

CHAPITRE 2

LE CALCUL DES SECTIONS D'OUVRAGES

1. - LE DIMENSIONNEMENT DES CANALISATIONS

Connaissant en chaque point, les débits à évacuer et la pente des ouvrages, le choix des sections sera déduit de la formule d'écoulement adoptée. Les dimensions des canalisations varient compte tenu des diamètres courants de fabrication, ce qui apporte de ce fait, une capacité supplémentaire d'écoulement.

1.1. FORMULE DE CHEZY (Ecoulement uniforme)

Dans l'instruction technique de 1977, les ouvrages sont calculés suivant une formule d'écoulement résultant de celle de CHEZY

$$V = C \sqrt{RI}$$

V : Vitesse d'écoulement en m/s

R : Rayon hydraulique avec $R = \frac{S}{P}$

S : section mouillée en m²

P : périmètre mouillé en m

I : Pente de l'ouvrage en m.p.m

C : Coefficient pour lequel on adopte celui donné par la formule de BAZIN

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

γ est un coefficient d'écoulement qui varie suivant les matériaux utilisés et la nature des eaux transportées

1.1.1. CANALISATIONS D'EAUX USEES

Il se forme une pellicule grasse dans les ouvrages qui améliore les conditions d'écoulement. Aussi, le coefficient de Bazin γ peut être pris égal à 0,25 en tenant compte des inégalités dans le réseau et d'éventuelles intrusions de sable ou de terre. C peut donc être représenté approximativement par l'expression $C = 70 \cdot R^{1/6}$.

On obtient donc :

$$V = 70 \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

et le débit capable de l'ouvrage Qc :

$$Qc = V \cdot S = 70 \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot S$$

Qc en m³/s

V en m/s

S en m²

1.1.2. CANALISATIONS D'EAUX PLUVIALES OU UNITAIRES

Il convient de tenir compte que des dépôts sont susceptibles de se former, ce qui conduit à admettre un écoulement sur des parois semi-rugueuses.

Le coefficient de Bazin γ peut être pris à 0,46. C peut donc être représenté approximativement par l'expression $C=60.R^{1/4}$.

On obtient donc :

$$V = 60 \cdot R^{3/4} \cdot I^{1/2}$$

et le débit capable de l'ouvrage Q_c :

$$Q_c = V \cdot S = 60 \cdot R^{3/4} \cdot I^{1/2} \cdot S$$

Q_c en m^3/s

V en m/s

S en m^2

1.2. FORMULE DE MANNING-STRICKLER

$$C = K \cdot R^{1/6}$$

$$V = K \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$Q_c = V \cdot S = K \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot S$$

K = Coefficient de Manning - Strickler

S = Section mouillée de l'ouvrage au m^2

P = Périmètre mouillé de l'ouvrage en m

R = Rayon hydraulique de l'ouvrage S/P en m

I = Pente longitudinale de l'ouvrage en m/m

V = Vitesse de l'eau dans l'ouvrage en m/s

Q_c = Débit capable de l'ouvrage en m^3/s

Valeurs courantes de K utilisées pour les études :

- Ouvrages en fonte, béton, grès, PVC, PEHD, ... : $K = 70$ à 80
- Ouvrages métalliques en tôle ondulée : $K = 40$ à 45
- Fossés profonds engazonnés : $K = 25$ à 30

Il faut distinguer les coefficients annoncés par les fabricants (coefficients allant jusqu'à 110 calculés en laboratoire sur une canalisation neuve sans dépôt) et les coefficients réels qui tiennent compte de la fixation de matières en suspension dans le fond des ouvrages (ce biofilm se substitue alors au coefficient de Manning – Strickler du matériau de l'ouvrage).

2. - CONTRAINTES DE CALAGE DES RESEAUX

2.1. CANALISATIONS D'EAUX USEES

Les canalisations eaux usées sont généralement circulaires.

Les contraintes de calage des canalisations d'eaux usées sont :

- diamètre minimum de *200 mm* pour éviter les risques d'obstruction

- pente minimum : *0,002 m/m*

Le relèvement des eaux par pompage ne pourra dans certains cas être évité

- couverture minimale de la canalisation : *80 cm*

En dessous de cette valeur, la canalisation sera protégée par une dalle de répartition en béton pour éviter son écrasement sous les charges roulantes.

- regard de visite tous les *80 m* au maximum pour permettre un hydrocurage des réseaux ou une visite par caméra. Distance standard : *50m*

- regard à chaque changement de pente ou de direction

- vitesse maximum : *4 m/s* afin d'éviter l'abrasion des tuyaux.

Sinon, il est nécessaire d'adopter un tuyau en matériau résistant tel que la fonte ou le polyéthylène à haute densité.

- CONDITIONS D'AUTOCURAGE :

1. A pleine ou à demi-section : $V \geq 0,70 \text{ m/s}$ ou à l'extrême rigueur $0,50 \text{ m/s}$
(dans ce cas, le rapport des vitesses est égal à 1 donc on vérifiera que la vitesse pleine section est supérieure à $0,70 \text{ m/s}$)

2. Pour une hauteur d'eau égale au $2/10$ du \varnothing : $V \geq 0,30 \text{ m/s}$
(le rapport des vitesses étant égal à $0,6$, on vérifiera que $0,6 V_{PS} \geq 0,3 \text{ m/s}$)

3. La hauteur d'eau doit être égale aux $2/10$ du \varnothing , assuré par le débit moyen actuel.

(le rapport des débits étant égal à $0,12$, on vérifiera que $Q_{moyen} \geq 0,12 Q_{PS}$)

En pratique, on pourra considérer que l'autocurage est respecté si $V \geq 0,30 \text{ m/s}$ pour le débit journalier moyen actuel.

2.2. CANALISATIONS D'EAUX PLUVIALES OU UNITAIRES

Les contraintes de calage des canalisations d'eaux pluviales sont :

- diamètre minimum de *300 mm* pour éviter les risques d'obstruction.

- pente minimum : *0,003 m/m*

Le relèvement des eaux par pompage sera si possible évité car les débits d'eaux pluviales peuvent être importants.

- couverture minimale de la canalisation : 80 cm

En dessous de cette valeur, la canalisation sera protégée par une dalle de répartition pour éviter son écrasement sous les charges roulantes.

- regard de visite tous les 80 m au maximum pour permettre un hydrocurage des réseaux ou une visite par caméra.

- regard à chaque changement de pente ou de direction.

- vitesse maximum : 4 m/s afin d'éviter l'abrasion des tuyaux.

Sinon, il est nécessaire d'adopter un tuyau en matériau résistant tel que la fonte ou le polyéthylène à haute densité.

Il est donc important de vérifier la vitesse de l'eau dans les canalisations pour le débit de pointe à évacuer.

- CONDITIONS D'AUTOCURAGE :

1. Pour 1/10 du débit à pleine section : $V \geq 0,60$ m/s

(quand $r_Q = Q/Q_{PS} = 0,1$; $r_V = V/V_{PS} = 0,55$ donc on vérifiera que $V_{PS} \geq 1$ m/s)

2. Pour 1/100 du débit à pleine section : $V \geq 0,30$ m/s

Ces limites sont respectées avec des vitesses à pleine section de 1 m/s dans les canalisations circulaires et 0,90 m/s dans les ovoïdes.

3. - LES ABAQUES DE L'INSTRUCTION TECHNIQUE DE 1977

Elles représentent la relation de Chézy $V = C \sqrt{R_H \times I}$ complétée par la formule de

Bazin $C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R_H}}}$.

L'hypothèse est donc faite d'un écoulement uniforme, avec :

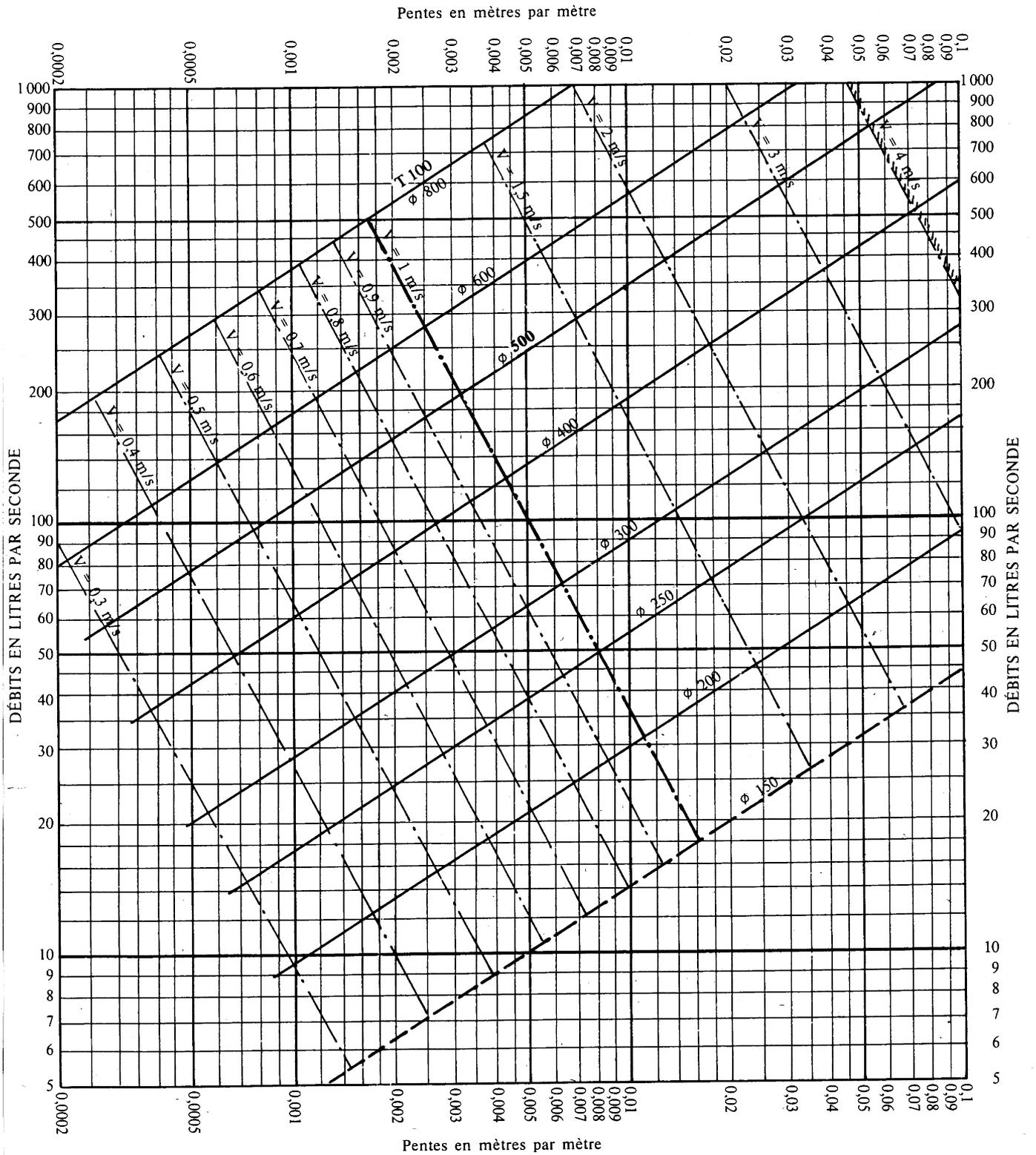
$\gamma = 0,25$ en eaux usées \Rightarrow abaque ab3

$\gamma = 0,46$ en eaux pluviales ou en unitaire \Rightarrow abaque ab4

Ces abaques sont construits pour le débit à pleine section avec :

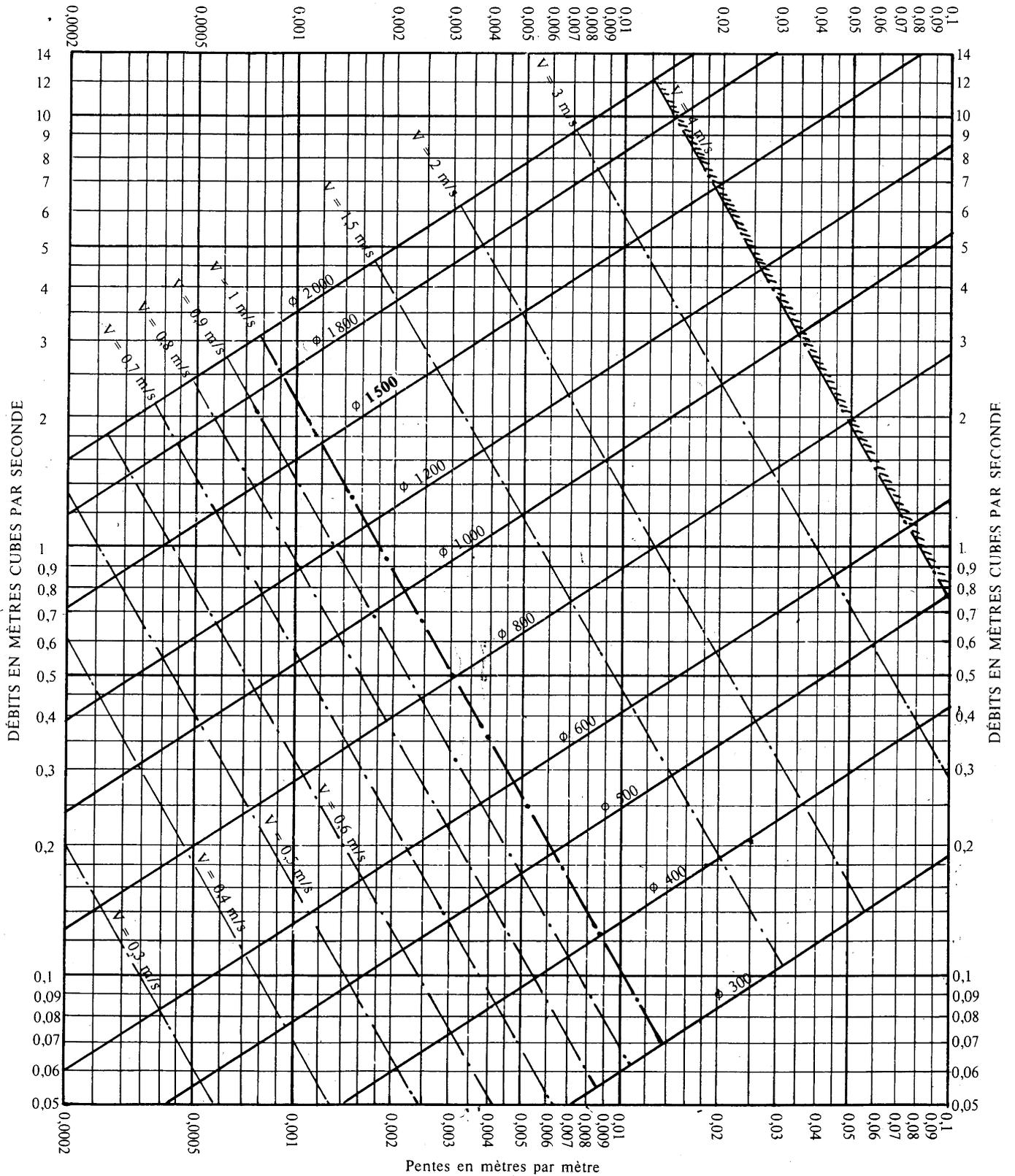
$$R_H = \frac{\left(\frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} \right)}{\pi \cdot \varnothing} = \frac{\varnothing}{4}$$

RÉSEAUX D'EAUX USÉES EN SYSTÈME SÉPARATIF



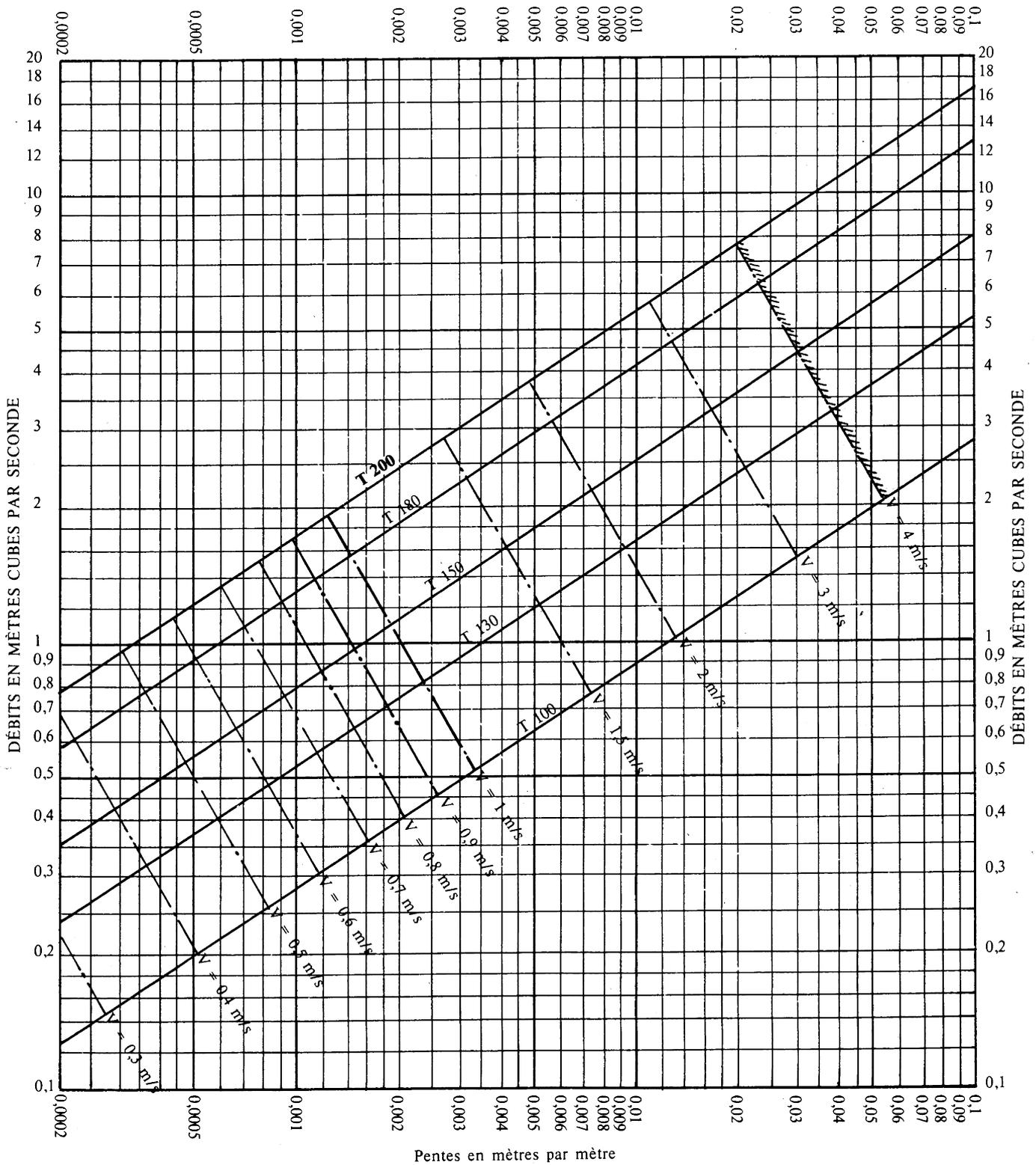
Nota. — La valeur du coefficient de Bazin a été prise égale à 0,25. Lorsque la pose des canalisations aura été particulièrement soignée, et surtout si le réseau est bien entretenu, les débits pourront être majorés de 20 % ($\gamma = 0,16$). A débit égal, les pentes pourront être réduites d'un tiers.

RÉSEAUX PLUVIAUX EN SYSTÈME UNITAIRE OU SÉPARATIF
(Canalisations circulaires)



Nota. - La valeur du coefficient de Bazin a été prise égale à 0,46. Lorsque la pose des canalisations aura été particulièrement soignée, et surtout si le réseau est bien entretenu, les débits pourront être majorés de 20 % ($V = 0,30$). A débit égal, les pentes pourront être réduites d'un tiers.

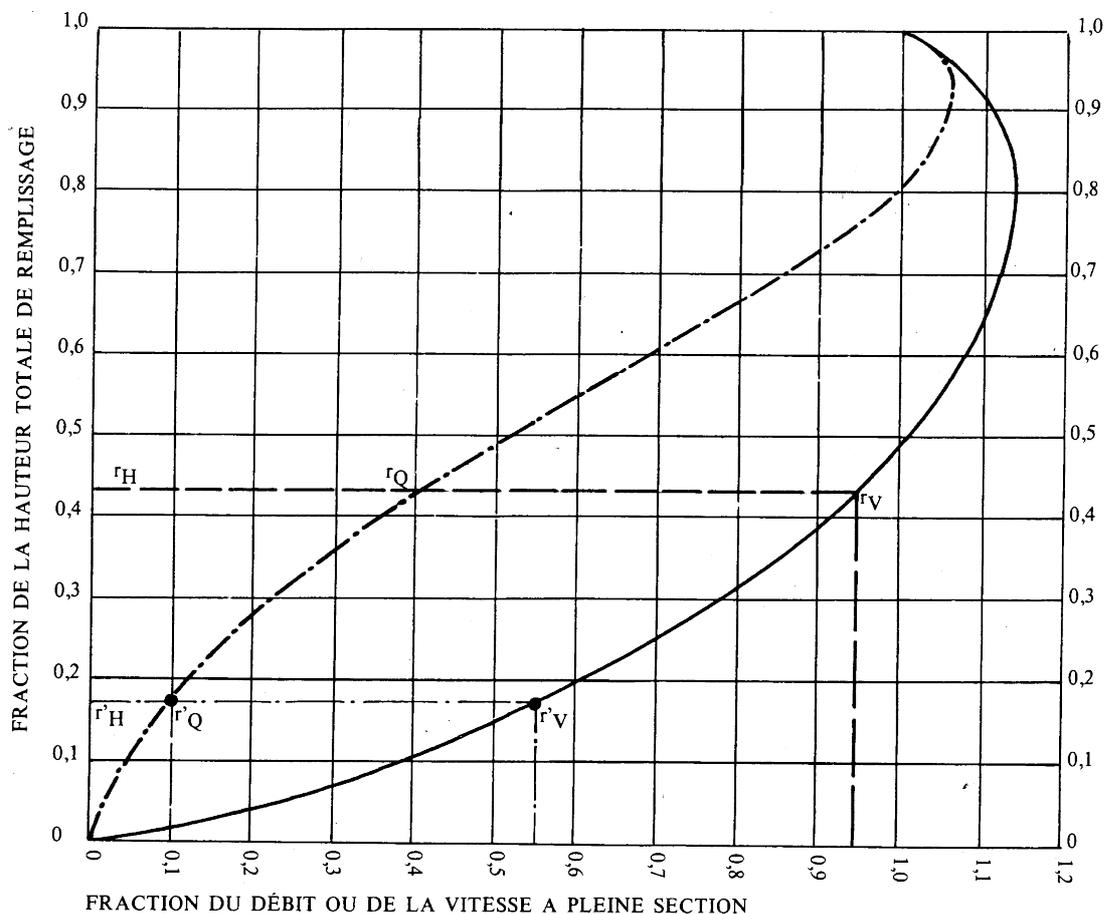
RÉSEAUX PLUVIAUX EN SYSTÈME UNITAIRE OU SÉPARATIF
(Canalisations ovoïdes)



Nota. - La valeur du coefficient de Bazin a été prise égale à 0,46. Lorsque la pose des canalisations aura été particulièrement soignée, et surtout si le réseau est bien entretenu, les débits pourront être majorés de 20 % ($\gamma = 0,30$). A débit égal, les pentes pourront être réduites d'un tiers.

VARIATIONS DES DÉBITS ET DES VITESSES EN FONCTION DU REMPLISSAGE

a) Ouvrages circulaires



MODE D'EMPLOI.

Les abaques Ab. 3 et Ab. 4 (a et b) utilisés pour le choix des sections d'ouvrages, compte tenu de la pente et du débit, permettent d'évaluer la vitesse d'écoulement à pleine section.

Pour l'évaluation des caractéristiques capacitaires des conduites, ou pour apprécier les possibilités d'autocurage, le nomogramme ci-dessus permet de connaître la vitesse atteinte en régime uniforme pour un débit inférieur à celui déterminé à pleine section.

Les correspondances s'établissent, soit en fonction de la fraction du débit à pleine section, soit en fonction de la hauteur de remplissage de l'ouvrage.

Exemples :

Pour $r_Q = 0,40$, on obtient $r_V = 0,95$ et $r_H = 0,43$.

Pour $Q_{ps}/10$, on obtient $r'_V = 0,55$ et $r'_H = 0,17$ (autocurage).

Nota. — Pour un débit égal au débit à pleine section, la valeur du rapport $r_Q = 1,00$ est obtenue avec $r_H = 0,80$.

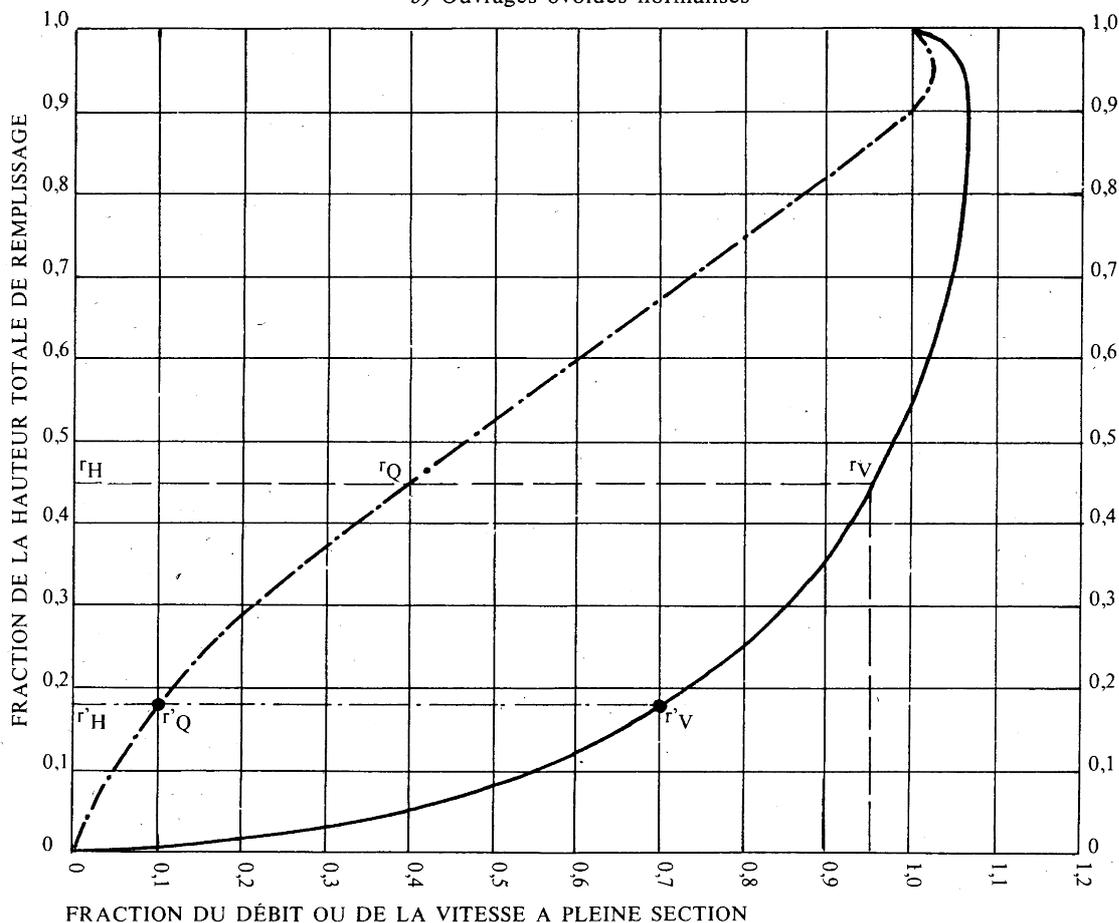
Le débit maximum ($r_Q = 1,07$) est obtenu avec $r_H = 0,95$.

La vitesse maximum ($r_V = 1,14$) est obtenue avec $r_H = 0,80$.

Ces dernières conditions d'écoulement à caractère assez théorique ne peuvent être obtenues que dans des conditions très particulières d'expérimentation.

VARIATIONS DES DÉBITS ET DES VITESSES EN FONCTION DU REMPLISSAGE

b) Ouvrages ovoïdes normalisés



MODE D'EMPLOI.

Les abaques Ab. 3 et Ab. 4 (a et b) utilisés pour le choix des sections d'ouvrages, compte tenu de la pente et du débit, permettent d'évaluer la vitesse d'écoulement à pleine section.

Pour l'évaluation des caractéristiques capacitaires des conduites, ou pour apprécier les possibilités d'autocurage, le nomogramme ci-dessus permet de connaître la vitesse atteinte en régime uniforme pour un débit inférieur à celui déterminé à pleine section.

Les correspondances s'établissent, soit en fonction de la fraction du débit à pleine section, soit en fonction de la hauteur de remplissage de l'ouvrage.

Exemples :

Pour $r_Q = 0,40$, on obtient $r_V = 0,95$ et $r_H = 0,45$.

Pour $Q_{ps}/10$, on obtient $r_V = 0,70$ et $r_H = 0,18$ (autocurage).

Nota. - Pour un débit égal au débit à pleine section, la valeur du rapport $r_Q = 1,00$ est obtenue avec $r_H = 0,90$.

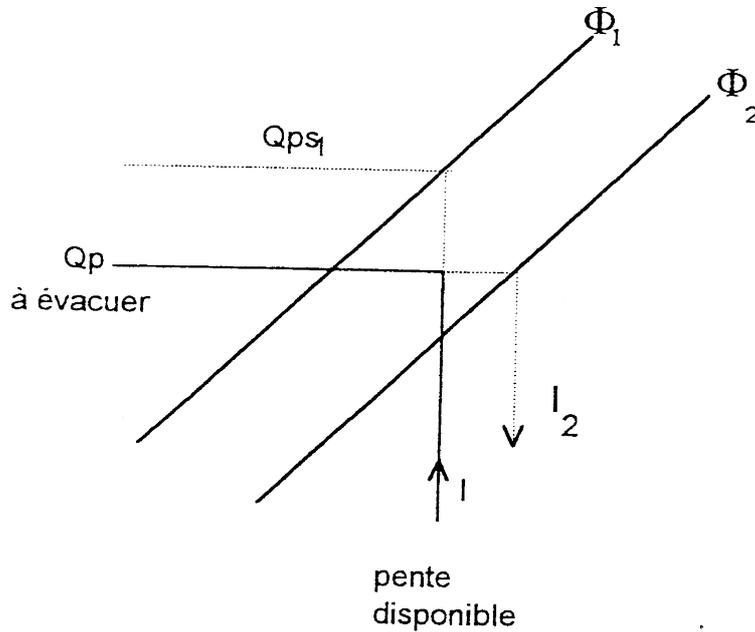
Le débit maximum ($r_Q = 1,03$) est obtenu avec $r_H = 0,95$.

La vitesse maximum ($r_V = 1,07$) est obtenue avec $r_H = 0,90$.

Ces dernières conditions d'écoulement à caractère assez théorique ne peuvent être obtenues que dans des conditions très particulières d'expérimentation.

3.1. UTILISATION DES ABAQUES

3.1.1. CHOIX DU DIAMETRE



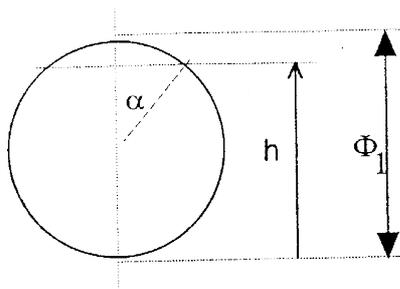
- choix par excès Φ_1 : le débit à pleine section est supérieur au débit de pointe à évacuer.

$$Q_{ps1} > Q_p$$

- choix par défaut Φ_2 : la pente nécessaire à l'écoulement à surface libre I_2 est supérieure à la pente disponible. Il en résulte un risque de mise en charge du réseau, ce qui doit être évité (remontée des eaux chez les riverains).

3.1.2. HAUTEUR DE REMPLISSAGE - VITESSE D'ÉCOULEMENT

Le choix du diamètre étant fait par excès, il peut être nécessaire de connaître la vitesse de l'écoulement ou la hauteur de remplissage h .



$$h = R + R \cos \alpha \text{ avec } R = \frac{\phi 1}{2}$$

Section mouillée :

$$S(\alpha) = \pi R^2 - \alpha R^2 + \frac{1}{2} R \cos \alpha \cdot 2 R \sin \alpha$$

$$= (\pi - \alpha + \cos \alpha \sin \alpha) R^2$$

Périmètre mouillé

$$p(\alpha) = 2\pi R - 2\alpha R = 2R(\pi - \alpha)$$

On en déduit le rayon hydraulique $R_H = \frac{S}{P}$ et la vitesse de l'écoulement

$$V(\alpha) = C \sqrt{R_H I}$$

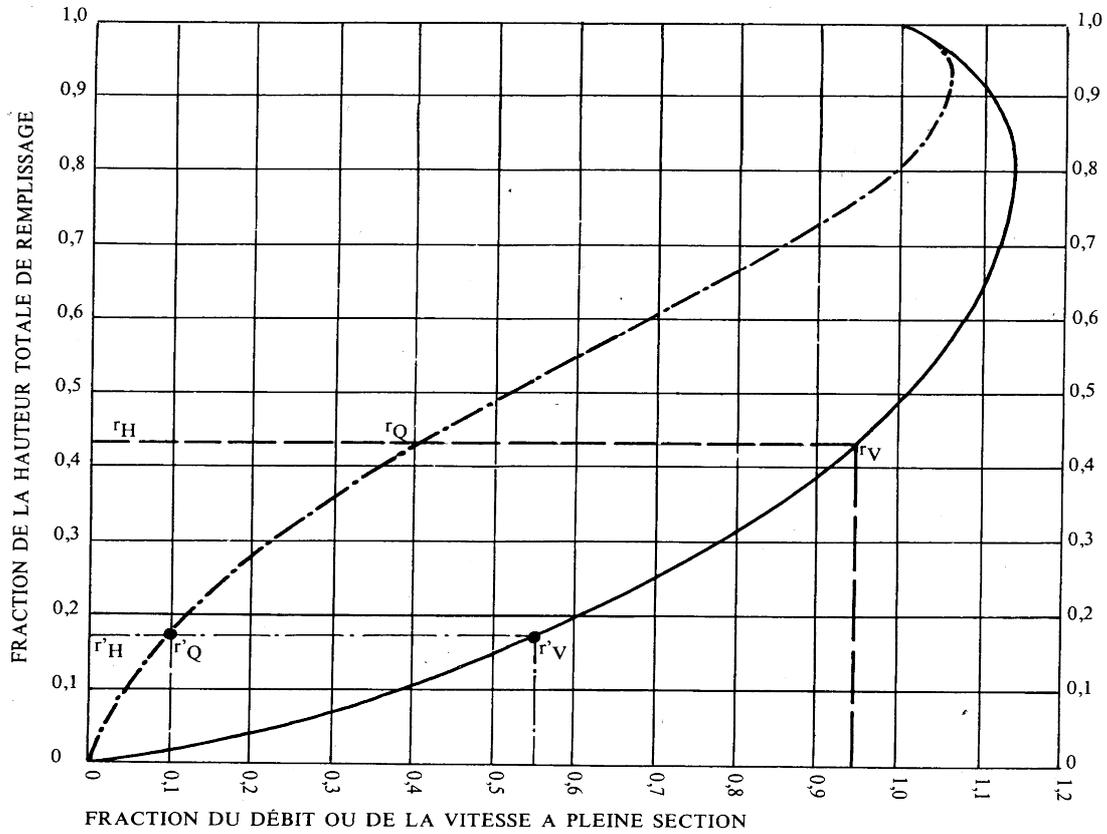
L'angle α est donné par l'équation :

$$Q(\alpha) = V S = Qp$$

Cependant l'abaque ab5 est d'une utilisation plus commode que le calcul pour résoudre un tel problème.

VARIATIONS DES DÉBITS ET DES VITESSES EN FONCTION DU REMPLISSAGE

a) Ouvrages circulaires



Q_{ps1} : débit à pleine section

Q débit à évacuer

$$r_Q = \frac{Q}{Q_{ps1}} \quad r_V = \frac{V}{V_{ps}} \quad \text{et} \quad r_H = \frac{h}{\phi 1}$$

Dans l'ensemble ci-contre :

$$r_Q = 0,40 \Rightarrow r_V = 0,95 \quad \text{et} \quad r_H = 0,42$$

3.1.3. DEBIT CAPABLE D'UNE CANALISATION D'EAUX USEES

Il s'agit du débit maximal que la canalisation peut évacuer obtenu par la relation $\frac{dQ}{d\alpha} = 0$

D'après l'abaque n°5, la valeur maximale de rQ est de 1,07. Le débit capable de la canalisation est donc :

$$Q_{MAX} = 1,07 Q_{PS}$$

Il correspond à une valeur de $r_H = 0,95$

$$\frac{R + R \cos \alpha}{2R} = 0,95 \quad \cos \alpha = 0,9 \quad \alpha \cong 26^\circ$$

Le débit maximal est obtenu pour un angle au centre $\alpha = 26^\circ$ et non pour la pleine section.