTILISATION : Dessiner les profils en long sur calque millimétrique, l'eau coulant de gauche à droite avec un débit décroissant.
Echelles : L : 1/2000 — H : 1/100
En suivant pas à pas l'abscisse de chaque point du profil en long avec l'abscisse de l'abaque correspondant au débit transporté, on obtient la ligne piézométrique en calquant la courbe du Ø choisi. (Procéder de droite à gauche.)

FIGURE 60

SOGREAH Ingénieurs Conseils



2.413 Simplification du Polyplot par JOBLING (Nouvelle Zélande)

En 1972, JOBLING, passant lui aussi aux unités du système métrique, a proposé de réduire à un seul abaque les 52 graphiques du Polyplot grâce à un abaque annexe de transformation qui, en fonction d'une valeur de Ø et d'une valeur de SDR, indique la courbe de perte de charge à utiliser. On a en effet :

$$\frac{j}{L^{\alpha+1}} = K\ (Ø^{-4,75}(SDR)^{\alpha})$$

Pour des intervalles de variation : de 0 à 100 mm pour Ø et de 1 à 1000 l/h/m pour SDR, il existe 26 courbes différentes numérotées de 5 à 40.

Comme pour le Polyplot original ou l'adaptation faite par Sogréah, on peut également calculer les porte-rampes à condition qu'ils alimentent des rampes de même longueur (c'est-à-dire de même débit) et de même écartement. La pression en tête des rampes doit être celle qui a été utilisée pour leur calcul, autrement il y a lieu de partager la tolérance globale de ± 10 % en 2 parties égales : ± 5 % sur le porte-rampes et ± 5 % sur chaque rampe.

Cet abaque peut également être utilisé pour la détermination de la longueur des capillaires. Il faut alors lire la pression effective dans la rampe qui est définie par la distance séparant verticalement la courbe de perte de charge choisie du profil en long du terrain et utiliser ensuite l'abaque des capillaires pour en déduire la longueur de capillaire en tout point de la rampe.

2.414 Autre méthode graphique

Cette méthode dérivée de la méthode de Jobling utilise également 2 types d'abaque :

- un abaque donnant les lignes piézométriques pour différents couples, débit par mètre linéaire, diamètre de rampe, (abaques 11 et 12).
- un abaque permettant de déterminer le numéro de la courbe correspondant au couple débit diamètre utilisé pour le projet, (abaque 13).

Le calcul des rampes est cependant simplifié par l'utilisation systématique des tubes brise charge.

Calcul graphique de la rampe

Sur papier millimétré transparent, on porte sur l'axe horizontal la longueur de la rampe et sur l'axe vertical les pressions. (Utiliser les mêmes échelles que celles de l'abaque).

A partir de l'origine, on porte le profil topographique du terrain au droit de la rampe, ainsi que les pressions H_{max} et H_{min} en fonction du coefficient d'uniformité recherché. Apartir de H_{min} et H_{max} on trace deux courbes parallèles au profil topographique. On détermine ainsi la zone de tolérance dans laquelle doit se situer la ligne piézométrique, (annexe 1).

Choix de la courbe à utiliser

A partir de l'abaque n° 13 on détermine le numéro de la courbe à utiliser.

Pour cela on joint l'origine des axes à la valeur du débit/m linéaire de rampe. (Echelle de droite). A partir de la valeur du diamètre choisi (échelle de gauche on trace la parallèle à l'axe des x).

Les deux droites se comparent en un point à partir duquel on trace une perpendiculaire à l'axe des x. L'intersection de cette droite et de l'axe correspond au numéro de la courbe à utiliser sur l'abaque 12 ou 13 selon l'échelle choisie.

Cette courbe est reportée sur le graphique de façon à ce qu'elle soit tangente en un point à l'enveloppe des pressions minimales, (annexe 2).

Il est ainsi possible de déterminer la pression s'exerçant sur chacun des goutteurs ainsi que la pression minimale H_{rmin} nécessaire en tête de rampe.

Calcul graphique du porte rampe

1er cas : Si les rampes sont régulièrement espacées et de longueur sensiblement égale , on peut supposer que le débit varie linéairement le long du porte rampe.

Les calculs seront conduits de la même façon que dans le cas d'une rampe.

Sur papier millimétré transparent, on porte la cote piezométrique des différentes rampes alimentées par le porte rampe. Ces valeurs sont majorées systématiquement d'une valeur ΔH indispensable à l'utilisation de tube brise charge entre les rampes et le porte rampe, (annexe 3).

On reporte également la pression maximale HPr_{max} imposée par l'amont de l'installation (pression à l'aval de la borne ou pression de refoulement de la pompe diminuée des pertes de charge dans l'installation de tête et dans les canalisations d'amenées).

Si L est la longueur et Q le débit total en tête du porte rampe le débit par mètre linéaire est

$$q = \frac{Q}{L}$$

Sur le graphique, on reporte la courbe de perte de charge du porte rampe déterminée sur les abaques (11-12) de la même façon que pour les rampes et pour différentes valeurs de diamètre.

A partir de l'extrémité aval, on reporte le diamètre le plus faible.

Si la ligne de perte de charge sort de l'enveloppe déterminée par Hpr_{max} et Hprmin, utiliser une nouvelle courbe de perte de charge correspondant à un diamètre supérieur. Les extrémités du porte rampe et des différentes courbes doivent toujours correspondre.

2ème cas : le débit ne varie pas linéairement le long du porte rampe. Lorsque les longueurs des rampes varient le long d'un porte rampe, on ne peut plus considérer que l'on a une variation linéaire du débit. On peut cependant dans la plupart des cas regrouper les rampes en famille. Une famille est définie comme un groupe de rampes dont les variations de longueur n'excèdent pas 10% de la longueur de la rampe la plus longue.

Le porte rampe est alors décomposé en un certain nombre de tronçons de longueur L_1, L_2, L_3...L(n) dont le débit entre les extrémités est supposé varier linéairement.

Si Q_1 est le débit à l'origine et Q_2 le débit à l'extrémité d'un tronçon de longueur L_1, le débit unitaire par mètre linéaire est

$$d_1 = \frac{Q_1 - Q_2}{L_1}$$

La perte de charge le long de ce tronçon est la même que si ce tronçon appartenait à une rampe de longueur fictive L'_1 avec un débit variant linéairement de Q1 à 0 et dont le débit unitaire serait d1.

La longueur L'_1 de la rampe correspondante est

$$\frac{Q1}{L'1} = \frac{Q1 - Q2}{L_1} \qquad L'1 = L_1 \frac{Q1}{Q_1 - Q2}$$

Tracé graphique du porte rampe

- Différentier les diverses familles de rampes,
- Repérer les différents tronçons du porte rampe correspondants à ces familles,
- Calculer les débits entrant et sortant pour chacun de ces tronçons.

Tracé de la ligne piézométrique (annexe 4)

A partir de l'extrémité du porte rampe, on trace la ligne piézométrique du tronçon de longueur L_3 (courbe I) et de débit unitaire d_3 en un point c.

A partir de la verticale passant par l'origine du tronçon de longueur L_2 on reporte la ligne piezométrique correspondant à un débit d_2 et ayant une longueur fictive L'_2 (courbe II) de façon à ce qu'elle coupe la courbe I au point c.

Ainsi en procédant tronçon par tronçon on détermine la ligne piezométrique de l'ensemble du porte rampe.

3ème cas : Lorsque les longueurs des rampes sont trop différentes pour définir des familles on calcule les pertes de charge dans le porte rampe tronçons par tronçons en utilisant l'abaque général

Détermination de la longueur des tubes brise charge (annexe 5)

En créant des pertes de charge, les tubes brise charge permettent d'ajuster la pression du porte rampe à la pression nécessaire en tête de rampe.

A partir du tracé graphique du porte rampe on détermine la perte de charge ΔH nécessaire pour chacune des rampes. Connaissant le débit dans la rampe et la valeur de ΔH on détermine grâce aux abaques relatives aux tubes brise charge leurs longueurs et leurs diamètres intérieurs, (abaques 14 ou 14).

Détermination graphique de la longueur des capillaires : Enveloppe de tolérance.

On a vu précédemment que la loi débit pression des capillaires était de la forme $q = k H^{\gamma}$

Le coefficient γ variant en fonction du diamètre des capillaires. Si on tolère une variation de débit $\frac{\Delta Q}{Q}$ la variation de pression correspondante est $\Delta H = \frac{\Delta Q}{Q} \cdot \frac{H}{\gamma}$

Tracé de l'enveloppe de tolérance (annexe 6)

Pour un certain nombre de points caractéristiques (début et fin de rampe, changement de pente..) situés à une distance x_1, x_2 ... x_n de l'origine, on mesure graphiquement la valeur de la pression correspondante H_1, H_2 ... H_n.

Sur le graphique on reporte verticalement à partir du profil topographique du terrain et aux différentes distances x_1, x_2 ... x_n les valeurs de $\frac{\Delta Q}{Q} \cdot \frac{\Delta H(x)}{\gamma}$.

En reliant ces différents points, on obtient la courbe de tolérance qui forme avec le profil topographique du terrain l'enveloppe de tolérance.

Détermination du nombre de classe de capillaire

En veillant à ce que les lignes verticales se superposent bien, on fait glisser la ligne piézométrique de la rampe de manière à inscrire dans l'enveloppe de tolérance la longueur maximale de la ligne piézométrique mesurée à partir de son extrémité aval.

On repère le point où cette ligne sort de l'enveloppe de tolérance. Ce point correspond à la limite de la classe du capillaire n°1.

La classe suivante sera déterminée d'une façon analogue en essayant d'inscrire dans l'enveloppe de tolérance la maximum de longueur de la ligne piézométrique restante mesurée à partir du point limitant la classe précédente.

Ainsi de proche en proche on détermine les différentes classes des capillaires pour l'ensemble de la rampe.

Détermination de la longueur des capillaires

Pour chacune des classes, on mesure graphiquement la pression correspondante. En se reportant aux abaques (4 à 10) donnant les longueurs à diamètre constant pour un débit donné, on détermine la longueur des capillaires de chaque classe.

CONCLUSION : IMPORTANCE DU CHOIX DU MATERIEL PAR LE PROJETEUR ET DE SA MAINTENANCE PAR L'USAGER

Nous avons vu combien le problème du choix du matériel est important pour le projeteur, spécialement celui du distributeur, en fonction de multiples facteurs : climat, sol, relief, nature de la culture, débit et qualité de l'eau, crédits disponibles, possibilités de montage sur l'exploitation, etc...

Du choix qui sera réalisé dépend le maintien de la régularité de la distribution dans l'espace (sur l'ensemble de la parcelle et dans le temps (résistance à l'obstruction à court et à long terme).

Peu importe que l'on utilise le coefficient d'uniformité de CHRISTIANSEN ou celui de KELLER-KARMELI, mais il serait souhaitable que, lors de l'étude d'un projet, puisse être garanti un CU déterminé.

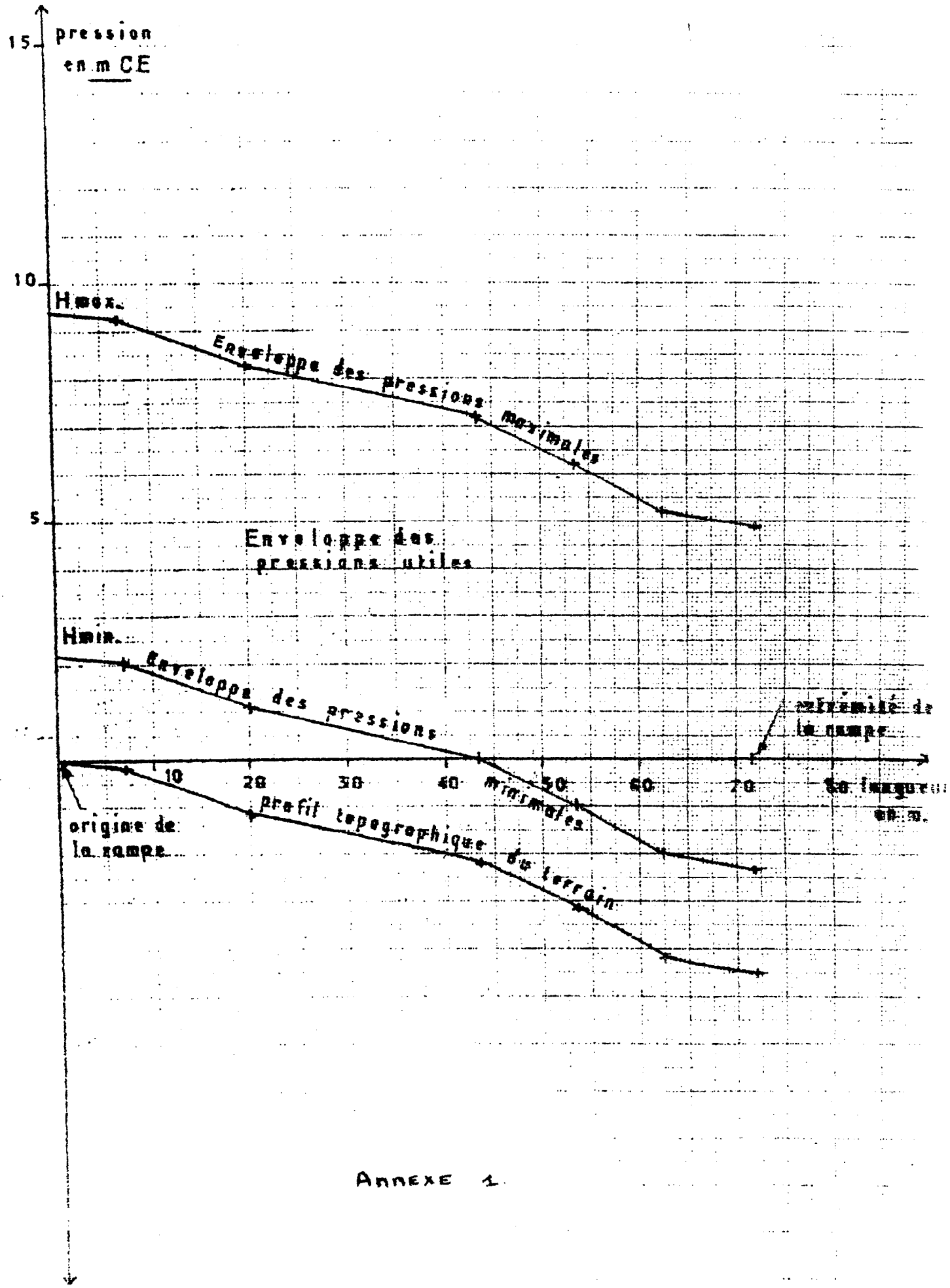
La pérennite de l'uniformité dépend également beaucoup de l'usager et des opérations de maintenance qu'il effectuera.

Car l'obstruction est souvent un phénomène insidieux et aléatoire qui diminue le débit des distributeurs de façon inégale. Si par une commande volumétrique, on maintient constant le volume distribué sur la parcelle, il va en résulter, ici et là, soit une insuffisance d'alimentation des plantes, soit ce qui est souvent plus grave, un excès.

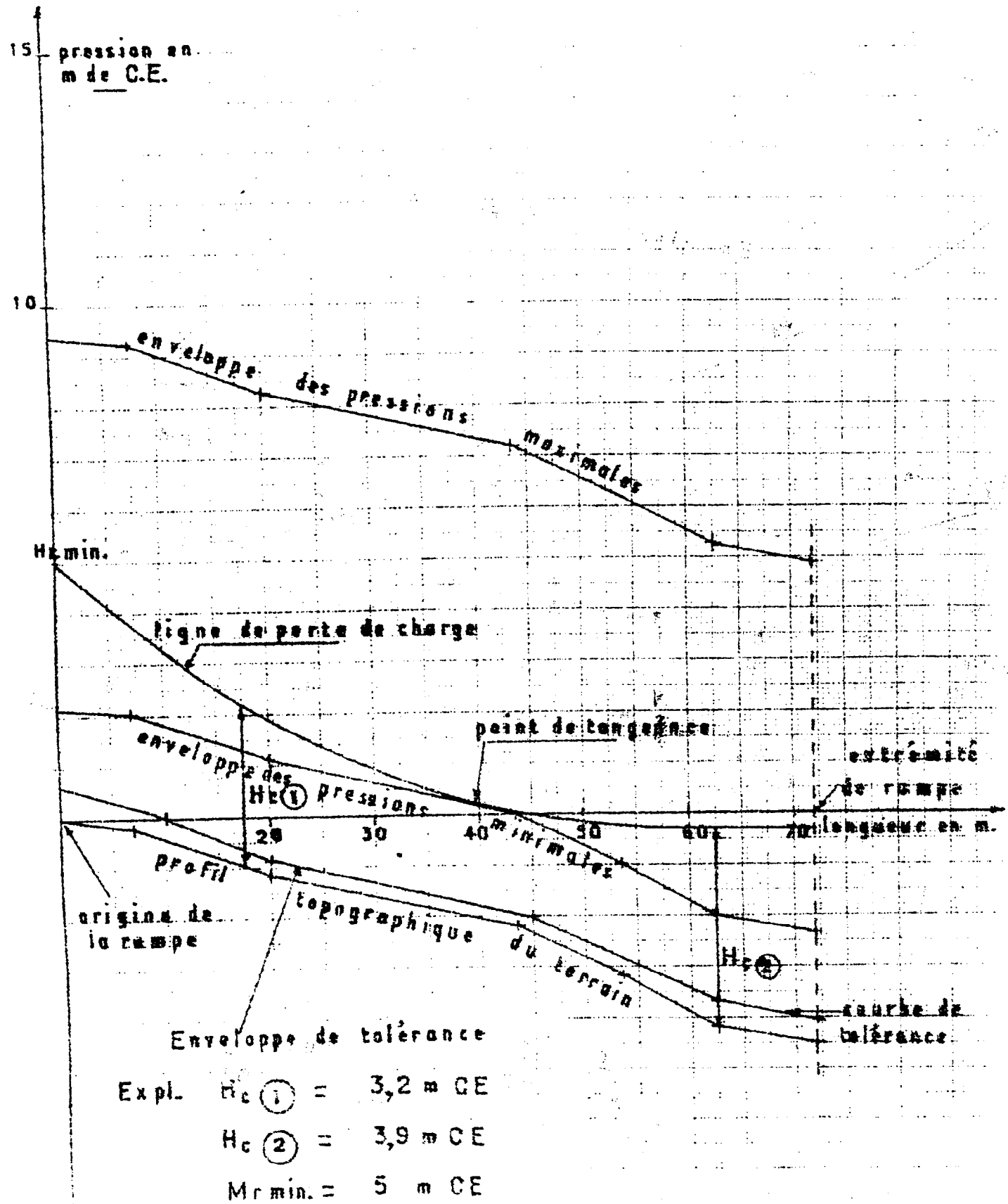
On voit ici tout l'intérêt qu'il y a de réaliser une bonne uniformité par des installations de goutte à goutte, parfaitement conçues, réalisées et entretenues au point de vue obstruction physique chimique ou biologique, ou alors, si les conditions ne sont pas favorables, de choisir une solution plus rustique que le système goutte à goutte.

L'obligation dans laquelle on se trouve d'incorporer les engrais à l'eau d'irrigation a pour effet d'augmenter encore l'importance de l'uniformité de la distribution, puisque les apports d'engrais sont proportionnels aux apports d'eau d'irrigation à chaque plante. Un mauvais CU entraîne une mauvaise répartition des engrais.

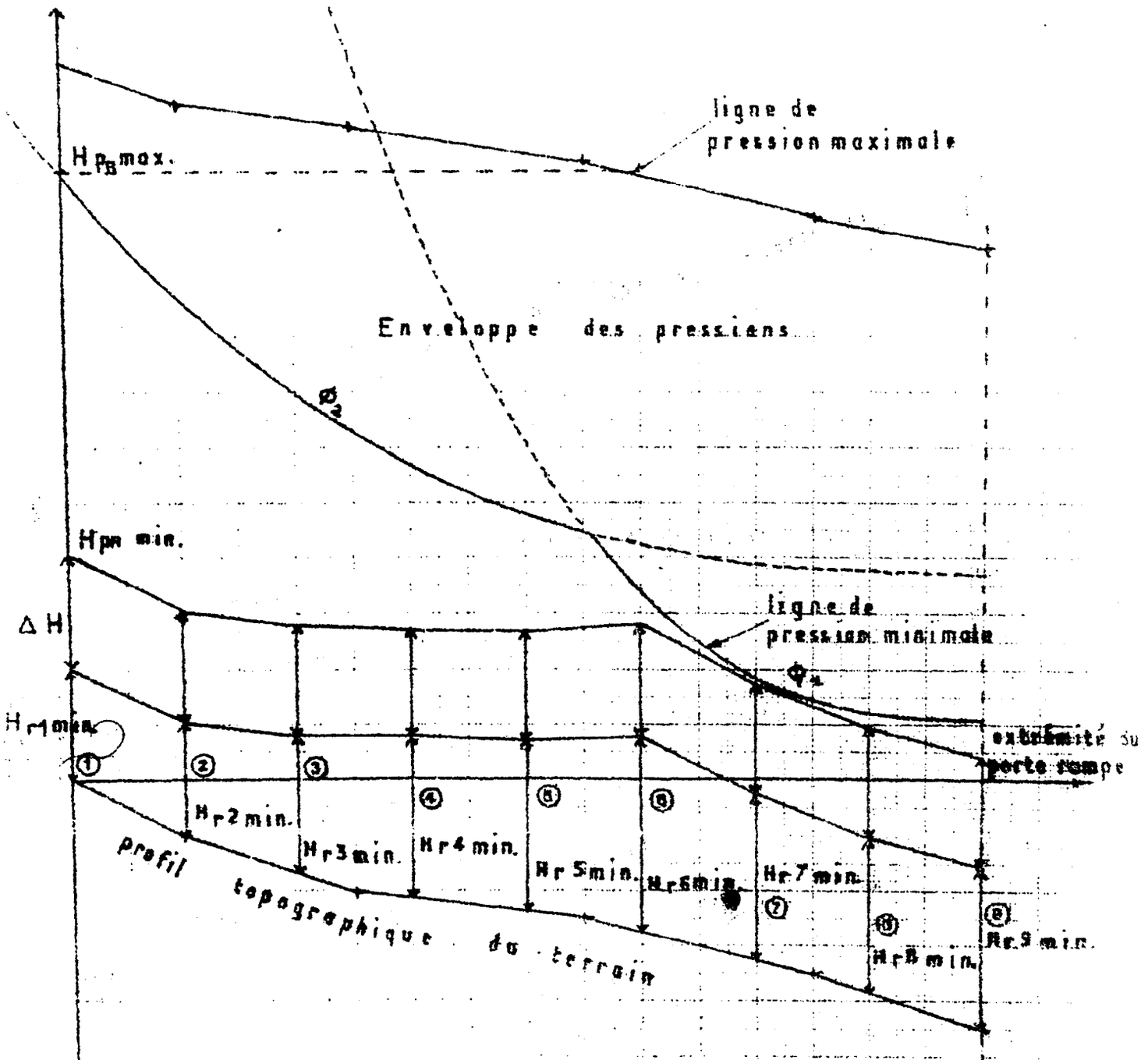
La micro-irrigation, qui est une techniques prometteuse, ne souffre donc pas la médiocrité et ses installations exigent à la fois compétence et minutie dans leur conception, leur mise en place, et peut être surtout leur maintenance par l'agriculteur.


pression
en m CE
15
10
5
Hmax.
Enveloppe des pressions maximales
Enveloppe des pressions utiles
Hmin.
Enveloppe des pressions minimales
profil topographique du terrain
extrémité de la rampe
origine de la rampe
10
20
30
40
50
60
70
80 longueur en m.

ANNEXE 1

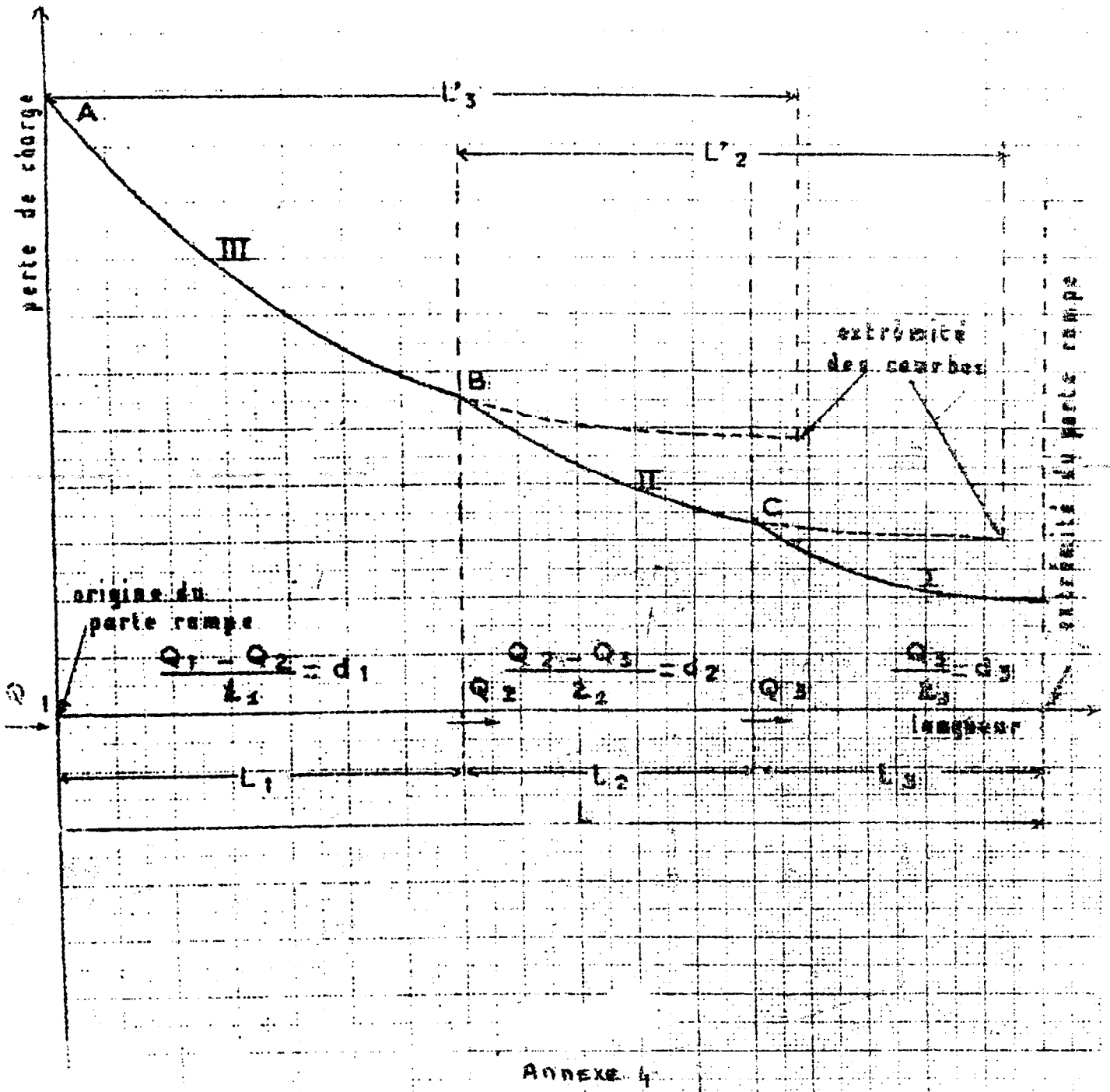

15
pression en m de C.E.
10
enveloppe des pressions maximales
Hr min.
ligne de perte de charge
point de tangence
extrémité de rampe
enveloppe des pressions minimales
Hc (1)
20
30
40
50
60
70
longueur en m.
profil topographique du terrain
origine de la rampe
Hc (2)
courbe de tolérance
Enveloppe de tolérance
Expl. Hc (1) = 3,2 m CE
Hc (2) = 3,9 m CE
Mr min. = 5 m CE

Annexe 2



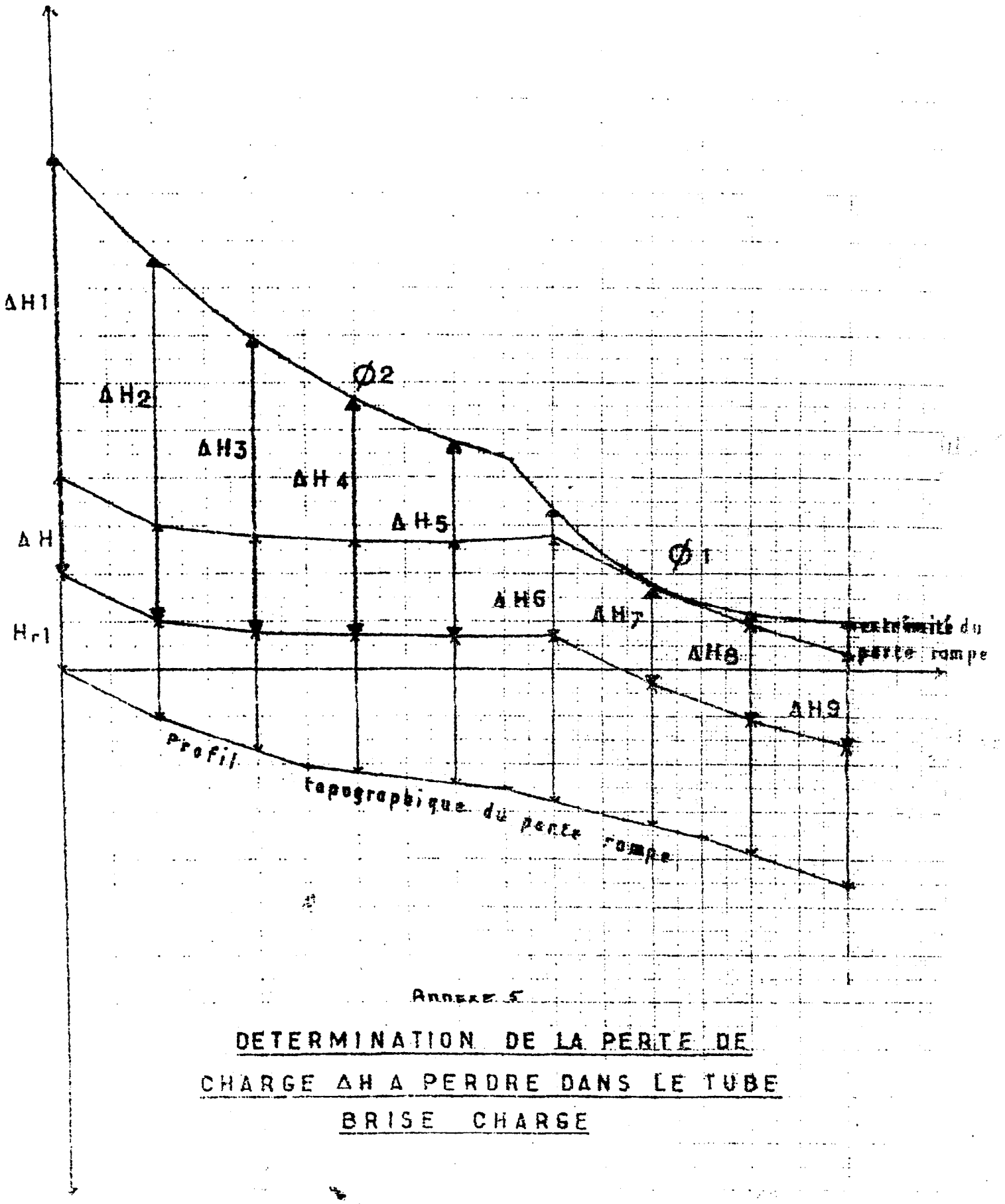
Annexe. 3

DETERMINATION DE
L'ENVELOPPE DES PRESSIONS
ET TRACE DE LA LIGNE PIEZOMETRIQUE



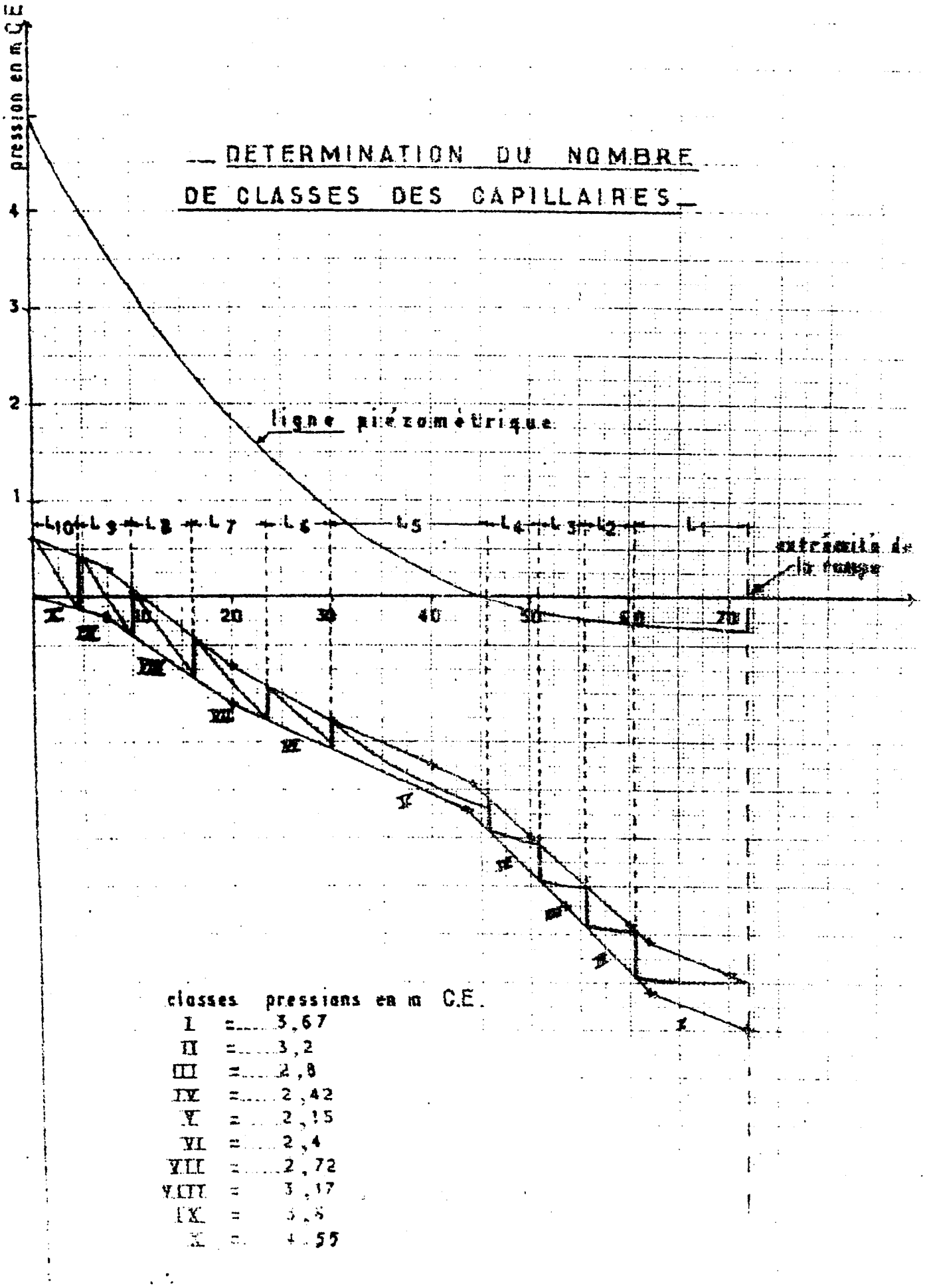
Annexe 4

TRACE DE LA LIGNE PIEZOMETRIQUE D'UN PORTE RAMPE DONT LE DEBIT VARIE LINEAIREMENT PAR TRONCON



ANNEXE 5

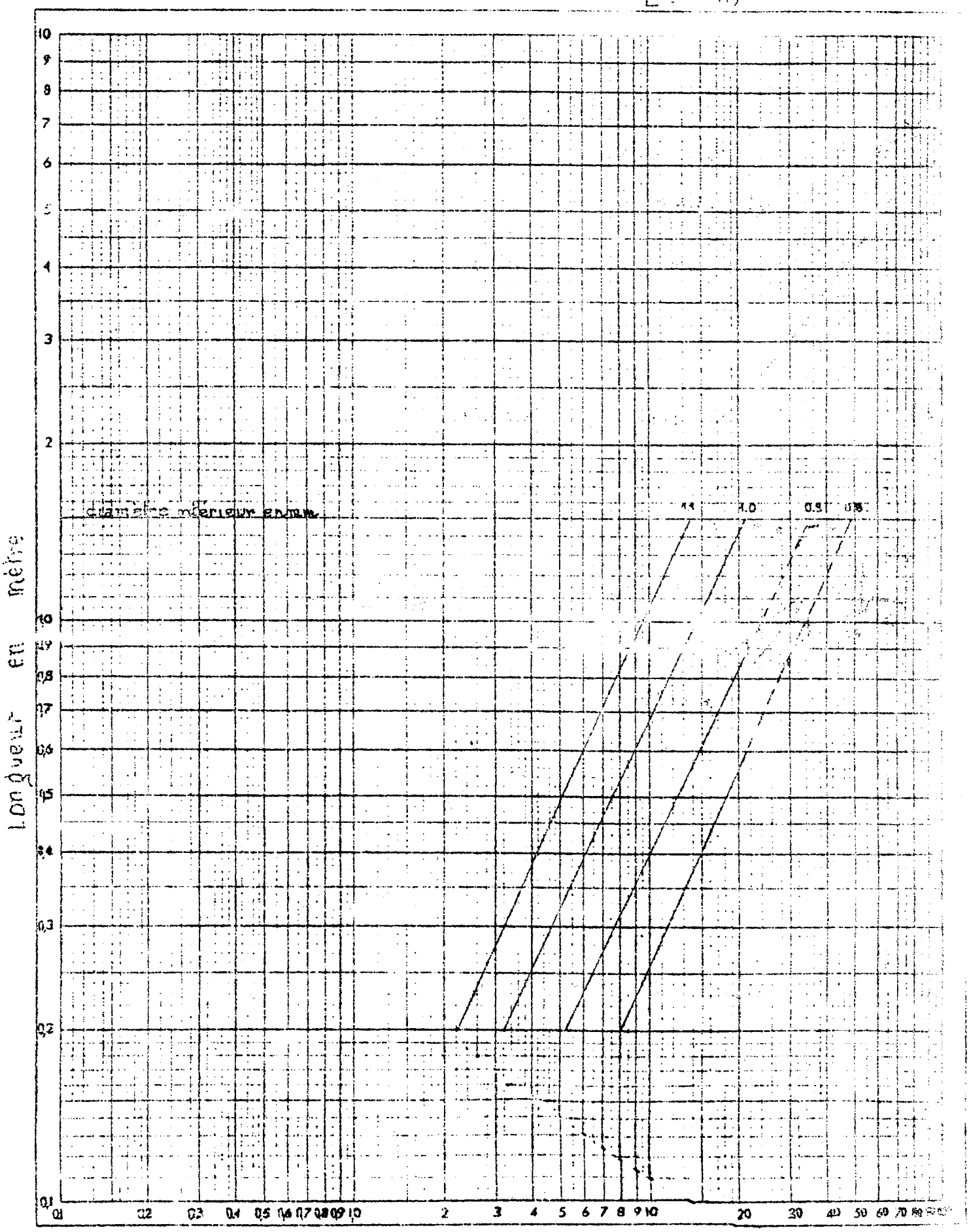
DETERMINATION DE LA PERTE DE CHARGE ΔH A PERDRE DANS LE TUBE BRISE CHARGE


DETERMINATION DU NOMBRE DE CLASSES DES CAPILLAIRES
pression en m C.E
ligne piézométrique
extrémité de la rampe
L10 L9 L8 L7 L6 L5 L4 L3 L2 L1
10
20
30
40
50
60
70
1
2
3
4
classes pressions en m C.E.
I = 3,67
II = 3,2
III = 2,8
IV = 2,42
V = 2,15
VI = 2,4
VII = 2,72
VIII = 3,17
IX = 3,8
X = 4,55

Annexe 6

CTGREF
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

CAPILLAIRE
DEBIT 8 L/H
Abaque des longueurs à diamètre c[illegible]
L = [illegible] (H)



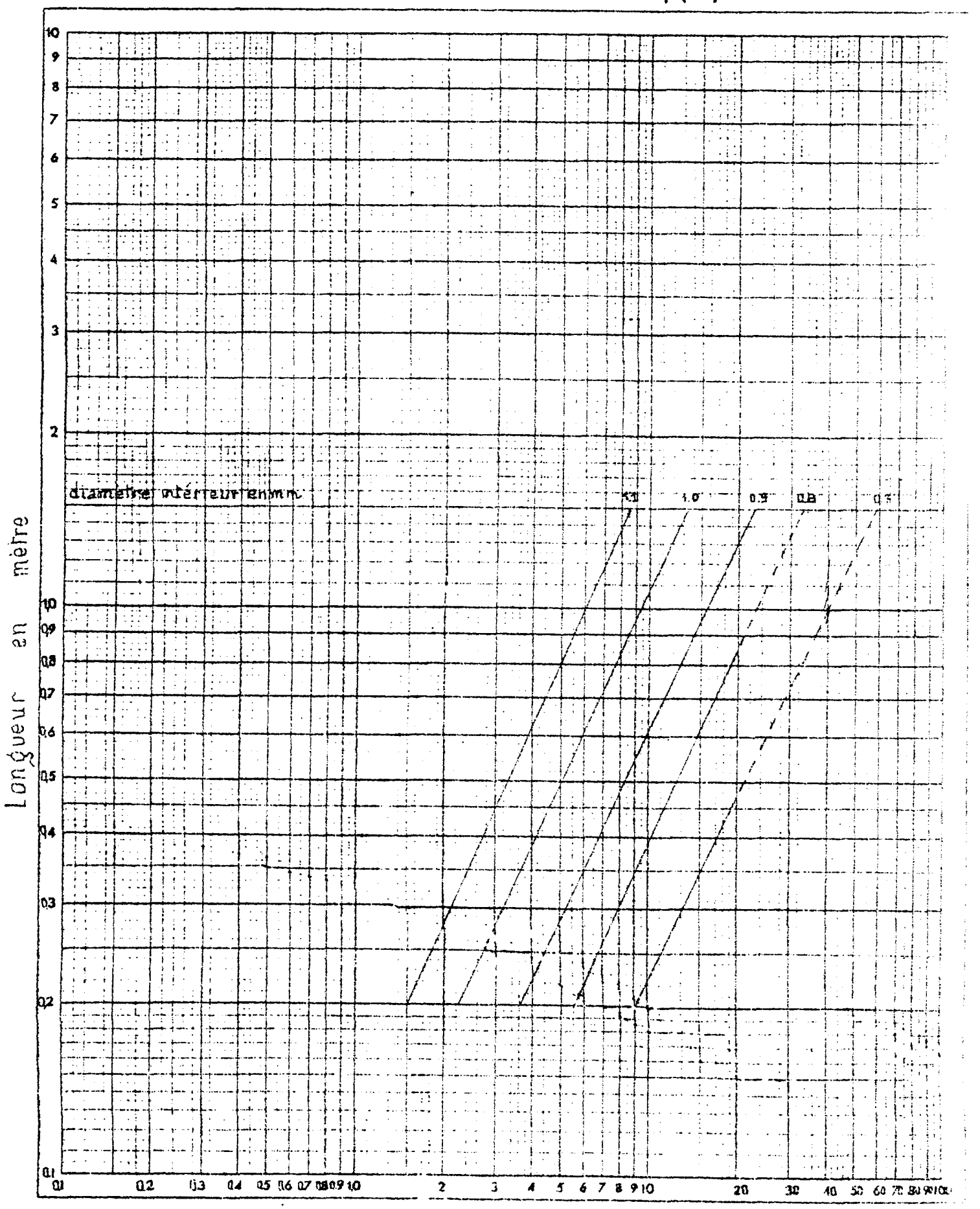
C.T.G.R.E.F
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

CAPILLAIRE

DEBIT : 6 L/H

Abaque des longueurs à diamètre cons.

$L = f(H)$



N° 2001

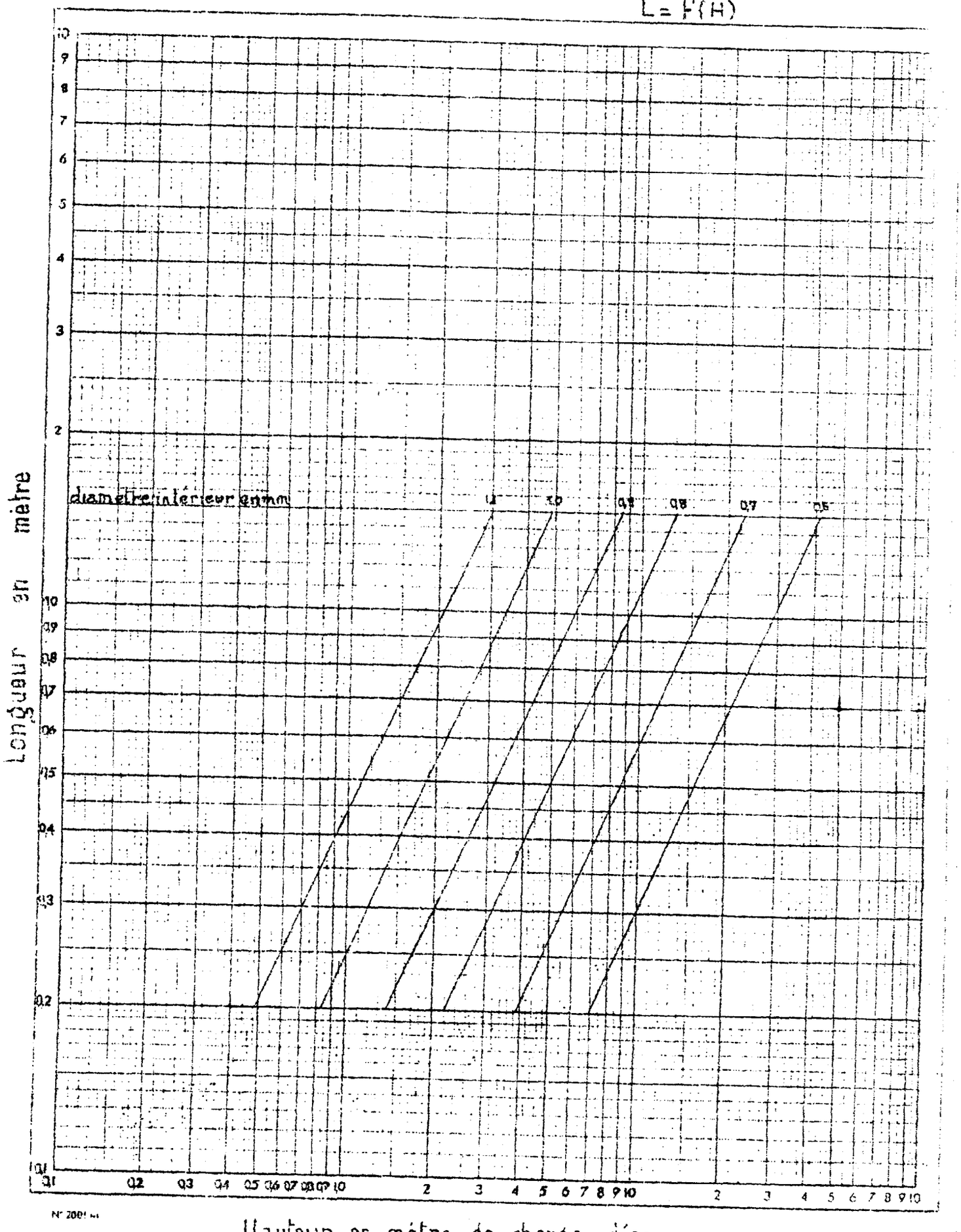
CTGREF
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

CAPILLAIRE

DEBIT 3 L/H

Abaque des longueurs à diamètre 1,0

$L = f(H)$



N° 2001

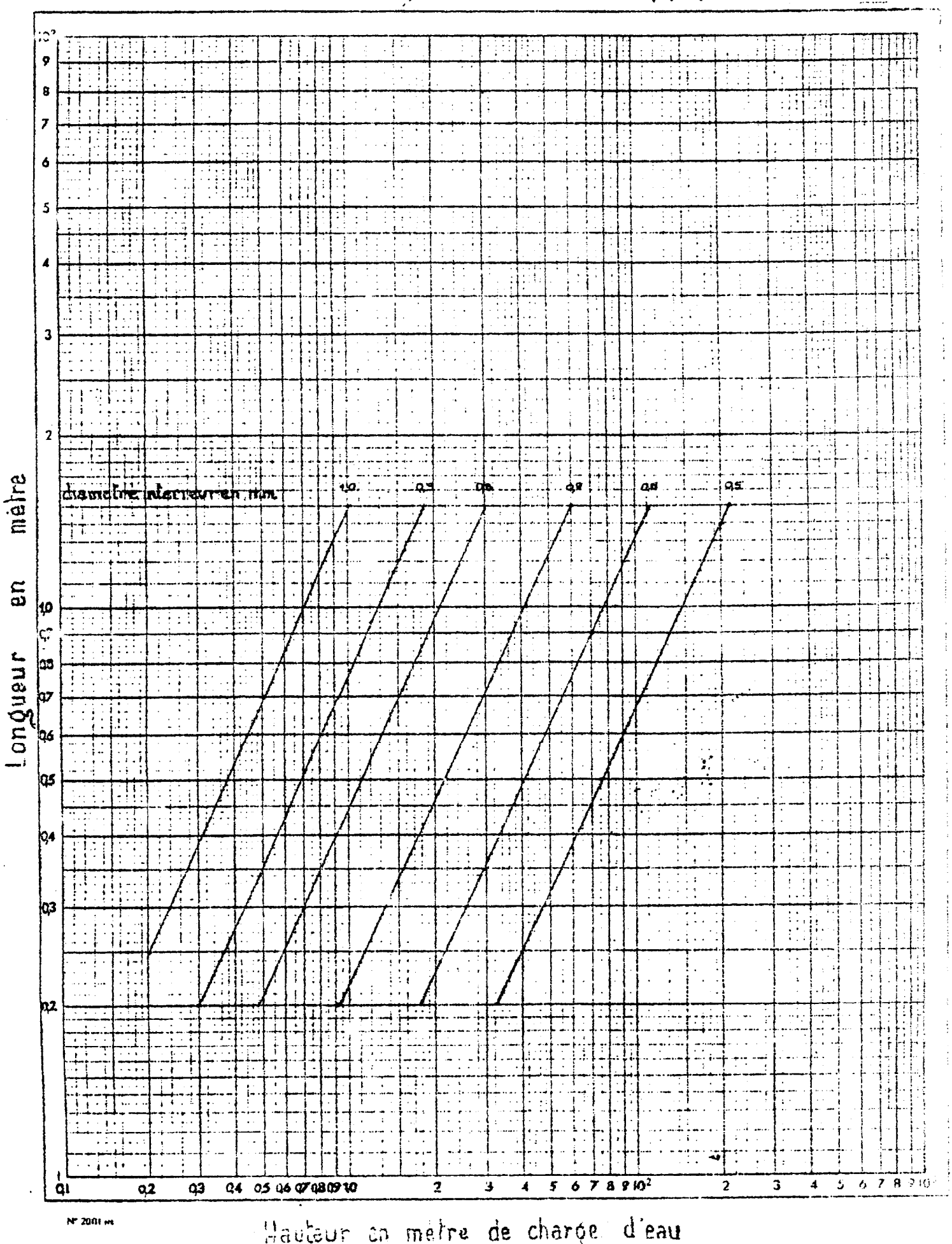
I.C.I.G.R.E.F.
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

CAPILLAIRE

DEBIT : 1,0 L/H

Abaque des longueurs à diamètre consta

L = f(H)



N° 2001 m

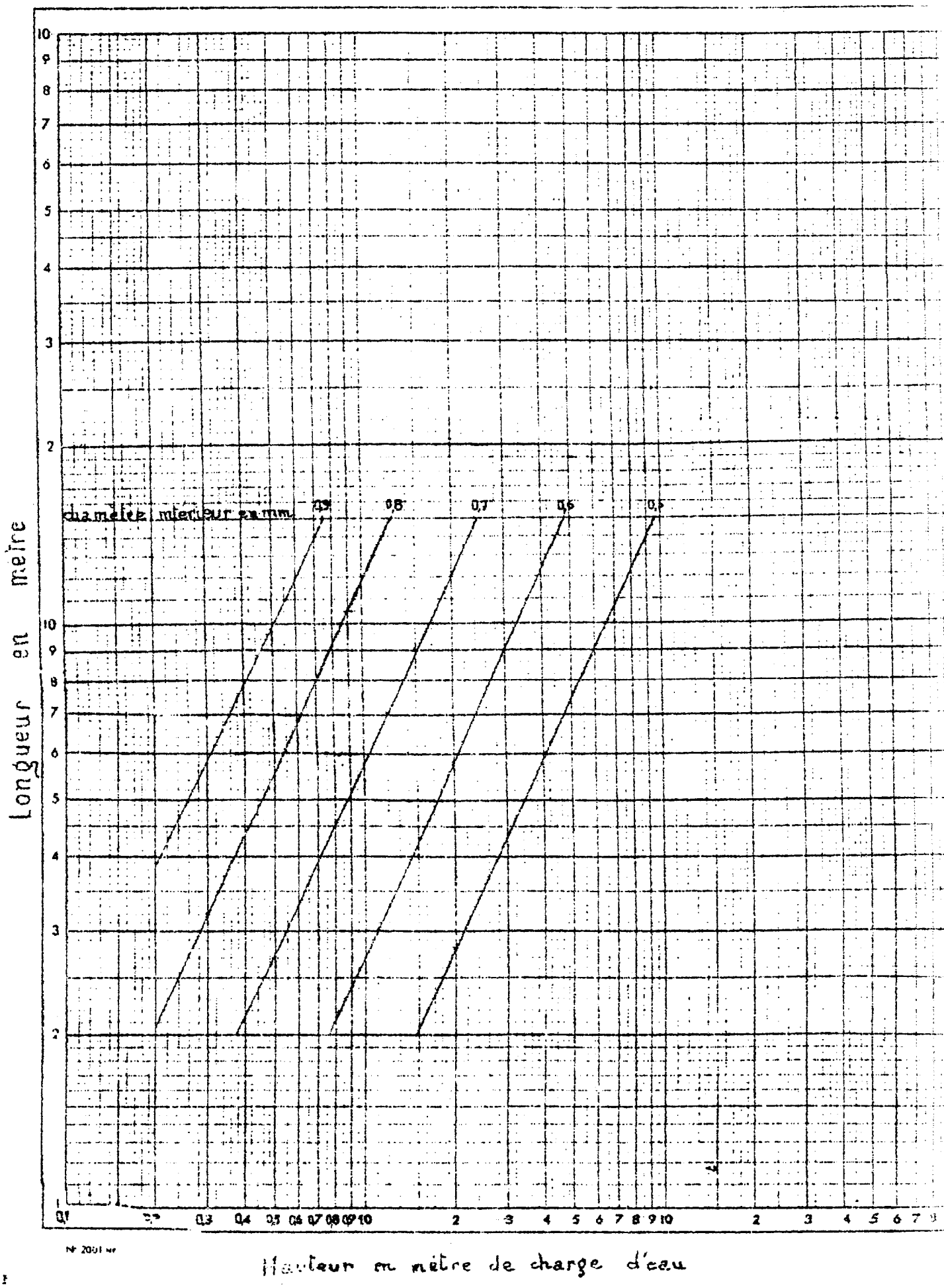
CTGREF
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

CAPILLAIRE

DEBIT : 0,5 L/H

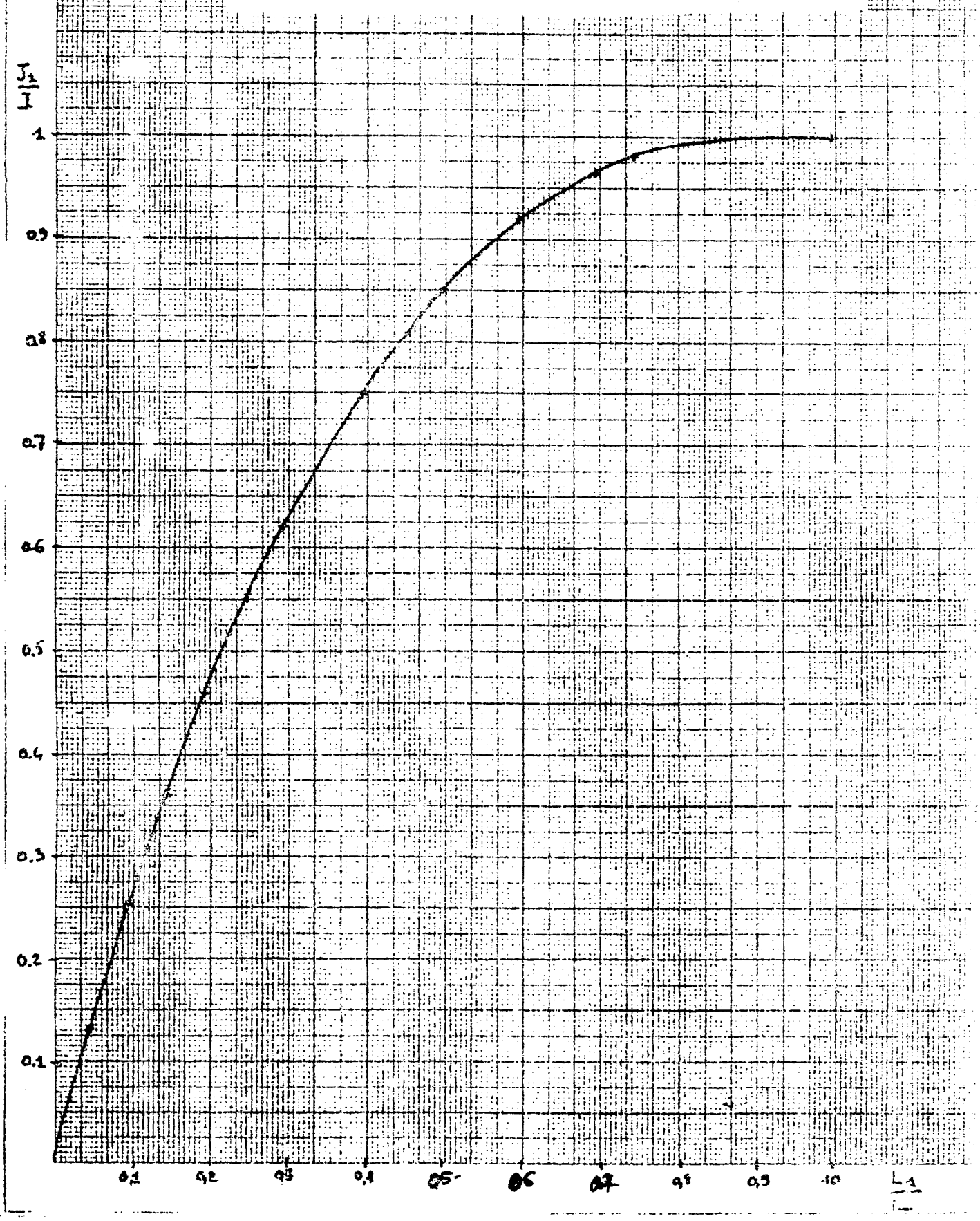
Abaque des longueurs à diamètre cons.

L = f(H)



N° 2001 M

Graphique donnant le rapport des pertes de charge en fonction du rapport des longueurs d'un tronçon compté à partir de l'origine de la rampe et de la rampe antière.



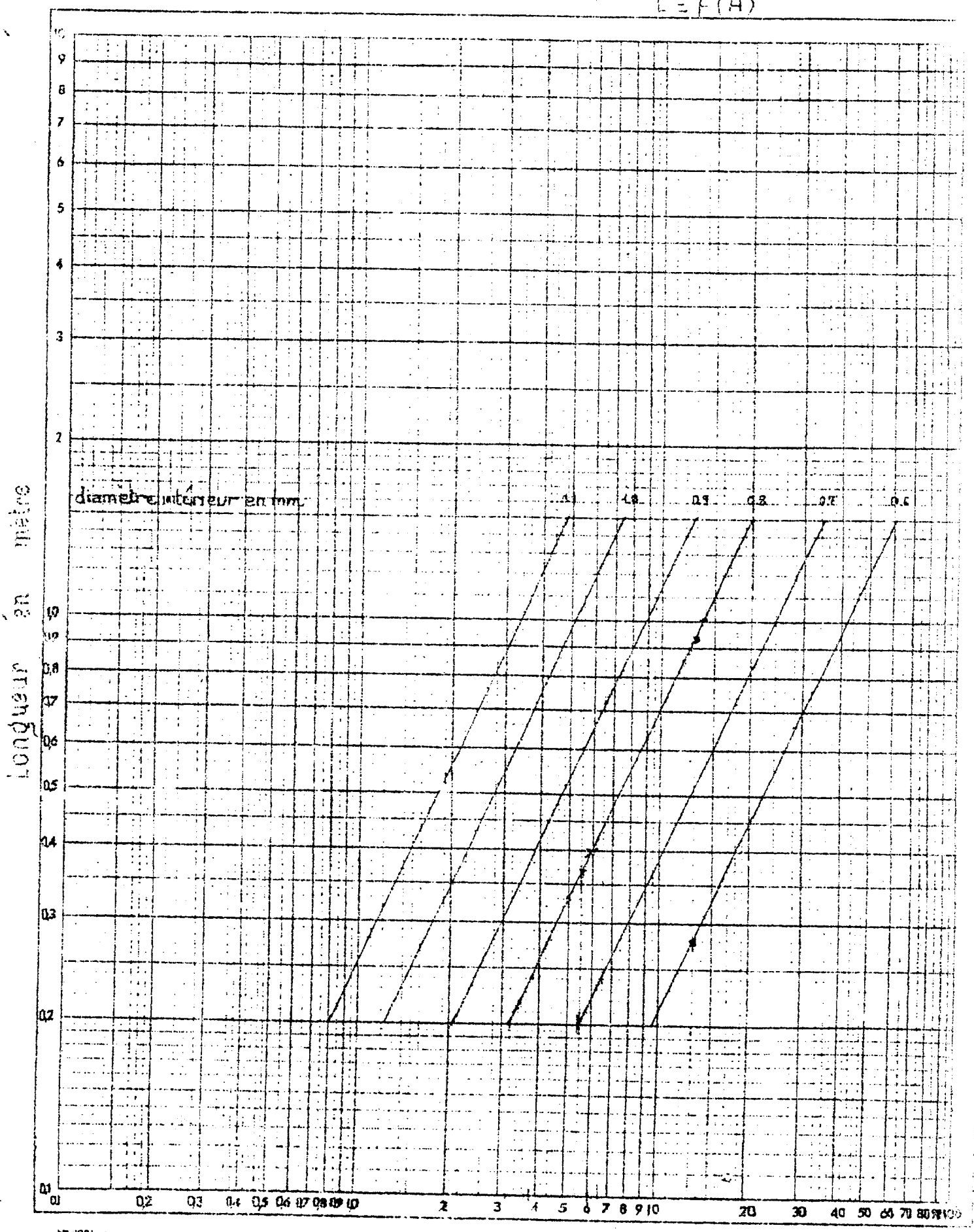
C.T.G.R.E.F
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

CAPILLAIRE

DEBIT 4 L/H

Abaque des longueurs à diamètre co

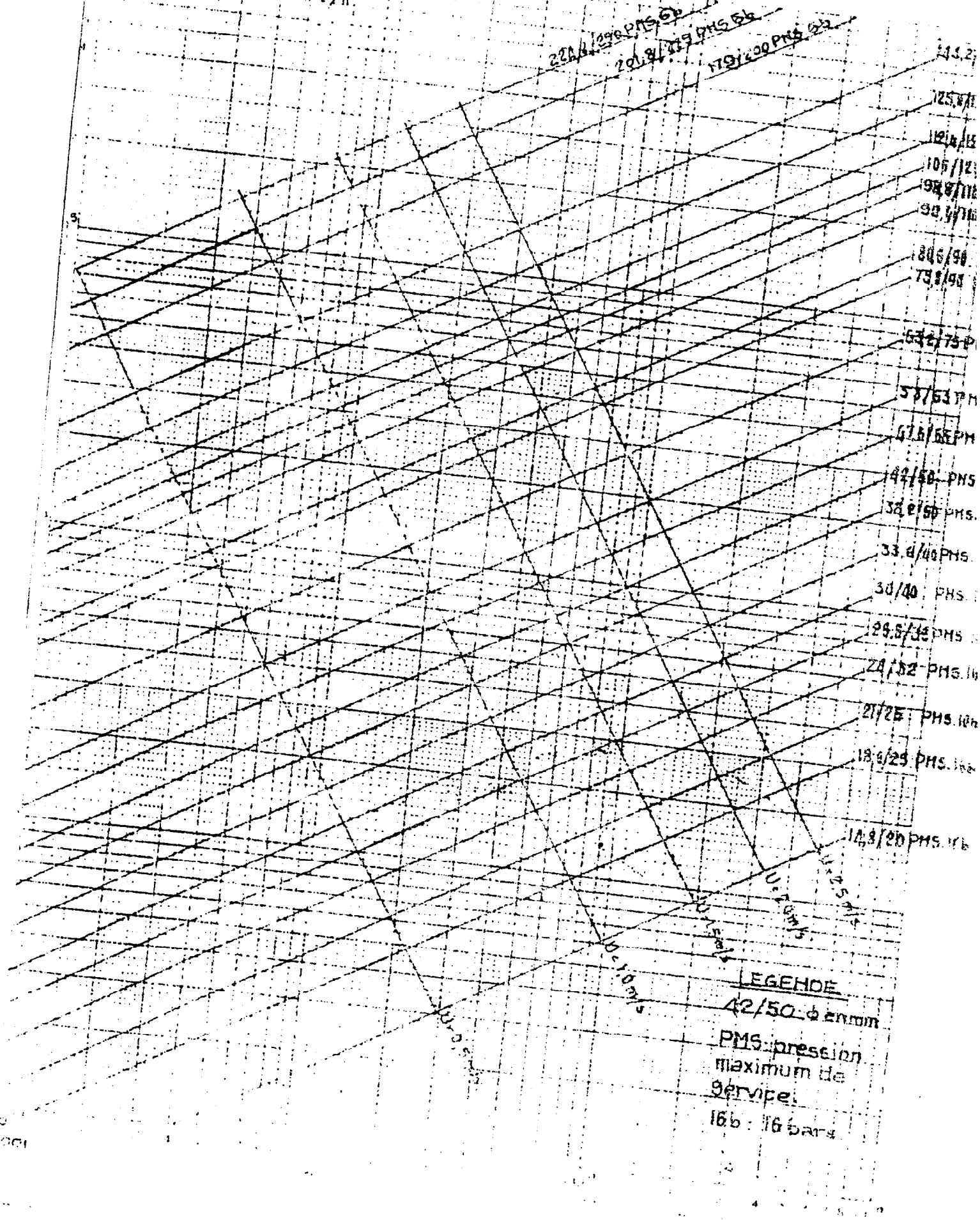
L = f(H)



ABAQUE : ①

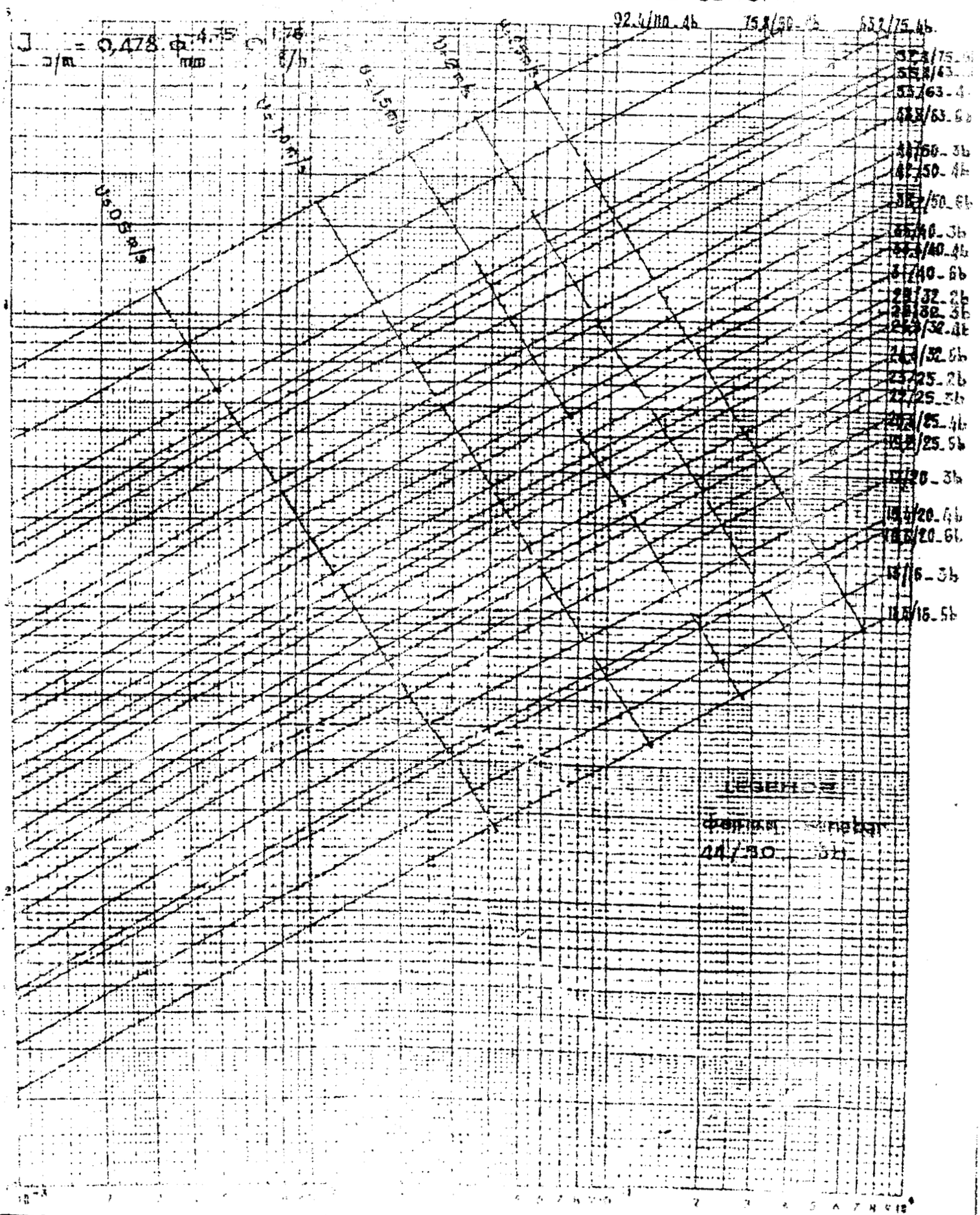
PERTES DE CHARGE DANS LES TUYAUX EN PVC.

SERIE "REFOULEMENT"



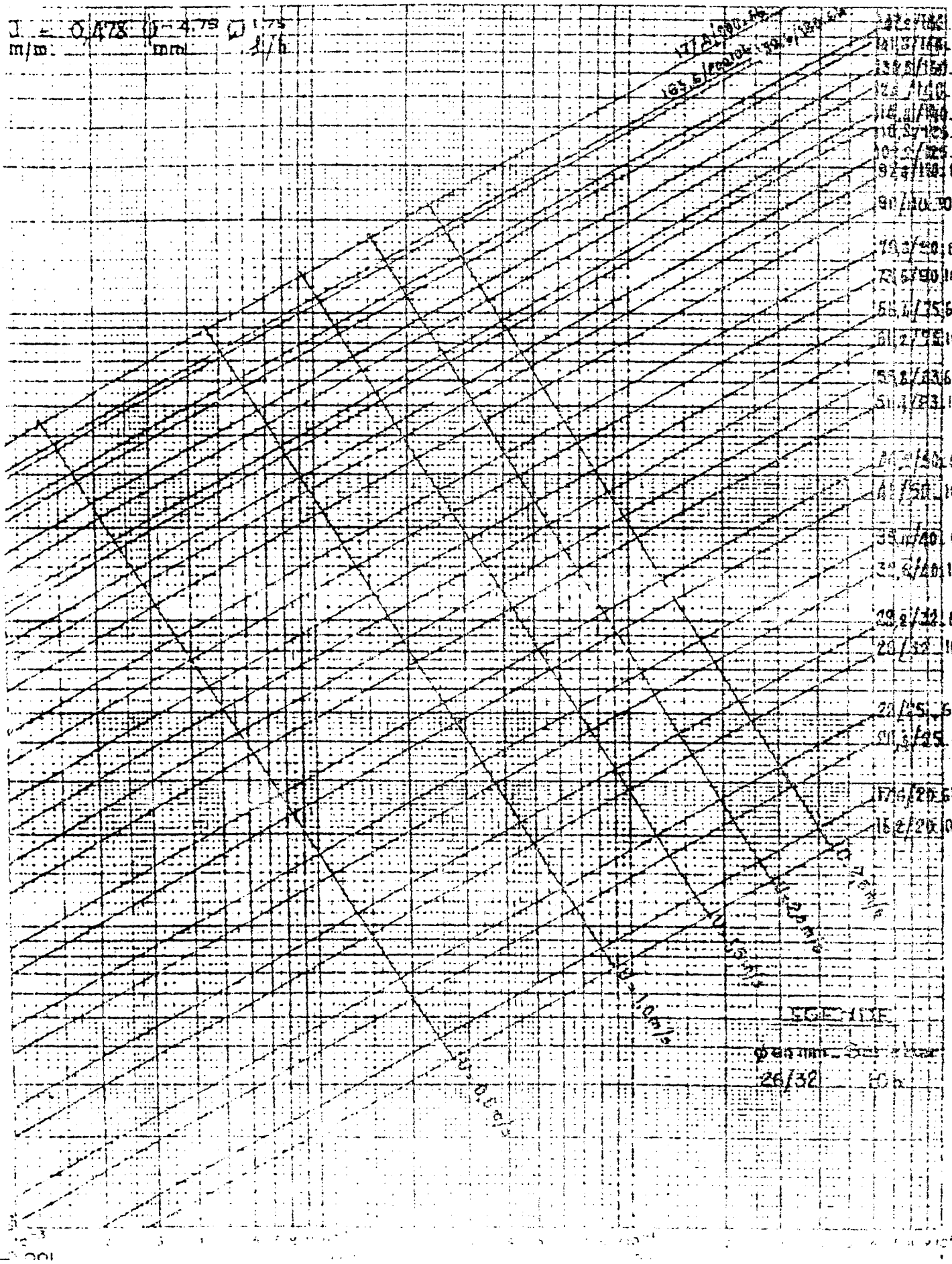
ABAQUE POUR LE CALCUL DES PERTES DE CHARGE 140.

DANS LES TUYAUX EN P.E. BASSE DENSITE



ABAQUE 3

ABAQUE POUR LE CALCUL DES PERTES DE CHARGE DANS LES TUYAUX EN P.E. HAUTE DENSITE



C.T.G.R.E.F.

AIX EN PROVENCE

DIVISION IRRIGATION

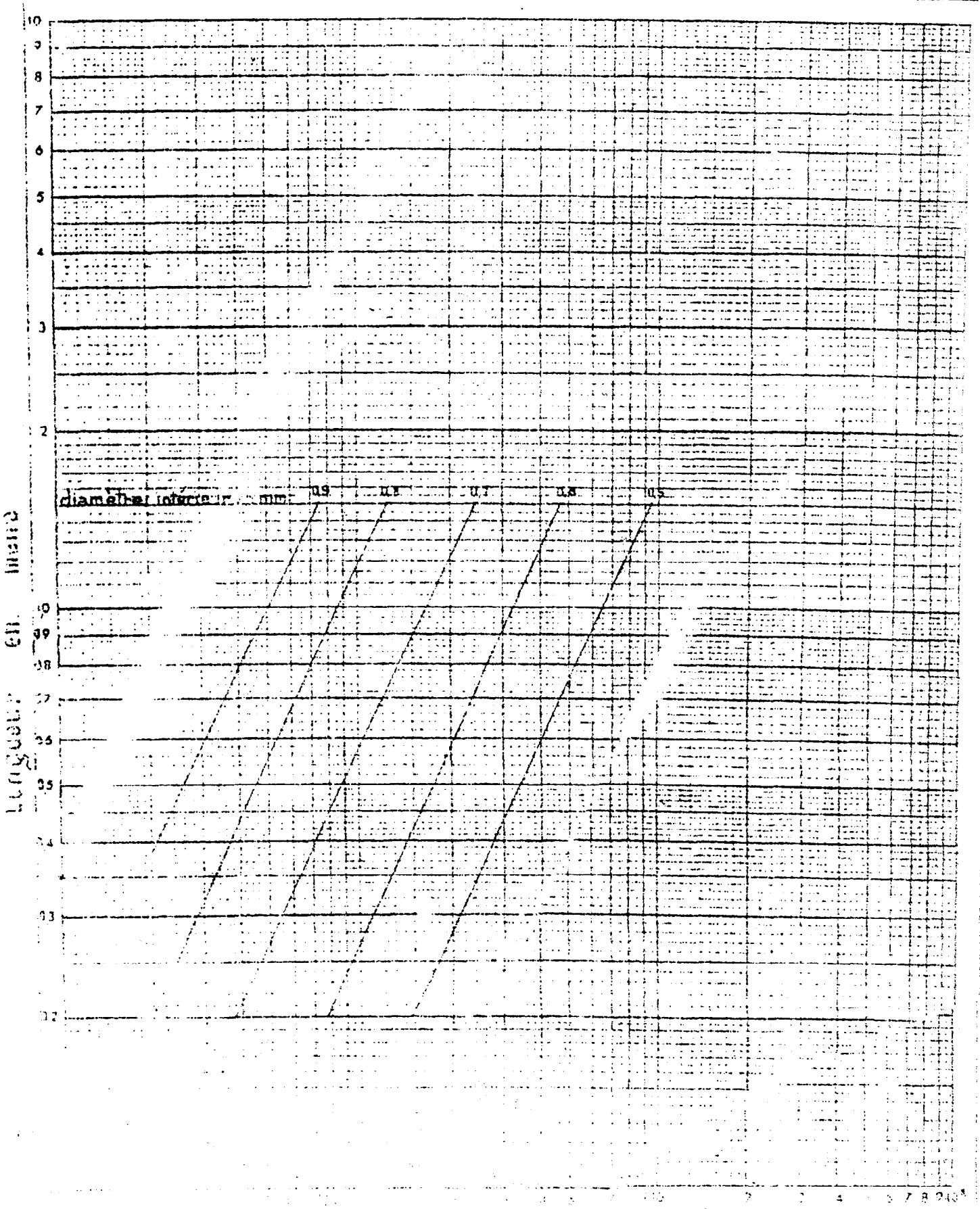
ABAQUE N° 4

CAPILLAIRE

DEBIT : 0,5 L/H

Abaque des longueurs à diamètre consta

L = f(H)



C.T.G.R.E.F
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

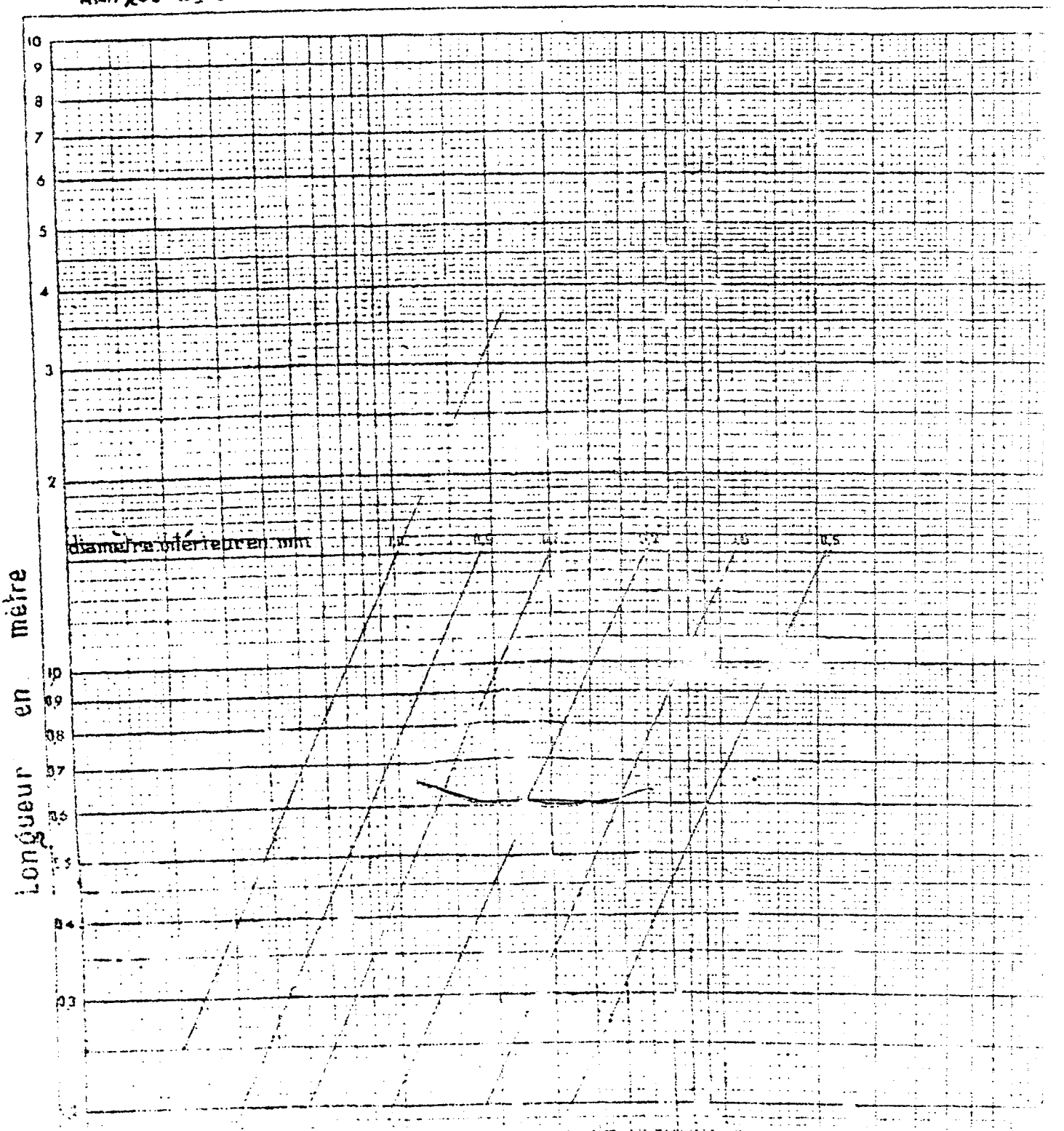
CAPILLAIRE

DEBIT : 1,0 L/H

Abaque des longueurs à diamètre consta

L = f(H)

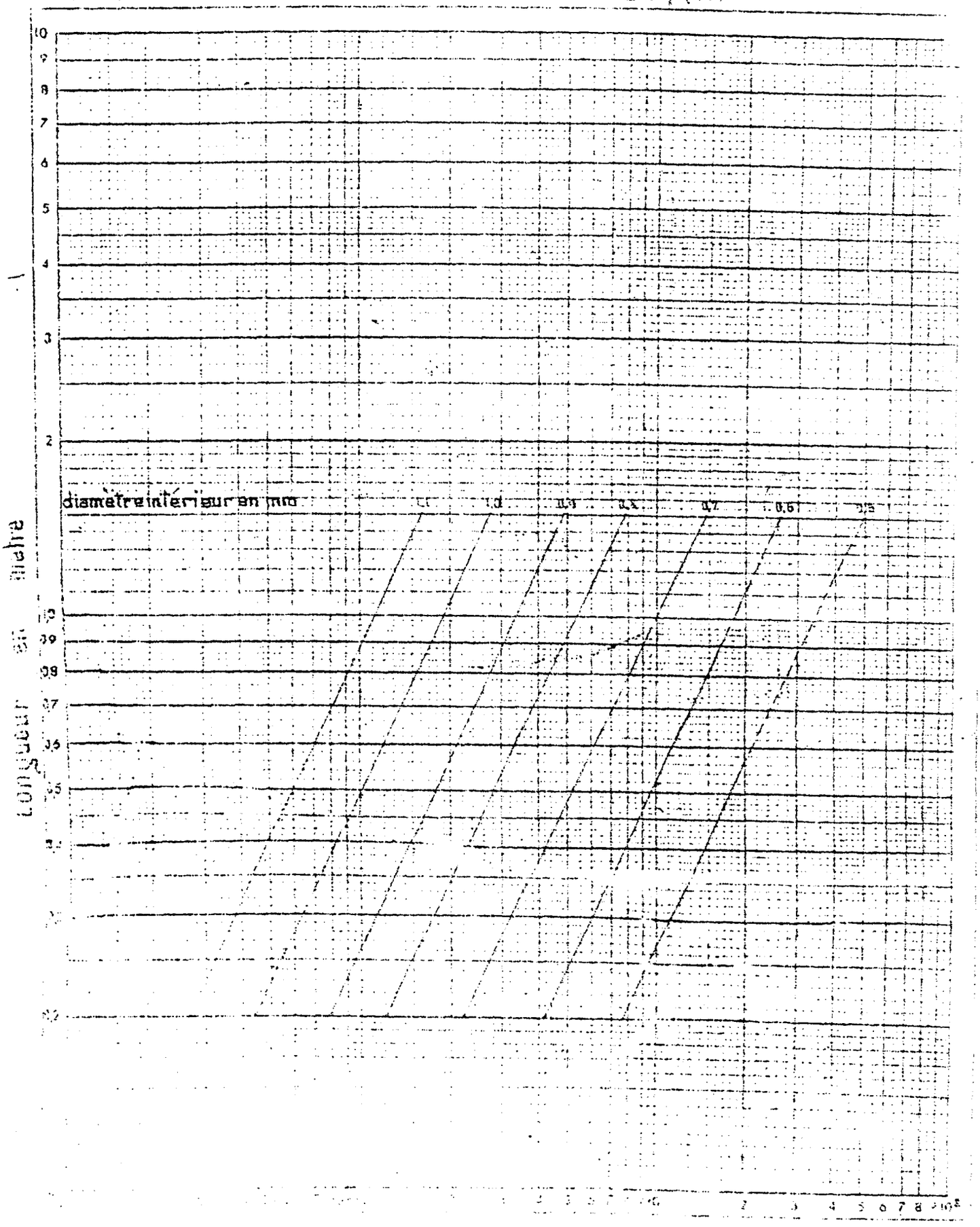
ABAQUE N° 5



AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

CAPILLAIRE
DEBIT : 2 L/H
Abaque des longueurs à diamètre cor...
L = f(H)

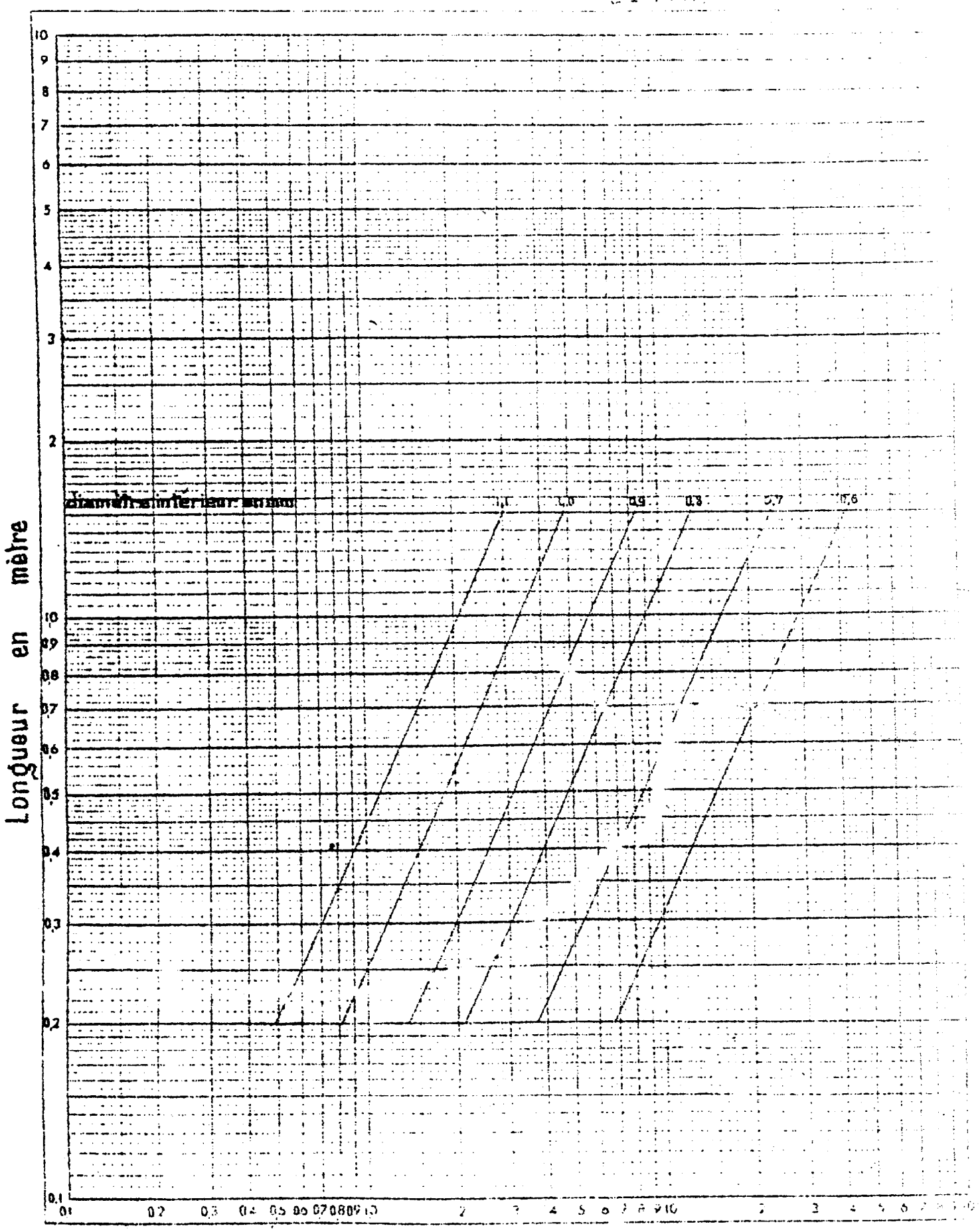
ABAQUE N° 6



C.T.G.R.E.F
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

ABAQUE N° 7.

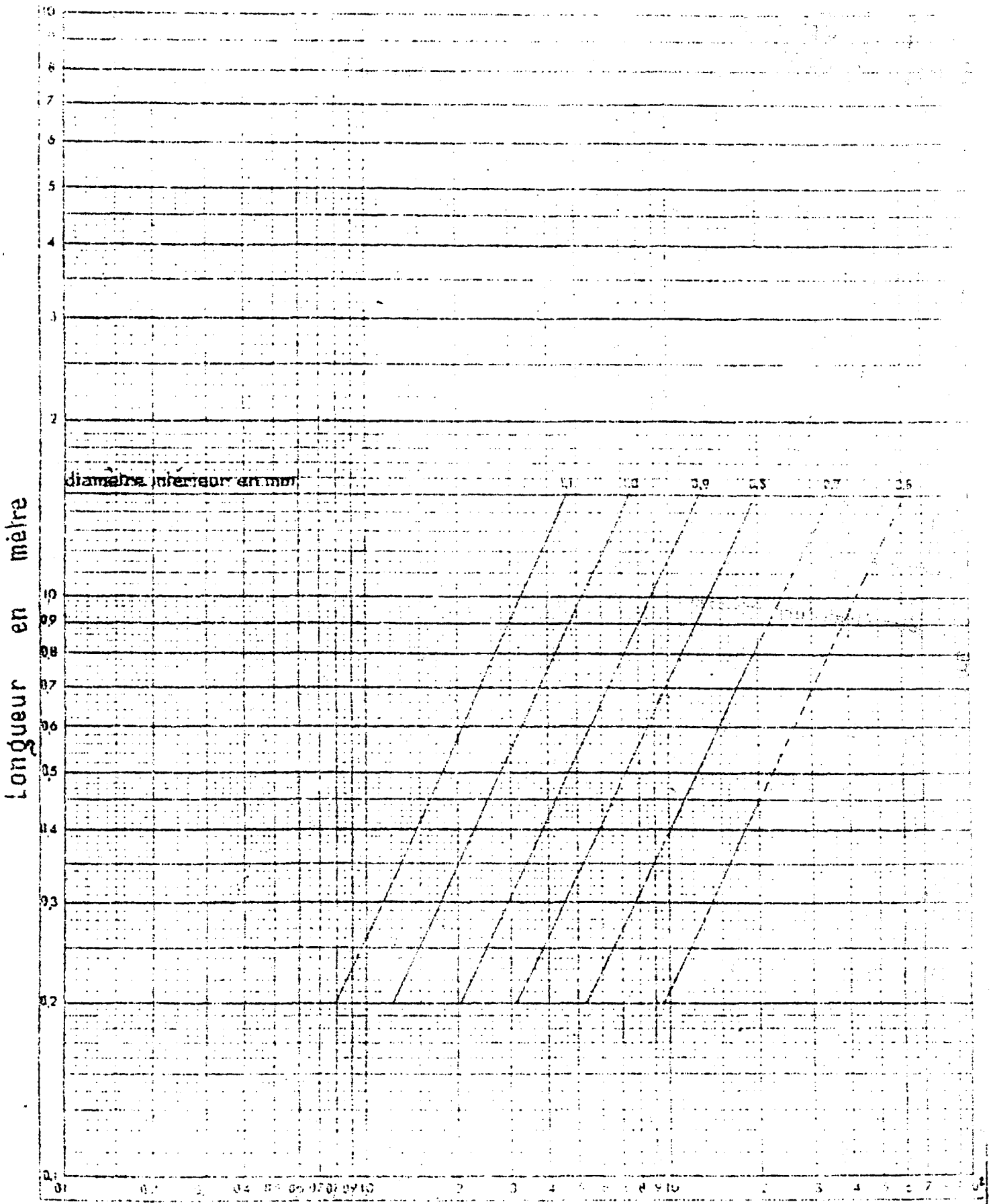
CAPILLAIRE
DEBIT : 3 L/H
Abaque des longueurs à diamètre constant
L = f(H)



C.T.G.R.E.F.
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

ABAQUE N° 7

CAPILLAIRE
DEBIT : 4 L/H
Abaque des longueurs à diamètre constant
L = f(P)



C.T.G.R.E.F
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

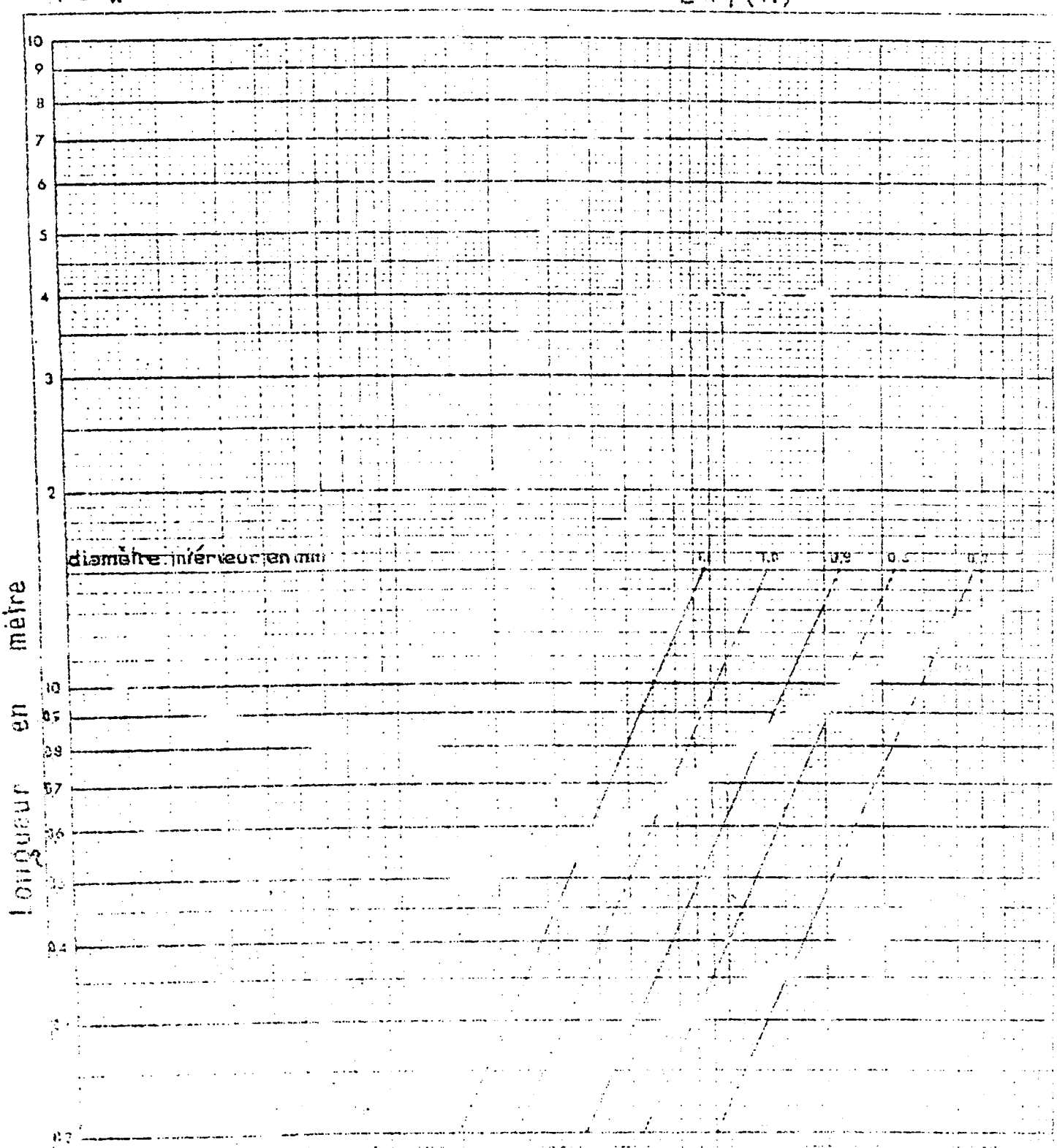
CAPILLAIRE

DEBIT : 6 L/H

Abaque des longueurs à diamètre consta

$L = f(H)$

ABAQUE N° 9



C.T.G.P.E.E.
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

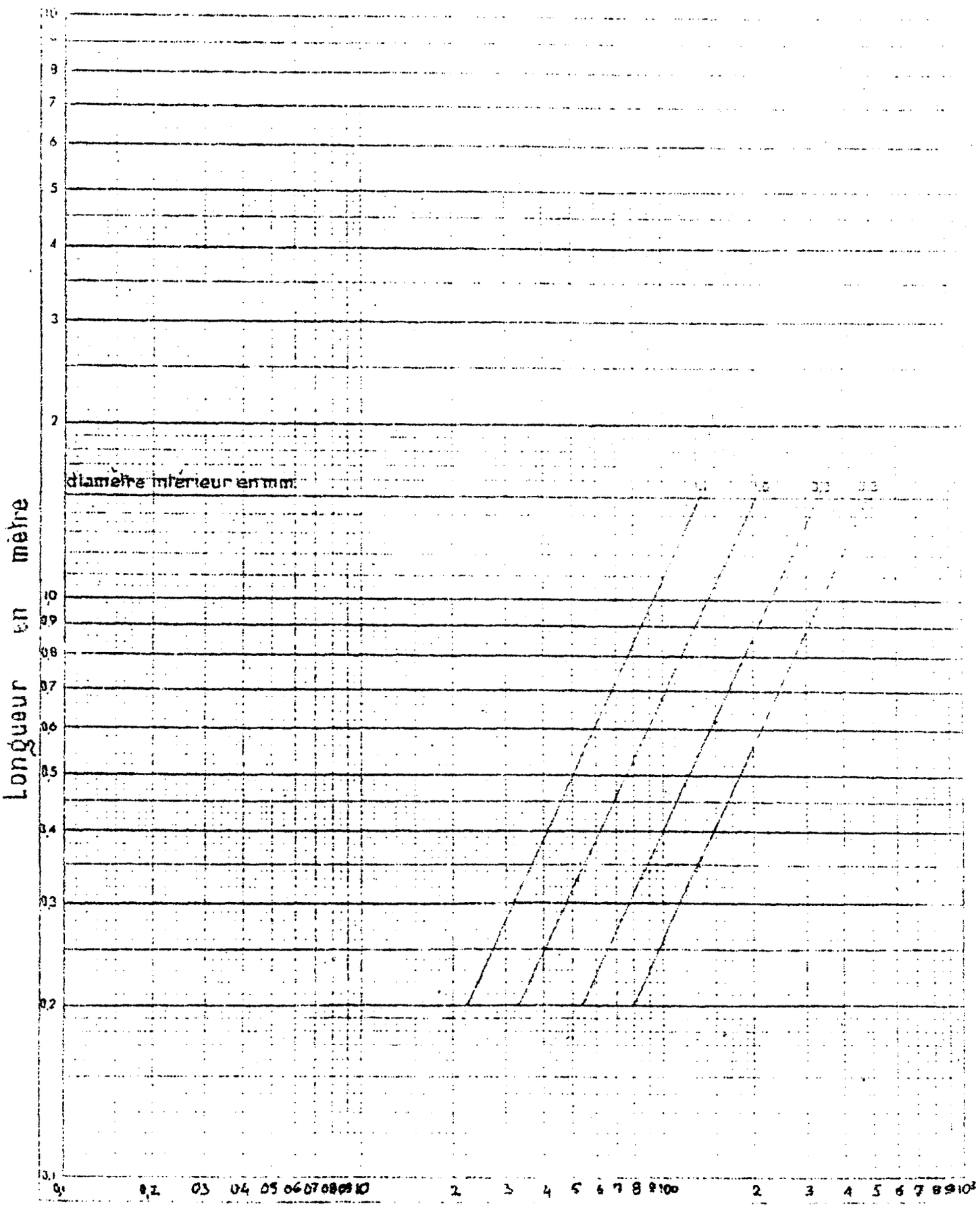
ABAQUE N° 10

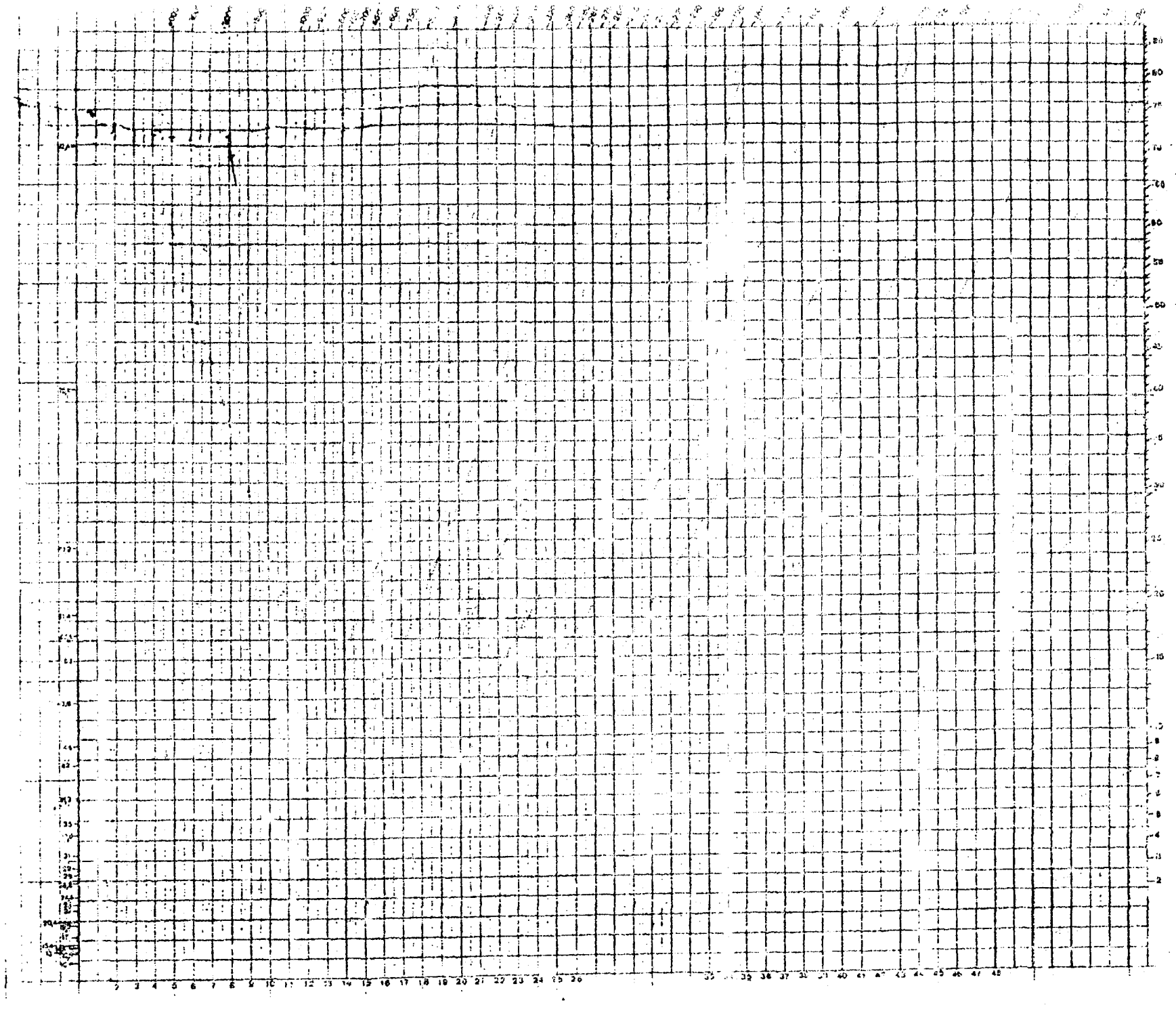
CAPILLAIRE

DEBIT 8 L/H

Abaque des longueurs à diamètre constant

L = f(H)





ABAQUE 13.

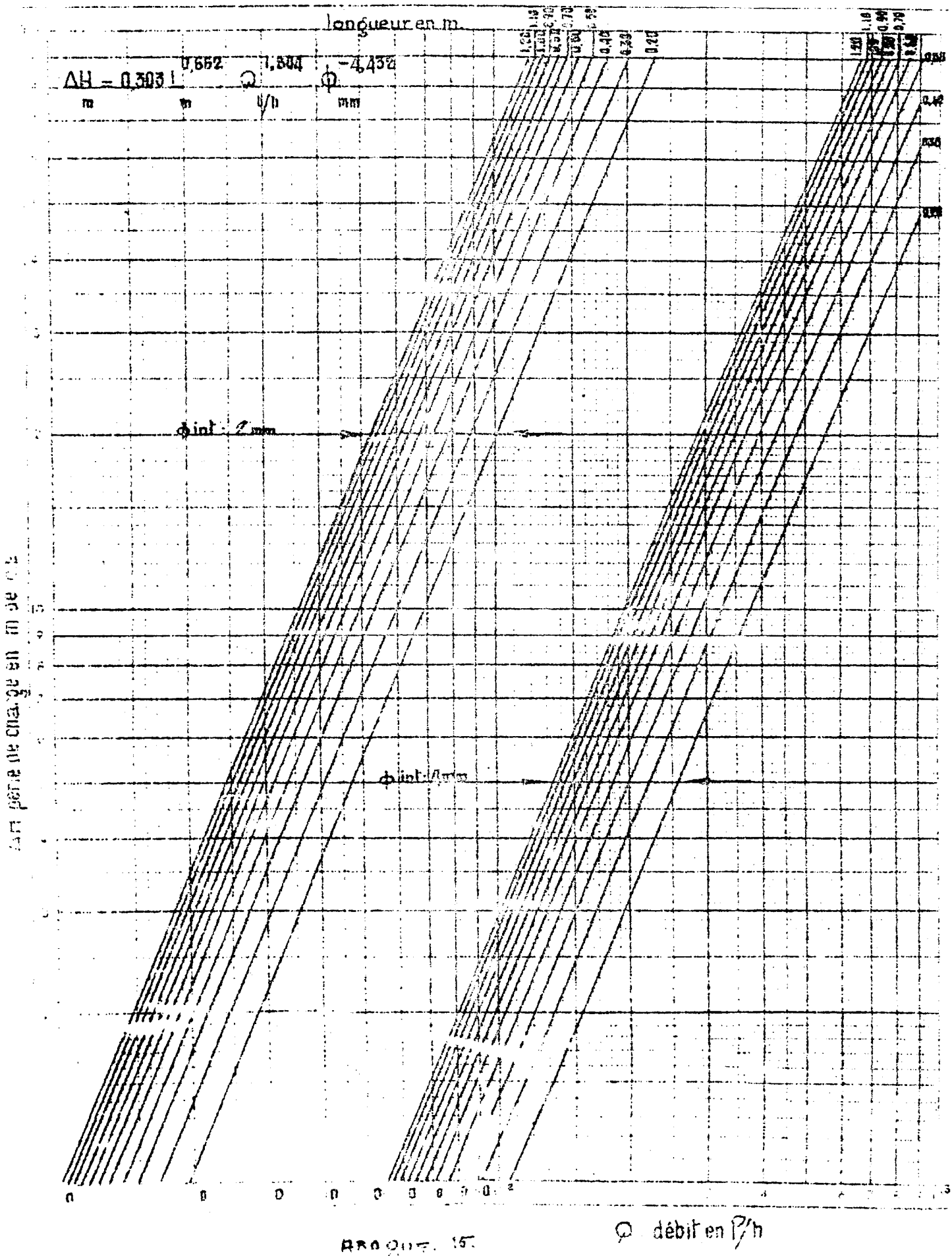
FORCE DE CHARGE EN ACE
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
ABAQUE 12
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140

AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

TUBE BRISE CHARGE Ø INTERIEUR : 2 & 4 mm

ABAQUE DE PERTE DE CHARGE A LONGUEUR CONSTANTE

$\Delta H = f(Q)$



TAUX DE CHANGE
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40

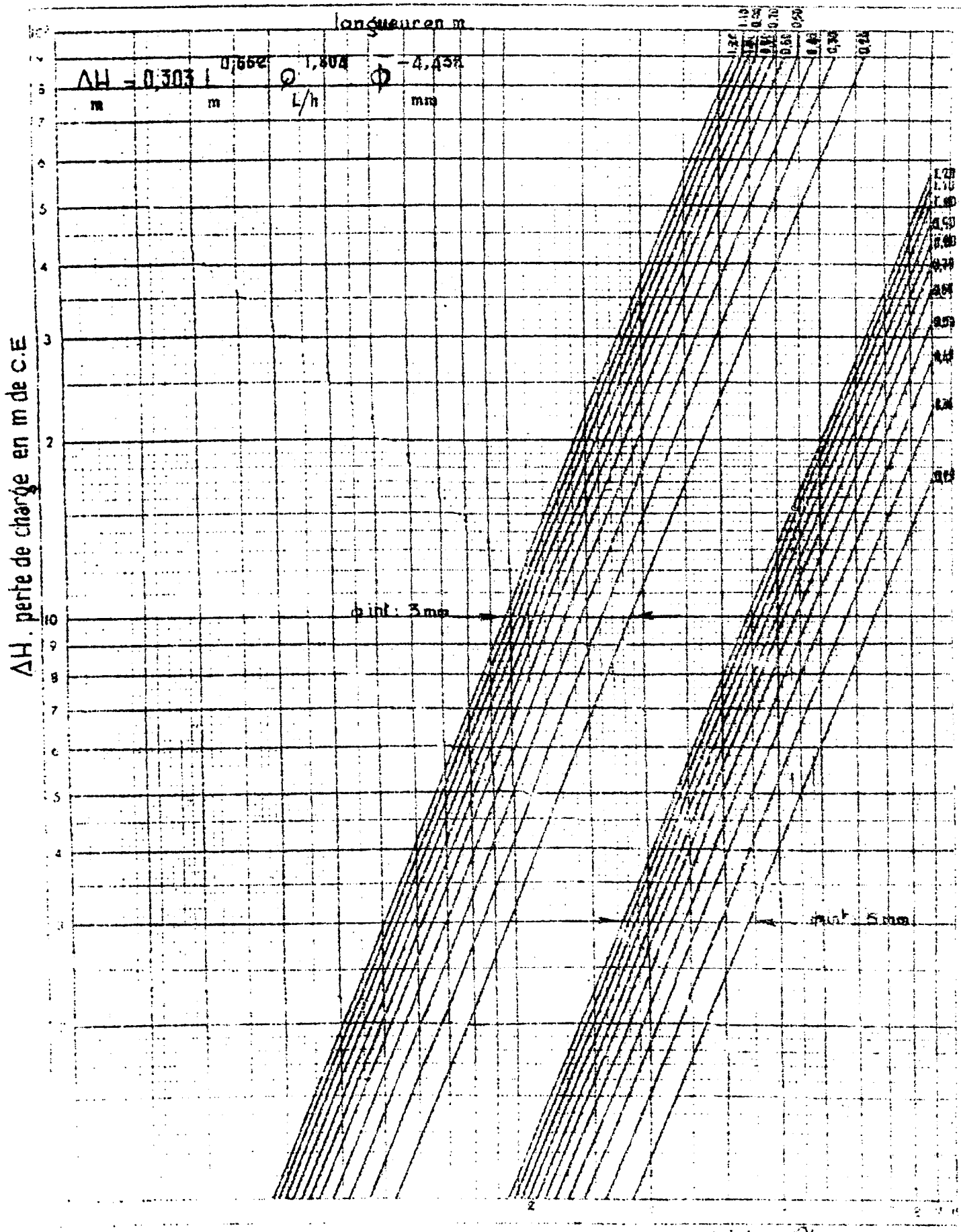
FIGURE 11

C.T.G.R.E.F
AIX EN PROVENCE
DIVISION IRRIGATION

TUBE BRISE CHARGE ϕ INTERIEUR : 2 & 2 mm

ABAQUE DE PERTE DE CHARGE A LONGUEUR CONSTANTE

$\Delta H = f(Q)$



ABAQUE 14