



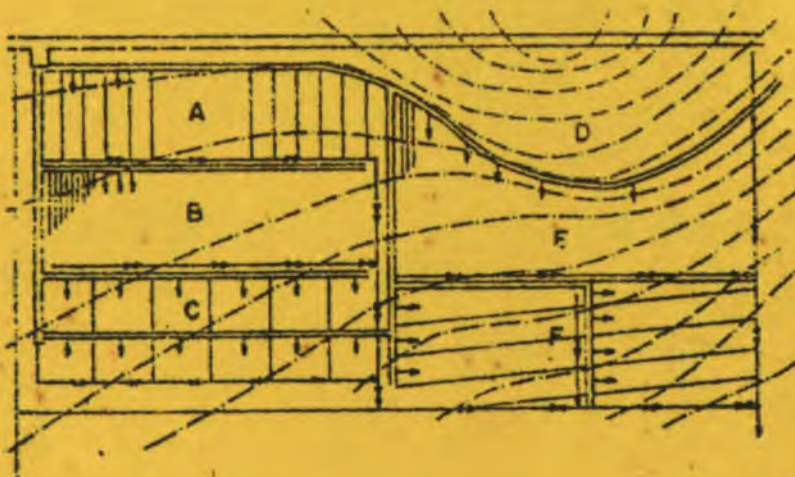
**IICA**

Représentation en Haïti  
P. B. 2020  
Port-au-Prince

Centro Interamericano de  
Documentación e  
Información Agrícola

3 04BR 1987

IICA - CIBIA



METHODES D'IRRIGATION

DES

PARCELLES CULTIVEES

par

R. Humberto PIZARRO C.

- A. Irrigation par planches dans un terrain nivelé
- B. Irrigation par rigoles droites dans un terrain nivelé
- C. Irrigation par bassin rectangulaire dans un terrain nivelé
- D. Terrain élevé non-irrigué
- E. Irrigation par rigoles suivant les courbes de niveau et micro-sillons
- F. Irrigation par bassin suivant les courbes de niveau.

Fig. V-14: Schéma d'un terrain agricole de topographie irrégulière irrigué par différentes techniques.

IICA<sup>PM</sup>  
A2/HT-  
86-033  
v.2

A2/HT 86 - 033

Vol II





**IICA**

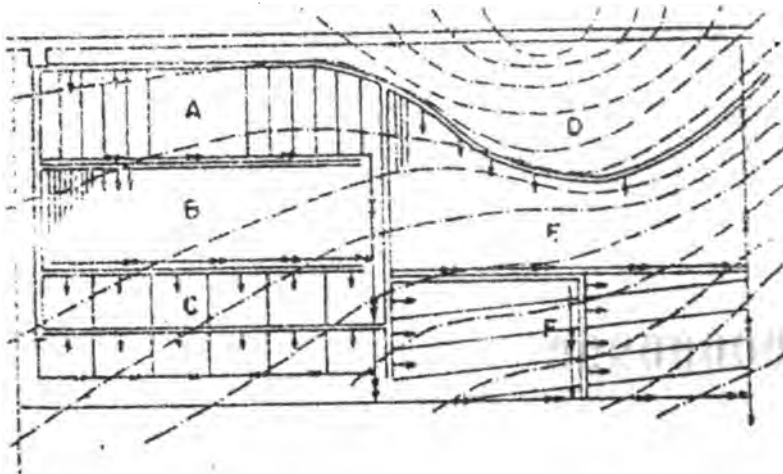
Représentation en Haiti  
P. B. 2000  
Port-au-Prince

IICA-07

Centro Interamericano de  
Documentación e  
Información Agrícola

3 0 ABR 1987

IICA — CIDIA



**METHODES D'IRRIGATION  
DES  
PARCELLES CULTIVEES**

par

**R. Humberto PIZARRO C.**

- A. Irrigation par planches dans un terrain nivelé
- B. Irrigation par rigoles droites dans un terrain nivelé
- C. Irrigation par bassin rectangulaire dans un terrain nivelé
- D. Terrain élevé non-irrigué
- E. Irrigation par rigoles suivant les courbes de niveau et micro-sillons
- F. Irrigation par bassin suivant les courbes de niveau.

Fig. V-14: Schéma d'un terrain agricole de topographie irrégulière irrigué par différentes techniques.

A2/HT 86 - 033

**DEUXIEME PARTIE**

L'Institut est l'organisme spécialisé en agriculture du système Interaméricain. Il fut fondé par les gouvernements américains afin de stimuler, de promouvoir et d'appuyer les efforts des Etats Membres, pour parvenir au développement agricole et obtenir le bien-être de la population rurale. L'Institut Interaméricain des Sciences Agricoles, établi le 7 octobre 1962, fut réorganisé et devint l'Institut Interaméricain de Coopération pour l'Agriculture par Convention ouverte à la signature des Etats Américains le 6 mars 1979 et qui entra en vigueur en décembre 1980.

11CA  
A2/HT  
86-033  
v. 2

~~83V-668051-V.2~~

00000896

## CHAPITRE VI

### APPLICATION DE L'EAU PAR SUBMERSION OU INONDATION

#### Généralités

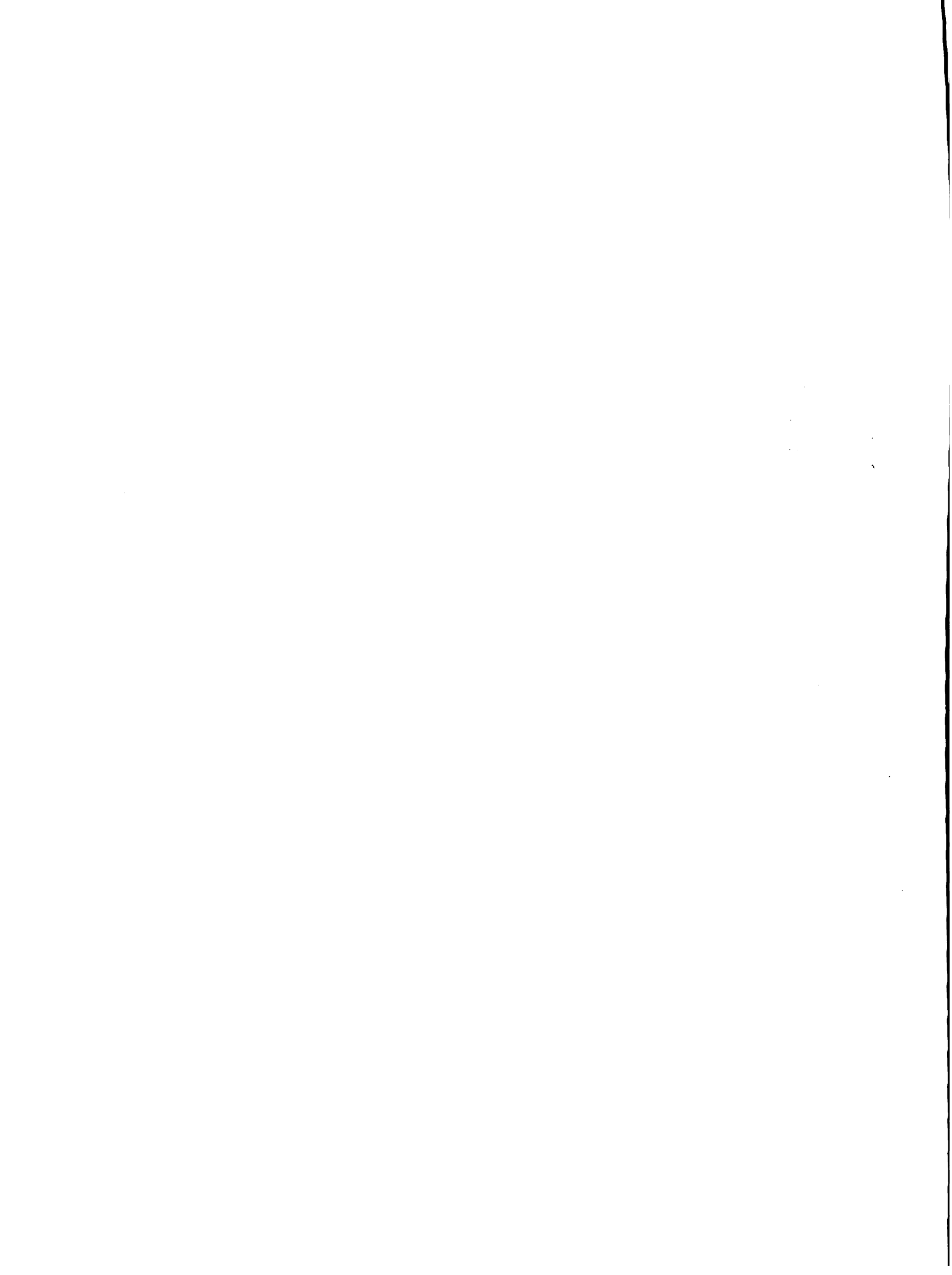
L'inondation ou submersion constitue la procédure la plus simple d'application de l'eau à la parcelle pouvant rendre au sol toute l'eau consommée par l'évapotranspiration. Ainsi, le sol est recouvert d'une lame d'eau pendant le temps nécessaire à une pénétration en profondeur utile.

L'efficacité d'application est faible dans cette méthode, car pour arriver à irriguer comme il convient toute la longueur de l'unité parcellaire d'irrigation on doit, d'une part accepter des pertes par percolation à l'amont (elles seront plus importantes au fur et à mesure que la pente longitudinale et le débit augmentent) et d'autre part, par ruissellement à l'aval. Parfois, pour éviter celles-ci, il est nécessaire d'ajouter une longueur supplémentaire aux unités parcellaires d'irrigation.

L'eau est appliquée sur l'unité parcellaire d'irrigation à partir d'un canal. L'eau avance librement grâce à la pente. Cette méthode est surtout utilisée pour l'irrigation des pâturages, des vergers, des prairies et des céréales. Pour éviter l'érosion, le débit d'eau appliquée doit être contrôlé de près, pour cela une structure de régulation de niveau sera placée dans le canal d'alimentation. Le débit doit varier entre 0.7 et 1.0 l/s - Ha. Cette méthode ne convient pas aux sols profonds et sablonneux.

#### 6.1 Submersion par digues ou irrigation par calants

Dans cette méthode d'application de l'eau à la parcelle on utilise des digues parallèles qui vont guider la lame d'eau. Celle-ci est maintenue dans le bassin jusqu'à son infiltration complète, sinon l'eau est drainée après un temps plus ou moins long. L'avancement de la lame d'eau est favorisé par la faible pente longitudinale. La longueur de l'unité parcellaire



d'irrigation peut varier entre 100 et 800 m et sa largeur entre 3 et 30 m, tandis que la pente sera très faible ou nulle dans le sens transversale. Cette méthode convient aux grandes étendues pour lesquelles le débit d'application doit être fort.

La vitesse d'infiltration joue un rôle très important dans l'irrigation par calants. La pénétration de l'eau dans le sol dépend entièrement de la pente longitudinale, du débit et de la vitesse d'application. Dans les sols sablonneux à vitesse d'infiltration forte et à faible capacité de rétention d'eau, le débit doit être grand pour pouvoir faciliter l'infiltration de minces lames d'eau uniformes. Par contre, les sols argileux à faible vitesse d'infiltration et à grand pouvoir de rétention d'eau, l'écoulement doit durer plus longtemps afin de faciliter l'infiltration. Pour éviter l'érosion on doit limiter la vitesse superficielle, laquelle est contrôlée par la largeur et la longueur de l'unité parcellaire d'irrigation, la pente longitudinale, la rugosité de la surface ainsi que le débit d'application.

#### 6.1.1 L'effet de la pente dans l'irrigation par submersion

Dans la direction de l'écoulement la pente doit être faible et uniforme. On doit à tout prix éviter son raidissement qui peut entraîner une accélération de l'écoulement, lequel peut être à l'origine de l'érosion et d'une mauvaise distribution de l'eau. Pour faciliter la distribution de l'eau à travers la largeur du calant, la partie en amont située à proximité immédiate du canal doit avoir une pente nulle. Pour éviter les pertes par ruissellement superficiel on peut rendre nulle les 30 ou 50 derniers mètres de pente dans la longueur du calant (cette solution peut être adaptée aux sols perméables disposant d'un bon drainage interne, mais ne convient pas aux sols argileux à faible perméabilité).

La pente longitudinale peut varier entre 0,2 et 0,3 %. Les pentes les plus faibles conviennent surtout aux cultures à racines profondes telles que la luzerne. Les pentes les plus fortes conviennent mieux aux cultures dont les racines sont peu profondes et par conséquent nécessitent des applications plus





fréquentes (pâturages).

En ce qui a trait à la pente transversale, elle doit être nulle ou très faible afin d'éviter l'érosion et une mauvaise distribution de l'eau à travers la largeur du calant. Les digues sont tracées perpendiculairement aux courbes de niveau du terrain. Si pour une raison ou pour une autre il n'est pas possible de réaliser le nivellement d'un terrain, la différence de niveau tolérable sera le quart de la lame d'eau à appliquer à l'intérieur du calant.

#### Exemple

Si dans une pente transversale de 0,2 % la lame d'eau à appliquer est de 0.12 m; la différence de niveau tolérable est de 0.03 et l'écartement entre chaque digue sera:

$$0.03 \text{ m} / 0.002 = 15 \text{ m.}$$

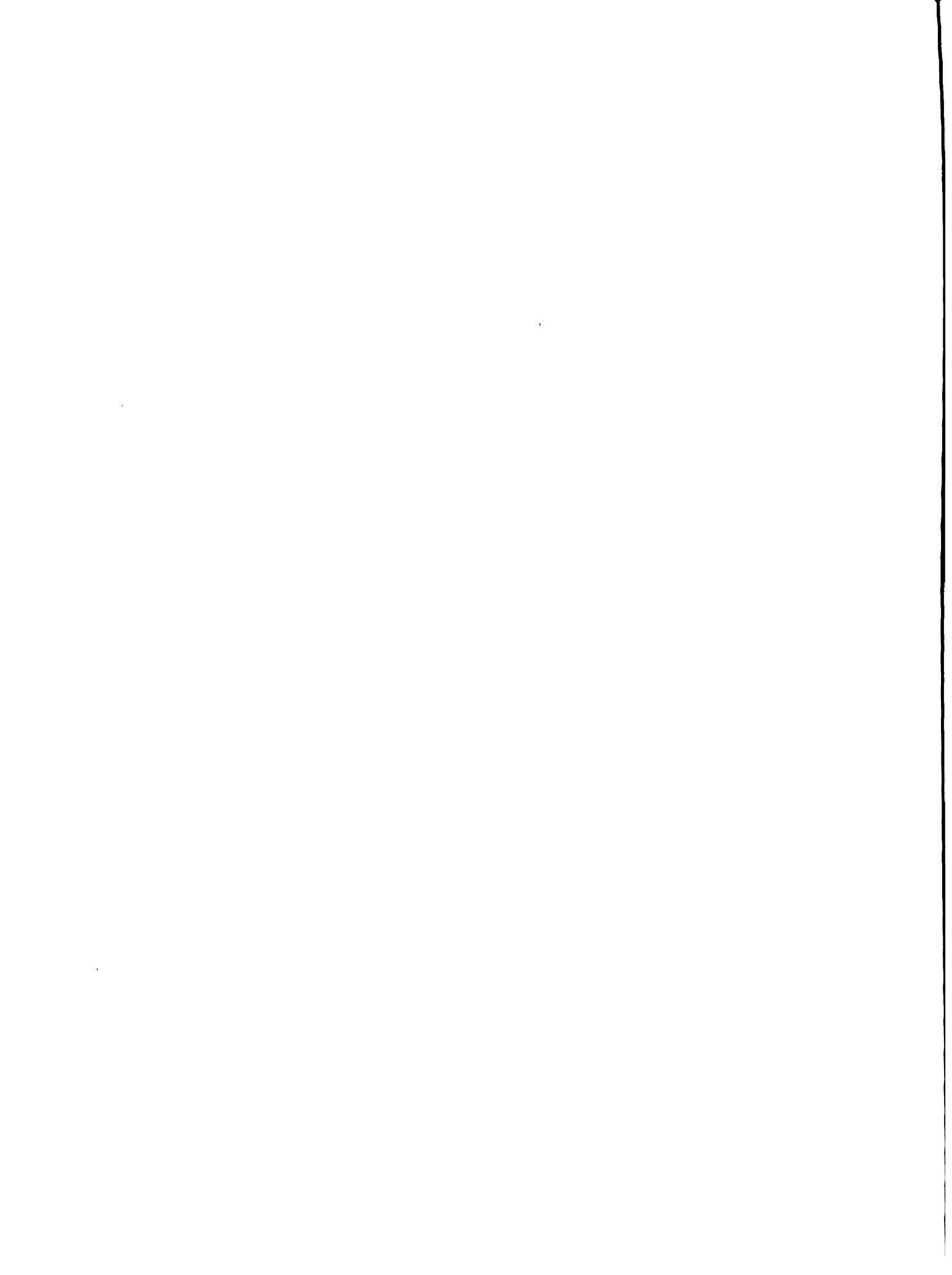
#### 6.1.2 La largeur du calant

La largeur du calant est limitée par la topographie. Lorsque l'on est en présence d'un terrain plat, celle-ci peut varier entre 15 à 20 m. Elle diminue au fur et à mesure que la pente augmente.

Dans les terrains où l'agriculture est mécanisée, la largeur du calant doit être un multiple de celle de la machine utilisée pour effectuer les travaux .

#### 6.1.3 Le débit disponible

Le débit employé pour irriguer les calants est exprimé en litre par seconde par mètre de largeur (débit unitaire). Le débit d'application dans le calant est égal au produit du débit unitaire multiplié par la largeur du calant.



Pour avoir une bonne distribution de l'eau, on déclenche l'irrigation avec un débit constant. Une fois que l'eau a atteint les trois quart de la longueur du calant on arrête l'écoulement et le ruissellement superficiel fera le reste du travail. Les essais in situ permettront de définir la longueur du calant selon la pente et le débit disponible.

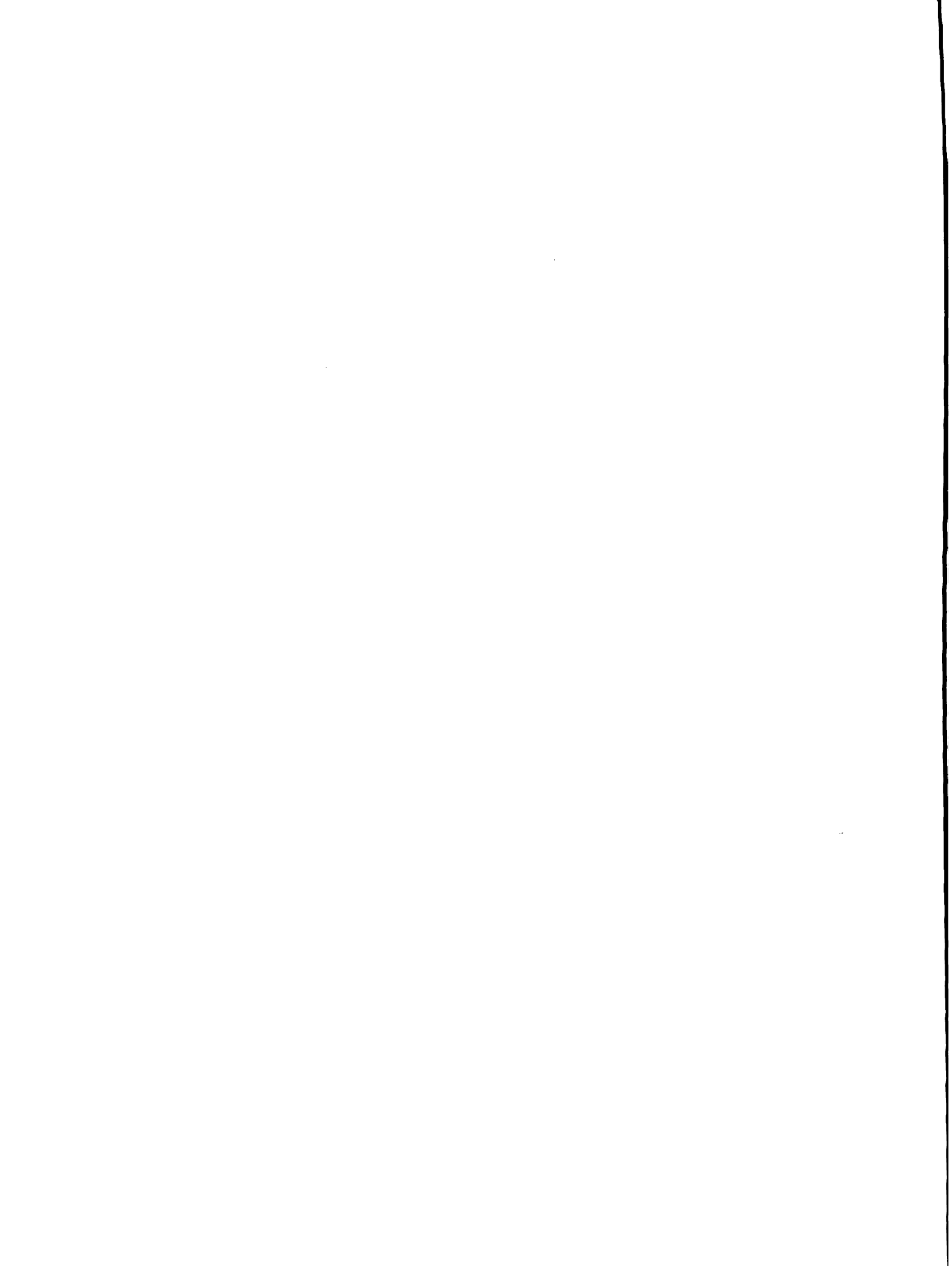
#### 6.1.4 Dimensions des digues

Les digues servent à guider l'écoulement sur l'unité parcellaire d'irrigation, leur hauteur doit être suffisante pour emmagasiner la lame d'eau sans gêner les travaux de culture. Les digues sont en forme trapezoïdale de 0,6 m à 2 m pour la base inférieure. La hauteur varie entre 0,12 et 0.20 m. Les digues peuvent être permanentes pour la luzerne et les pâturages et temporelles pour les céréales.

Pour construire les digues on trace d'abord l'emplacement sur le terrain puis on enlève la terre superficielle dans toute la largeur du calant, pour la déposer à la place de la digue. Celle-ci sera compactée à mesure qu'on lui donne sa forme et ses dimensions.

#### 6.1.5 Contrôle du débit

Pour que l'irrigation soit efficiente il est nécessaire d'avoir un bon contrôle du débit. L'appareil utilisé doit pouvoir fournir le débit requis, permettre d'éviter les fuites et être de manipulation facile. Le débit peut être acheminé vers le calant en perçant le canal ou en y plaçant un tuyau. Les dispositifs de captage de l'eau peuvent être structurés en bois ou en béton, équipés de vannes ou de tuyaux pourvus de portes coulissantes. On peut aussi utiliser des siphons démontables.



## 6.2 Dimensionnement de l'irrigation par submersion

### 6.2.1 Calcul de la lame d'eau à appliquer au sol par l'irrigation

$$d = \frac{CC - TC}{100} \cdot DV \times H \quad (37)$$

Où:

d = Lame d'eau à appliquer par l'irrigation

CC = Capacité au champ (en pourcentage)

TC = Teneur en eau critique\*, (en pourcentage)

DV = Densité volumétrique du sol

H = Profondeur du sol à irriguer (profondeur effective des racines)

D'après l'équation d'infiltration cumulée nous avons:

$$D = CT^m = d ; \quad T = \left(\frac{d}{c}\right)^{1/m} \quad (38)$$

Où:

D = Infiltration cumulée

T = Temps d'infiltration

m = Paramètre de la fonction d'infiltration, égal à la pente de la relation

$$D = f(T)$$

---

\* Teneur en eau dans le sol à laquelle il faut déclencher l'irrigation pour obtenir la productivité optimale.



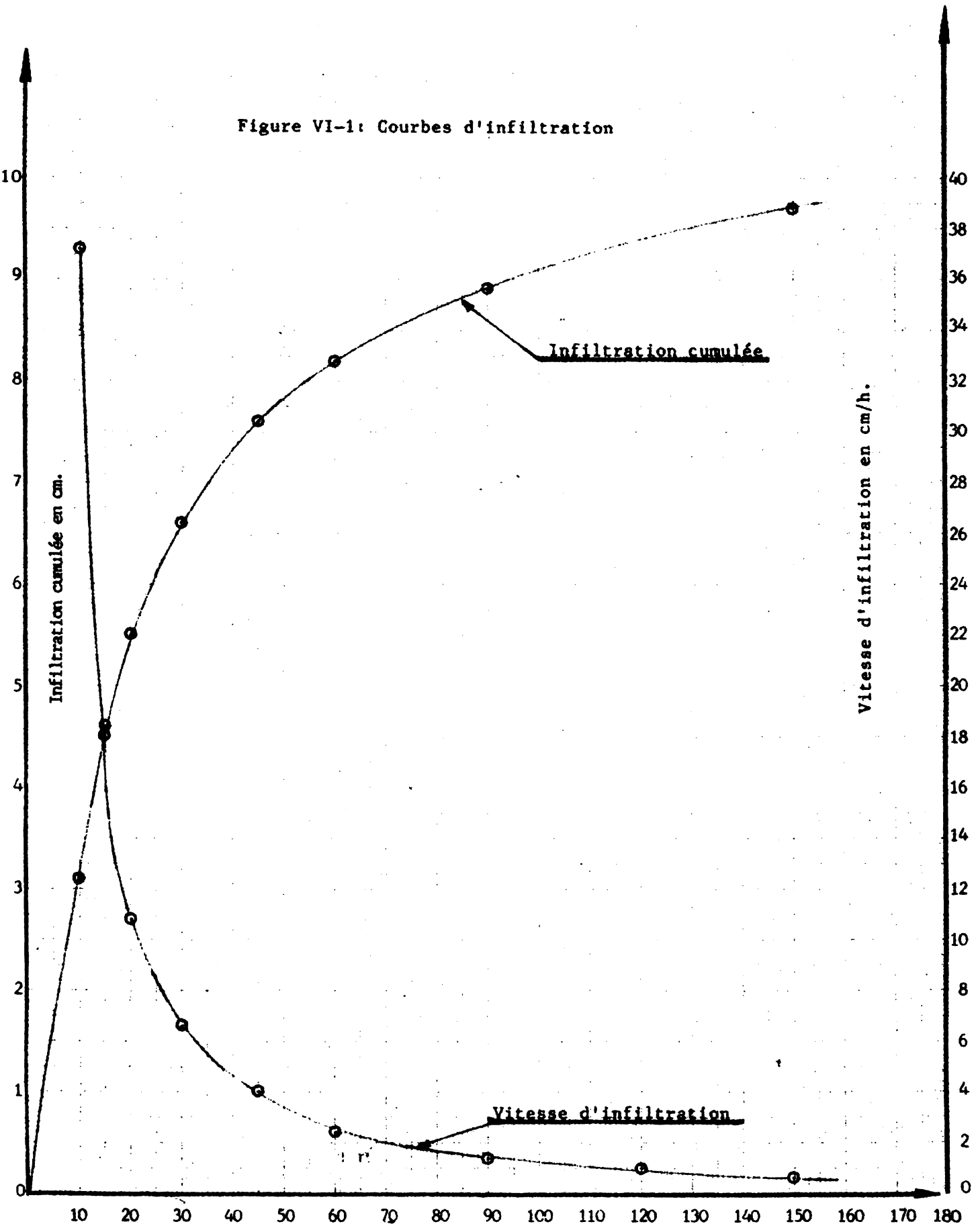
## 6.2.2 Test d'infiltration

Temps (T) (min.)	Temps partiel (min.)	Hauteur d'eau (cm)	Infiltration partielle (cm)	Lame d'eau infiltrée (cm)
5		13.2		
	5		3.1	3.1
10		10.1		
	5		1.5	4.6
15		8.6		
	5		0.9	5.5
20		7.7		
	10		1.1	6.6
30		6.6		
	15		1.0	7.6
45		5.6		
	15		0.6	8.2
60		5.0		
	30		0.7	8.9
90		4.3		
	30		0.5	9.4
120		3.8		
	30		0.3	9.7
150		3.5		
	50		0.4	10.1
200		3.1		





Figure VI-1: Courbes d'infiltration





C = La valeur de l'infiltration cumulée pour T = 1

La longueur optimale de l'unité parcellaire d'irrigation est estimée comme étant l'équivalent de la longueur parcourue par l'écoulement dans un quart du temps nécessaire à l'infiltration de la lame d'eau pour rendre au sol l'eau évapotranspirée.

### 6.3 Exemple de dimensionnement de l'unité parcellaire pouvant être irriguée par submersion

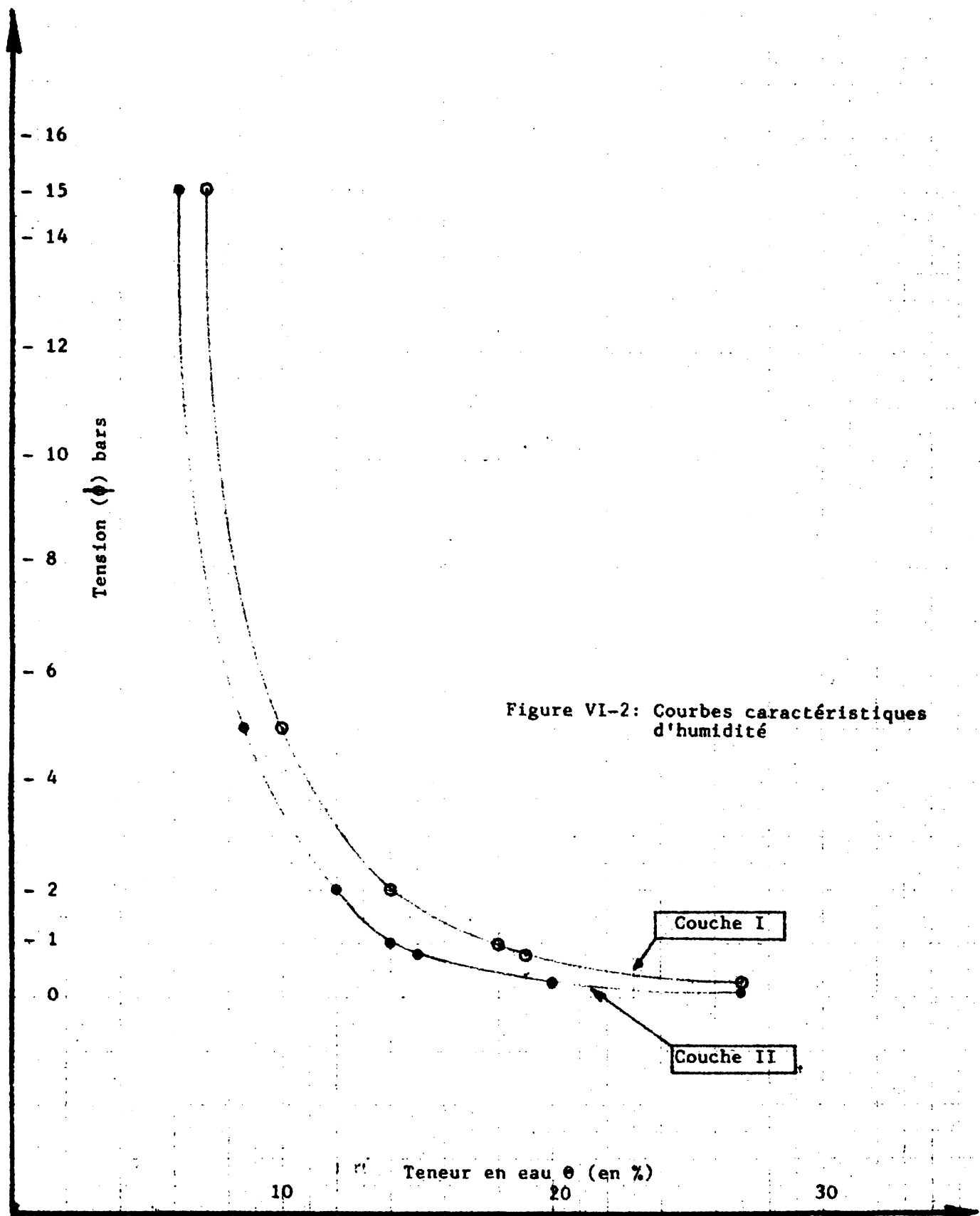
#### 6.3.1 Données de base du terrain à irriguer

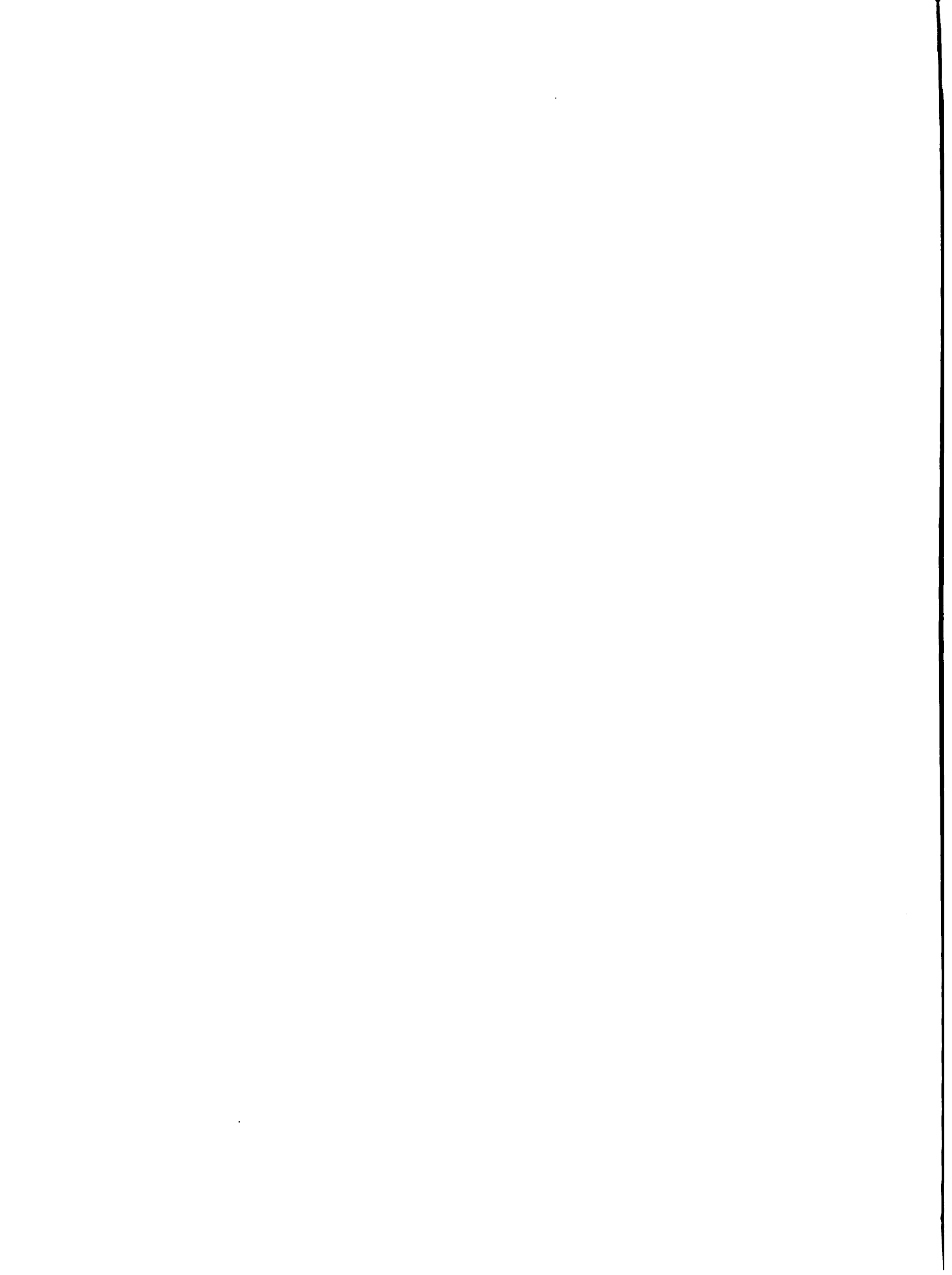
Couche du Sol	Epaisseur (m)	Densité Volumétrique	Texture
I	0.40	1.22	Limoneuse
II	0.60	1.35	Limono-sablonneuse

#### 6.3.2 Test de rétention d'Humidité

Potentiel matriciel Bars	Teneur en eau (θ %)	
	Couche I	Couche II
- 0.1	39	27
- 0.3	27	20
- 0.8	19	15
- 1.0	18	14
- 2.0	14	12
- 5.0	10	8.6
-15.0	7.2	6.2







### 6.3.3 Test d'avancement et de récession

Distance à partir de l'origine (m)	Temps d'arrivée de l'eau au point indiqué par la distance (min.)	Temps de disparition sur la surface (min.)
0	0	180
50	10	195
100	25	210
150	50	225
200	80	240
250	120	255
300	180	270

### 6.3.4 Autres données

Débit d'application:  $Q = 450 \text{ l/s}$

Temps total d'application: 180 minutes

Longueur de l'unité parcellaire d'irrigation pour l'essai: 300 m

Largeur de l'unité parcellaire d'irrigation pour l'essai: 80 m

Irrigation précédente: 20 jours d'avance

Besoins consommatives 7 mm/jour

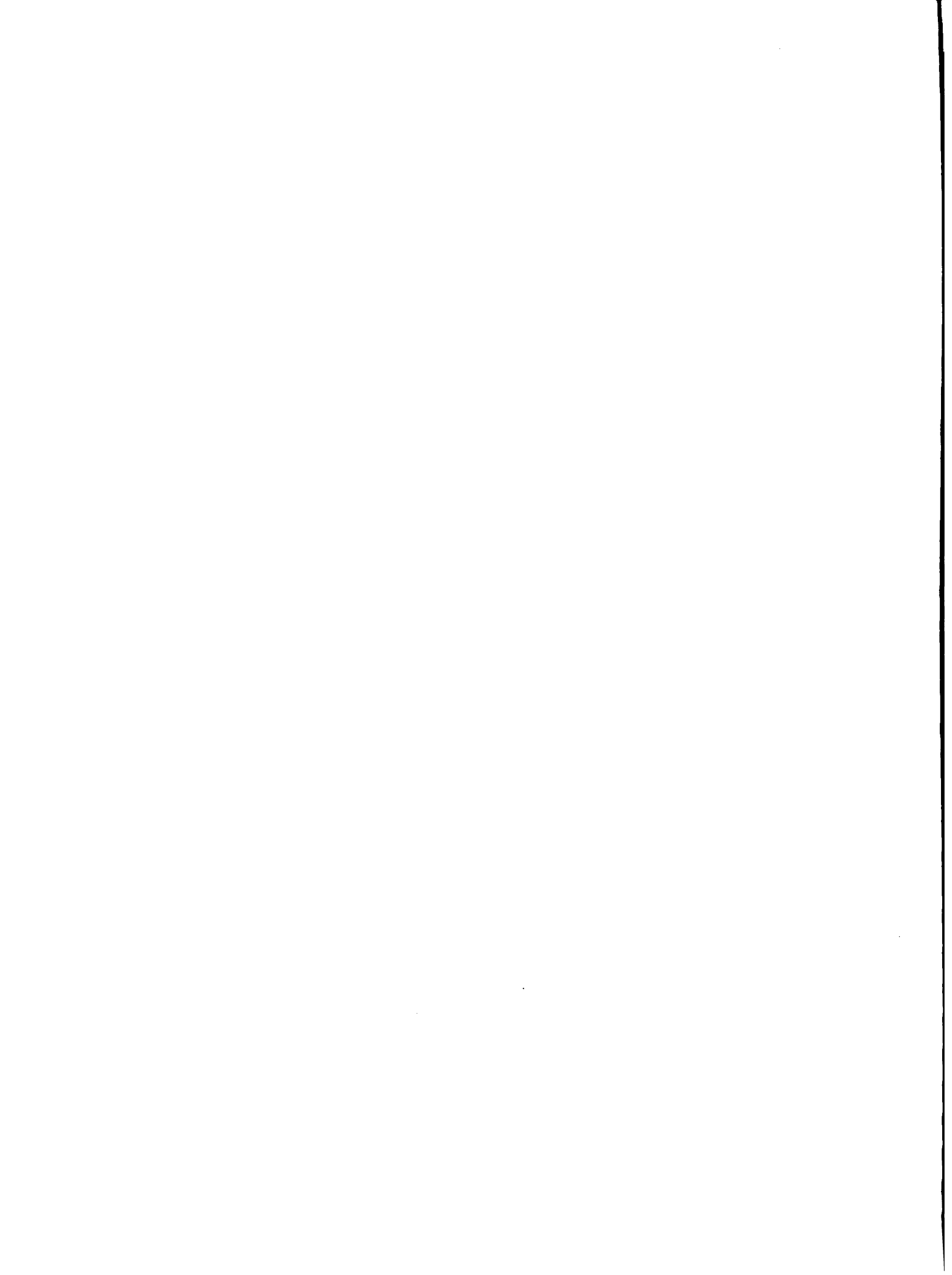
Distribution des racines, couche I: 60 %

couche II: 40 %.

Les plantes, après avoir atteint leur croissance maximale, les racines absorbent l'eau de manière similaire dans les deux couches.

Dans la solution du problème il faut tenir compte:

- de la fréquence d'irrigation qui doit se faire en fonction de la teneur en eau de chaque couche ( $\theta$  en %) et en fonction de l'énergie ( $\phi$ ),
- des besoins consommatives;
- de l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation.





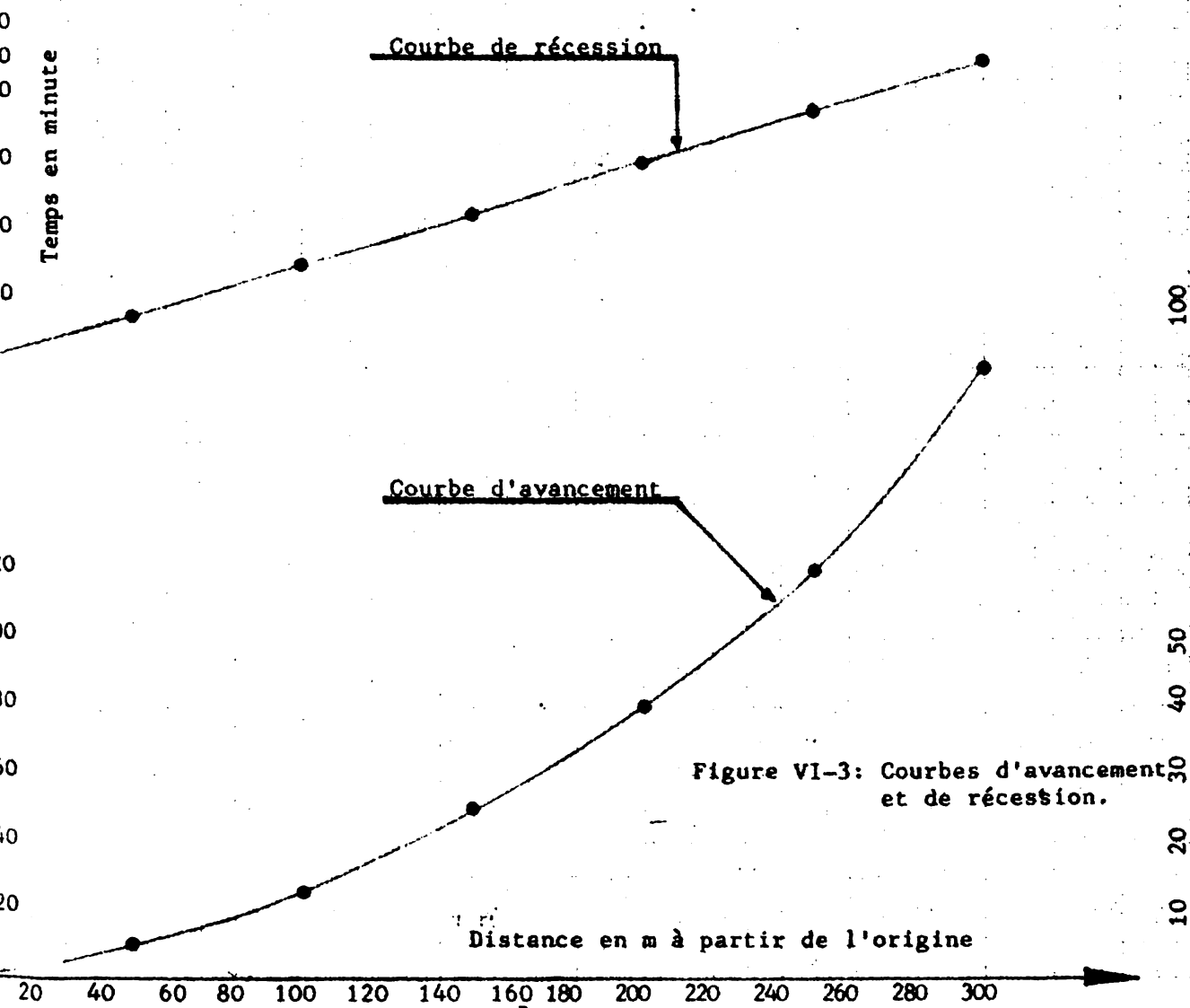
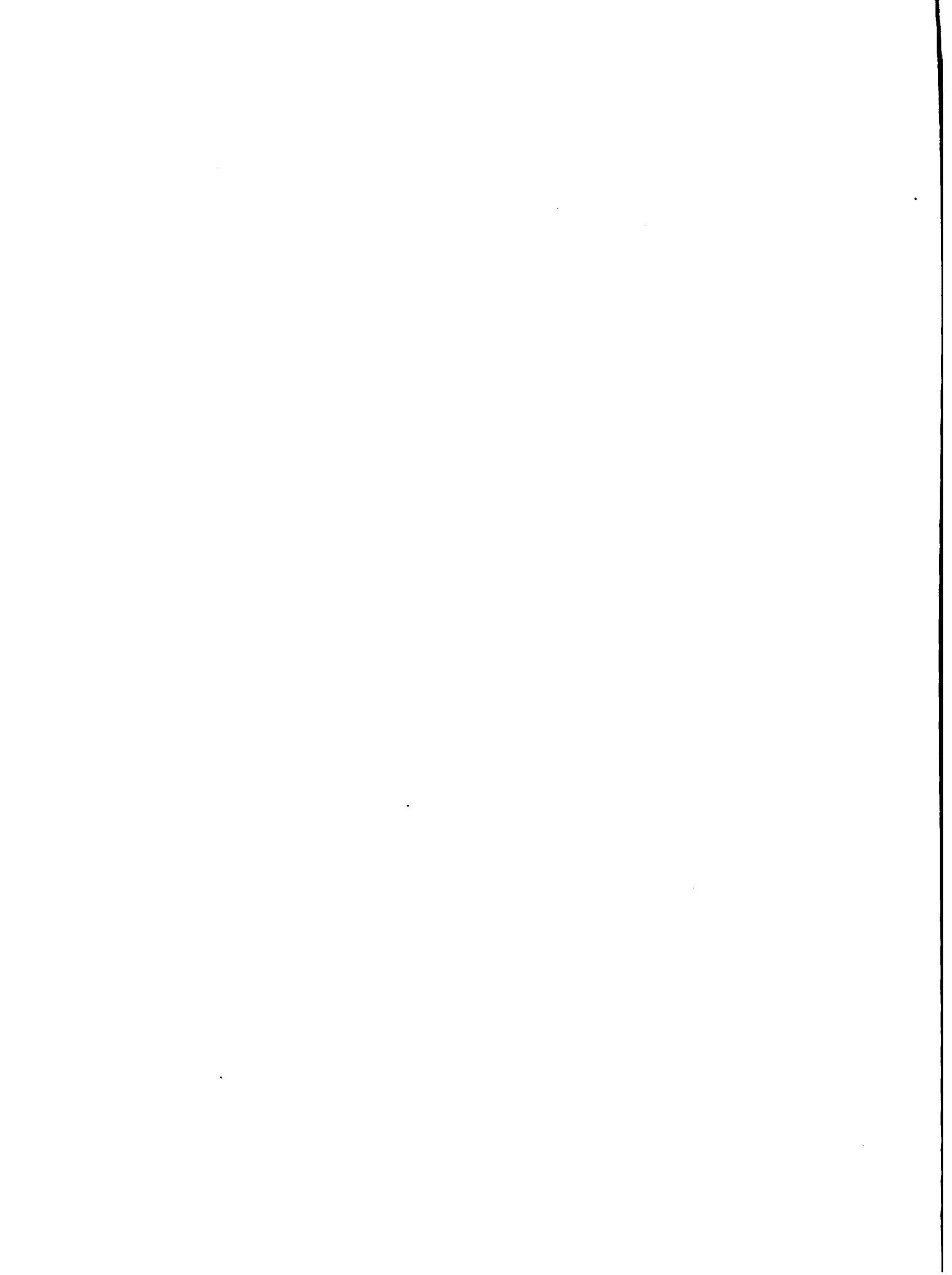


Figure VI-3: Courbes d'avancement et de récession.



## Solution

Teneur en eau ( $\theta$ ) ou Capacité au champ

	- 15 bars	h(mm)
Couche I	27	131.8
Couche II	20	162.20

Calcul de la teneur en eau

Pour la couche I

$$h = 0.27 \times 1.22 \times 0.4 \text{ m} = 131.8 \text{ mm}$$

Pour la couche II

$$h = 0.20 \times 1.35 \times 0.6 \text{ m} = 162 \text{ mm}$$

Les besoins consommifs sont 7mm/jour soit 140 mm pour 20 jours. Au moment de l'opération d'irrigation, la teneur en eau résiduelle sera:

Pour la couche I

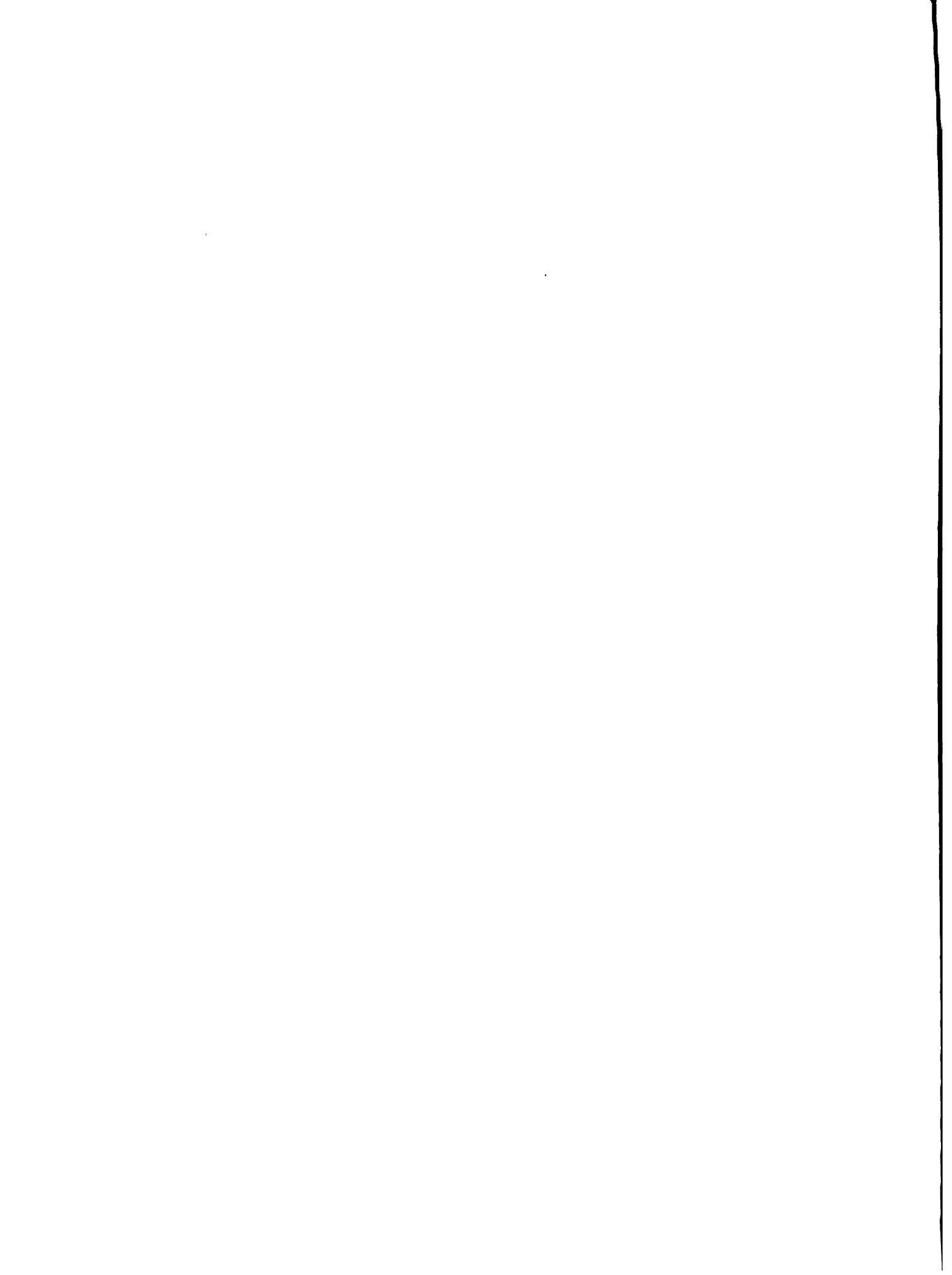
La lame d'eau consommée sera:

$$140 \text{ mm} \times 0.6 = 84 \text{ mm}$$

La capacité au champ sera 131.8 mm

L'eau résiduelle

$$131.8 - 84 = 47.8 \text{ mm}$$



- Pour la couche II

L'eau consommée sera:

$$140 \times 0.4 = 56 \text{ mm}$$

La capacité au champ sera 162 mm.

L'eau résiduelle sera:

$$162 - 56 = 106 \text{ mm.}$$

Teneur en eau au moment du déclenchement:

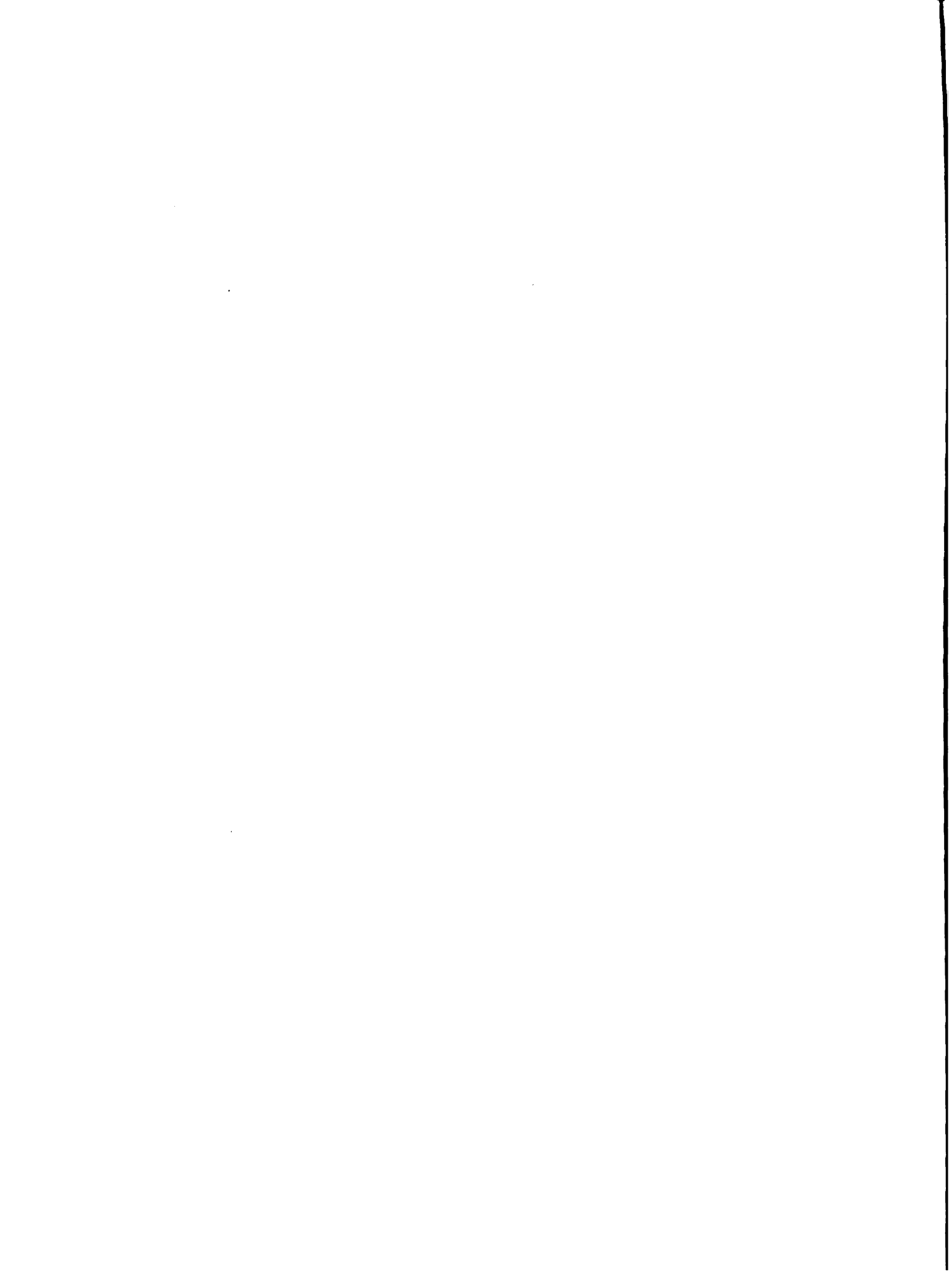
$$\theta_1 = \frac{h \times 100}{Dv \times H} = \frac{47.8 \times 100}{1.22 \times 0.4} = \frac{4\ 780}{488} = 9.795 \approx 9.8 \%$$

$$\theta_2 = \frac{106 \times 100}{1.35 \times 0.6} = \frac{10\ 600}{810} = \frac{1\ 060}{81} = 13.086 \approx 13.09 \%$$

Pour déterminer l'énergie correspondante aux valeurs de la teneur en eau trouvées on utilise la courbe de la figure VI-2, d'où l'on tire que pour la couche I:  $\theta_1 = 9.8 \%$ ;  $\phi_1 = -5.5$  bars et pour la couche II:  $\theta_2 = 13.08 \%$ ;  $\phi = -1.4$  bars. Les valeurs d'énergie obtenues permettent de déduire que les plantes sont soumises au stress, ce qui va compromettre la productivité. Pour cela, il convient de déclencher l'irrigation dès que la teneur en eau du sol est 50 % de l'humidité disponible, soit:

- Pour la couche I

$$h_1 = \frac{(27 - 7.2)}{100} \times 1.22 \times 400 \times 0.5 = 48.3 \text{ mm}$$



Eau résiduelle:

$$131.8 - 48.3 = 83.5 \text{ mm}$$

La teneur en eau volumétrique  $\theta_1$  sera:

$$\theta_1 = \frac{83.5 \times 100}{1.22 \times 400} = \frac{8.350}{488} = 17.11 \%$$

$$\phi_1 = 1.15 \text{ bars}$$

- Pour la couche II

$$h_2 = \frac{(20 - 6.2)}{100} \times 1.35 \times 600 \times 0.5 = 0.138 \times 405 = 55.89 \text{ mm}$$

L'eau résiduelle:

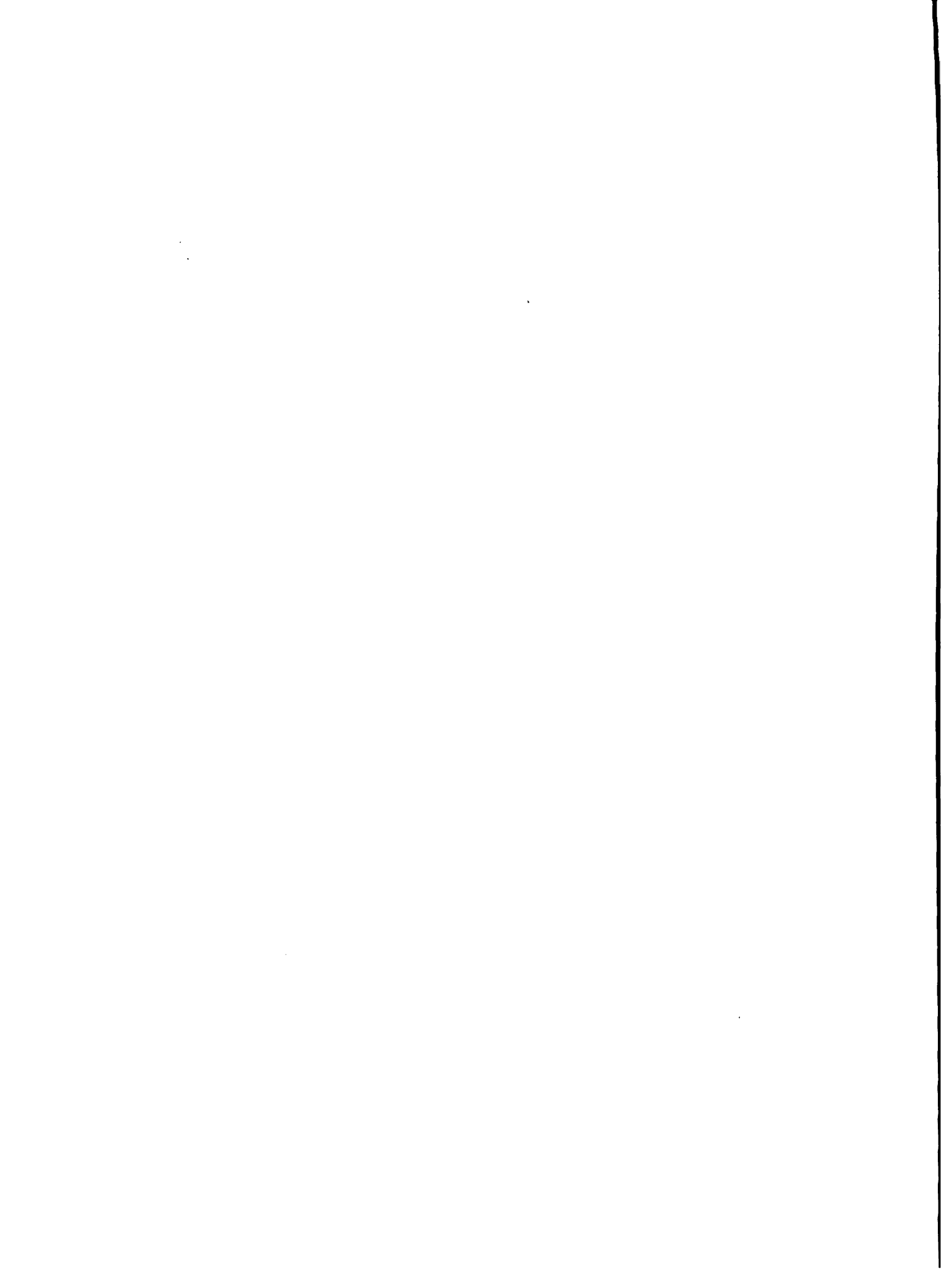
$$162.0 - 55.9 = 106.1 \text{ mm}$$

La teneur en eau volumétrique  $\theta_2$  sera:

$$\theta_2 = \frac{106.1 \times 100}{810} = \frac{106.1}{8.1} = 13.09 \%$$

$$\phi_2 = -1.4 \text{ bars}$$

Le résultat permet de constater que les 60 % des racines qui se trouvent dans la première couche ont subi une nette amélioration. Les racines de la couche II seront soumises au stress vu que leur teneur en eau n'a pas varié.





En outre, on peut remarquer que c'est dans la couche I que se trouve 60 % des racines et c'est là également que se réalise la plus grande partie de l'évapotranspiration. La couche II constitue un facteur limitant et c'est en fonction d'elle que l'irrigation doit être planifiée, en tenant compte de la teneur en eau, du profil du sol et de la consommation d'eau.

Supposons que l'on décide d'irriguer tous les 10 jours, la lame d'eau totale consommée sera:

$$7 \text{ mm/jour} \times 10 \text{ jours} = 70 \text{ mm}$$

La consommation dans la couche I sera:

$$70 \times 0.6 = 42 \text{ mm}$$

L'eau résiduelle dans la couche I

$$131.8 - 42 = 89.8$$

La teneur en eau correspondante:

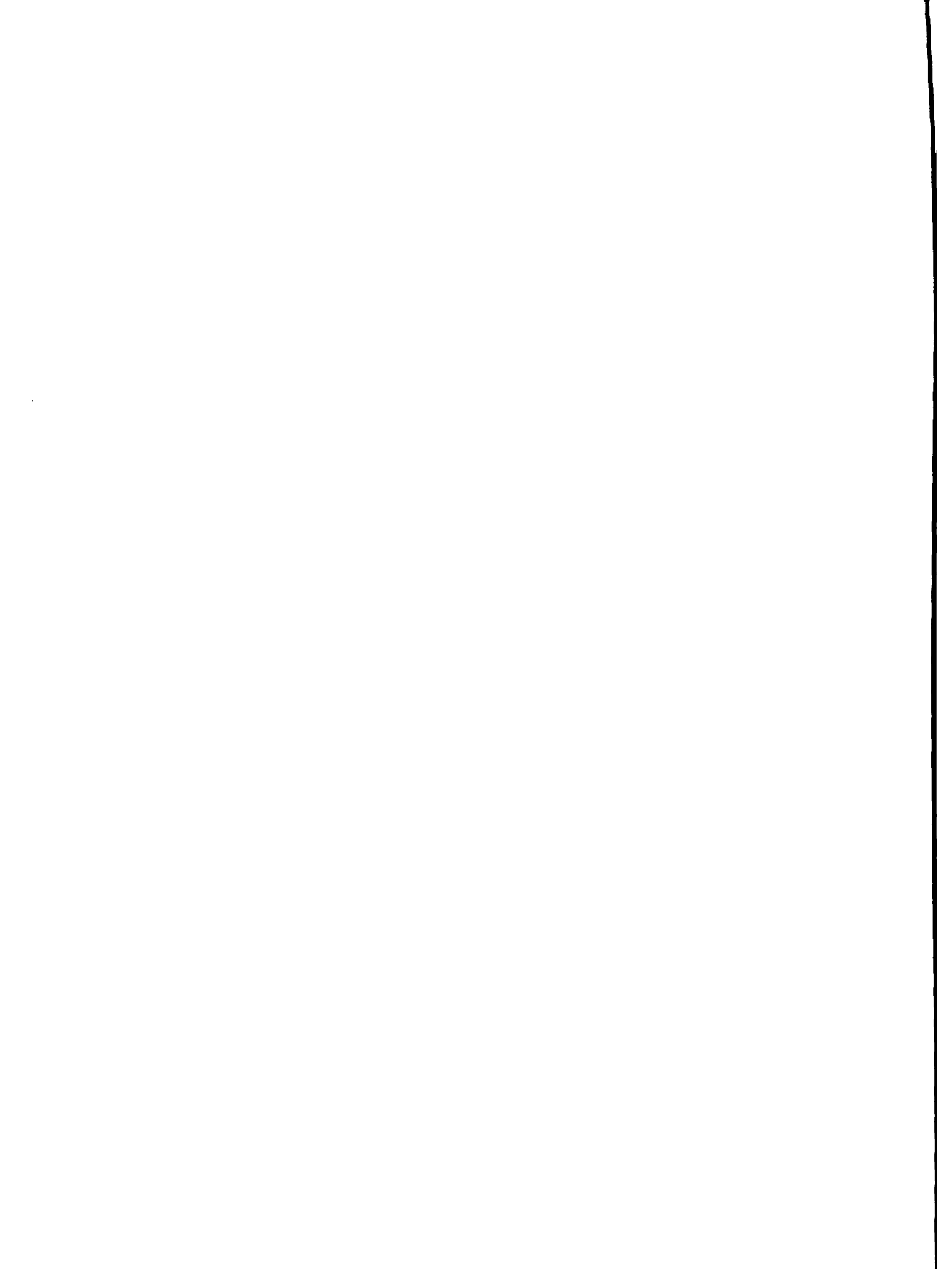
$$e_1 = \frac{89.8 \times 100}{1.22 \times 400} = \frac{8\ 980}{488} = 18.40 \% \longrightarrow \phi = 0.9 \text{ bars}$$

La consommation dans la couche II sera:

$$70 \times 0.4 = 28 \text{ mm}$$

L'eau résiduelle dans la couche II

$$162 - 28 = 134 \text{ mm}$$



La teneur en eau correspondante

$$\theta_2 = \frac{134 \times 100}{1.35 \times 600} - \frac{134}{8.10} = 16.54 \longrightarrow \phi = - 0.6 \text{ bars}$$

Si les derniers résultats sont adoptés, on peut déclencher l'irrigation lorsque la teneur en eau dans la couche I est de 18.4 % et l'énergie de succion est de - 0.9 bars.

Calcul de l'efficacité agronomique

$$E_a = E_{ap} \times E_{enm} \times E_d \quad (39)$$

$$E = \frac{\text{Volume appliqué} - \text{Volume perdu}}{\text{Volume appliqué}} \quad (40)$$

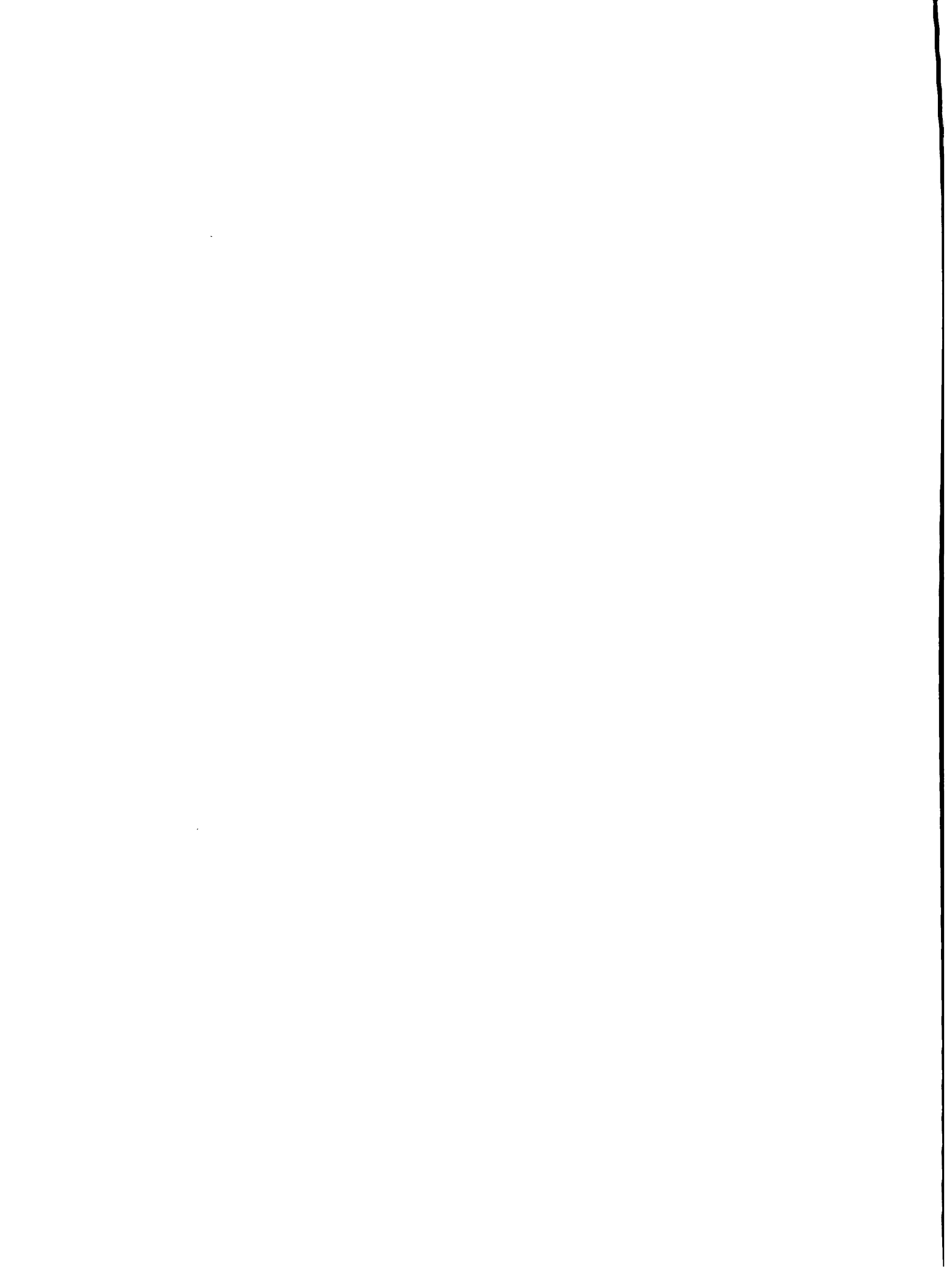
Le volume appliqué; d'après un débit de 450 l/s pendant 180 minutes on a:

$$450 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 180 \text{ min.} \times \frac{60 \text{ s.}}{1 \text{ min.}} = 4\,860 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume perdu} = \text{Volume appliqué} - \text{Volume infiltré}$$

Pour connaître le volume infiltré on doit déterminer d'une part le temps pendant lequel l'eau est restée sur chaque point de contact et d'autre part la lame d'eau infiltrée qui se calcule à partir de l'expression:

$$h = CT^m$$



$$\log h = \log C + m \log T$$

$$\log 3.1 = \log C + m \log 10$$

$$\log 10.1 = \log C + \log 200$$

$$0.4913617 = \log C + m$$

$$1.0043214 = \log C + 2.301030 m$$

$$0.5129597 = 1.30103 m$$

$$m = \frac{0.5129597}{1.301030} = 0.3942$$

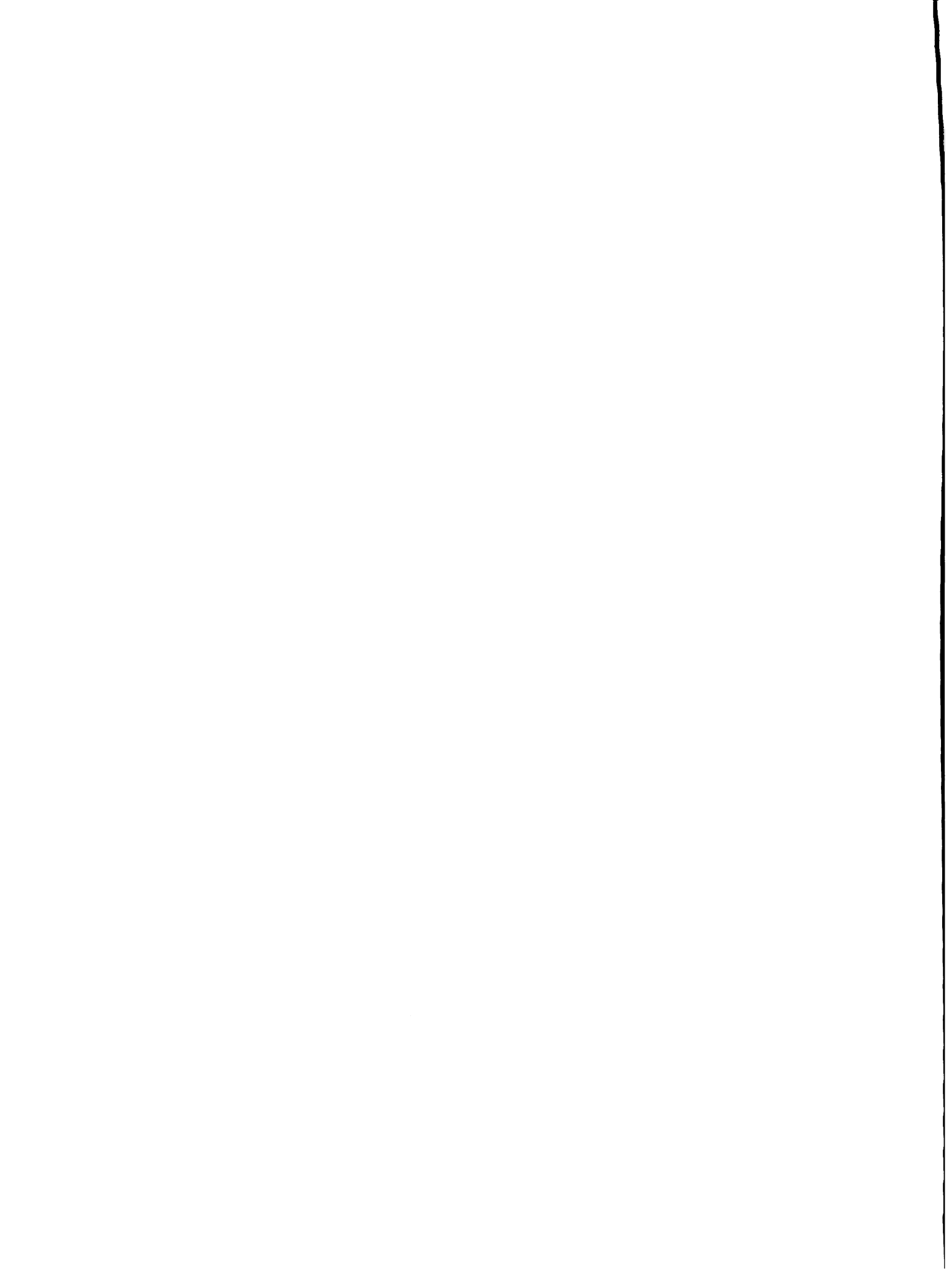
$$0.4913617 = \log C + 0.3942$$

$$\log C = 0.0971617$$

$$C = 1.25$$

Ainsi l'équation d'infiltration devient:

$$h = 1.25 T^{0.3942}$$



D'après l'essai d'avancement et de récession on a

Distance (m)	Temps d'arrivée (min.)	Temps de disparition (min.)	Temps de contact (min.)	h (cm)
0	0	180	180	9.68
50	10	195	185	9.79
100	25	210	185	9.79
150	50	225	175	9.57
200	80	240	160	9.24
250	120	255	135	8.64
300	180	270	90	<u>7.37</u>
			TOTAL	64.08

La lame moyenne d'eau est  $h = 9.15$  cm, laquelle a été infiltrée par une superficie de 2.4 hectares. Soit un volume de:

$$0.0915 \text{ m} \times 2.4 \times 10^4 \times 915 \times 2.4 = 2\,196 \text{ m}^3$$

Le volume perdu sera:

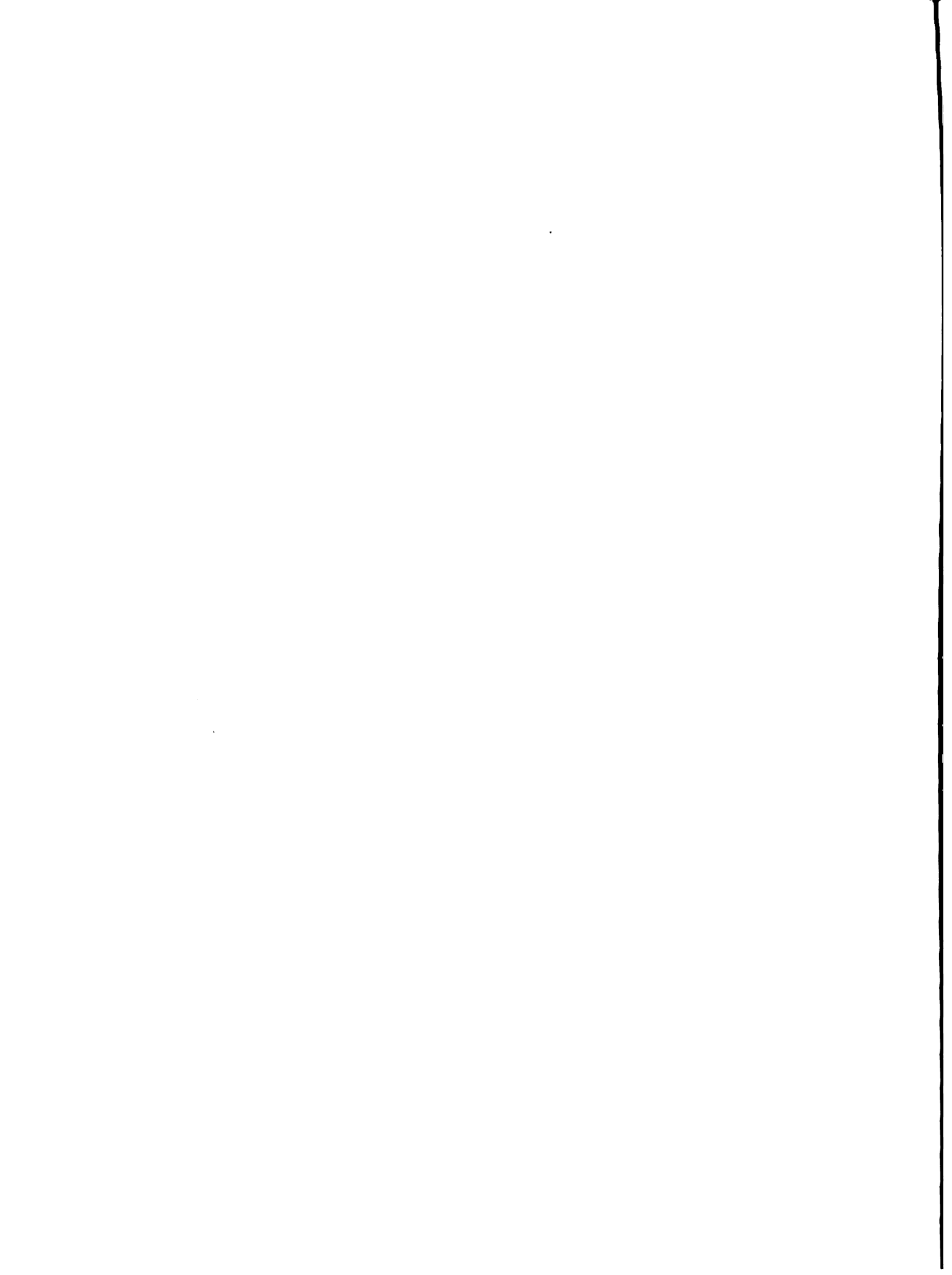
$$4\,860 - 2\,196 = 2\,664 \text{ m}^3$$

L'efficience d'application sera:

$$E_a = \frac{2\,169}{4\,860} = 0.45 = 45 \%$$

L'efficience d'emmagasinement sera:

$$E_{em} = \frac{h \text{ infiltré}}{h \text{ pour C.C.}}$$





Calcul de la lame d'eau infiltrée à capacité au champ par la couche I.

$$h_1 = \frac{27 - 9.8}{100} \times 1.22 \times 0.44 = 8.39 \text{ cm}$$

Pour la couche II cette lame sera:

$$h_2 = \frac{20 - 13.08}{100} \times 1.35 \times 0.6 = 5.60 \text{ cm}$$

$$h_{\text{total}} = 8.39 + 5.60 = 13.99 \text{ cm}$$

$$E_{\text{em}} = \frac{9.15}{13.99} = 0.65 = 65 \%$$

La lame d'eau nécessaire pour remettre la teneur en eau jusqu'à la capacité au champ est de 14.08 cm. Pour cela il faudra un temps de contact de:

$$14.08 = 1.25 T^{0.3942}$$

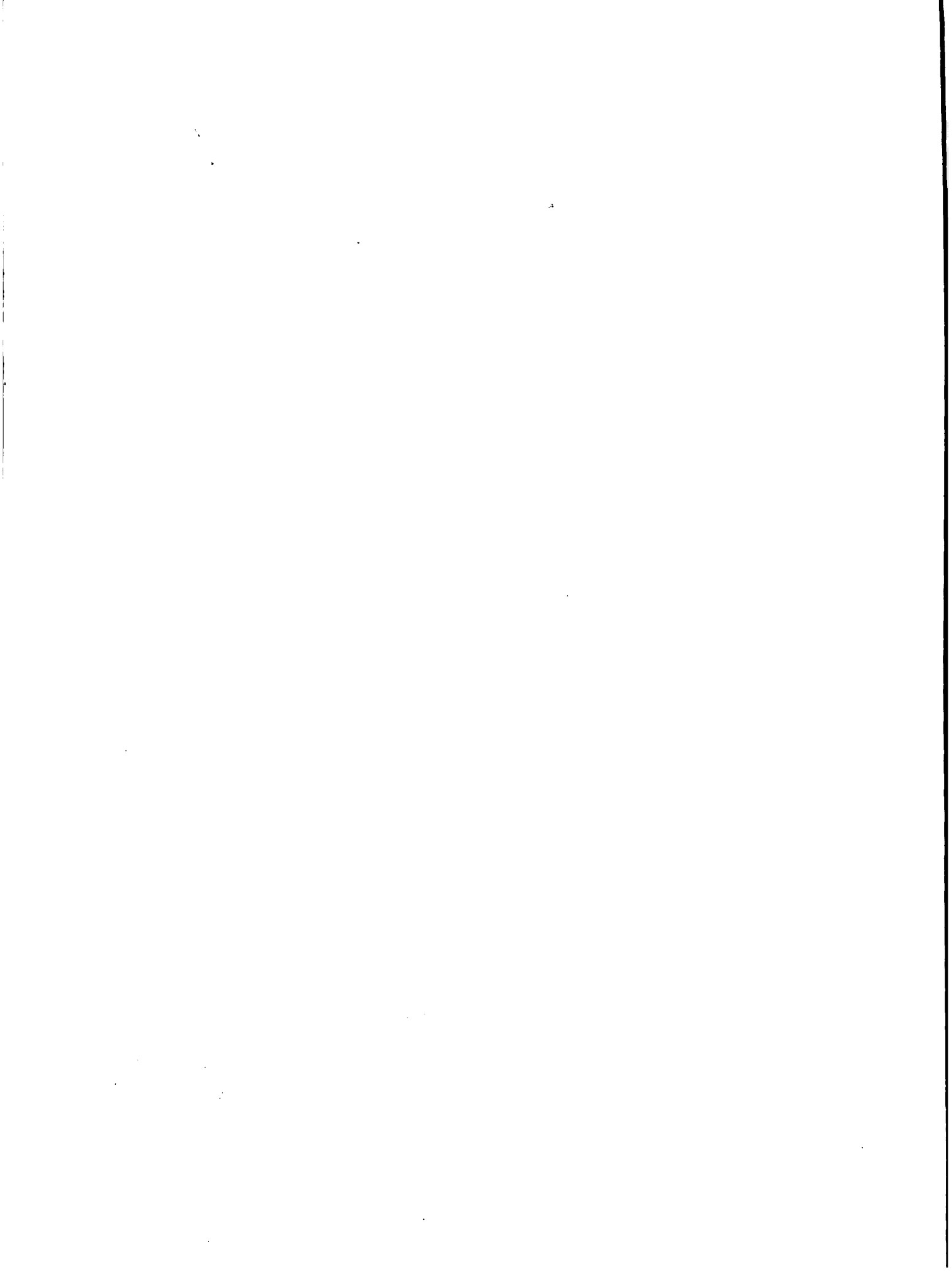
$$T = \left( \frac{14.08}{1.25} \right)^{\frac{1}{0.3942}} = (11.264)^{2.5367} = 465.5$$

$$T = 465.5 \text{ minutes}$$

D'après le test d'avancement et de récession on n'a pas pu atteindre ce temps là. On doit donc augmenter le temps d'essai et réduire le débit.

L'efficience de distribution:

$$E_d = 100 \left( 1 - \frac{\sum |h - \bar{h}|}{n\bar{h}} \right)$$



$$E_d = 100 \left( 1 - \frac{\sum |h_i - \bar{h}|}{n\bar{h}} \right)$$

	$ h - \bar{h} $
$h_1 = 9.68$	0.53
$h_2 = 9.79$	0.64
$h_3 = 9.79$	0.64
$h_4 = 9.57$	0.42
$h_5 = 9.24$	0.09
$h_6 = 8.64$	0.51
$h_7 = 7.37$	<u>1.78</u>
TOTAL	4.61

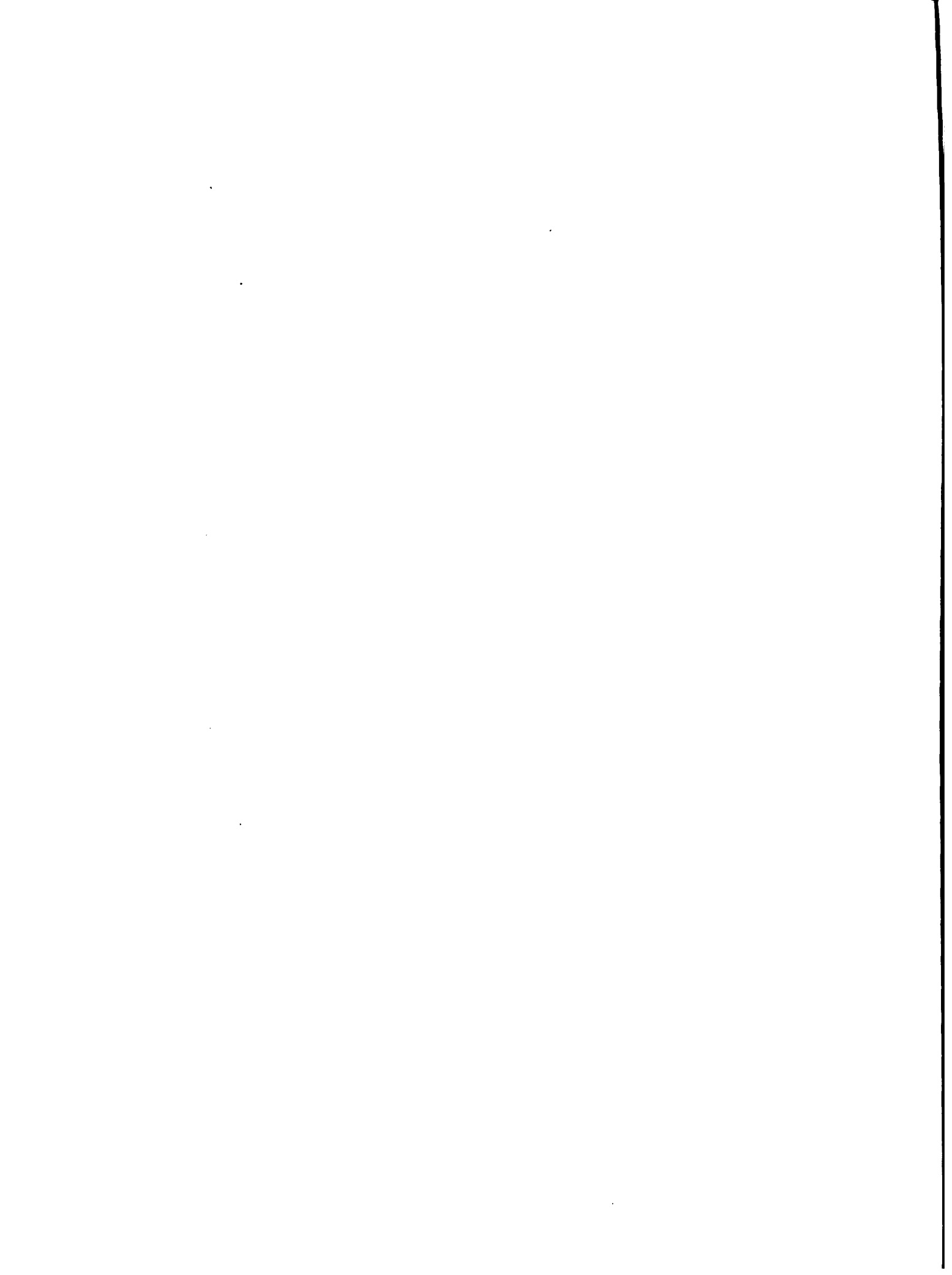
$$\frac{\sum |h - \bar{h}|}{nh} = \frac{4.61}{7(9.15)} = 0.07197$$

$$E_d = 100 (1 - 0.072) = 92.8$$

$$E_d = 92.8 \%$$

L'efficience agronomique sera:

$$0.45 \times 0.65 \times 0.928 = 0.29 = 29 \%$$



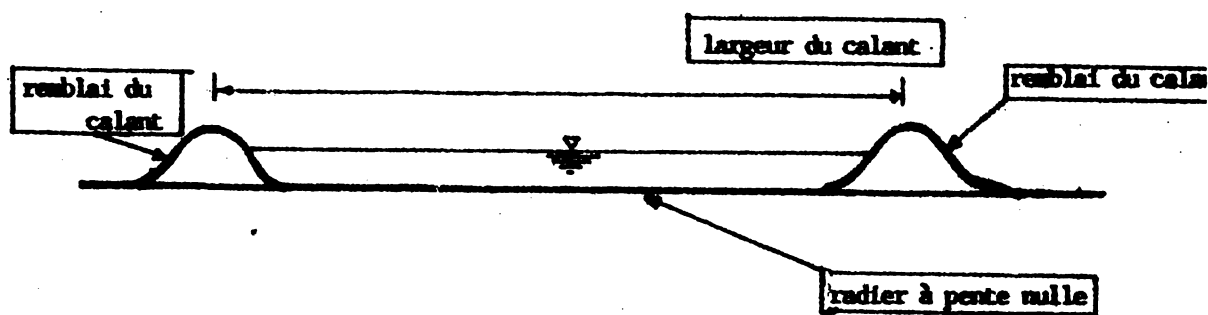


Fig. VI-3 (a): Schéma de la section transversale de l'irrigation par calant.

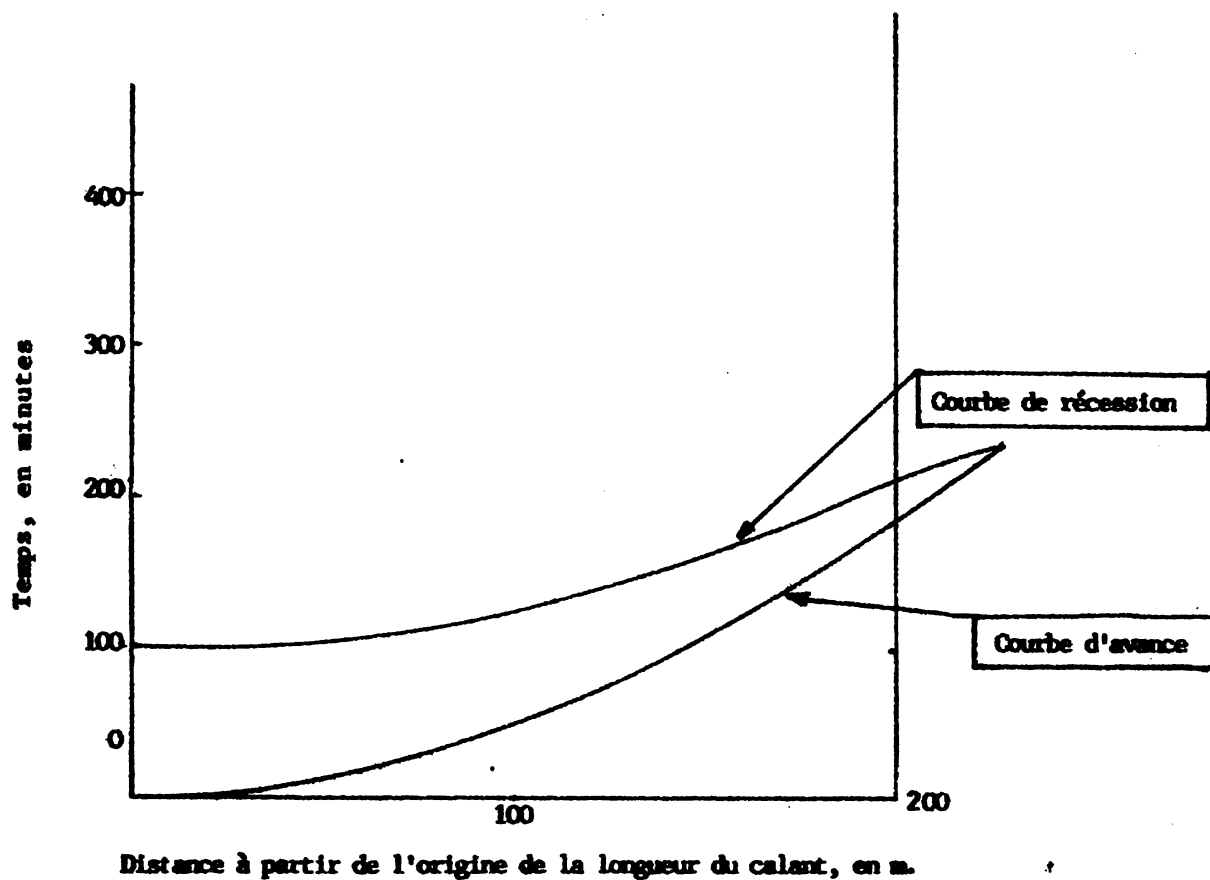
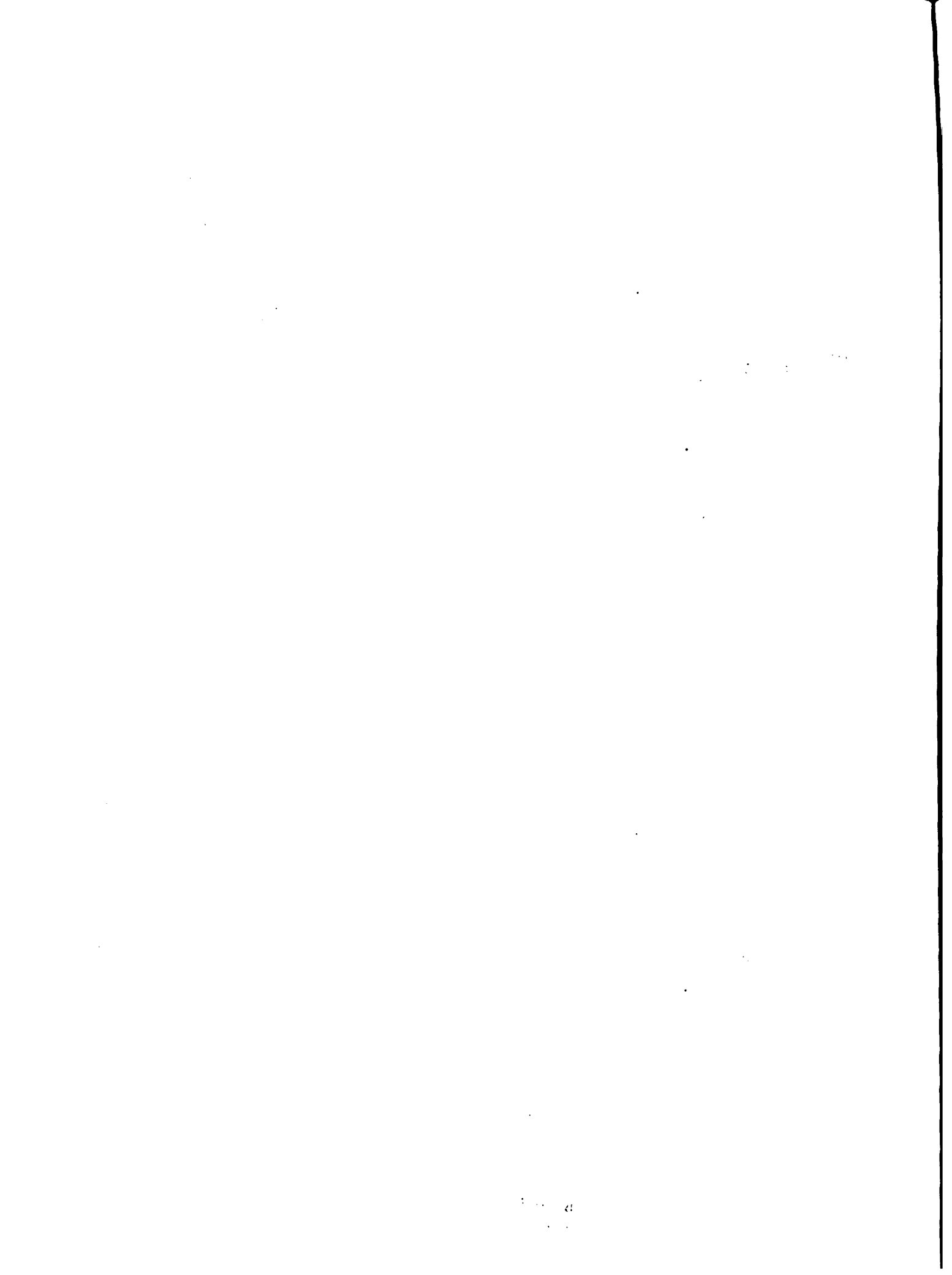


Fig. VI-3 (b): Courbe d'avancement et de récession de l'écoulement pour l'irrigation par calants.

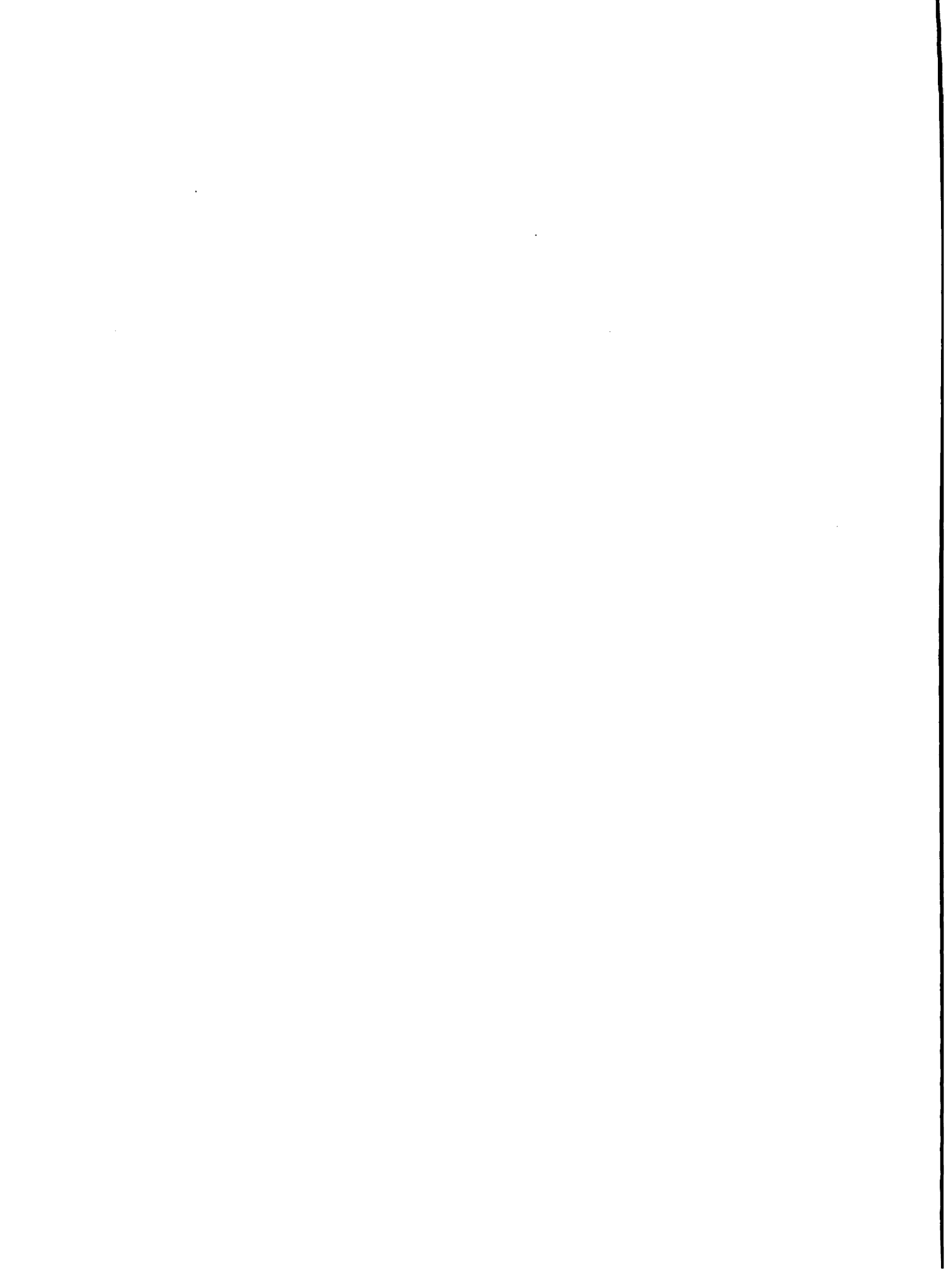


#### 6.4 Exemple de dimensionnement de l'irrigation par digues

On dispose d'un débit de 450 l/s pendant 8 heures, après quoi ce débit est diminué à 150 l/s, lequel sera utilisé pour irriguer par digues une superficie de 750 m de long sur 400 m de large (30 Ha). La pente longitudinale pour les premiers 300 m est de 1.5 % et 1.1 % pour le reste. La pente transversale est une pente uniforme de 0.6 %. Le profil du sol a une profondeur de 1 m. Les essais réalisés sur le terrain donnent les résultats suivants:

##### A - Test d'infiltration

Temps (min.)	Hauteur limnimétrique (cm)	Temps (min.)	Hauteur limnimétrique (cm)
0	20.00	45	19.03
5	18.60	60	18.19
10	17.93	90	16.75
15	17.40	90	20.00
20	16.95	120	18.76
30	16.17	150	17.65
30	20.00	200	16.00





## Calcul de la vitesse d'infiltration

Temps (min.)	Infiltration partielle (cm)	Infiltration cumulée (cm)	Vitesse instantanée d'infiltration (cm/heure)
0	0.00	0.00	0.00
5	1.40	1.40	16.80
10	0.67	2.07	8.04
15	0.53	2.60	6.36
20	0.45	3.05	5.40
30	0.78	3.83	4.68
45	0.97	4.70	3.88
60	0.84	5.54	3.36
90	1.44	6.98	2.88
120	1.24	8.22	2.48
150	1.01	9.23	2.02
200	1.65	10.88	1.98

De l'expression de l'infiltration

$$h = CT^m$$

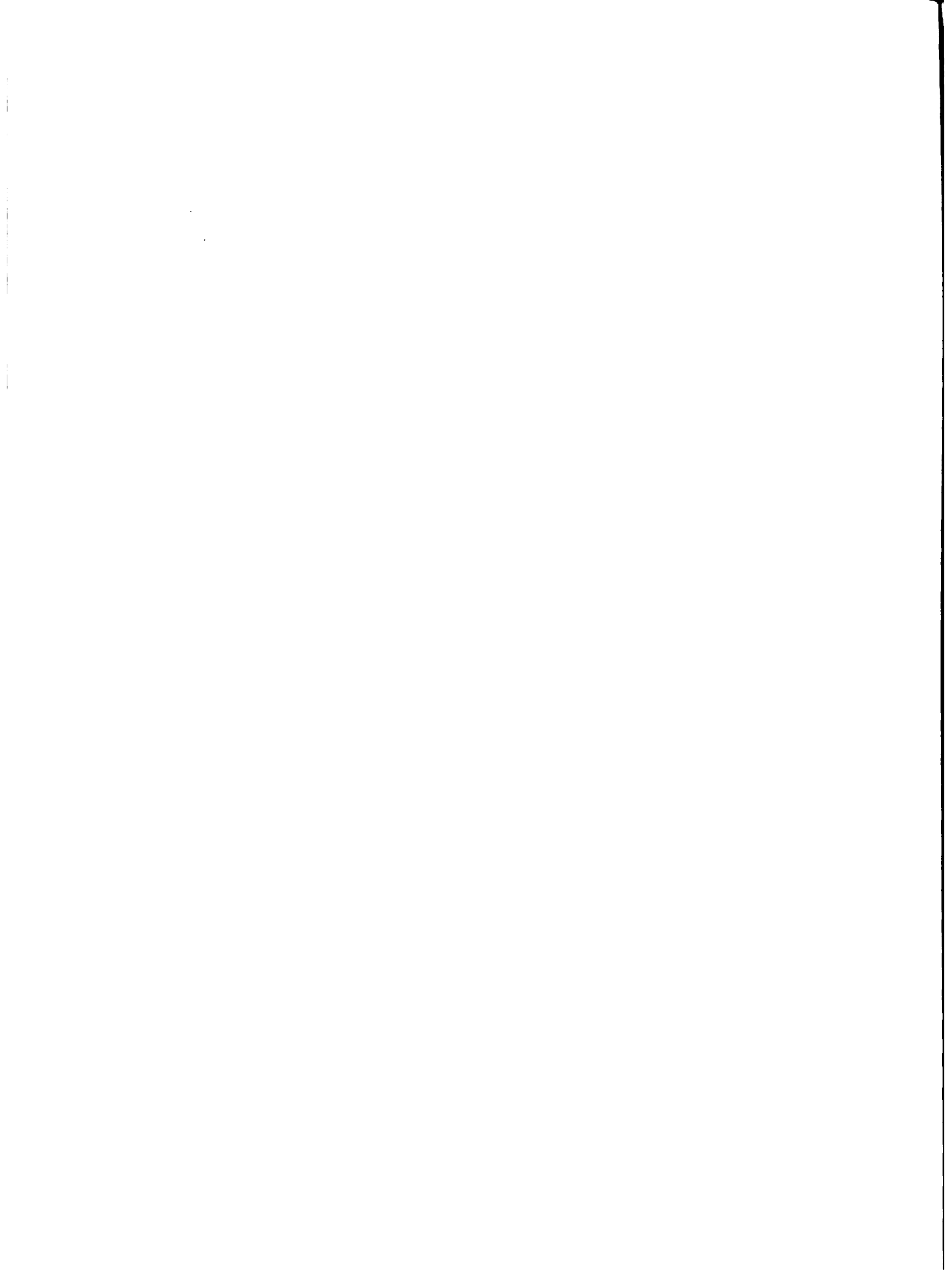
$$\log h = \log C + m \log T$$

$$\log 9.23 = \log C + m \log 150$$

$$\log 2.07 = \log C + m \log 10$$

$$0.9652017 = \log C + m (2.1760913)$$

$$0.3159703 = \log C + m$$



$$0.6492314 = 1, 1760913 \text{ m.}$$

$$m = \frac{0.6492314}{1.1760913} = 0.5520247$$

$$\log C = - 0.5520247 + 0.3159703 = - 0.2360544$$

$$C = 0.5806917$$

$$h = 0.58 T^{0.55}$$

B - Essai pour construire la courbe caractéristique de rétention de l'humidité du sol.

Potentiel (Bars)	Teneur en eau gravimétrique (%)
- 0.1	49.09
- 0.3	29.04
- 0.5	23.19
- 0.8	18.86
- 1.0	17.10
- 2.0	12.60
- 5.0	8.42
- 10.0	6.20
- 15.0	5.19

C - La densité volumétrique 1.2 gramme/cm<sup>3</sup>.

D - L'eau sera appliquée lorsque la tension dans le sol sera de 1.5 bars.

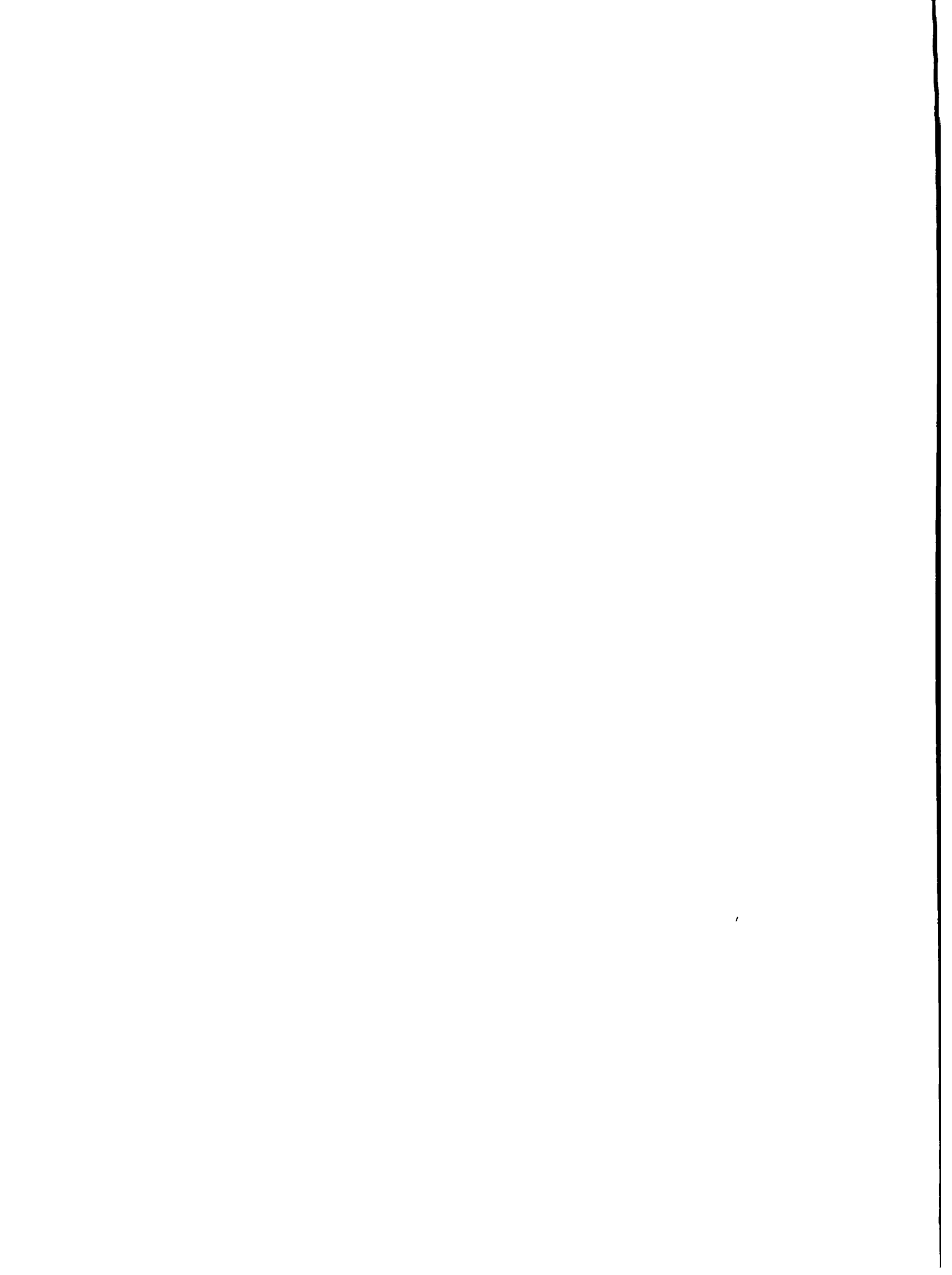
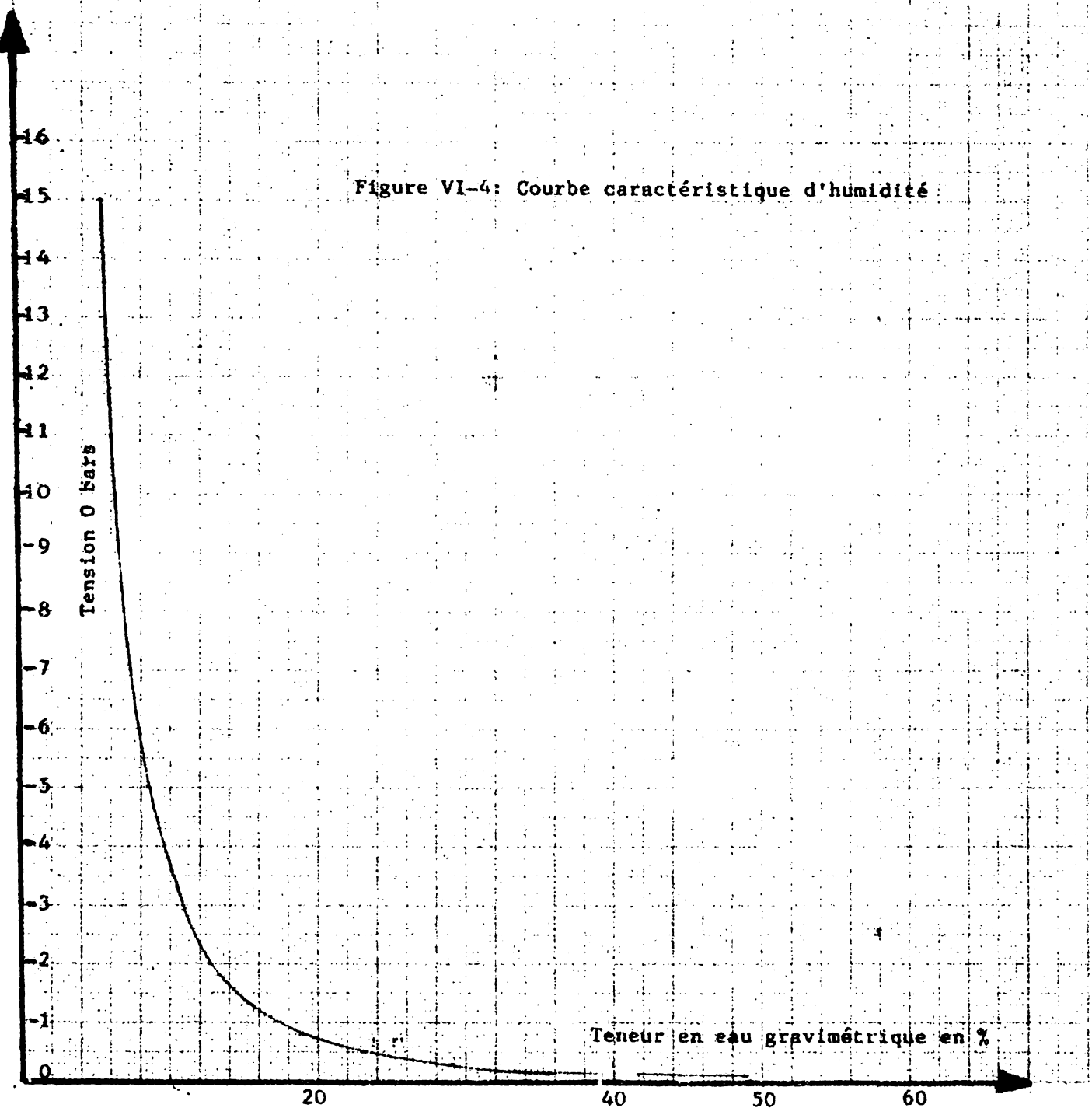
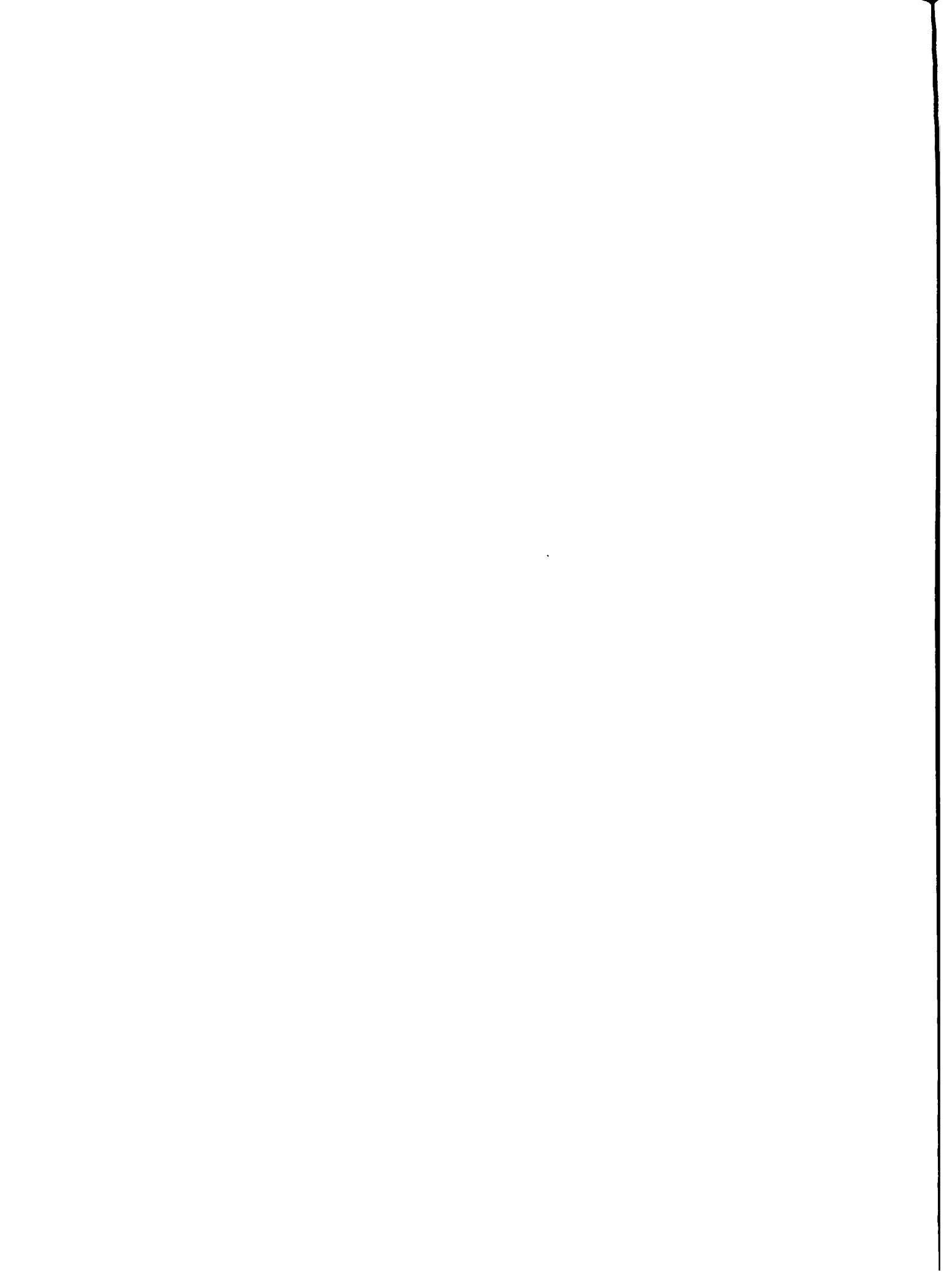


Figure VI-4: Courbe caractéristique d'humidité





- E. Les pertes par percolation doivent être inférieure à 6 % du volume d'eau infiltrée dans l'unité parcellaire d'irrigation.
- F. Le temps de récession est de 25 minutes (C'est le temps que met l'eau en amont du calant pour disparaître après la fermeture d'entrée dans le calant.
- G. La culture à irriguer est la luzerne, la récolte se fera au moyen d'une machine dont la largeur est de 3m.
- H. Dans le dimensionnement du calant on doit tenir compte de:
- la longueur et de la largeur du calant
  - la lame d'eau à appliquer
  - le besoin de nivellement du terrain
  - le débit initial et la façon de procéder à la réduction jusqu'à la fin de l'irrigation

L'efficience d'application obtenue

- I. Les résultats de l'essai d'avancement et de récession sont les suivants:

Distance (à partir de l'origine) (m)	Temps d'arrivée (min.)	Temps de disparition (min.)	Temps de contact (min.)
0	0	180	180
50	10	195	185
100	25	210	185
150	50	225	175
200	80	240	160
250	120	255	135
300	180	270	90

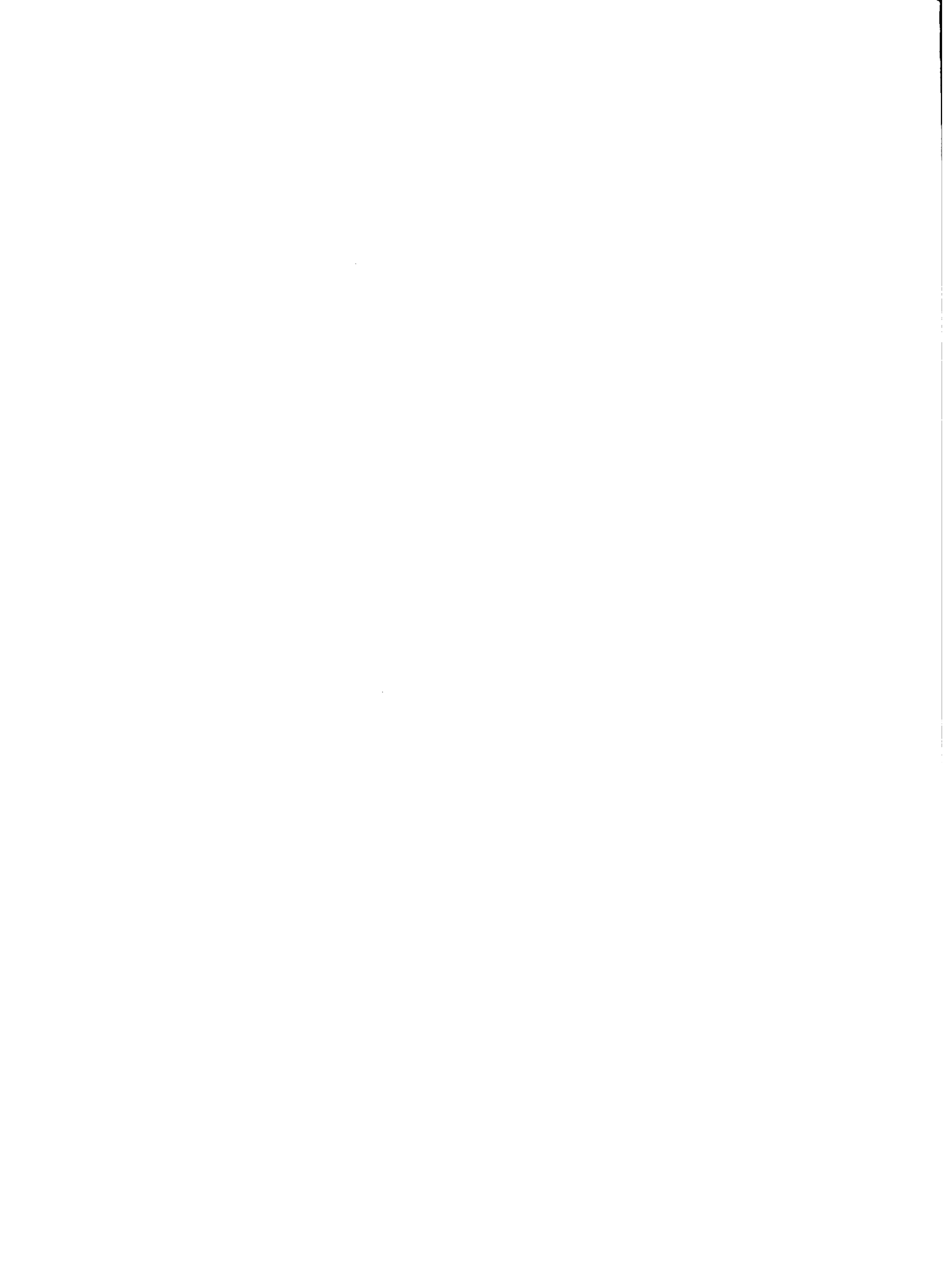
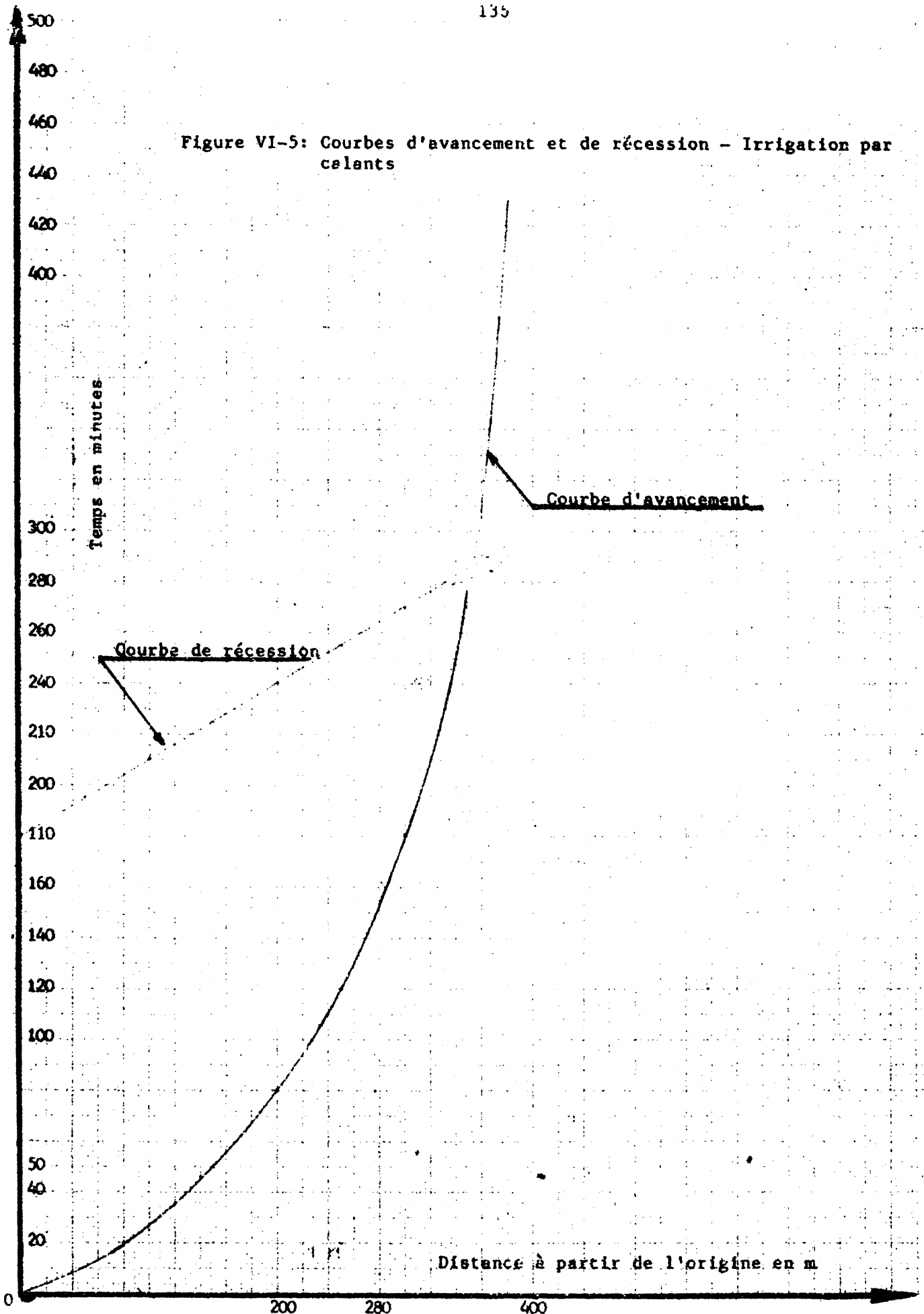
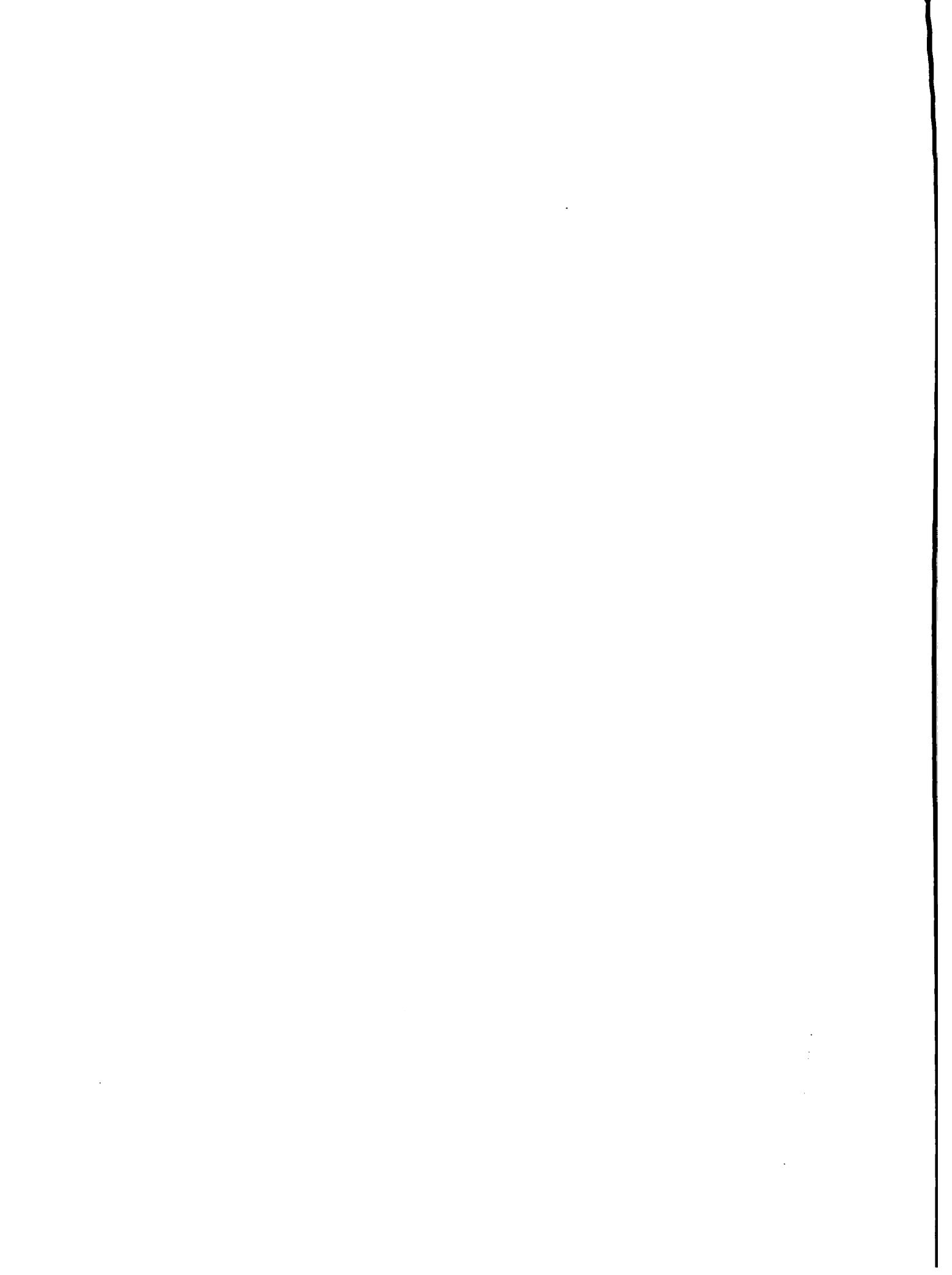




Figure VI-5: Courbes d'avancement et de récession - Irrigation par calants





Calcul de la lame d'eau à appliquer

D'après la figure VI-4, pour un potentiel de 1.5 bar la teneur en eau gravimétrique est de 14.2 % soit 17 % de la teneur en eau volumétrique.

$$h = \frac{(29.04 - 14.2)}{100} \times 1.2 \times 100 = 0.1484 \times 120 = 17.8 \text{ cm}$$

$$h = 17.8 \text{ cm soit } 1\,760 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Calcul du temps de contact pour appliquer une lame d'eau de 17.8 cm.

$$17.8 = 0.53 (T)^{0.55}$$

$$T = \left( \frac{17.8}{0.53} \right)^{1/0.55} = (30.69)^{1.818} = 504.78$$

$$T = 505 \text{ minutes}$$

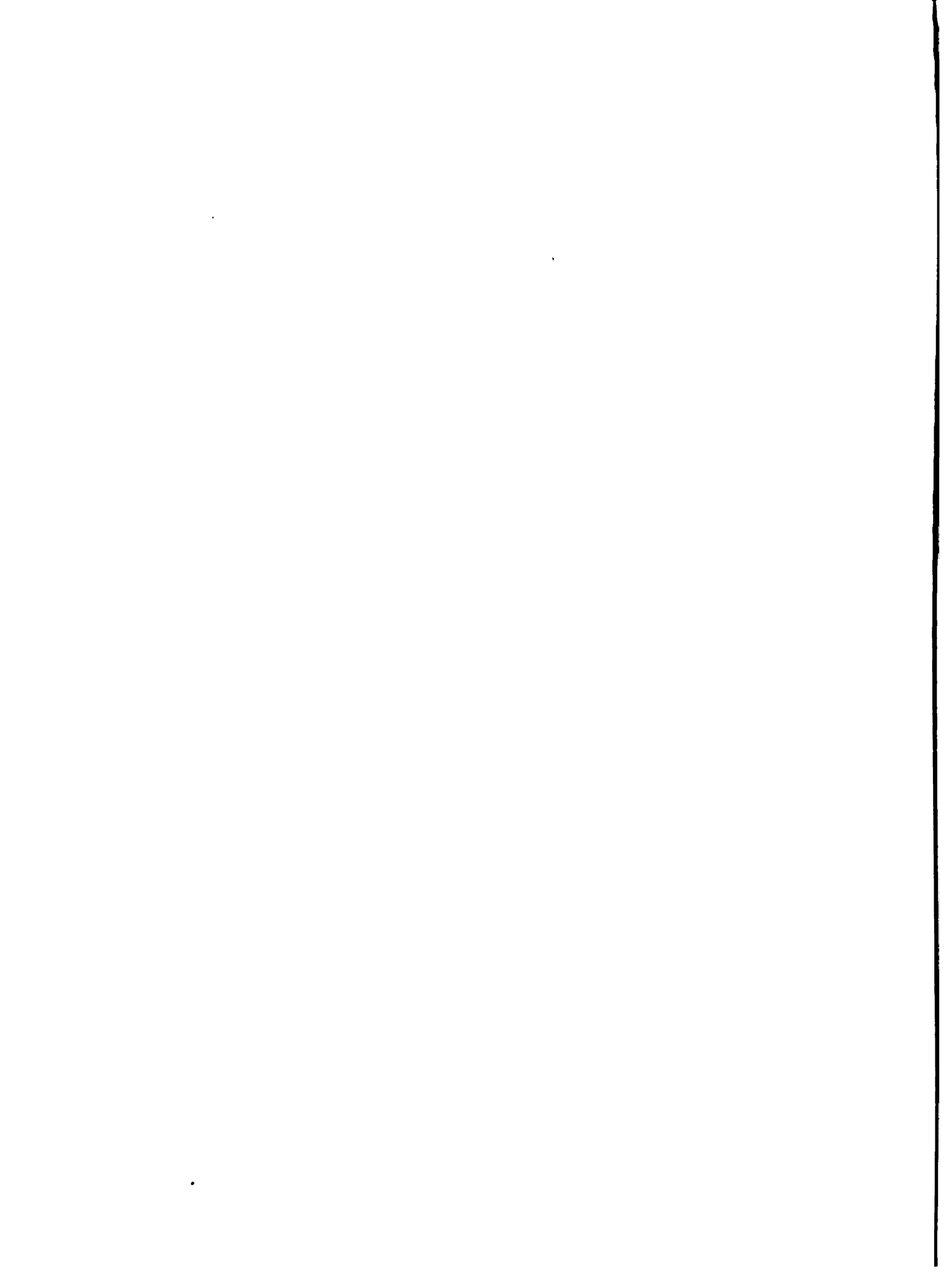
Calcul de la relation entre le temps de contact et le temps d'avancement (R).

$$R = \frac{T_c}{T_a}$$

Où :

$T_c$  = Temps de contact

$T_a$  = Temps d'avancement



$$P = \frac{(R + 1)^{n+1} - R^{n+1}}{(R + 1)^{n+1} - R^{n+1}} \times 100$$

$$P (R + 1)^{n+1} + P R^{n+1} = (R + 1)^{n+1} - R^{n+1} ) 100$$

$$P (R + 1)^{n+1} + P R^{n+1} = 100 (R + 1)^{n+1} - 100 R^{n+1}$$

$$(R + 1)^{n+1} | P - 100 | = - R^{n+1} (100 + P)$$

$$\frac{(R + 1)^{n+1}}{(R - 1)^{n+1}} = \frac{-(100 + P)}{(P - 100)} = \left( \frac{100 + P}{100 - P} \right)$$

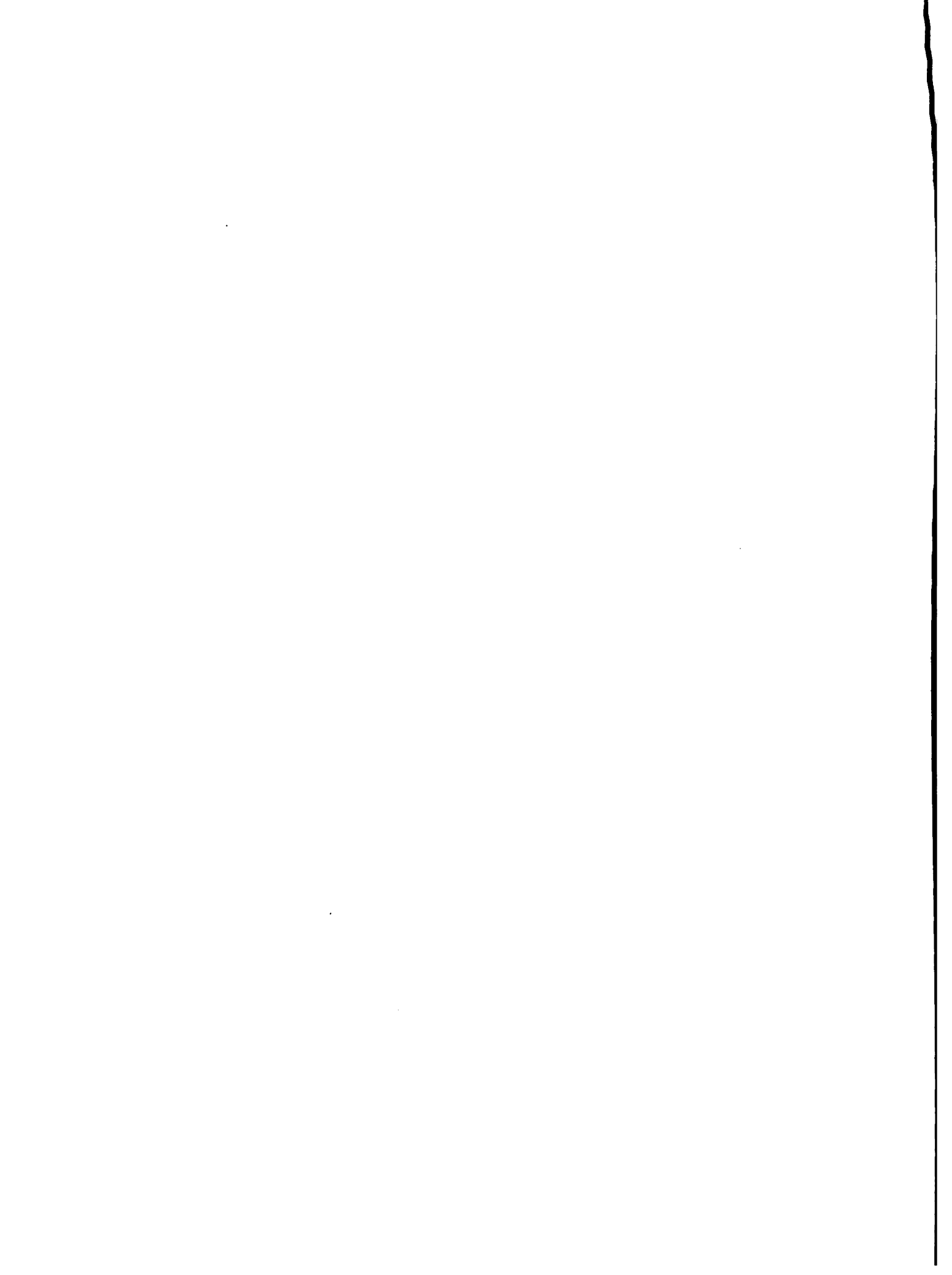
$$\left( \frac{R + 1}{R} \right)^{n+1} = \left| \frac{100 + P}{100 - P} \right|$$

$$- \frac{R + 1}{R} = \left| \frac{100 + P}{100 - P} \right|^{\frac{1}{n+1}}$$

$$R + 1 = R (1.13)^{1.818} = 1.24$$

$$d = 0.24 R$$

$$R = 4.17$$



$$4.17 = \frac{505}{T_a}$$

$$T_a = \frac{505}{4.17} = 121 \text{ minutes}$$

La durée totale d'irrigation sera

$$505 + 121 = 626 \text{ minutes}$$

Calcul de la largeur et de la longueur du calant

$$\text{Largeur} = \frac{\text{Différence de niveau tolérable}}{\text{pente transversale}}$$

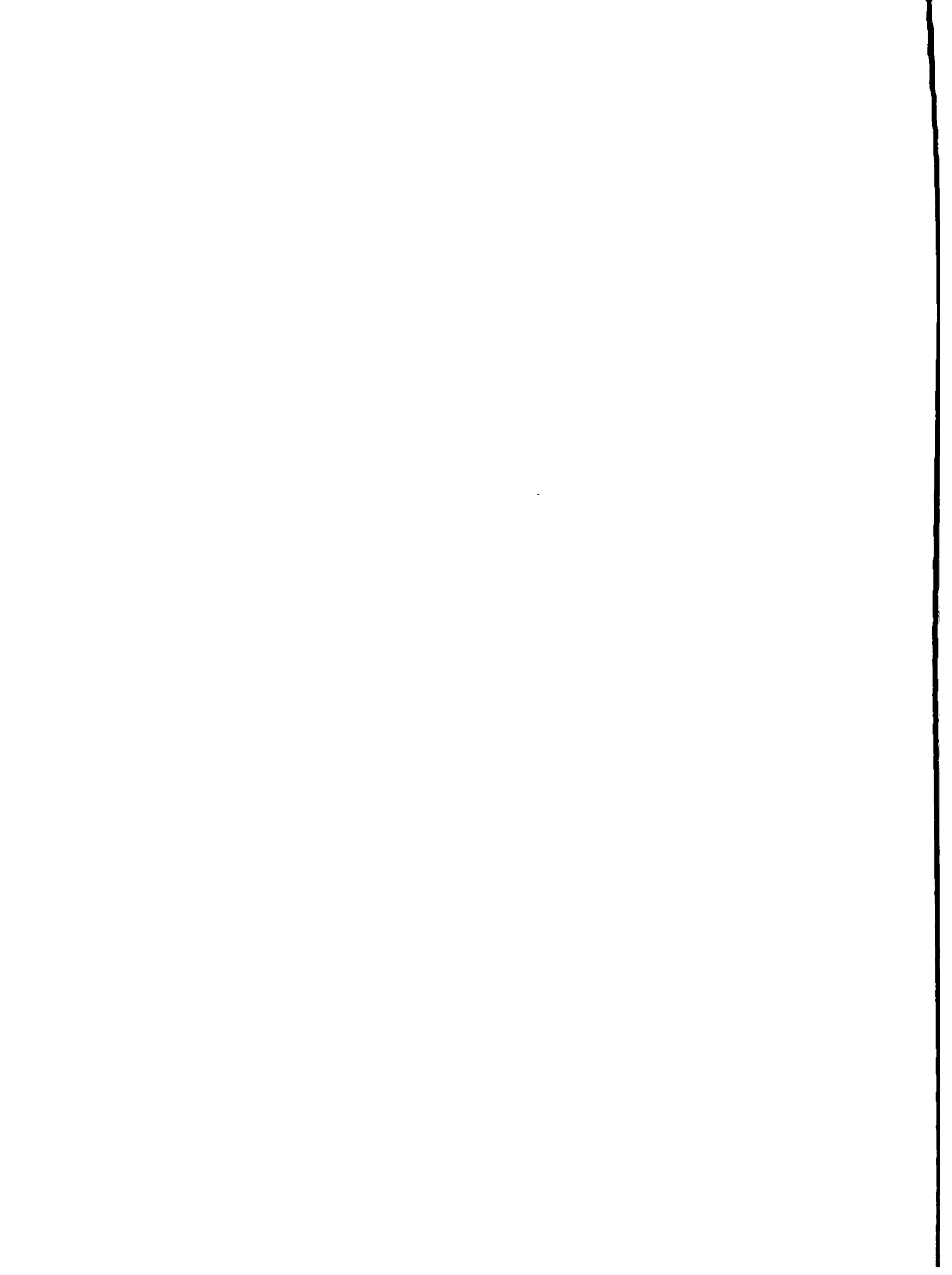
$$\text{Largeur} = \frac{0.05 \text{ m}}{0.006 \text{ m/m}} = 8.3 \text{ m}$$

Considérons que chaque digue a 1 m de largeur, la largeur totale sera de 10 m; cependant si l'on tient compte de la largeur de la moissonneuse la largeur du calant sera de 9 mètres utilisables sur une largeur totale de 11 m. Le nombre total de calants sera:

$$\frac{400}{11} = 36$$

L'eau doit arriver à l'extrémité du calant dans un quart du temps d'infiltration. La longueur du calant doit être calculée en fonction de ce critère.

$$T = 4 (121) = 448 \text{ minutes}$$





D'après la figure VI-5 pour  $T = 484$  minutes,  $L = 384$  m, soit 400 m.

Calcul du débit unitaire  $Q_u$

$$Q_u = \frac{1}{E_a} \frac{T_c}{T_c - T_r} \frac{h}{7.2 T_c} \quad (41)$$

Où:

$Q_u$  = débit unitaire

$T_r$  = Temps de récession, est de 25 minutes

$h$  = lame d'eau à appliquer pendant l'irrigation (en pouces)

$$E_a = (100 - 6)\% = 94 \%$$

$$h = 17.8 \text{ cm} = 7 \text{ pouces}$$

$$Q_u = \frac{1}{0.94} \left( \frac{505}{505 - 25} \right) \frac{7}{(7.2)(505)} = 1.06 (1.05)(0.0019)$$

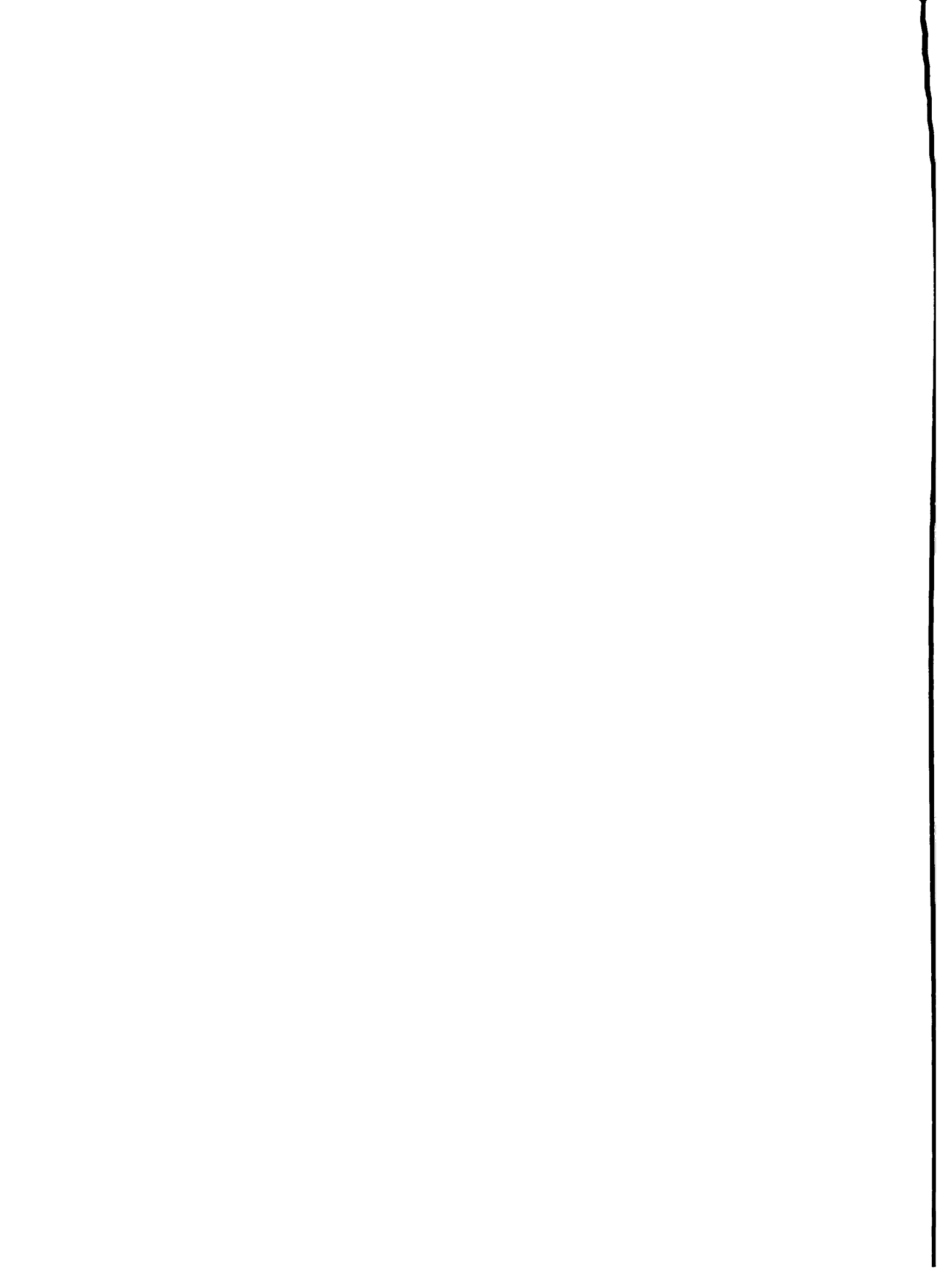
$$Q_u = 2.1427 \times 10^{-3} \text{ pied}^3/\text{s}$$

Le facteur de conversion pour trouver le nombre de litres est: 28.32

$$Q = 0.0607 \text{ l/s} - \text{pied} \times 3.28 = 0.2 \text{ l/s} - \text{m de largeur.}$$

Le débit dans le calant de 9 m de largeur sera 1.8 l/s.

$$Q = 1.8 \text{ l/s}$$



Calcul du débit non-érosive

$$Q = 0.06 p^{0.75} \text{ pied}^3/\text{s}$$

On suppose que le terrain sera nivelé à une pente de 0.5 %. L'application de la formule respective donne:

$$Q = 0.06 (0.5)^{0.75} = 0.0356762 \text{ pie}^3/\text{s} - \text{pied}$$

$$Q = 3.31 \text{ l/s} - \text{m de largeur}$$

$$Q_{\text{max}} = 29.82 \text{ l/s} \approx 30 \text{ l/s}$$

La pente transversale est de 0.6 %

La largeur: 9 mètres

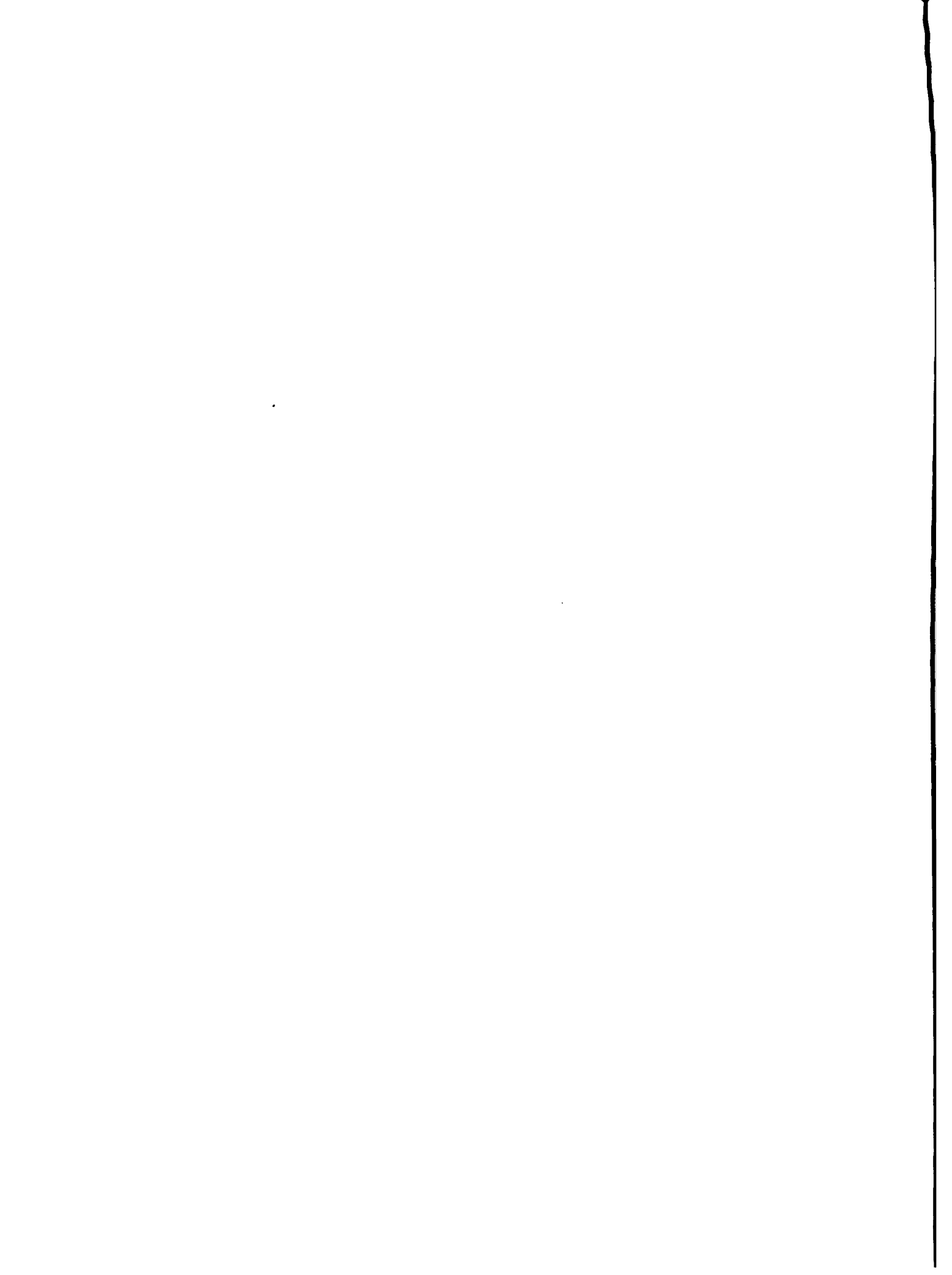
La différence de niveau:  $0.006 \times 9 = 0.054 \text{ m} = 5.4 \text{ cm}$

Le débit maximum non érosif de 30 l/s a été calculé pour une pente de 0.5 % pour un sol nu. Ce débit pourra être augmenté dans un sol couvert. Cette augmentation peut arriver jusqu'à 40 %. Dans ce cas le débit sera:

$$30 \text{ l/s} \times 1.4 = 42 \text{ l/s}$$

Calcul de l'efficience d'application

$$E_a = \frac{\text{Volume d'eau dans la zone des racines}}{\text{Volume d'eau appliqué}}$$



Volume à rendre

$$h \times (9 \times 400) = 0.178 \text{ m} \times 3\,600 = 640.8 \text{ m}^3$$

Volume appliqué

$$Q_{\text{initial}} \times T_a + Q_{\text{réduit}} \times T_c$$

$$Q_{\text{initial}} = 42 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{réduit}} = \frac{1}{3} Q_{\text{initial}} = 14 \text{ l/s}$$

Volume appliqué

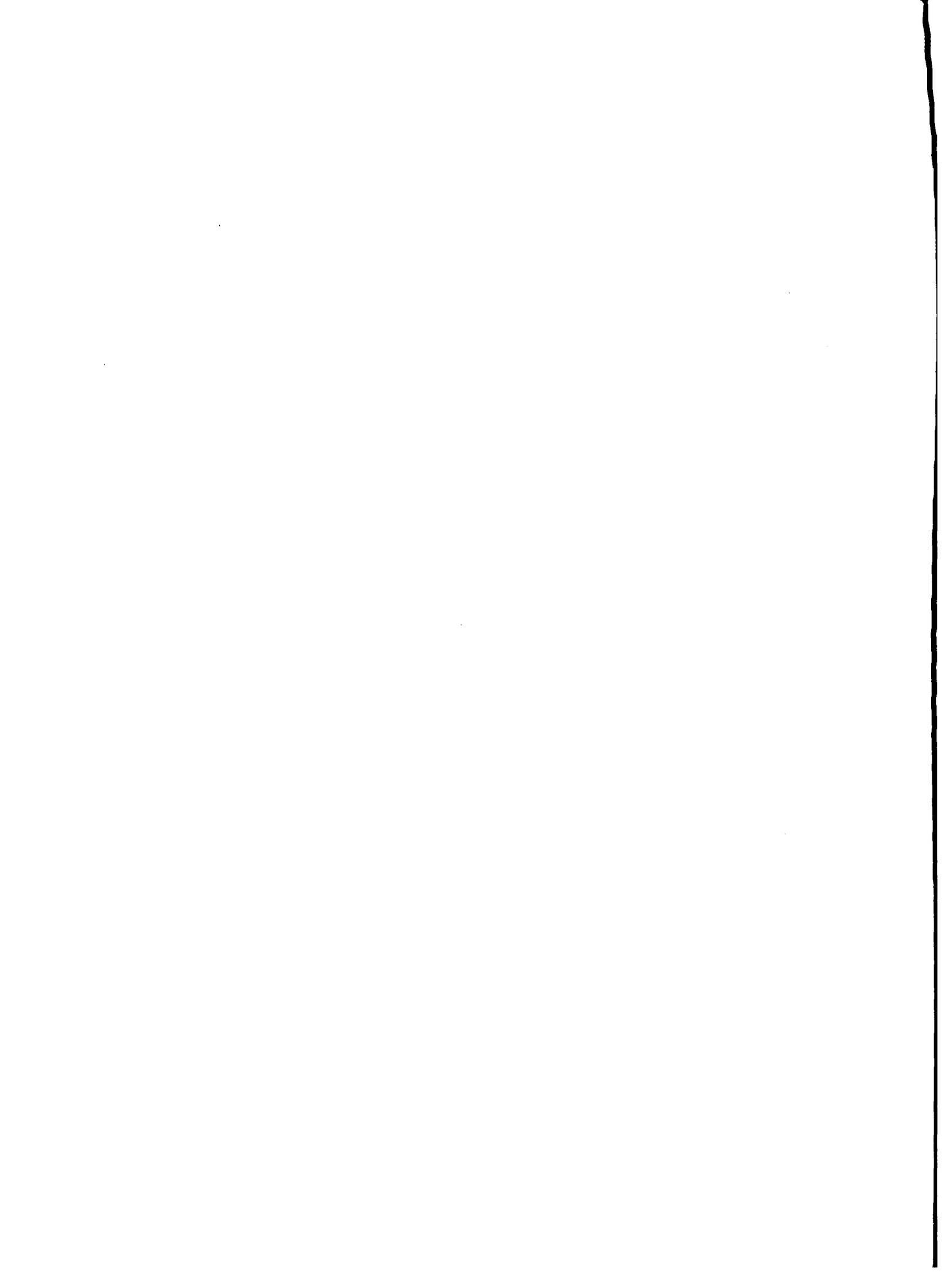
$$42 \times \frac{121}{60} \times 3.6 + 14 \times \frac{505}{60} \times 3.6$$

$$304.92 + 424.2 = 729.12 \text{ m}^3$$

$$V_a + 0.006 V_a = 772.86 \text{ m}^3$$

$$E_a = \frac{640.8}{729.12} = 0.829$$

$$E_a = 0.829 = 82.9 \%$$



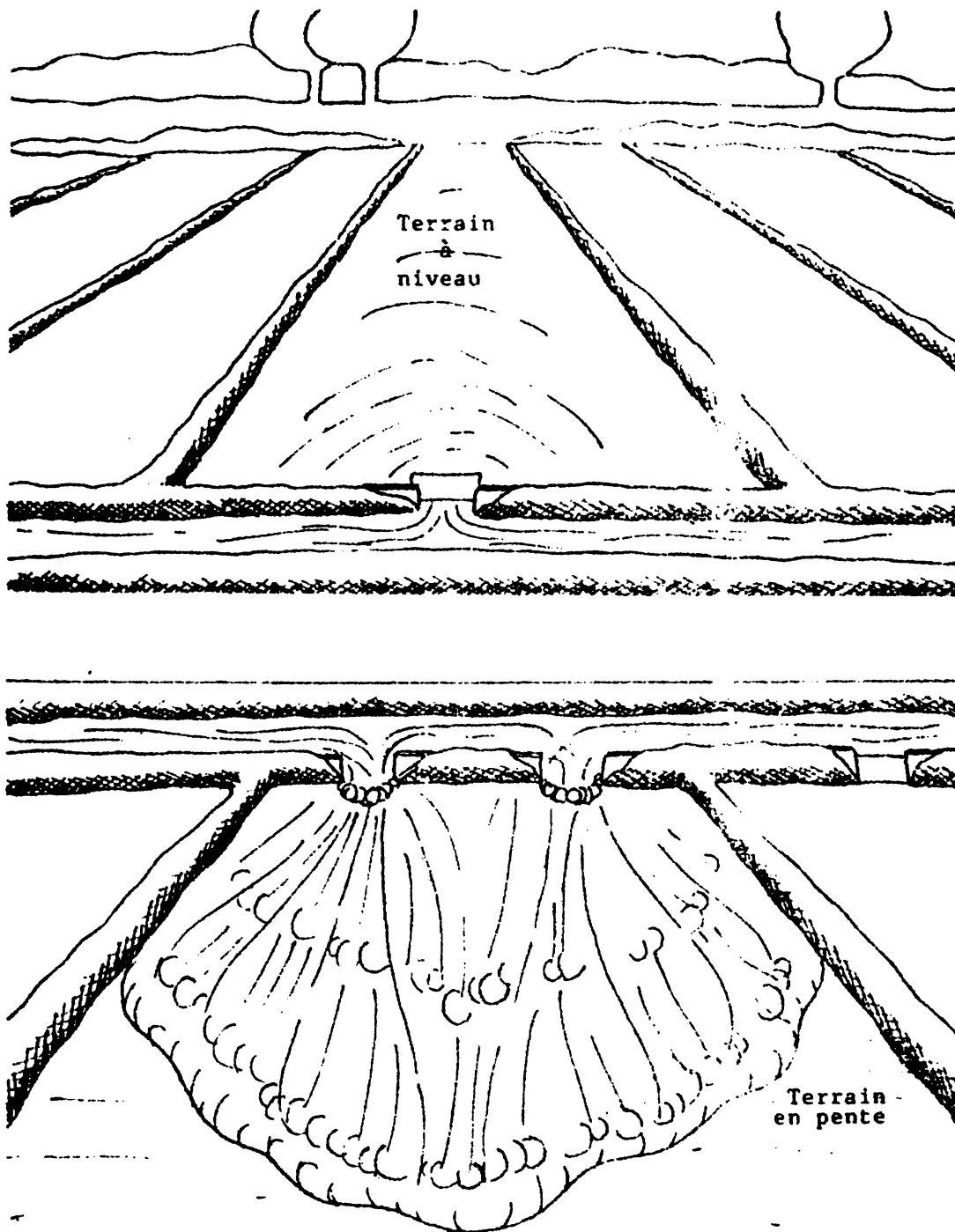
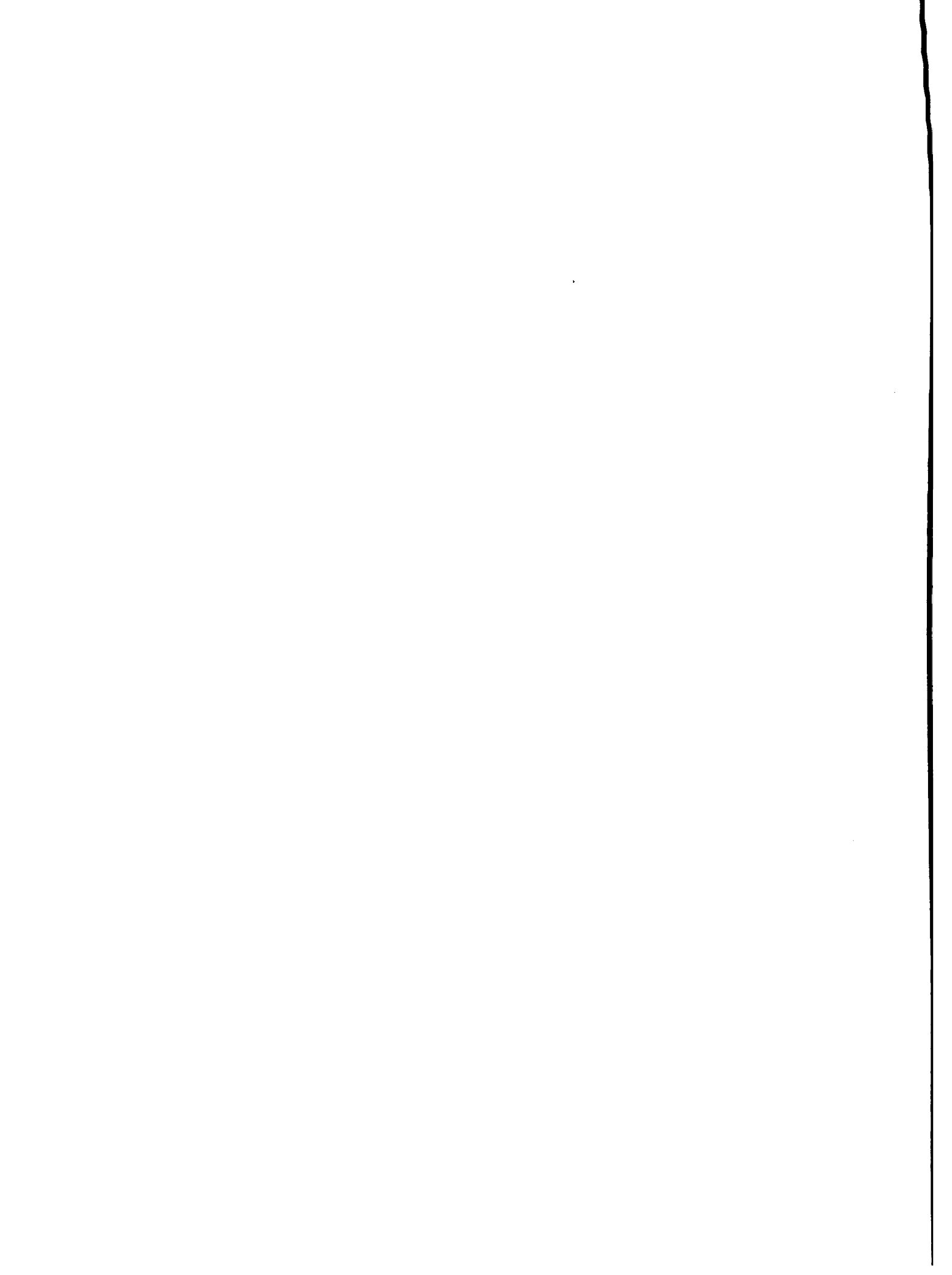


Fig. VI-5(a): Schéma de l'irrigation par calants - Effet de la pente sur la distribution de l'eau.





## CHAPITRE VII

### L'IRRIGATION PAR RIGOLES

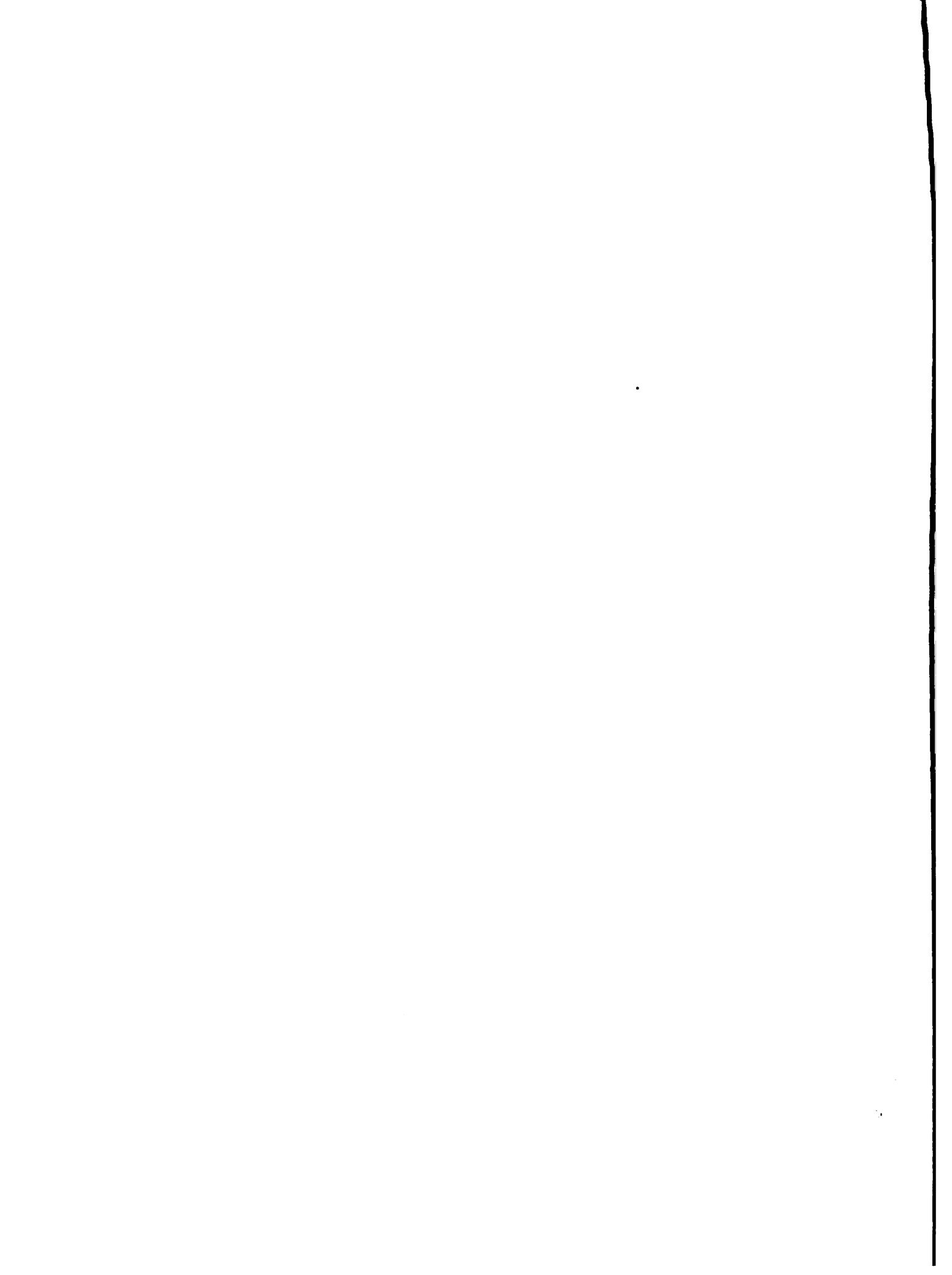
#### Généralités

Elle fait partie des séries d'application de l'eau à la parcelle. Dans cette méthode l'eau coule soit dans des petits canaux ou rigoles, soit dans des corrugations ou microsillons (rigoles à taille plus réduite). Dans ceux-ci l'eau descend de l'amont vers l'aval par gravité, elle est infiltrée par le fond et par les bords des rigoles. Les cultures plantées en ligne telles que le coton, la betterave et les cultures arbustives telles que le palmier à huile, le bananier, le maïs, le millet etc. sont irriguées de cette façon.

Dans cette méthode, l'infiltration latérale de l'eau joue un rôle très important aussi bien pour la distribution de l'eau que pour le mouvement des sels, des fertilisants et des pesticides. La rigole où va s'infiltrer l'eau doit pouvoir humecter toute la superficie et la profondeur que nécessitent les plantes qui s'y trouvent. Il est à souligner que dans cette méthode la main-d'oeuvre a un rôle plus capitale que dans toutes les autres.

#### 7.1 Caractéristiques

L'efficacité de ce type d'irrigation dépend en grande partie de la forme des rigoles et des sillons. La section transversale des rigoles doit être suffisamment grande pour conduire le débit nécessaire et permettre la distribution de l'eau tout au long de celles-ci. Généralement, elles se présentent sous la forme d'un V dont la profondeur varie entre 0.15 à 0.20 m pour une base supérieure mesurant entre 0.15 et 0.20 m et qui peut permettre un écoulement allant jusqu'à 2 l/s. Dans les sols à infiltration lente, la section transversale des rigoles présente la forme en U, ce qui facilite mieux l'infiltration due à l'augmentation du périmètre mouillé. A la longue, la forme de cette forme de rigole est modifiée par l'usage: l'écoulement donne lieu à un canal



étroit dans les fortes pentes, tandis que celui-ci se transforme en une rigole plus large lorsque la pente devient faible. Cet effet est plus marqué dans les sols sablonneux que dans les sols argileux.

Dans l'irrigation par rigoles la salinité du sol ou de l'eau d'irrigation peut affecter la germination des semences car les sels solubles sont transportés par l'eau et elles s'accumulent au centre et sur la surface des sillons.

## 7.2 Ecartement des rigoles

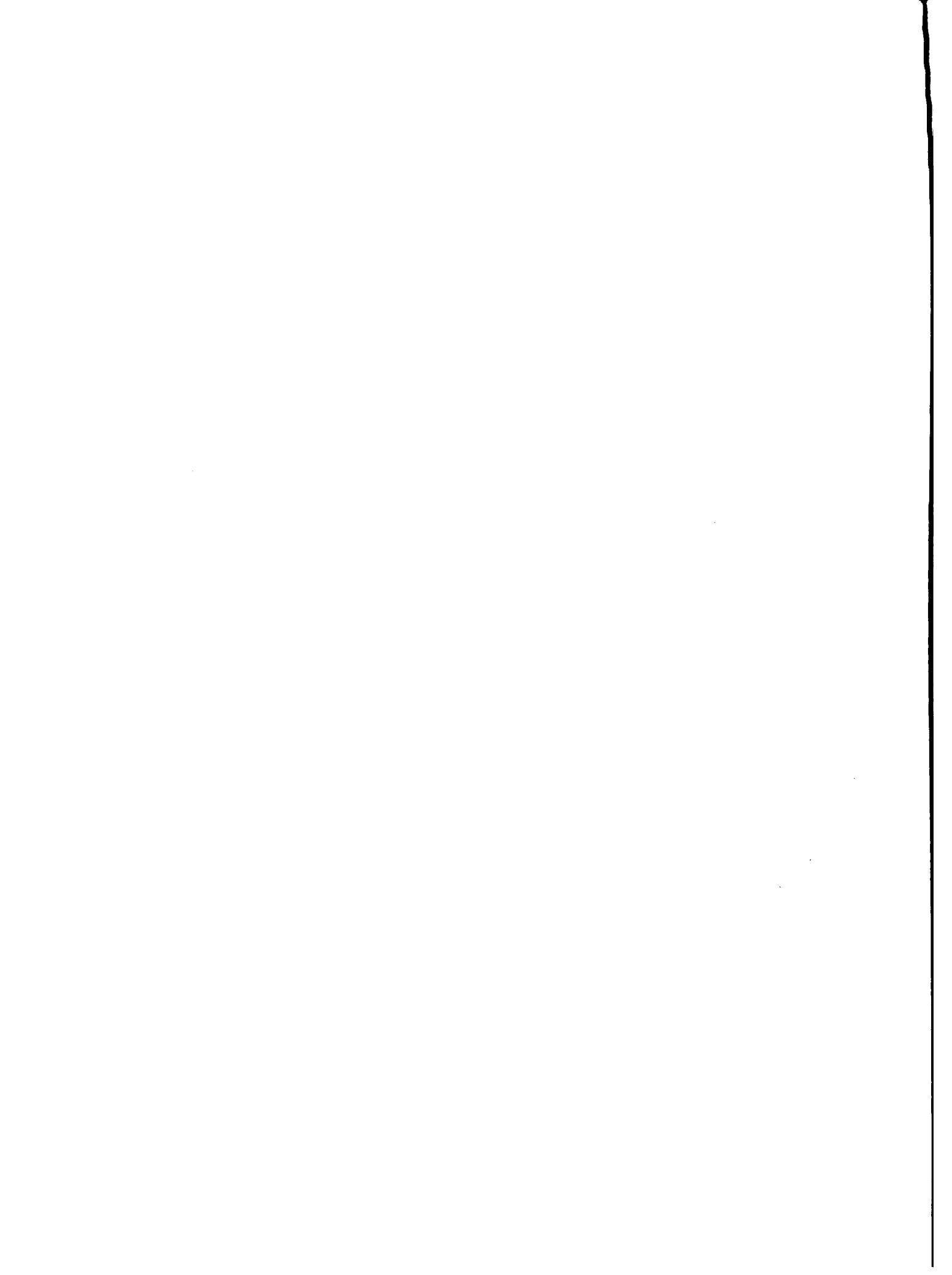
Les facteurs qui agissent sur l'écartement des rigoles sont: le type de culture à irriguer, la machine agricole utilisée et la forme de distribution de l'eau d'infiltration.

La plupart des cultures irriguées par rigoles ont un écartement qui varie entre 0.75 à 1.05 m afin de faciliter les travaux tels que: semailles, creusement des sillons, récolte, etc. Cet écartement doit être constant afin de faciliter les opérations réalisées à la machine. De plus, si l'on veut avoir une augmentation de l'infiltration de l'eau dans le profil du sol, une diminution de l'écartement est indispensable.

Dans le profil des sols formés de plusieurs couches, le mouvement latéral de l'eau est plus important dans les couches se trouvant juste au-dessus d'un autre moins perméable. L'écartement convenable sera obtenu à la suite d'une étude du sol.

## 7.3 Pente de la rigole

Une rigole uniforme et une pente longitudinale sont des éléments vitaux pour l'obtention d'une bonne distribution de l'eau. Lorsqu'il y a une variation de la pente, on a une infiltration en désordre, d'où risque d'érosion. Les sols argileux peuvent supporter des pentes allant jusqu'à



2 %. Cependant dans les climats pluvieux, la pente ne doit pas excéder 0,3 %. On veillera à ce que les pentes faibles soient utilisées dans les sols sablonneux.

Le nivellement du terrain ainsi que la variation de la direction des rigoles peuvent aider à obtenir une faible pente afin d'obtenir une meilleure distribution de l'eau. Les principes d'écoulement dans les canaux découverts est applicable à l'écoulement dans les rigoles, alors que la vitesse de l'écoulement est fonction de la pente, de la section transversale, de la rugosité et de la quantité d'eau transportée par la rigole.

#### 7.4 Rigoles suivant les courbes de niveau

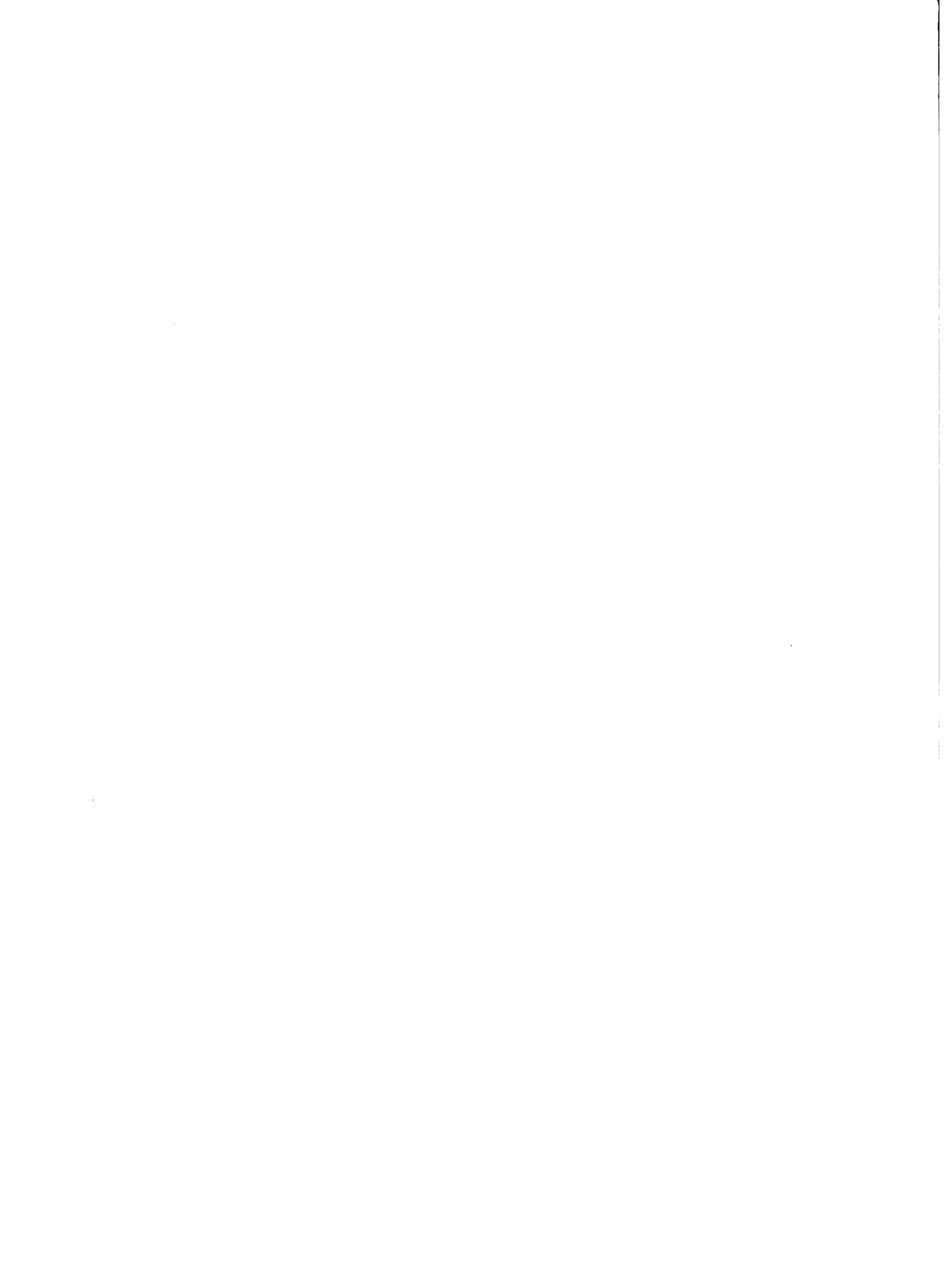
Dans les terrains à forte pente ou accidenté les rigoles sont tracées suivant les courbes de niveau. Pour éviter des problèmes tels que l'érosion et le contrôle du ruissellement, la pente du terrain ne doit pas être supérieure à 10 %. Par ailleurs, cette méthode ne doit pas être utilisée dans les sols argileux, lesquels à l'état sec laissent des fissures qui favorisent la percolation.

#### 7.5 Les rigoles en zig-zag

Dans les terrains à pente raide il est plus convenable d'utiliser les rigoles en zig-zag afin d'augmenter le temps de contact entre l'eau et le sol et ainsi une meilleure infiltration.

#### 7.6 La longueur des rigoles

Les dépenses qu'entraînent l'irrigation par rigoles augmentent au fur et à mesure que la longueur des rigoles diminue. Par contre l'efficacité de



l'application de l'eau diminue lorsque la longueur de la rigole augmente. La dimension et la forme du terrain peut conditionner la longueur des rigoles. Il convient de donner la même longueur de rigoles aux terrains ayant la même vitesse d'infiltration. La longueur de celle-ci dépend, en général, de la pente, du type de sol, de la culture pratiquée et du débit. En ce qui a trait aux pentes faibles (inférieures à 0.3 %), la longueur de la rigole peut être augmentée proportionnellement avec celle-ci. Cependant pour les pentes supérieures à 0.5 % la longueur doit être diminuée avec la pente. Dans les sols argileux où l'on cultive des plantes à racines profondes, la longueur des rigoles sera plus grande que dans les sols sablonneux qui conviennent mieux aux cultures à racines superficielles.

Pour déterminer la longueur des rigoles dans un terrain donné, il est nécessaire d'entreprendre une étude in situ en employant les débits disponibles.

### 7.7 Mesure du débit

Une fois que les rigoles sont tracées, on peut varier le débit pour trouver la meilleure distribution de l'eau. En général, l'irrigation est démarrée avec un débit maximum, puis on arrête l'entrée de l'eau dans la rigole, finalement on laisse que l'écoulement résiduel arrive à l'extrémité de la rigole. L'expérience montre que l'eau doit arriver à l'extrémité de la rigole dans un quart du temps prévu pour l'irrigation.

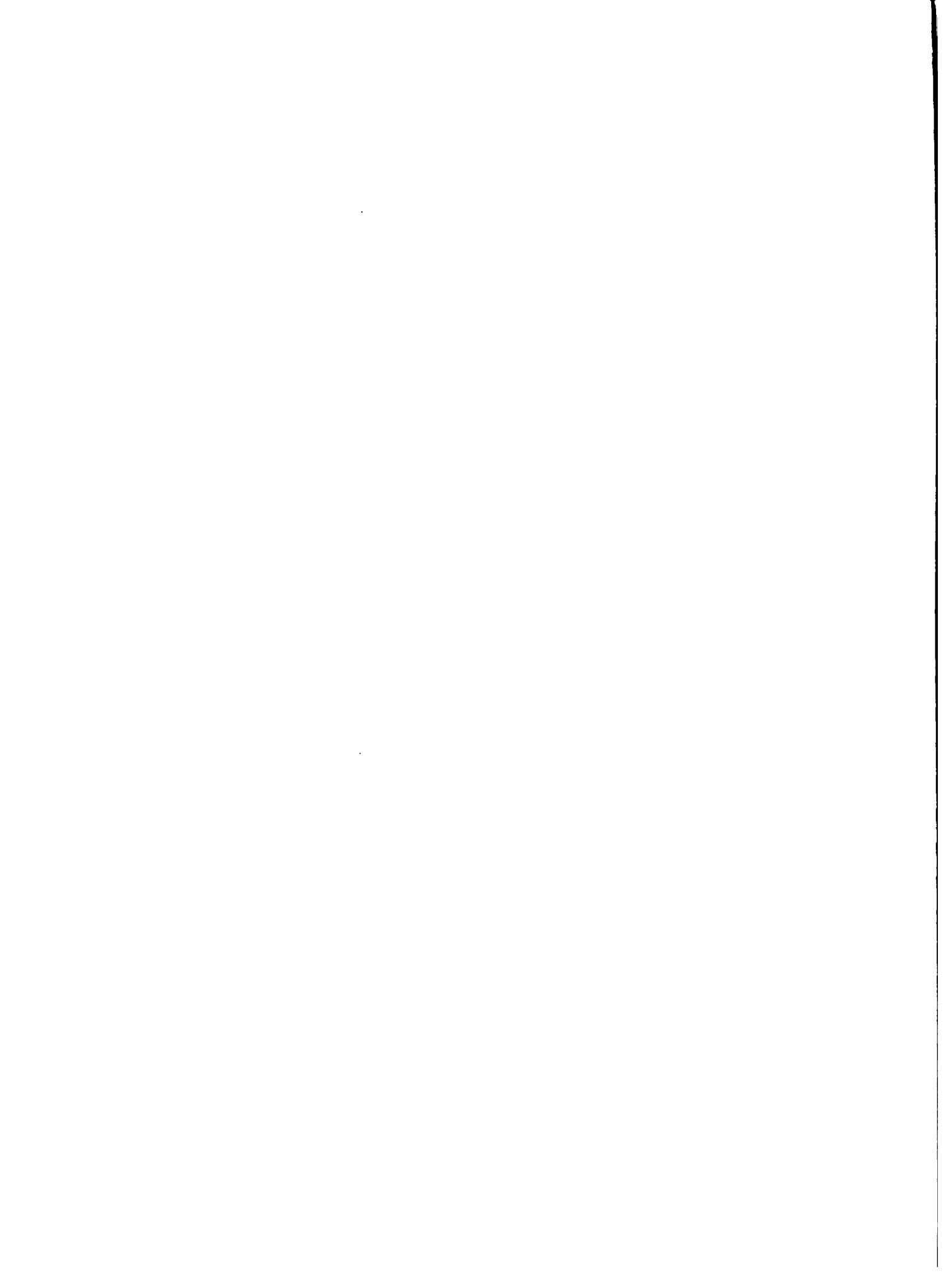
Le débit maximum non érosif peut être estimé à partir de la formule

$$Q_m = \frac{C}{I} \quad (42)$$

Où:

$Q_m$  = Débit maximum à appliquer par rigole (l/s)

$C$  = Constante = 0.6





I = Pente de la rigole (%)

Exemple

Si I = 0.3 % = 0.3

$$Q_m = \frac{0.6}{0.3} = 2 \text{ l/s}$$

Pendant l'irrigation on modifie le débit d'application, lorsque l'eau arrive à l'extrémité en aval de la rigole, afin d'éviter les pertes par ruissellement superficiel. Il est aussi possible de placer des canaux de colature pour recueillir l'excès d'eau qui va servir pour l'irrigation en aval.

Tableau VII-1: Relation débit maximum non érosif et pente de la rigole

Pente de la rigole (%)	Débit maximum (l/s)	Observations
0.1	6.0	Le débit est presque le double du débit recommandé pour une utilisation normale dans les rigoles en pente de 0.1 %.
0.3	2.0	0.3 % est la limite supérieure d'une pente pour que le débit ne provoque pas l'érosion.
0.5	1.2	Pour éviter l'érosion, il faudra que le débit 1,2 l/s soit inférieur à la capacité de la rigole.
2.0	0.3	2 % est la pente maximale pour des rigoles irriguées et sarclées. Pour éviter l'érosion il faut opérer sur le débit.



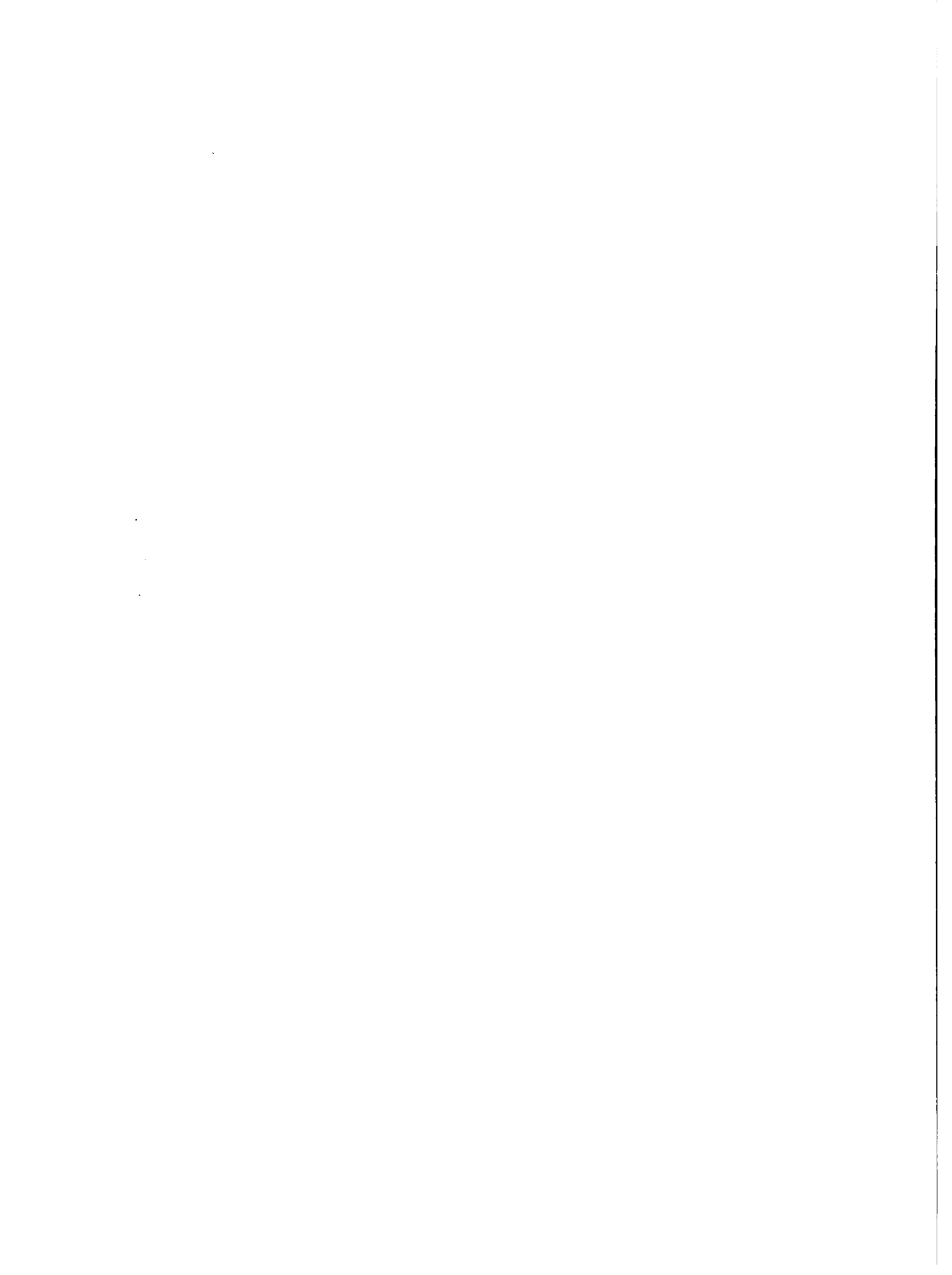
Tableau VII-2: Longueur maximale des rigoles (en m.) pour différents types de hauteur d'eau à appliquer et pour différentes pentes.

Pente de la rigole %	Lame d'eau à appliquer (cm)											
	7.5	15.0	22.5	30.0	5.0	10.0	15.0	20.0	3.5	7.5	10.0	12.5
0.05	300	400	400	400	120	270	400	400	60	90	150	190
0.10	340	440	470	500	180	340	470	470	90	190	190	200
0.20	370	470	530	620	220	370	530	530	120	250	250	300
0.30	400	500	620	800	280	400	600	600	150	280	280	400
0.50	400	500	560	750	280	370	530	530	120	250	250	300
1.00	280	400	500	600	250	300	470	470	90	220	220	250
1.50	250	340	430	500	220	280	400	400	80	190	190	220
2.00	220	270	340	400	180	250	340	340	60	150	150	190

### 7.8 Contrôle du débit d'entrée dans les rigoles

Pour une application d'eau dans les rigoles de manière contrôlée, on construit un canal d'application (quaternaire ou tertiaire) qui va permettre de maintenir un niveau constant de l'eau au moyen d'un battardeau à déversoir. Grâce aux siphons, l'eau sera déversée dans chaque rigole. Le débit calculé au moyen d'un siphon est calculé par l'expression

$$Q = C_q A \sqrt{2g \Delta h} \quad (43)$$



Où:

$Q$  = Débit d'application à la rigole.

$C_q$  = Coefficient de débit.

$A$  = Section droite du siphon.

$g$  = Accélération de la pesanteur.

$\Delta h$  = Charge hydraulique de fonctionnement du siphon.

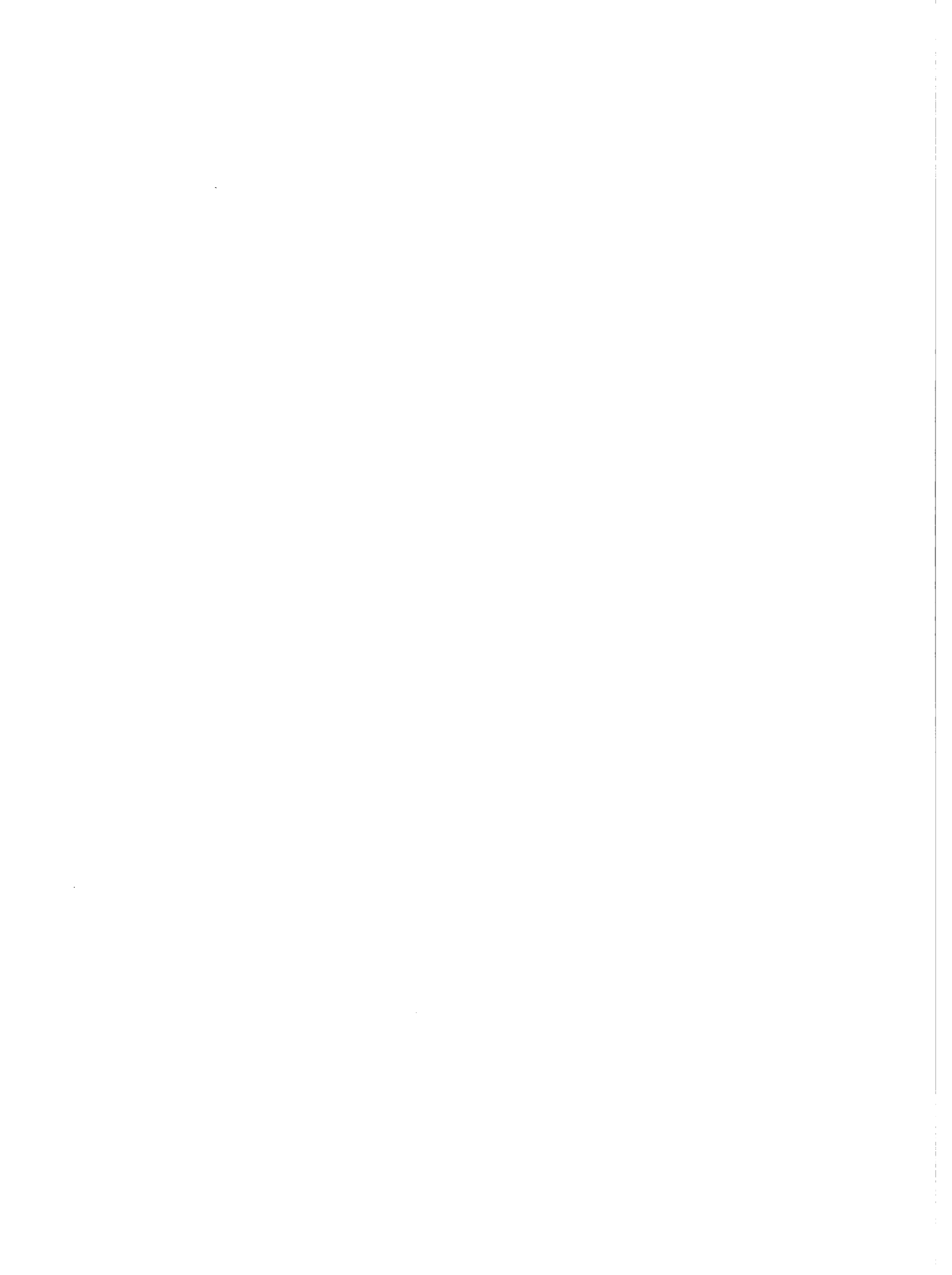
Les siphons sont construits à partir des tubes en plastique ou en métal. Pour trouver la relation entre  $Q$  et  $\Delta h$ , il est nécessaire de procéder à l'étalonnage du siphon. Le tableau VII-3 montre un exemple de la relation  $Q - h$ .

Tableau VII-3: Débit (en l/s) d'après le diamètre du tube et de la charge  $h$ .

Diamètre du tube (cm)	Charge hydraulique (cm)							
	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
1	0.03	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09
2	0.13	0.19	0.23	0.23	0.26	0.30	0.32	0.37
3	0.30	0.42	0.51	0.59	0.66	0.73	0.79	0.84
4	0.53	0.75	0.91	1.06	1.18	1.29	1.40	1.49
5	0.83	1.17	1.43	1.65	1.85	2.02	2.18	2.33
6	1.19	1.68	2.06	2.38	2.66	2.91	3.14	3.36
7	1.62	2.29	2.80	3.24	3.62	3.96	4.28	4.58
8	2.11	2.99	3.66	4.23	4.72	5.18	5.59	5.98
9	2.67	3.78	4.63	5.35	5.98	6.55	7.07	7.56
10	3.30	4.67	5.72	6.60	7.38	8.09	8.73	9.34

### 7.9 Lame d'eau appliquée

Pour calculer la moyenne de la lame d'eau appliquée, on se sert de l'expression:



$$\text{Lame d'eau} = \frac{Q \text{ débit (l/s)} \times T \text{ (durée de l'application en secondes)}}{L_1 \text{ (Longueur de la rigole)} \times L_2 \text{ (écartement des rigoles)}}$$

### Exemple

Pour irriguer un champ aménagé par des rigoles de 210 m de longueur, l'écartement entre celles-ci est de 0.90 m. Un débit initial de 2.2 l/s est utilisé pendant 1.50 heure, lequel est réduit à 0.5 l/s pendant 5.3 heures. Calculer le taux d'application initial et final ainsi que la lame d'eau appliquée.

$$\frac{2.2 \times 3\,600}{0.9 \times 210} = \frac{792}{1.89} = 41.9 \quad 42 \text{ mm/heure}$$

$$\frac{0.5 \times 3\,600}{0.9 \times 210} = \frac{1\,800}{18.9} = 9.5 \text{ mm/heure}$$

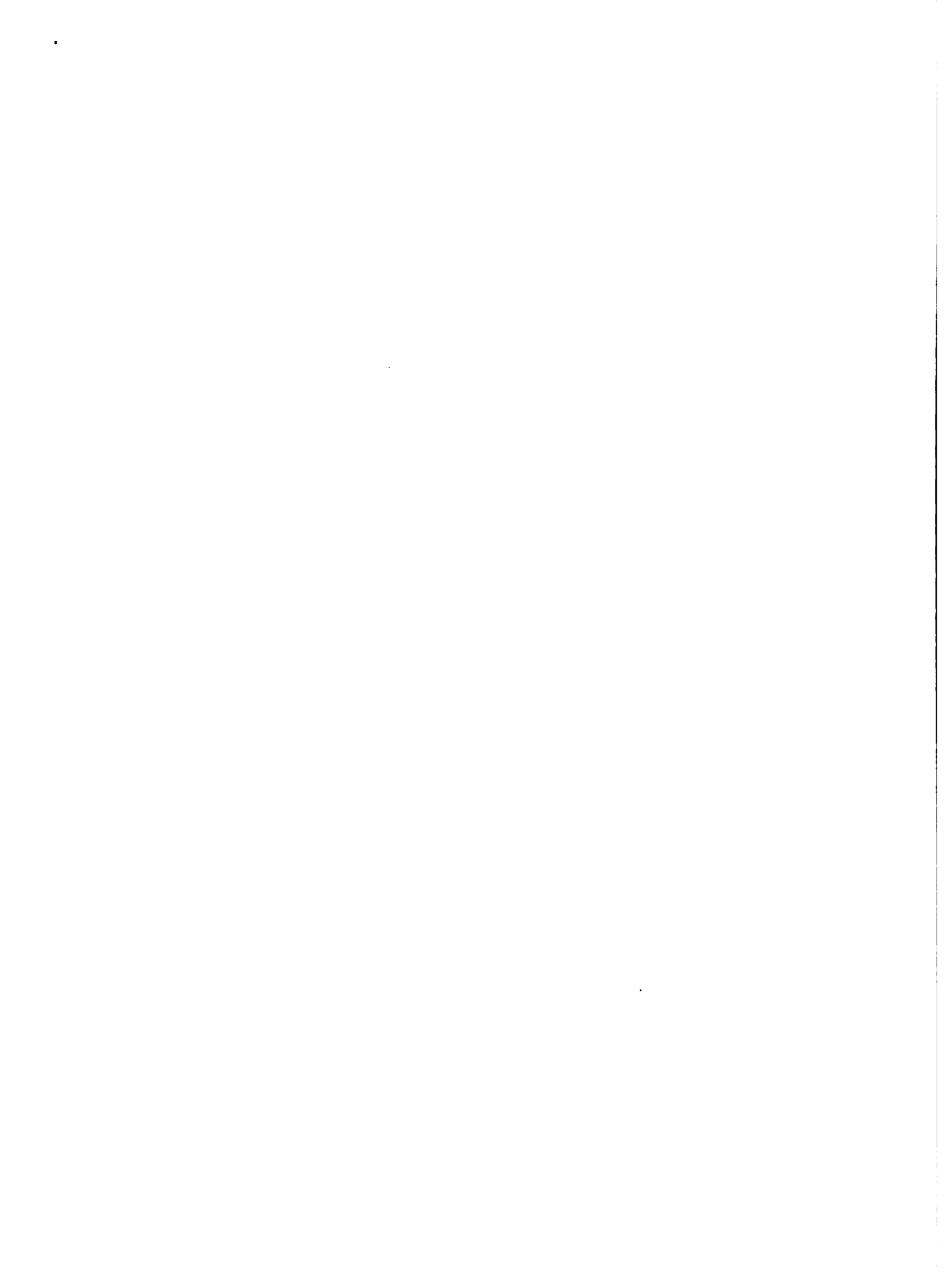
Lame moyenne appliquée

$$41.9 \times 1.5 + 9.5 \times 5.3 = 62.85 + 49.29 = 112.14$$

La lame d'eau appliquée est de 112.14 mm

### 7.10 Dimensionnement de l'irrigation à la parcelle par rigoles

Longueur	600 m	Main d'oeuvre 6 ouvriers
Pente longitudinale	2 %	Culture maïs (écartement 0.9 m)
Largeur	350 m.	Fréquence d'application inférieure à 7 jours dans la période de pointe.





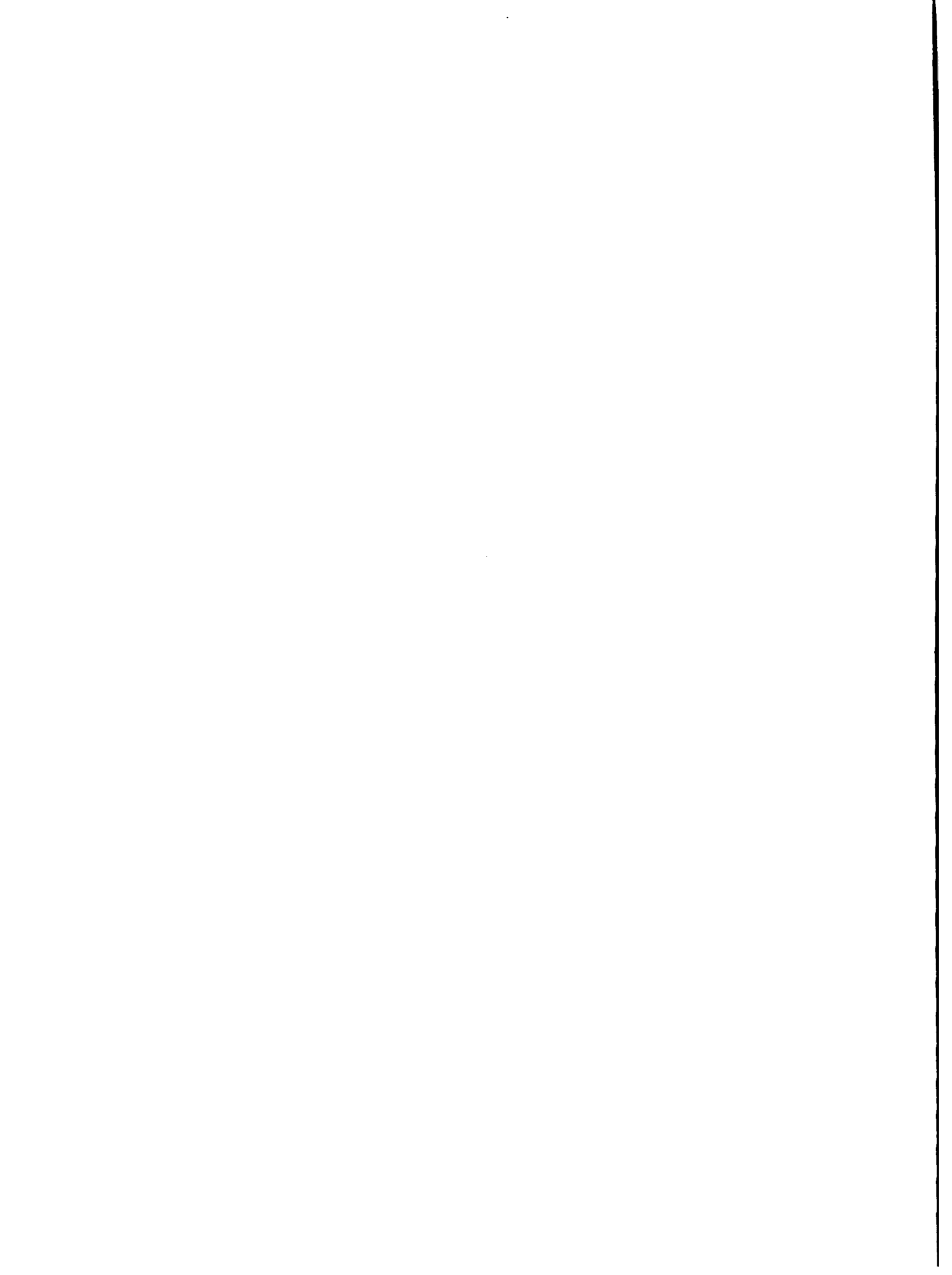
Pente transversale 2.5 %  
 Débit 1000 l/s      Lame d'eau à appliquer par irrigation 10 cm.

Les résultats d'un essai d'infiltration en rigole de 50 m de longueur avec un débit permanent de 1.5 l/s sont:

Débit (sortie) l/s	Temps min.
0.4	14
0.5	24
0.6	35
0.7	53
0.8	84
0.9	120
1.0	180
1.1	240
1.26	305

Les résultats de l'essai d'avancement de l'écoulement dans la rigole.

Distance à partir de l'origine (m)	Temps (min.)	Distance à partir de l'origine m	Temps (min.)
10	4	105	60
20	9	135	80
30	14	150	100
40	17	175	140
50	20	200	180
60	30	225	200
70	40	250	260
80	45	275	300
90	52	300	360



Déterminer:

- a) La direction des rigoles
- b) La longueur optimale des rigoles
- c) Le débit maximum non érosif
- d) Le temps d'irrigation
- e) Les pertes par percolation
- f) les pertes par ruissellement
  - 1) à débit constant
  - 2) à débit variable
- g) L'efficience d'application

Solution

Détermination des paramètres de l'équation d'infiltration.

Débit à l'entrée	Débit à la sortie	Débit Q infiltré	$m^3/h$	T	l
l/s	l/s	l/s		min.	cm/heure
1.5	0.4	1.1	3.96	14	8.8
1.5	0.5	1.0	3.60	24	8.0
1.5	0.6	0.9	3.24	35	7.19
1.5	0.7	0.8	2.88	53	6.39
1.5	0.8	0.7	2.52	84	5.59
1.5	0.9	0.6	2.16	120	4.79
1.5	1.0	0.5	1.80	180	3.99
1.5	1.1	0.4	1.44	240	3.19
1.5	1.26	0.24	0.86	305	1.91

$$VI = aT^n$$

Où :

VI = Vitesse d'infiltration



T = Temps en minutes

actn = paramètres d'infiltration

$$\text{Log VI} = \text{Log } a + n \log T$$

D'après les données obtenues

$$\log 3.19 = \log a + n \log 240$$

$$\log 7.19 = \log a + n \log 35$$

$$0.5037907 = \log a + n (2.3802112)$$

$$0.8567289 = \log a + n (1.544068)$$

$$- 0.3529382 = n (0.8361432)$$

$$n = - 0.42$$

$$0.5037907 = \log a + (-0.42)(2.3802112)$$

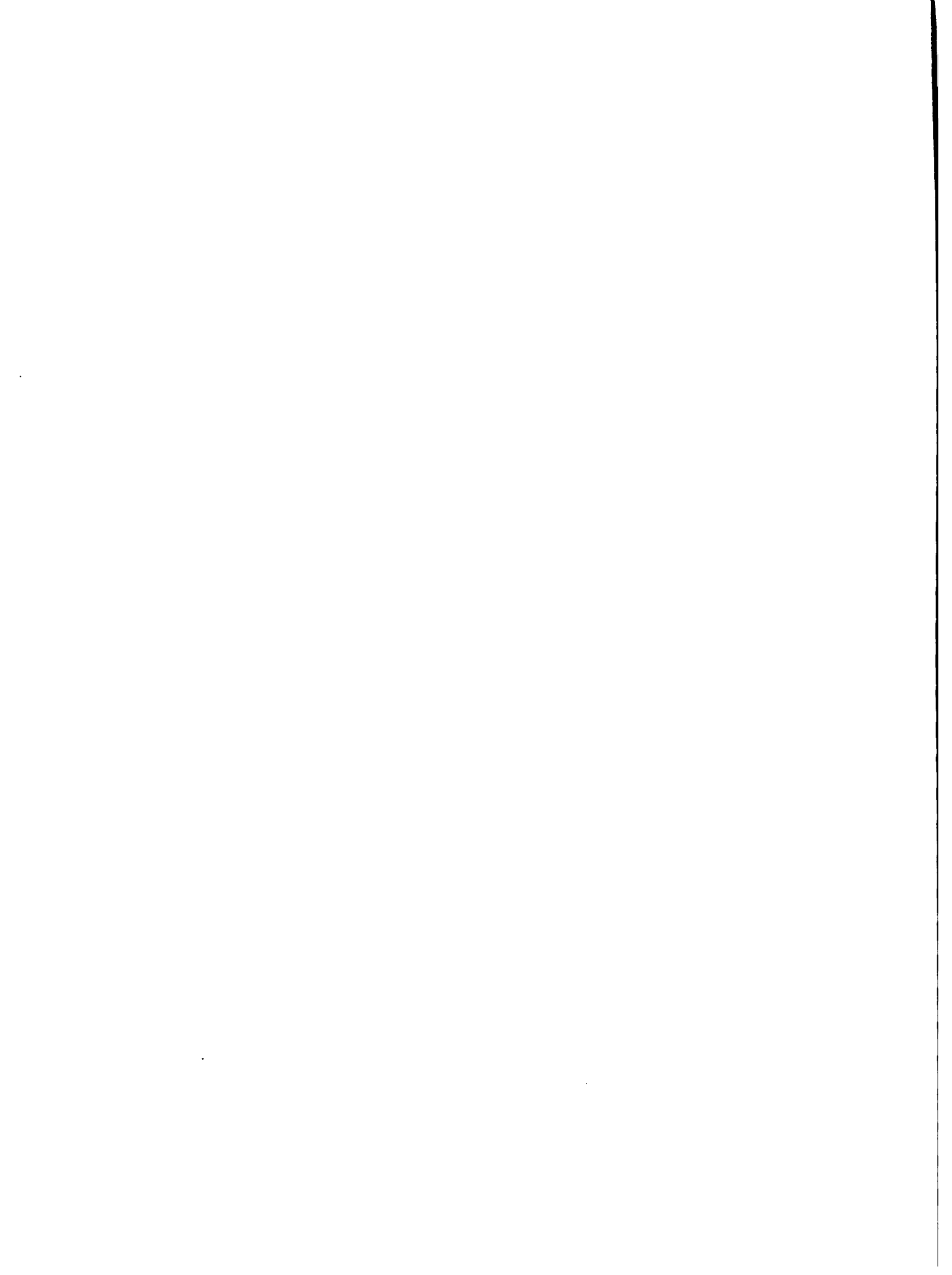
$$0.5037907 = \log a - 0.9996887$$

$$\log a = 1.5034794$$

$$a = \text{antilog } 1.5034794 = 31.877144$$

La lame d'eau infiltrée sera:

$$h = \int_0^T a T^n dt = \frac{T^{n+1}}{n+1} = \frac{31.877144 T^{0.58}}{(0.58)}$$



$$h = 0.916 T^{0.58}$$

Le temps d'irrigation

$$T_T = T_c + T_a$$

Où:

$T_T$  = Temps d'irrigation

$T_c$  = Temps de contact

$T_a$  = Temps d'avance

Le temps nécessaire pour appliquer une lame de 0.10 m sera:

$$10 = 0.916 T_c^{0.58}$$

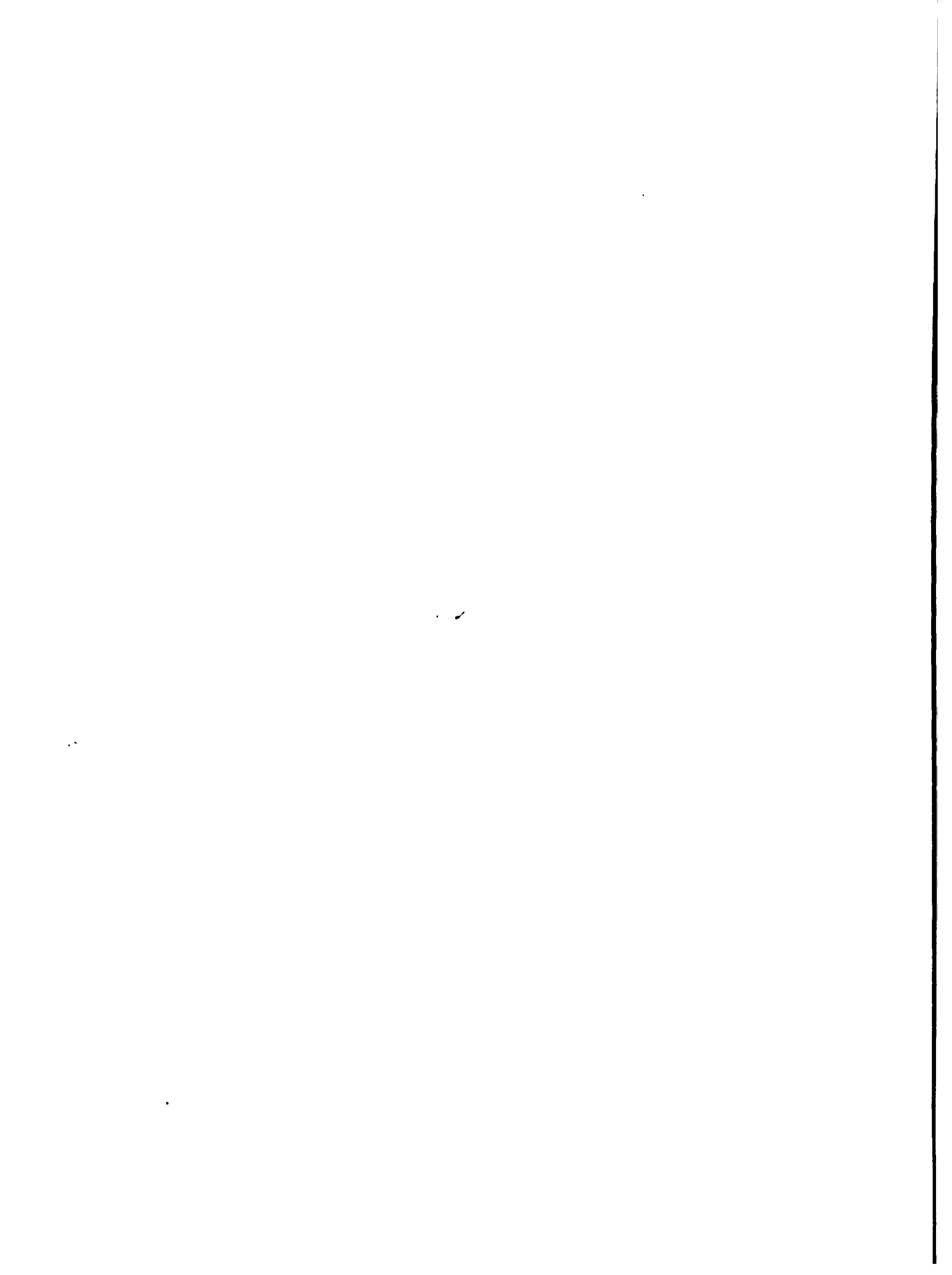
$$T_c = (10/0.916)^{1/0.58}$$

$$T_c = (10.917031)^{1.72} = 61.6 = 62$$

$$T_c = 62 \text{ minutes}$$

Le temps d'avance se trouve à partir de la relation

$$R = \frac{T_c}{T_a} ; T_a = RT_c$$





A partir de l'hypothèse que les pertes par percolation sont les 6 % et à l'aide de l'expression

$$\% P = \frac{(R + 1)^{n+1} - R^{n+1}}{(R + 1)^{n+1} + R^{n+1}} \times 100$$

$$P = (R + 1)^{n+1} + PR^{n+1} = 100 (R + 1)^{n+1} - 100 R^{n+1}$$

$$(R + 1)^{n+1} [P - 100] = - R^{n+1} (P + 100)$$

$$\left| \frac{R + 1}{R} \right|^{n+1} = \left| \frac{P + 100}{-P - 100} \right| = - \left| \frac{106}{94} \right| = 1.1276596$$

$$- \frac{R + 1}{R} = (1.1276596)^{1.7241} = 1.23$$

$$R + 1 = 1.23 R$$

$$1 = 0.23$$

$$k = \frac{1}{23} = 4.35$$

$$T_a = 62/4.35 = 14.25 \text{ minutes}$$

$$\text{Le temps total } (T_T) = 62 + 14.25 = 76.25 \text{ minutes}$$

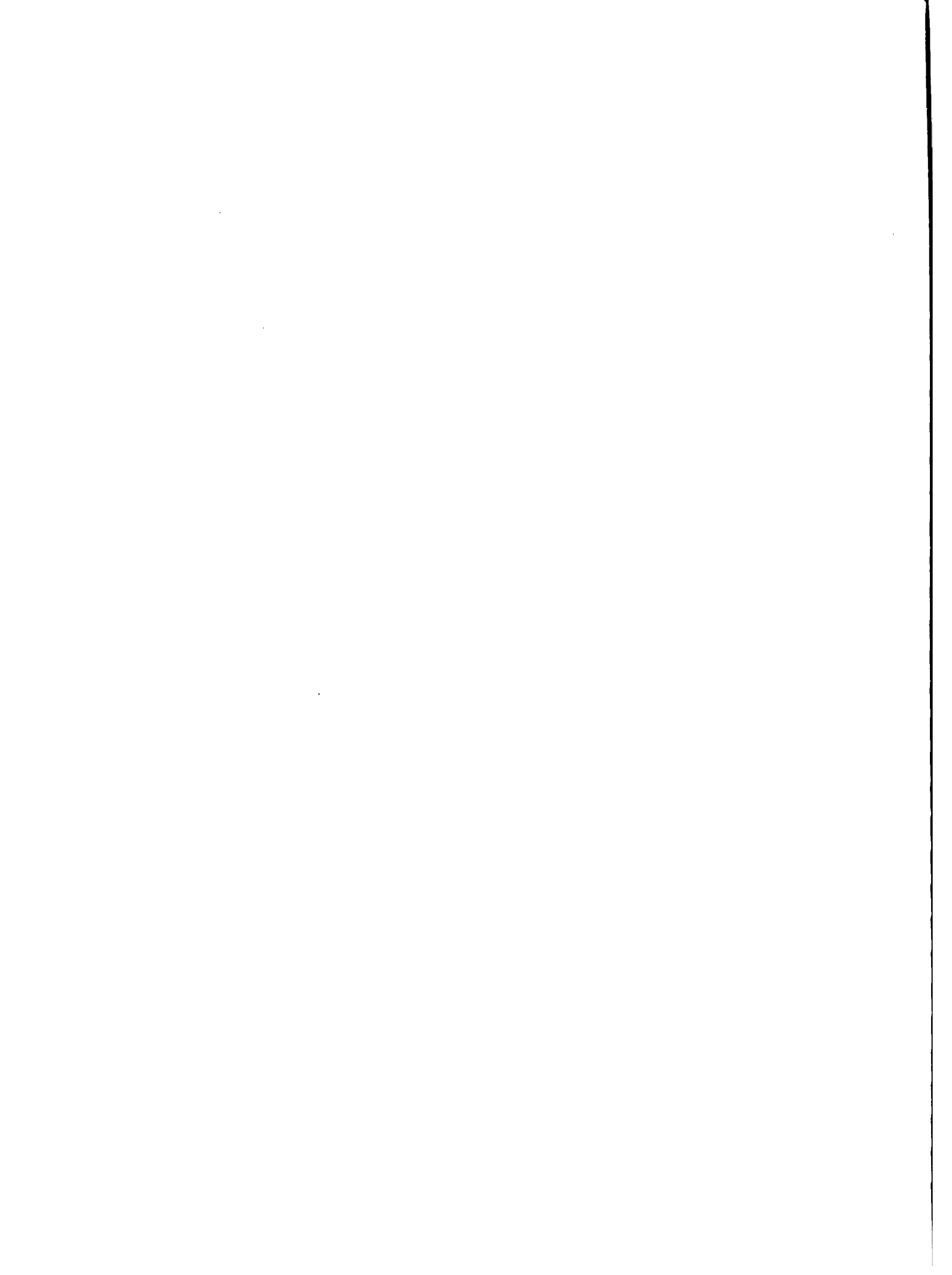
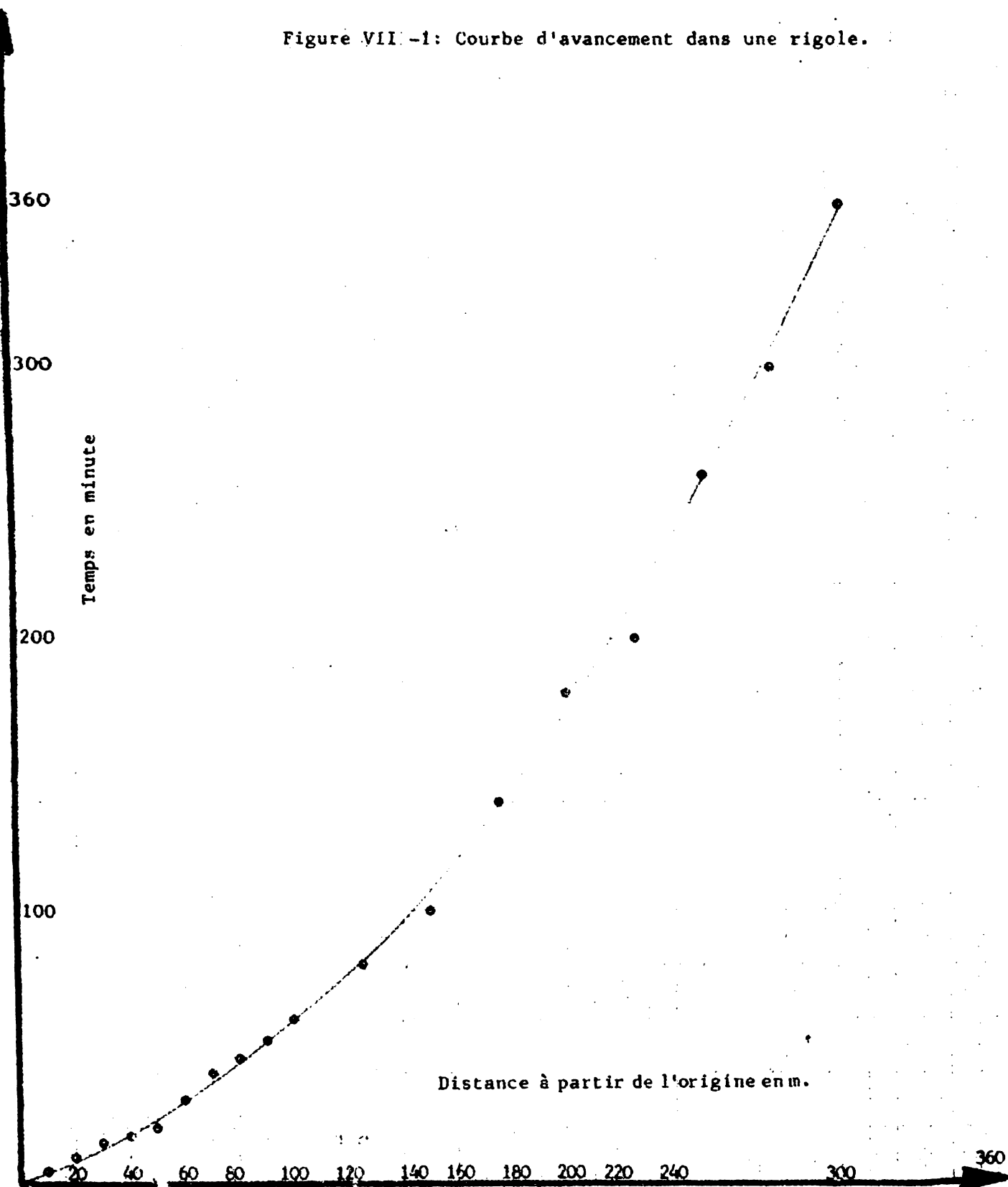
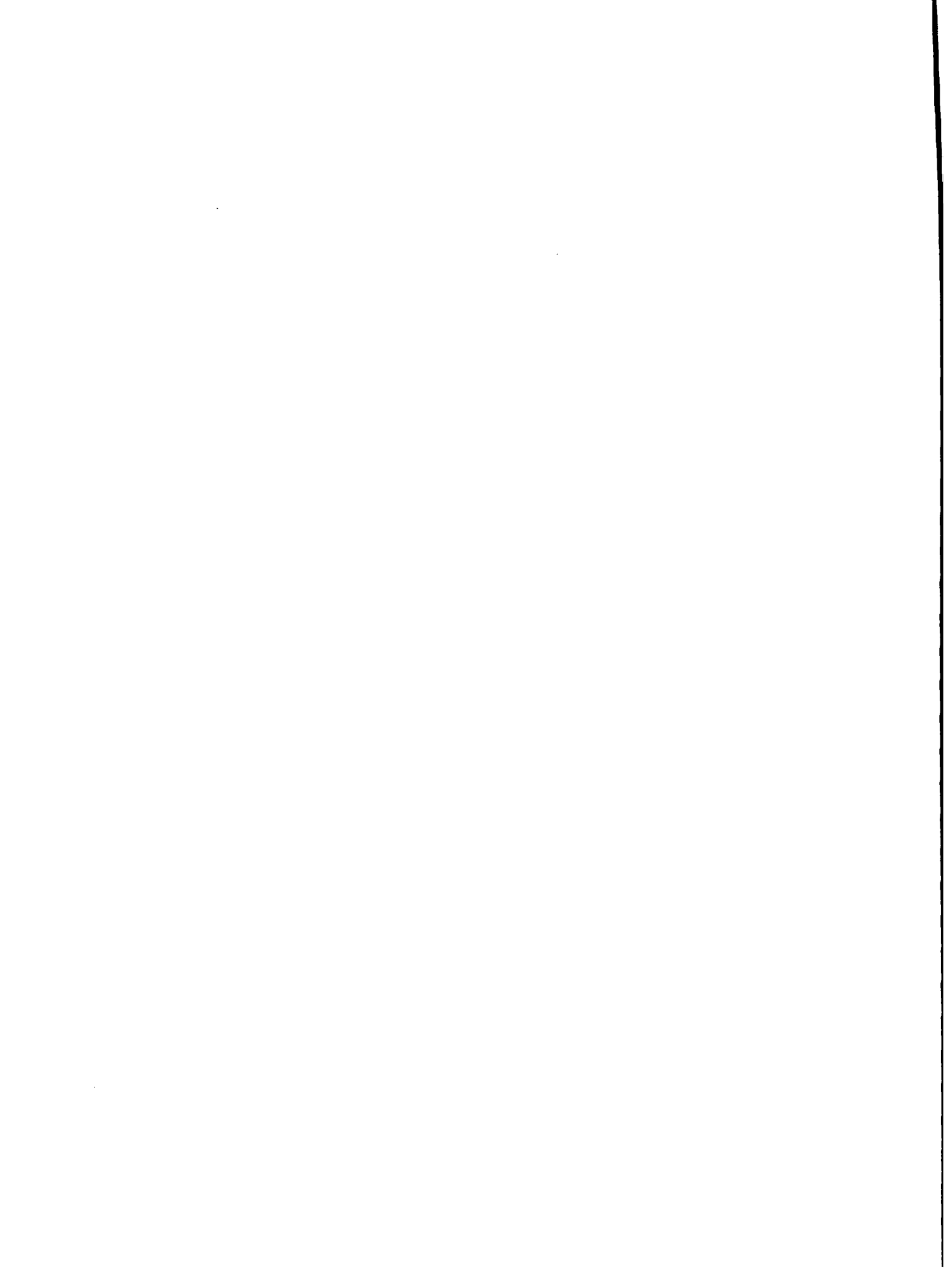


Figure VII-1: Courbe d'avancement dans une rigole.





Longueur de la rigole

Sur l'hypothèse que l'eau doit arriver à l'extrémité en aval de la rigole dans un quart du temps nécessaire pour l'infiltration

$$L (14.25) = 57 \text{ minutes}$$

D'après la figure VIII-1 pour un temps de 57 minutes on a une rigole de 96 m. de long.

Direction de la rigole

A partir de la relation entre le débit et la pente on a :

$$Q = \frac{0.6}{I}$$

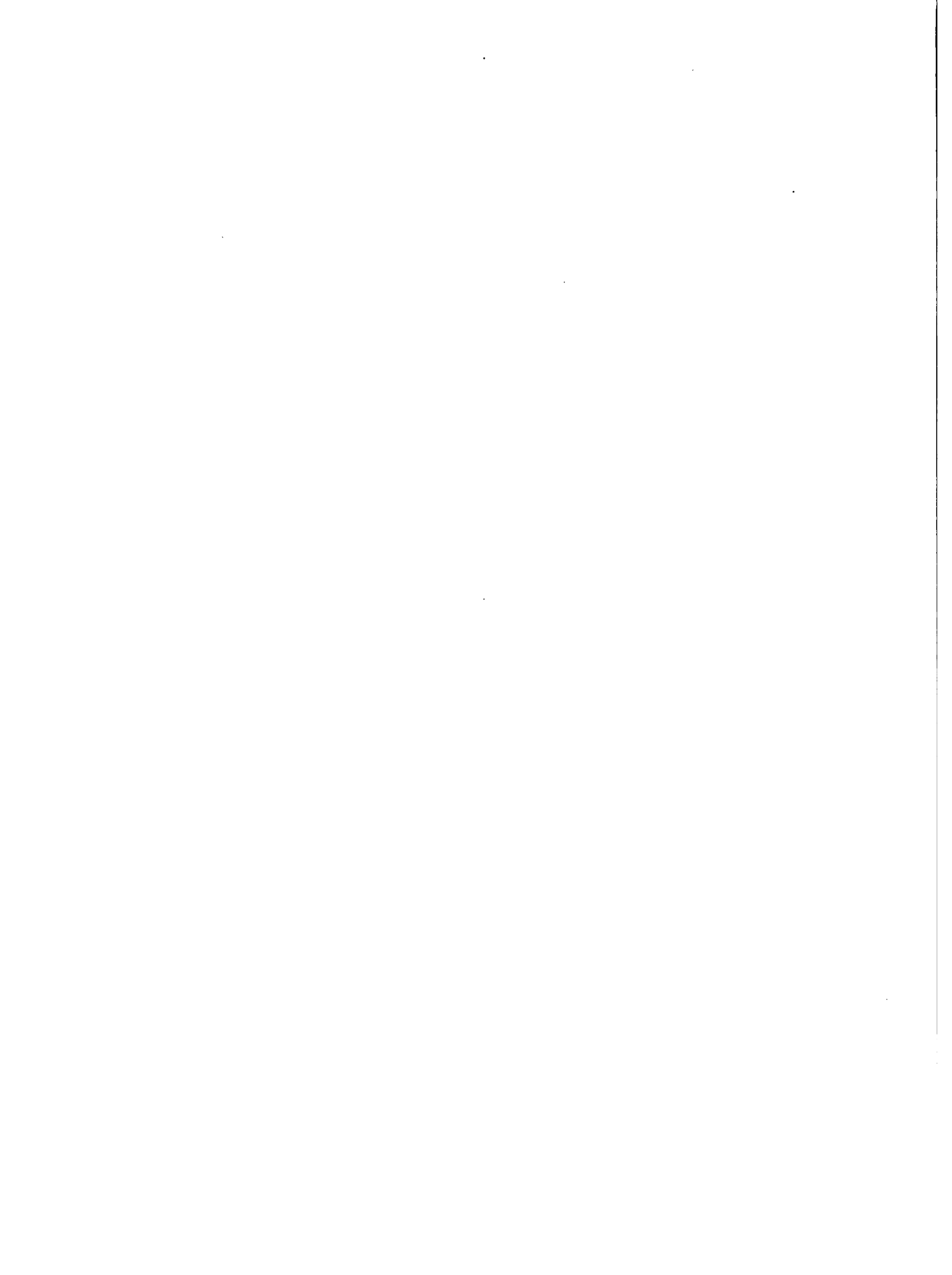
Pour la pente longitudinale on a :

$$Q = \frac{0.6}{2} = 0.3 \text{ l/s}$$

Pour la pente transversale on a :

$$Q = \frac{0.6}{2.25} = 0.24 \text{ l/s}$$

Le débit disponible pour irriguer l'unité parcellaire est 1000 l/s. Supposons que chaque usager peut manipuler 50 rigoles, le débit par rigole sera :



$$\frac{1000}{50 \times 6} = \frac{10}{3} = 3.33 \text{ l/s}$$

La pente pour un débit de 3.33 l/s serait:

$$P = \frac{0.6 \times 3}{10} = 0.18 \%$$

Pour obtenir le meilleur résultat dans l'utilisation du débit, les rigoles doivent être tracées avec une certaine inclinaison. Ces inclinaisons peuvent être:

dans le sens longitudinal

$$0.18 = 2 \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{0.18}{2} = 0.09$$

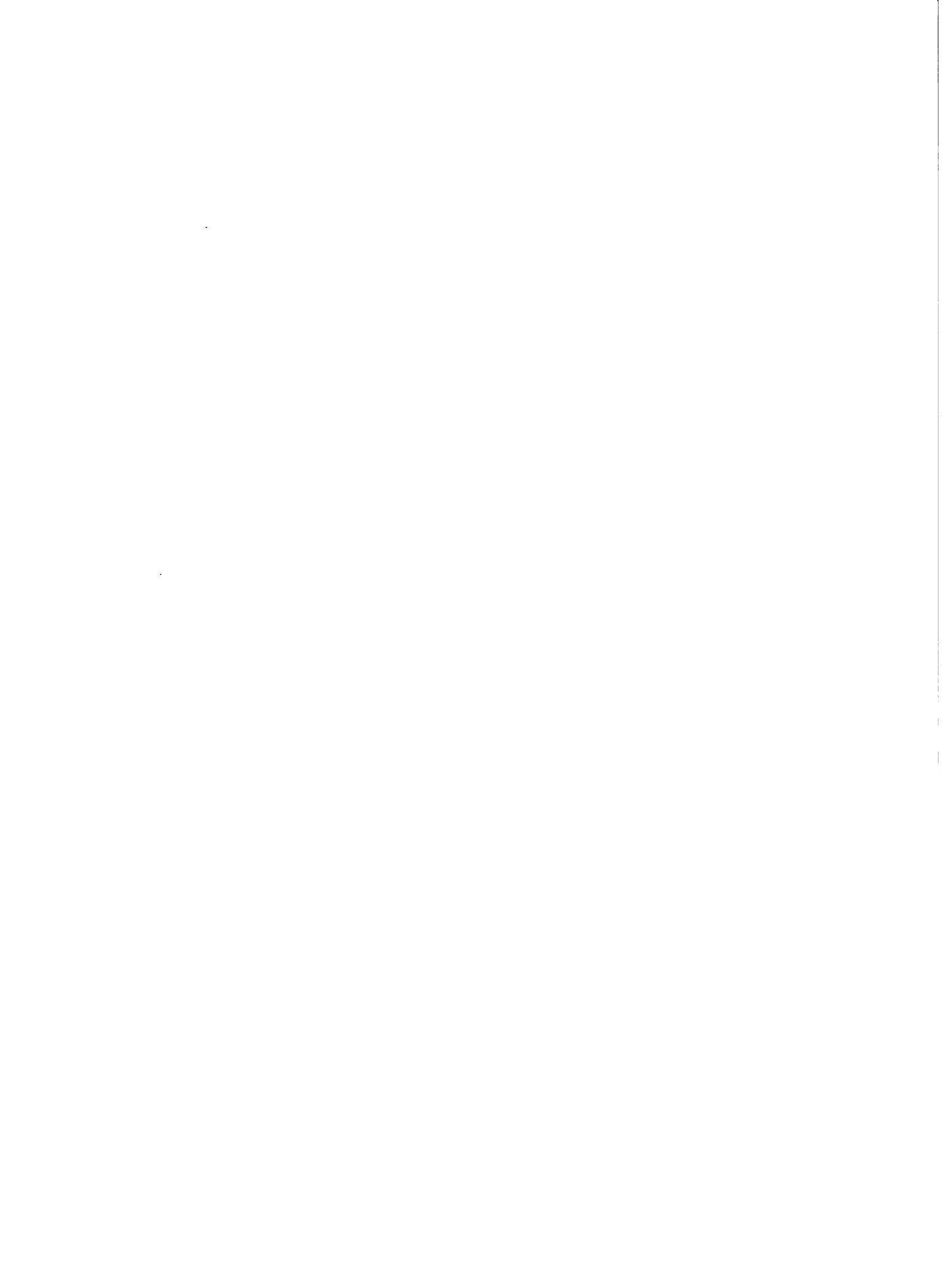
$$\alpha = 88.85 = 88^{\circ}51'$$

Dans le sens transversal

$$0.18 = 2.5 \cos$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{0.18}{2.5} = 0.072$$

$$\alpha = 85.87 = 85^{\circ}52'$$





Pour utiliser un débit de 3.33 l/s, il convient de donner aux rigoles une inclinaison de  $87^{\circ}$  par rapport au niveau du canal d'alimentation.

Les pertes par ruissellement à débit constant sont:

Volume ruisselé = Volume appliqué - Volume infiltré

$$10 \text{ l/s} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{heure}} = 12 \text{ m}^3/\text{heure}$$

Le temps de contact est de 62 minutes.

Le volume d'eau appliqué pendant les 62 minutes est:

$$\frac{12 \text{ m}^3}{\text{heure}} \times \frac{62 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} \times \text{heure} = 12.4 \text{ m}^3$$

Le volume infiltré

Supposons que la lame d'eau infiltré est de 0.10 m, d'après les dimensions de la rigole, le volume d'eau infiltré sera:

$$96 \text{ m} \times 0.9 \text{ m} \times 0.1 = 8.64 \text{ m}^3$$

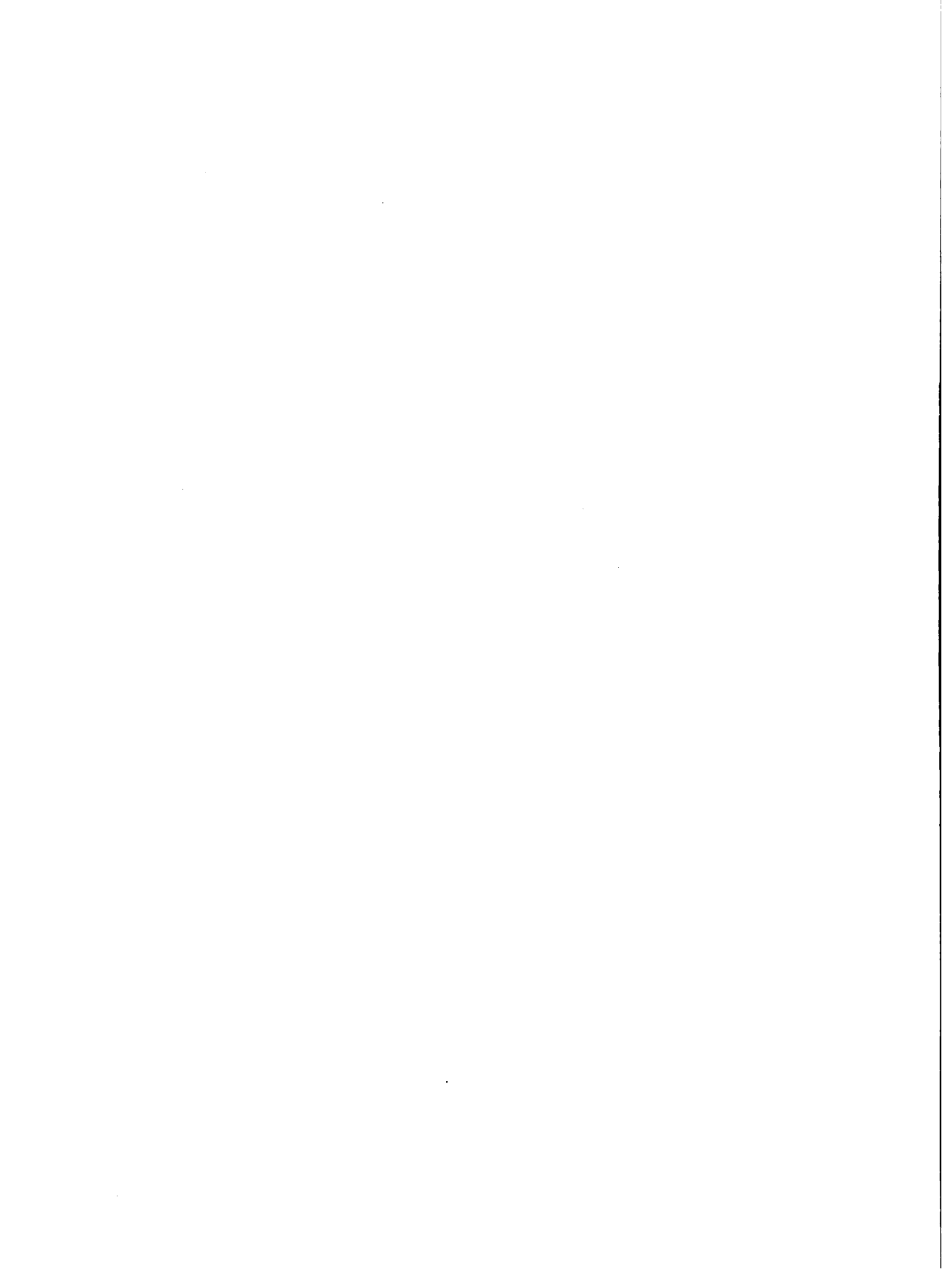
Le volume ruisselé sera:

$$12.4 - 8.64 = 3.76 \text{ m}^3$$

Les pertes par ruissellement à débit variable:

Le temps d'avance: TA = 14.25 minutes

Le temps de contact: TC = 62 minutes



L'équation d'infiltration sera:

$$VI = 32 T^{-0.42}$$

La vitesse d'infiltration au temps 14.25 minutes à l'amont est de

$$VI = 32 (14.25)^{-0.42} = 10.48 \text{ cm/heure}$$

A la première minute, la VI à l'aval est la suivante:

$$VI = 32 \text{ cm/heure}$$

Le volume infiltré:

$$0.1048 \frac{\text{h}}{\text{heure}} \times 96 \text{ m} \times 0.9 \text{ m} = 9.05472 \text{ m}^3/\text{heure}$$

$$0.32 \text{ m/heure} \times 96 \times 0.9 \text{ m} = 27.648 \text{ m}^3/\text{heure}$$

Volume à partir duquel on doit faire la première réduction:

$$\frac{27.648 - 9.0547}{2} = 9.297 \text{ m}^3/\text{heure}$$

Dans la deuxième réduction la vitesse d'infiltration au temps 45 minutes à l'aval sera:

$$VI = 32 \left( \frac{1}{(45)^{0.42}} \right) = 6.47 \text{ cm/heure}$$



Au 30 minutes à l'amont

$$V1 = 32 \left( \frac{1}{30^{0.42}} \right) = 7.67 \text{ cm/heure}$$

$$Q_{\text{Amont}} = 6.47 \times 96 \times 0.9 = 5.59 \text{ m}^3/\text{heure}$$

$$Q_{\text{Aval}} = 7.69 \times 96 = 6.63 \text{ m}^3/\text{heure}$$

Volume à partir duquel le débit doit être réduit

$$\frac{6.63 - 5.59}{2} = 0.54 \text{ m}^3/\text{heure}$$

Le volume appliqué sera:

- Un débit de 12 m<sup>3</sup>/heure pendant 15 minutes, soit 3 m<sup>3</sup>.
- Un débit de 9.3 m<sup>3</sup>/heure pendant 30 minutes, soit 4.65 m<sup>3</sup>.
- Un débit de 0.54 m<sup>3</sup>/heure pendant 17 minutes, soit:

$$0.54 \times \frac{17}{60} = 0.153 \text{ m}^3$$

Le volume appliqué sera:

$$3 + 4.65 + 0.153 = 8.803 \text{ m}^3$$



Les pertes par percolation sont 6 % du volume appliqué.

Pour un débit réduit elles seront :

$$8.803 \times 0.06 = 0.52818 \text{ m}^3$$

Et pour un débit constant elles seront :

$$12.4 \text{ m}^3 \times 0.06 = 0.744 \text{ m}^3$$

Efficienc e d'application

$$E_a = \frac{15.47 - (0.943 + 6.65)}{15.47} = 50.91 \%$$





## CHAPITRE VI.1

### IRRIGATION PAR ASPERSION

#### Généralités

Dans cette méthode l'eau est appliquée sur le terrain sous forme de pluie. Celle-ci est produite au passage de l'eau sous pressions dans les petites orifices (asperseurs - buses) réparties tout au long des tuyaux latéraux. La pression peut être obtenue au moyen d'une pompe ou tout simplement par le dénivellement existant entre les terrains. Ce type d'irrigation présente l'avantage d'être adaptable à plusieurs types de sol à cause de sa multifonctionnalité.

#### 8.1 Bénéfices de l'irrigation par aspersion

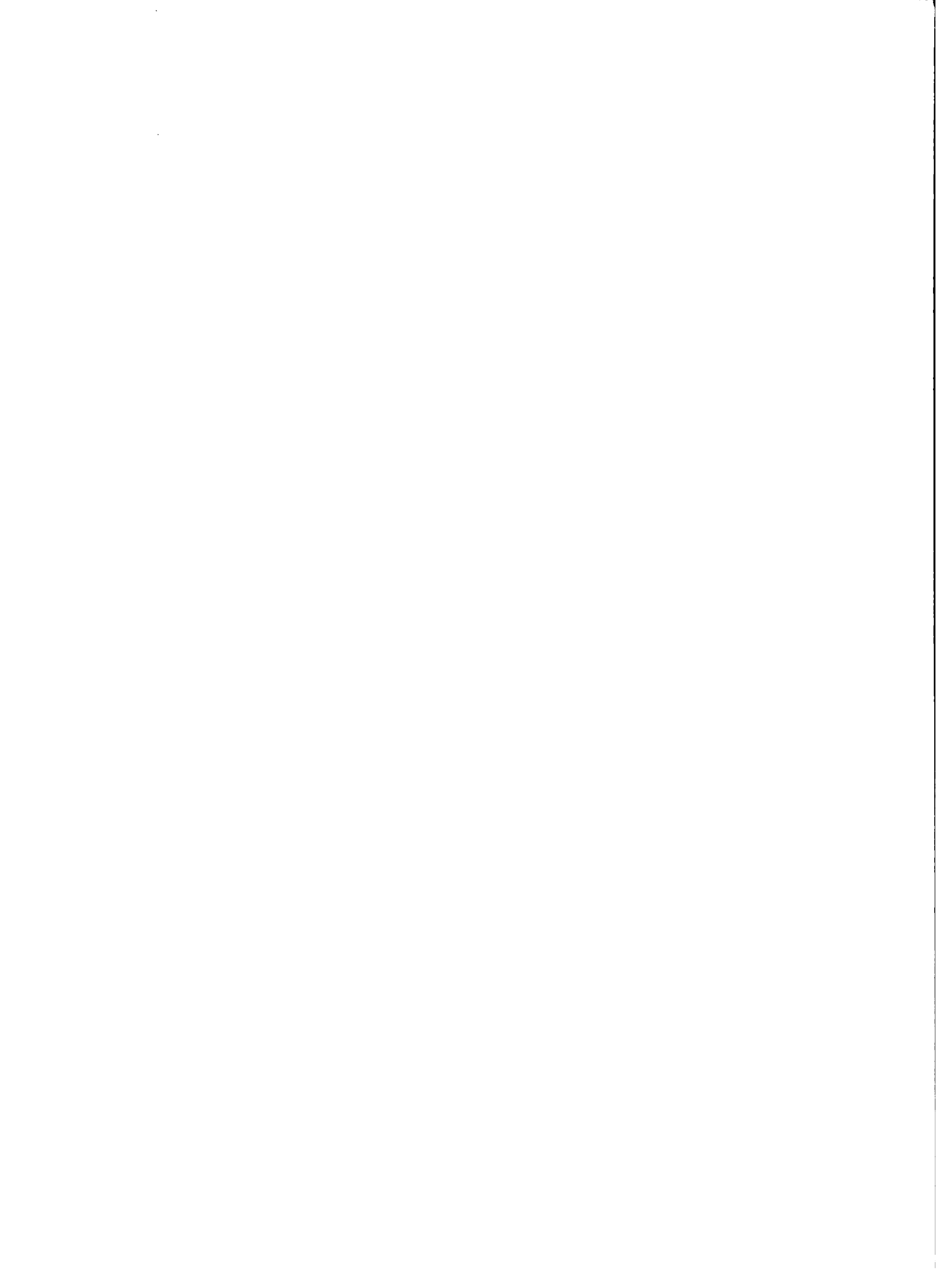
Une aspersion bien calculée permet d'obtenir un maximum d'utilisation et une meilleure uniformité dans la répartition de l'humidité dans le profil du sol. C'est pour cette raison elle est surtout recommandée dans les zones où la ressource hydrique fait défaut.

Elle est applicable à tous tous les types de terrains, quelque soit la situation topographique.

Elle favorise la germination des semences.

Elle permet de contrôler l'application de la lame d'eau.

Les frais d'installation en infrastructure sont très réduits car contrairement aux méthodes superficielles, la longueur des canaux et des drains sont diminuées et par conséquent on a une plus grande superficie irriguée.



Elle facilite l'emploi des fertilisants et des pesticides qui peuvent être dissouts et appliqués conjointement dans la même eau d'irrigation.

## 8.2 Les désavantages du système d'irrigation

Le coût de l'équipement, de l'entretien et de son fonctionnement est assez élevé. Dans le coût annuel de fonctionnement, l'on doit surtout tenir compte de la dépréciation de l'équipement et le coût d'opération (consommation d'énergie, main d'oeuvre que requiert le déplacement des latéraux, entretien de la pompe, du moteur, des tuyaux et des arroseurs).

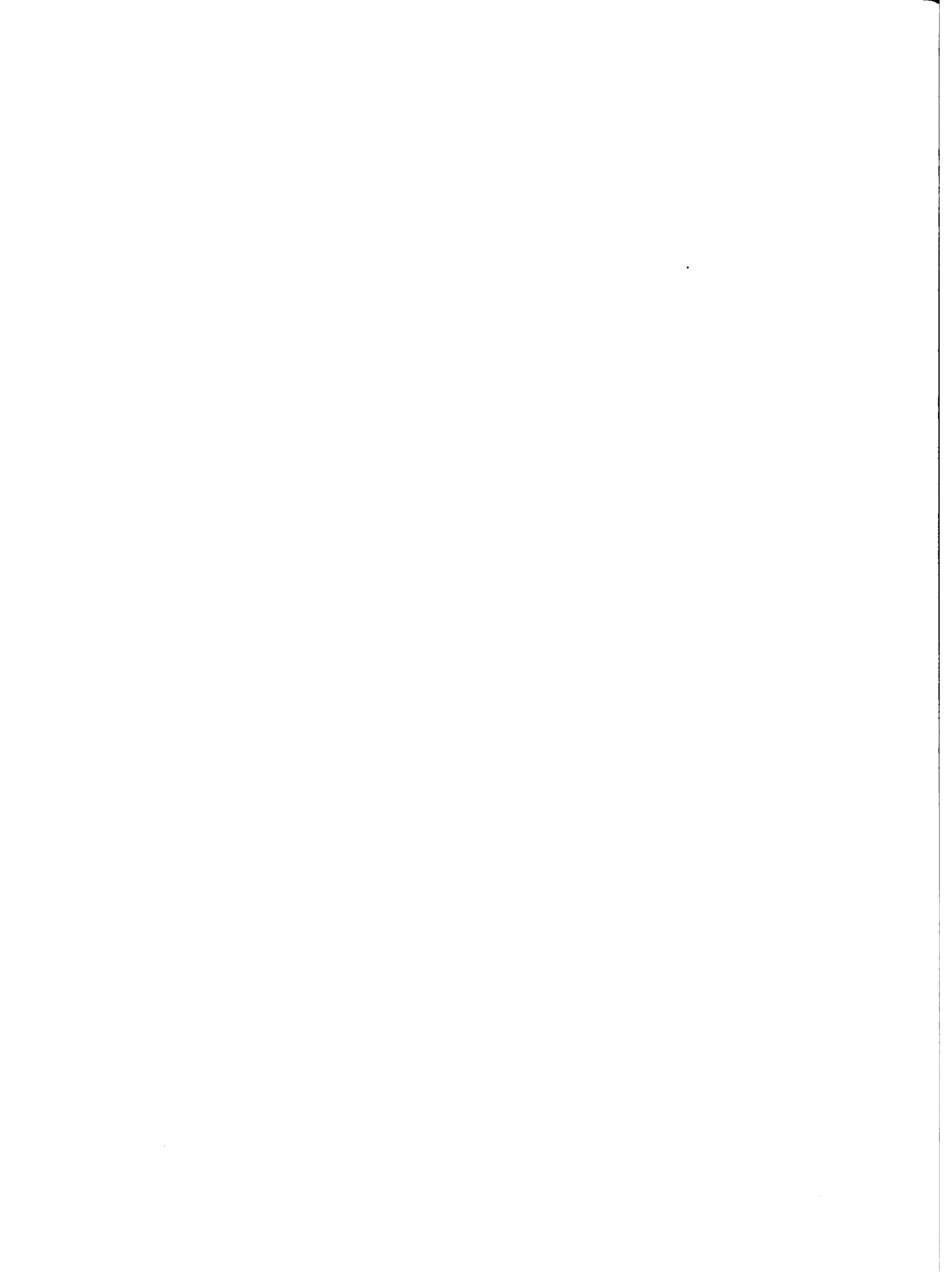
Son efficacité est diminuée par les forts vents qui empêchent une bonne répartition de l'eau.

Dans certains cas elle provoque la chute des fleurs qui va entraîner une diminution de la récolte

Il est à signaler que le choix de l'aspersion ne doit pas se faire à partir d'une comparaison entre les bénéfices et les contraintes que présente ce procédé d'irrigation car elle constitue la seule alternative lorsque les autres méthodes superficielles ne conviennent pas, comme c'est le cas dans les terrains à pente raide, et les terrains à forte vitesse d'infiltration, etc.

## 8.3 Composantes de la méthode d'irrigation par aspersion

Ce système d'irrigation par aspersion est formé d'un réseau de tuyaux destiné à transporter l'eau sous pression (celle-ci est supérieure à la pression atmosphérique) pour être répartie sur le champ. Ces tuyaux peuvent être permanents s'ils sont enterrés ou transportables selon les besoins de fonctionnement. En observant un équipement conventionnel d'aspersion à partir de la sortie de l'eau, on peut remarquer:



- un asperseur
- les régulateurs de débit et de pression
- les raccordements
- les latéraux
- le tuyau principal
- la pompe
- le moteur

Cet équipement est composé de trois parties:

1. Le groupe de pompage (moteur-pompe, tuyau de refoulement)
2. Le tuyau principal
3. Les distributeurs d'eau (latéraux et asperseurs)

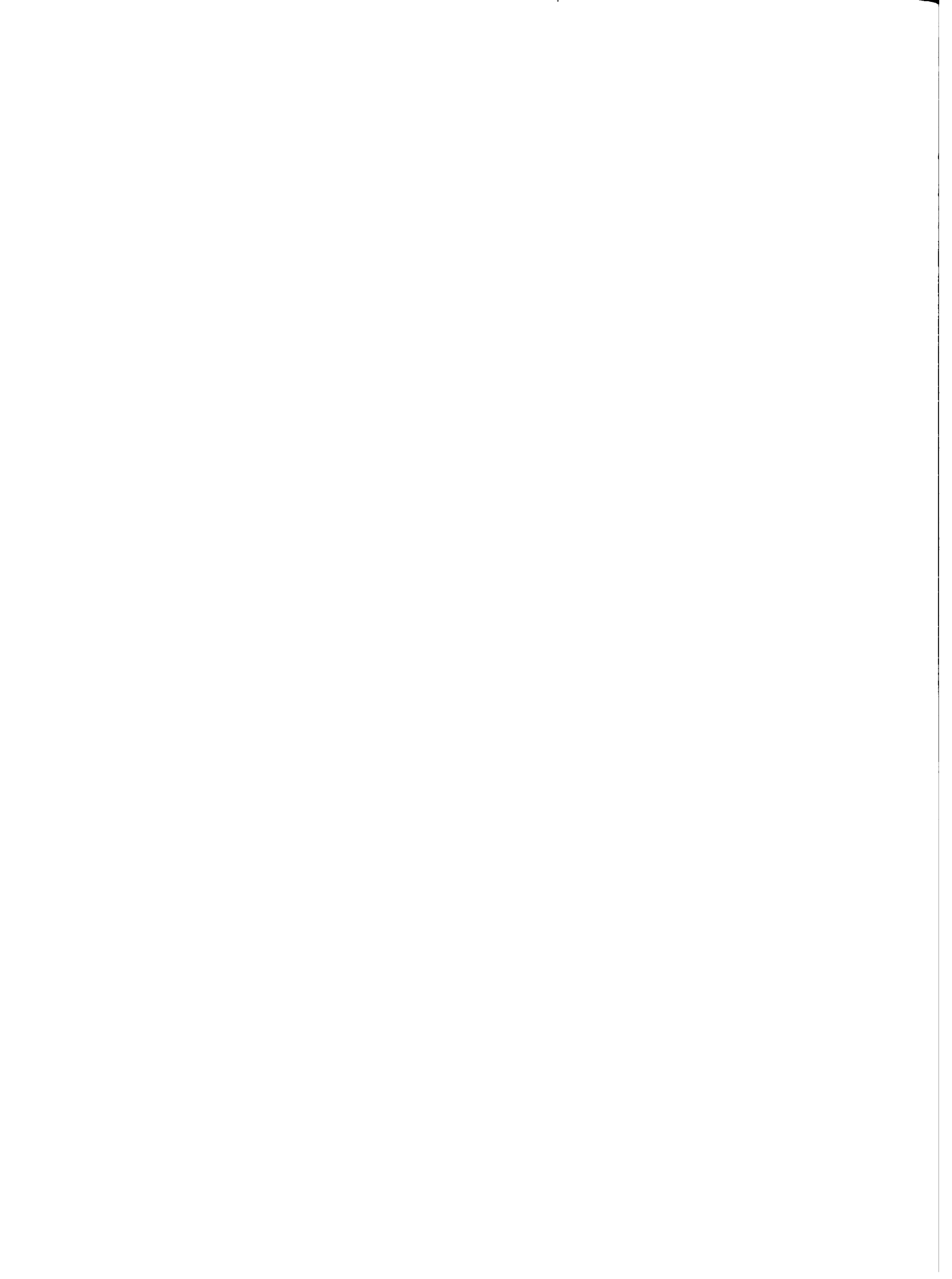
#### 8.4 L'évolution du système d'irrigation par aspersion

Le système d'irrigation par aspersion a vu son essort à partir de l'arrivée sur le marché d'une part des tuyaux légers en aluminium et en plastic, et d'autre part des raccordements qui facilitent le transport et l'accouplement.

Les premiers types de système par aspersion ont été ceux dont les latéraux ne pouvaient être déplacés que par des ouvriers, puis on a eu ceux tirés par des machines. Dans les zones où la main d'oeuvre était rare, on faisait appel à un système appelé "Solide Set" qui est composé de mini asperseurs et de latéraux en plastic placés tout au long des rangées d'arbres. Lorsque la surface à couvrir était grande, on utilisait les asperseurs géants montés sur des machines.

Il existe 3 types de systèmes d'irrigation par aspersion conventionnels:

- permanents
- semi permanents
- mobiles



Les systèmes permanents sont ceux dont les tuyaux principaux et latéraux sont enterrés. Chaque latéral est pourvu d'un robinet-vanne pour contrôler le débit. Lorsque le principal est enterré et les latéraux mobiles on dit que le système est semi-permanents. Lorsque tout l'équipement peut être déplacé, on dit qu'il est mobile.

#### 8.4.1 Classification des asperseurs

Voir le tableau VIII-1 où les asperseurs sont classés selon la pression de travail.

#### 8.4.2 Coefficient d'uniformité dans l'application de l'eau par aspersion

L'uniformité dans la distribution de l'eau par le système d'aspersion est évaluée sur le terrain. Pour réaliser le test on choisit d'abord le type d'asperseur ainsi que la pression de travail puis dans un quadrillage d'un mètre d'écart on place des boîtes cylindriques de 10 cm de hauteur et de 5 cm de diamètre, et finalement on le laisse fonctionner pendant deux heures. Pour trouver la hauteur d'eau, on mesure le volume recueilli par chaque boîte, lequel doit être divisé par la section transversale de chacune d'elle.

Le coefficient d'uniformité est calculé d'après la formule:

$$Cu = 100 \left( 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n \bar{x}} \right)$$

Où:

$Cu$  = Coefficient d'uniformité en pourcentage

$x_i$  = Hauteur d'eau reçu par la boîte  $i$

$\bar{x}$  = Moyenne des hauteurs d'eau reçu par les boîtes

$n$  = Nombre des boîtes employées pour le test.





L'uniformité est acceptée si  $C_u \geq 80 \%$ .

#### 8.4.3 Les pertes de charge dans les tuyaux.

Dans un système d'irrigation par aspersion l'eau se déplace dans les tuyaux à une pression supérieure à la pression atmosphérique. Au cours du déplacement de l'eau il y a transformation d'énergie en chaleur connue sous le nom de pertes de charge, lesquelles peuvent être principales, secondaires ou localisées. Les premières ont lieu tout au long des tuyaux et la deuxième dans des points tels que les raccords, les réductions, les déviations, etc. Pour les pertes de charge principale on emploie l'équation de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Où:

$h_f$  = Perte de charge en mètres

$f$  = Coefficient de friction. Pour déterminer la valeur qui convient on emploie le Diagramme universel de Moody. Ceci dépend du type de tuyau et du type d'écoulement.

$L$  = Longueur du tuyau en m.

$D$  = Diamètre du tuyau en m.

$V$  = Vitesse moyenne de l'écoulement en charge, m/s

$g$  = Accélération de la pesanteur  $m/s^2$

D'autres formules empiriques ont été développées telle que celle de Hazen - Williams qui se présente ainsi:

$$h_f = 10.67 \times \frac{1}{D^{4.87}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1.852}$$



- $h_f$  = Perte de charge, en mètre  
 $D$  = Diamètre en mètre  
 $Q$  = Débit en  $m^3/s$   
 $C$  = Coefficient de Hazen-Williams, dépend du type de tuyau  
 (matière et état).

Le monogramme de la figure VIII-2 et les valeurs du tableau VIII-2 permettent de trouver  $h_f$ .

Pour certains types de tuyaux on a développé des abaques et des tableaux qui nous donnent les pertes de charge pour une longueur donnée du tuyau. Ainsi les tableaux VIII-3, VIII-4 et l'abaque de la figure VIII-3 permettent d'estimer les pertes de charge principales.

#### 8.4.4 Pertes de charges dans les latéraux

Les pertes de charge que nous venons de décrire sont applicables lorsque le débit est constant. Afin d'apprécier la variation du débit on a introduit le facteur  $F$  pour lequel il faut multiplier la perte de charge du tuyau, ce qui va permettre de trouver la perte de charge réelle. Le tableau VIII-5 montre les valeurs de  $F$  pour deux types de matériels et trois façons de disposer les asperseurs.

#### 8.4.5 Pertes de charge secondaires

Pour faciliter les calculs, on ajoute 5% à la perte de charge totale afin de tenir compte des pertes de charge localisées.



#### 8.4.6 Les asperseurs et leurs principes de fonctionnement

Pour chaque type d'asperseur le fournisseur présente le modèle dans son catalogue avec les renseignements correspondants (nombre de buses, la pression de travail, le débit d'application, le diamètre de la couverture, le taux d'application pour chaque écartement). Ainsi l'asperseur NAAN, 233/96 Moyen-Zulex a les caractéristiques suivants:

Nombre de buses: 2 (6.2 x 2.5 mm)

Pression de travail: 2.5 atmosphères

Débit: 2.63 m<sup>3</sup>/s

Diamètre de la couverture: 33 m

Taux d'application pour un écartement de 12 x 18: 12 m entre les asperseurs et 18 m entre les latéraux)

Les tableaux VIII-6 et VIII-7 montrent les caractéristiques de fonctionnement d'un asperseur.

#### 8.4.7 La pompe et le moteur

Le système d'irrigation est composé d'une unité de pompage, d'un moteur et de la pompe. En général, l'efficacité de la pompe est de 85 % et celle du moteur de 95 % pour les moteurs électriques et 90 % pour les moteurs diesel.

La puissance requise pour une pompe est calculée par l'expression

$$P_b = (\rho gQH)/\eta$$

Où:

$P_b$  = Puissance requise par la pompe, en Watt ( $\frac{N \cdot M}{s}$ )

$\rho$  = Densité de l'eau, en Kg/m<sup>3</sup>

$g$  = Accélération de la pesanteur: 9.81 m/s<sup>2</sup>



Q = Débit en m<sup>3</sup>/s

H = Charge hydraulique du système

e<sub>b</sub> = Efficience de la pompe

La puissance requise par le moteur est :

$$P_m = P_b / e_m$$

Où :

P<sub>m</sub> = Puissance du moteur, en Watt

P<sub>b</sub> = Puissance de la pompe, en Watt

e<sub>m</sub> = Efficience du moteur.

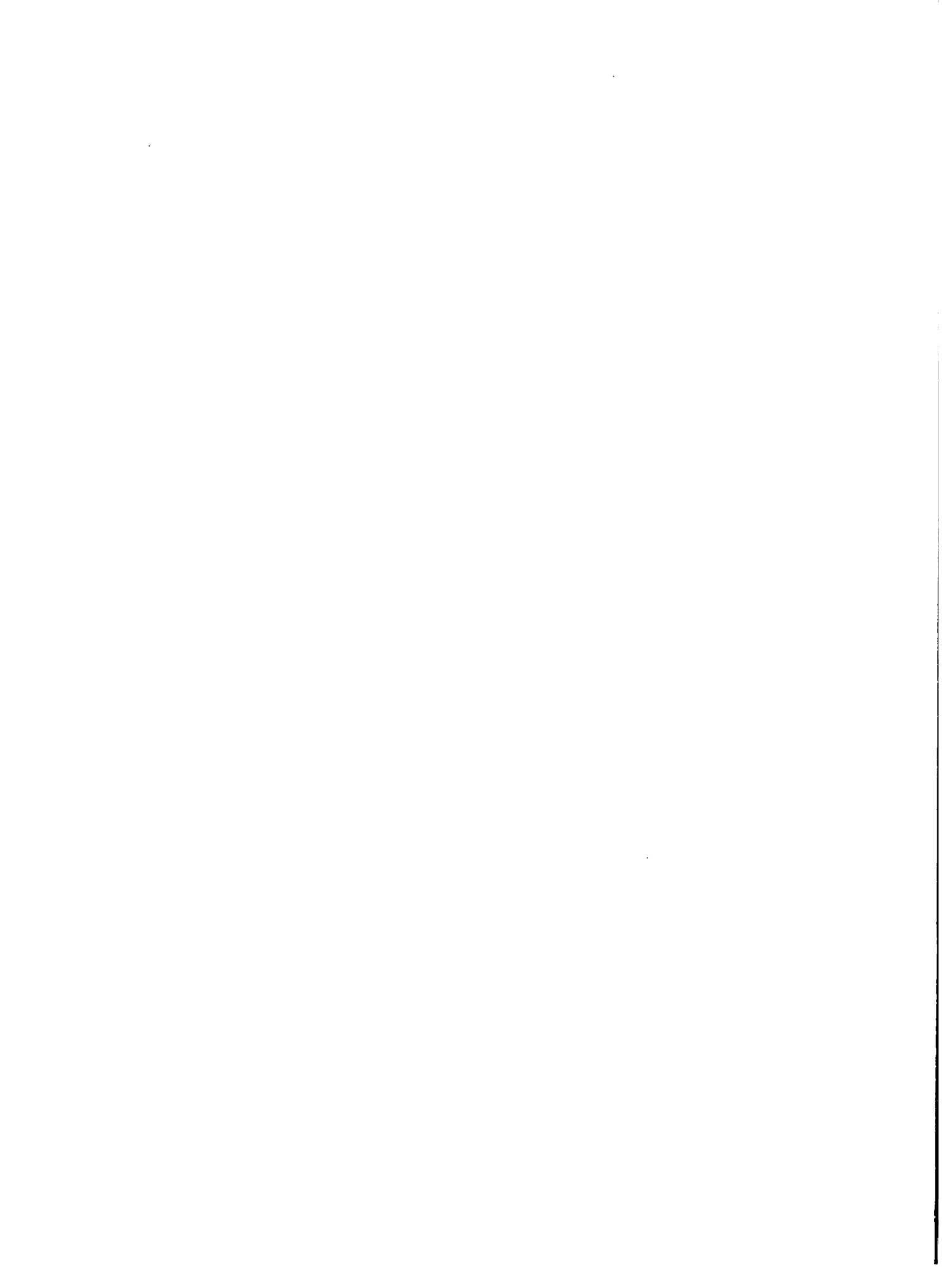
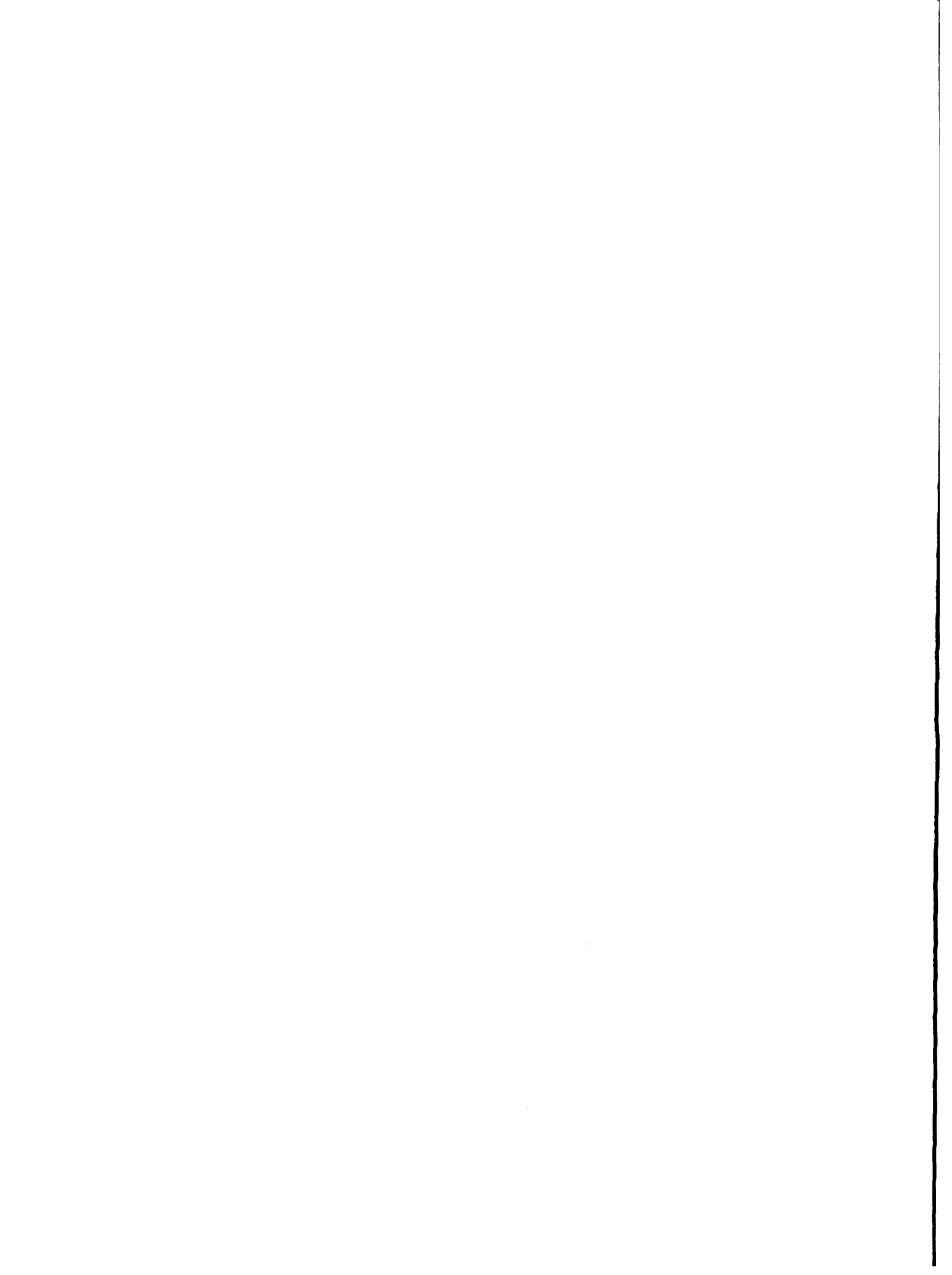




TABLEAU VIII-1 CLASSIFICATION ET CARACTÉRISTIQUES DES TYPES D'ASPERGEOIRS LES PLUS UTILISÉS (MILLAR 1985 e)

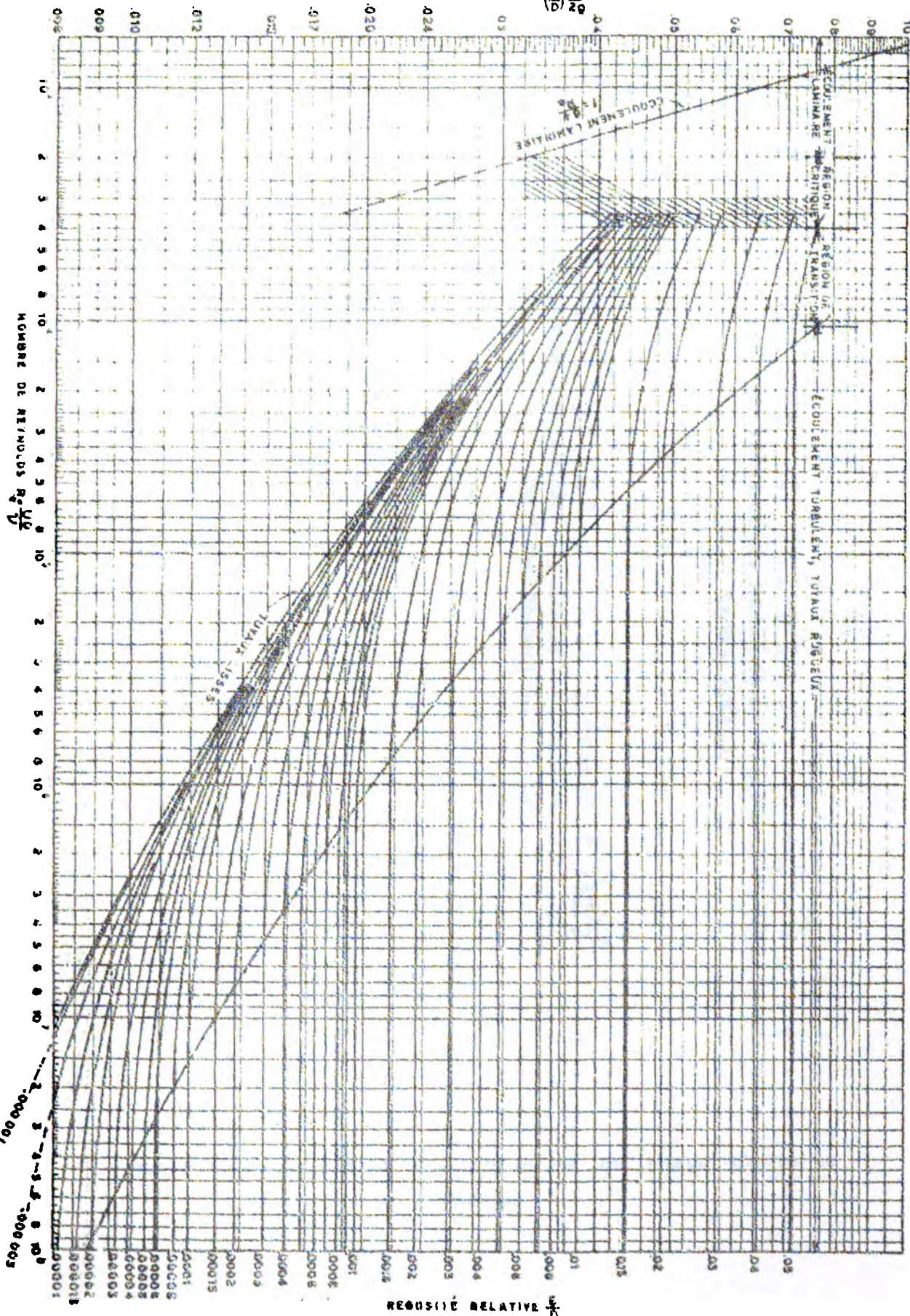
TYPE	Basse pression 5 - 15 Lc/pouce <sup>2</sup> 2,05 - 1 atm	Pression modérée 15 - 30 Lc/pouce <sup>2</sup> 1 - 2 atm	Pression moyenne 30 - 60 Lc/pouce <sup>2</sup> 2 - 4 atm	Haute pression 60 - 100 Lc/pouce <sup>2</sup> 3,5 - 7 atm	Quant (Canon) 50 - 100 Lc/pouce <sup>2</sup> 5,5 - 3,5 atm	Au-dessous du feuillage des arbres fruitiers 10 - 50 Lc/pouce <sup>2</sup> 0,7 - 3,5 atm
Caractéristiques	Supports en acier, impulsions verticales au bras de réaction.	1 ou 2 buses bras longs	1 ou 2 buses	1 ou 2 buses	Une grande buse et une autre petite pour faire tourner l'aspergateur et mouiller la partie centrale	Buses de petit diamètre pour capillarité jet au-dessous des feuillages des arbres.
Diamètre du cercle mouillé	6 - 15 m	15 - 25 m	22 - 36 m	33 - 70 m	60 - 120 m	12 - 27 m
Taux minimum d'application	10 ml/heure	5 ml/heure	6 ml/heure	17 ml/heure	16 ml/heure	5 ml/heure
Le jet	Basse pulvérisation, min, grandes	Pulvérisation acceptable	Bonne pulvérisation dans toute l'aire	Bonne pulvérisation, bon dans toute l'aire	Pulvérisation très bonne en fines gouttes	Pulvérisation acceptable
Uniformité de distribution de l'eau	meoyenne	moyenne à bonne	Très bonne	Bonne, sauf lorsqu'il y a du vent	Acceptable, Très affectée par le vent fort	Acceptable
Recommandations et limitations	Petites surfaces. Capacité d'infiltration > 12 ml/heure	Cultures maraichères. Irrigation au-dessous du feuillage des arbres	Toutes les cultures et dans les pluviants des sols irrigués, au dessous du feuillage des arbres.	Fonctionnement silicillaire à l'aspergateur de précision moyenne (difficile par du vent fort)	Toutes les cultures. Surfaces Irrégulières. Sols à haute capacité d'infiltration	Arbres fruitiers



COEFFICIENT DE RÉSISTANCE  $f = \frac{1}{(R) \frac{L}{D}}$

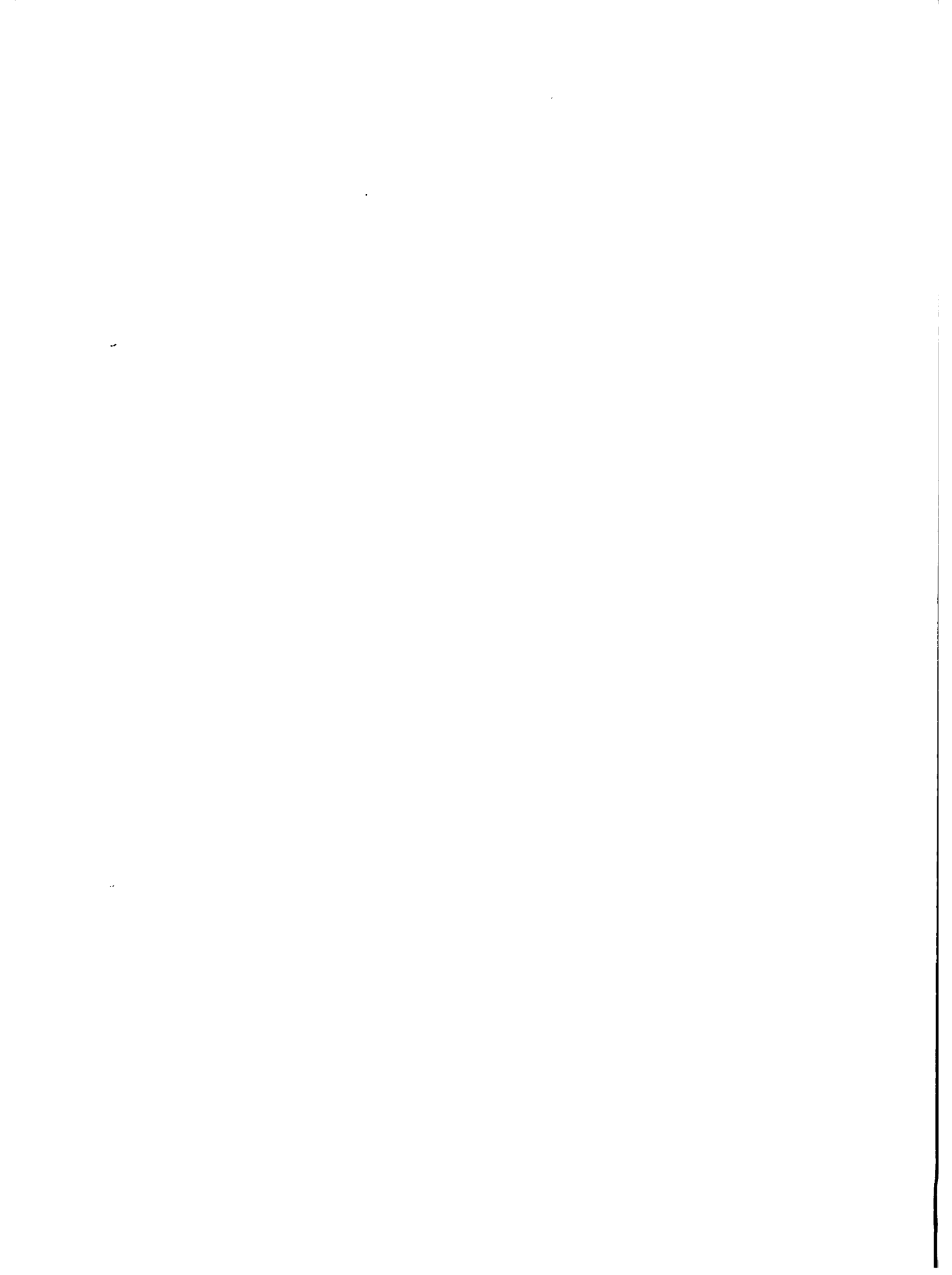
- Diagramme du Moody

Figure Diagramme Universel de Moody pour le calcul du coefficient f.



Exemple.  $Re = 1 \times 10^5$ ,  $\frac{\epsilon}{D} = 0.0002$ ,  $\lambda = 0.0164$

Figure VIII-1 Diagramme Universel de Moody pour le calcul du coefficient f.



C = 100

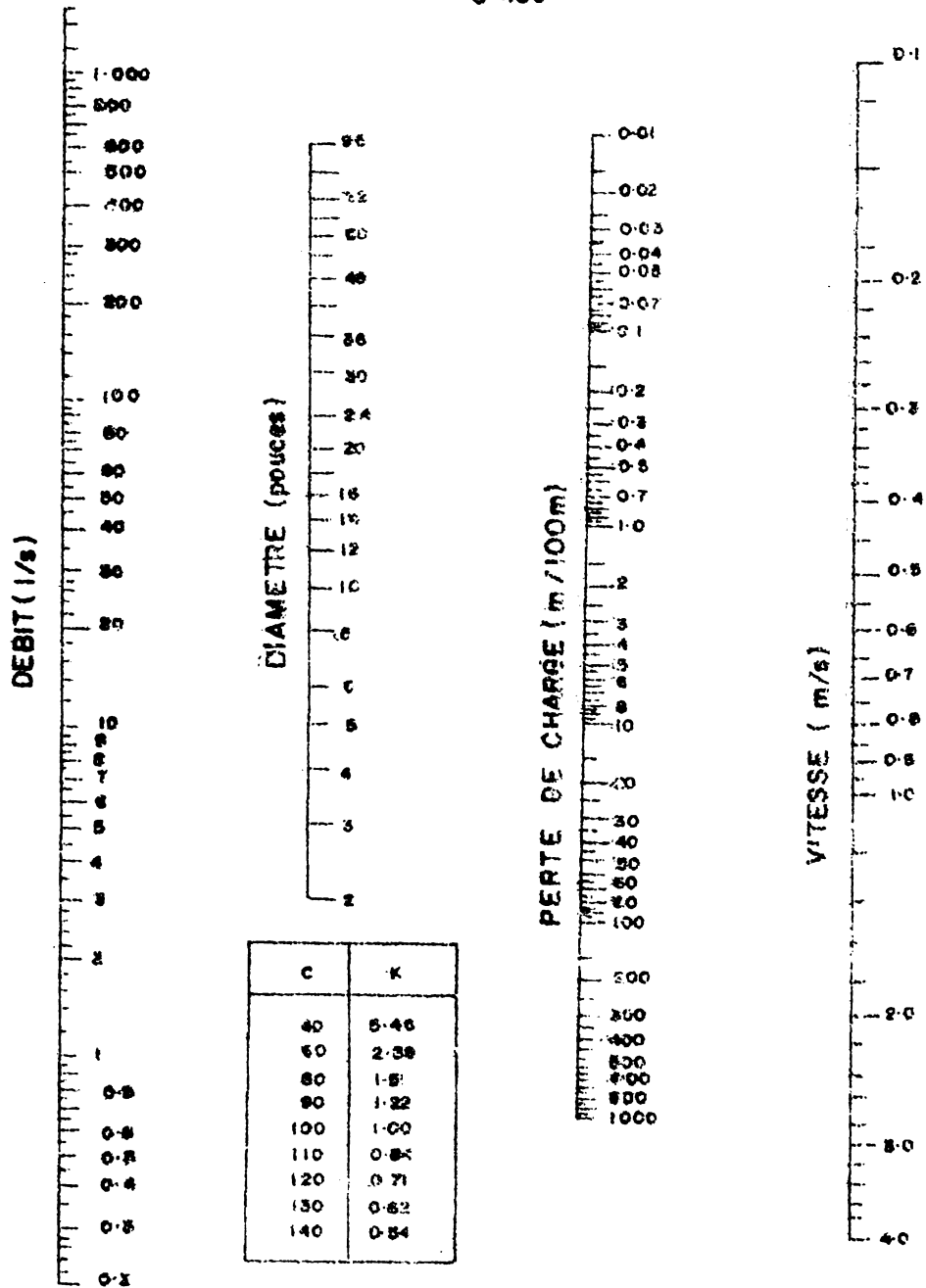


Figure VIII-2 Abaqu pour le calcul des pertes de charge d'après la formule de Hazen-Williams



TABIEAU VIII-2: Valeurs du Coefficient C de l'Equation de Hazen-Williams  
pour les Différents Types de Conduites

Type de Conduite	Valeur de C
Fer crenelé	60
Fer à raccordements neufs	130
Fer à raccordements usagés	90-100
Fer galvanisé	125
Fer neuf	100
Fer usé	85-90
Fer soudé, neuf	130
Fer soudé, usagé	90-100
Fer soudé, avec revêtement spécial	130
Ciment, amiante	130-140
Béton bien fini	130
Béton, finissement normal	120
Fer fondu, neuf	130
Fer fondu, usé	90-100
Plastiques	140-145
HVC rigide	145-150





Tableau VIII-3: Perte de charge dans les tuyaux en plastic, en livres par pouce carré par 1000 pieds (1 pied = 0.3048 m) et en charge hydraulique(pied)par 1000 pieds.

Gallons Per Minute	2 pouces		3 pouces		4 pouces		6 pouces		8 pouces		10 pouces		12 pouces	
	Lbs. PSI	Ft. Head	Lbs. Psi	Ft. Head	Lbs. PSI	Ft. Head	Lbs. PSI	Ft. Head	Lbs. PSI	Ft. Head	Lbs. PSI	Ft. Head	Lbs. PSI	Ft. Head
10	7	1.6												
15	1.4	3.3												
20	2.5	5.7												
25	3.7	8.6												
30	5.2	12.1												
35	7.0	16.3												
40	8.9	20.6	1.3	3.1										
45	11.1	25.6	1.6	3.8										
50	13.5	31.1	2.0	4.7										
60	18.9	43.6	2.8	6.5	0	1.9								
70	25.1	58.0	3.8	8.7	1.1	2.5								
80	32.2	74.3	4.8	11.1	1.4	3.2								
90			6.0	13.8	1.7	4.0								
100			7.3	17.8	2.1	4.9								
120			9.8	22.6	2.8	6.3								
140			13.1	30.8	3.8	8.6								
160			16.8	38.8	5.0	11.0								
180			21.9	48.8	6.5	14.5								
200			28.3	58.4	8.3	18.7								
220			35.2	69.5	10.6	24.5								
240					12.9	28.2								
260					14.1	31.6								
280					16.2	37.5	2.5	5.7						
300					21.7	50.0	2.8	6.6						
320					27.7	63.9	4.2	9.7						
340					34.4	79.5	5.9	12.1						
360					41.8	96.6	8.4	14.7	1.8	4.0				
380							7.4	17.1	2.6	5.6				
400							8.8	20.6	3.4	6.6				
420							10.8	25.0	4.5	8.6				
440							13.1	29.0	5.8	11.4				
460							15.6	34.9	7.6	15.3				
480							18.9	41.4	10.1	19.1				
500							18.7	38.6	11.6	20.6				
520							18.6	42.0	13.1	21.6				
540							20.5	47.4	15.7	23.9				
560							23.0	53.1	18.4	27.0				
580							30.3	70.0	23.0	35.1	2.3	5.8		
600									23.0	35.1	3.0	6.9		
620									11.7	27.0	4.0	9.2		
640									15.2	35.1	5.2	12.0	2.2	5.1
660									16.0	37.0	5.4	12.5	2.4	5.5
680									16.5	43.7	6.5	15.0	2.8	6.5
700									20.0	45.1	7.6	18.0	3.3	7.6
720											9.3	21.5	4.1	9.5
740											9.6	22.2	4.3	9.9

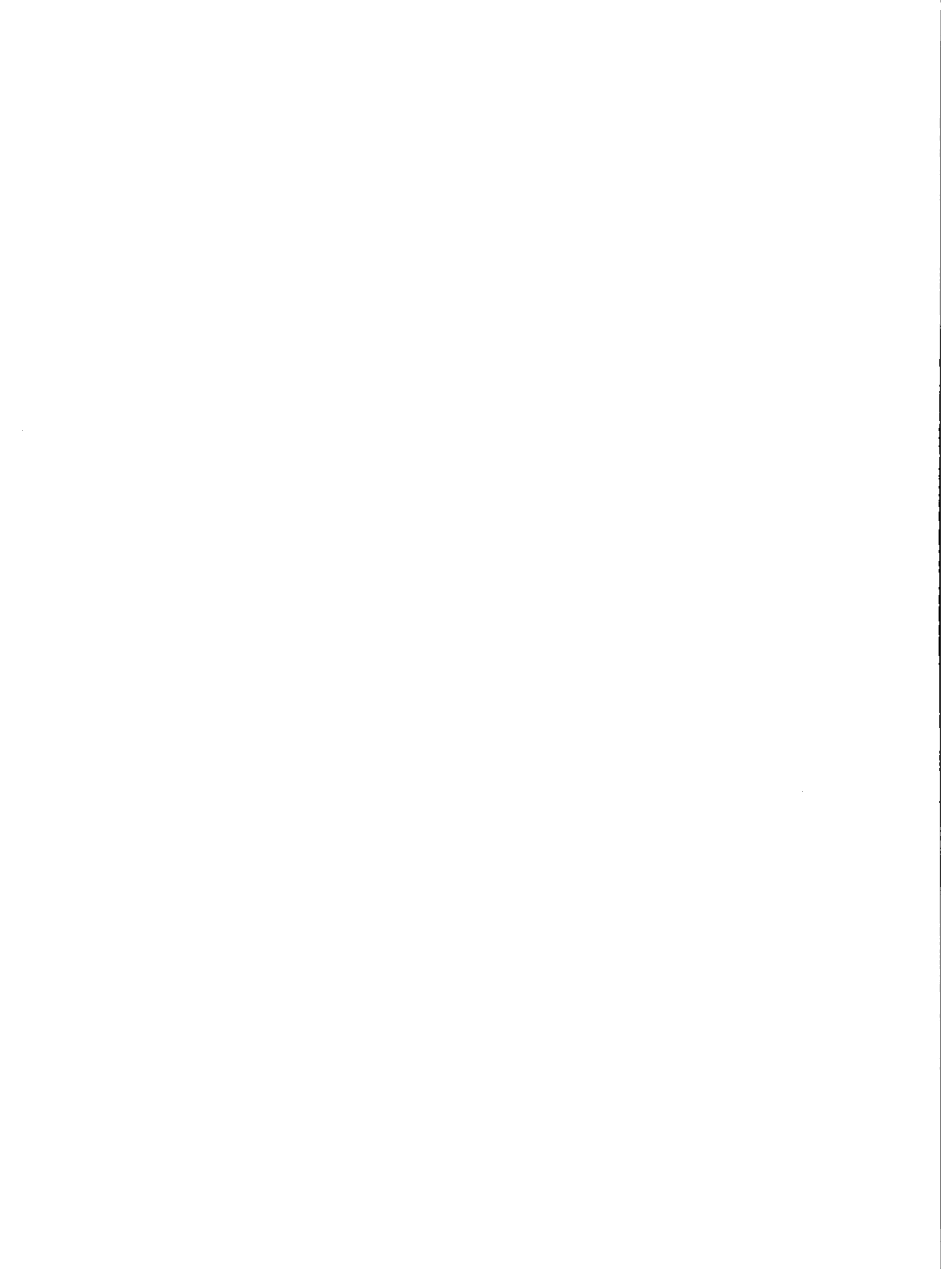


Tableau VIII-4: Pertes de Charge des tuyaux en Al en livres par pouce carré par 1000 pieds.  
(1 pied = 0,3048 m) et en charge hydraulique pied par 1000 pieds.

Diamètre Nominal	2 pouces O.D.		3 pouces O.D.		4 pouces O.D.		5 pouces O.D.		6 pouces O.D.		7 pouces O.D.		8 pouces O.D.	
	PSI	HEAD	PSI	HEAD	PSI	HEAD	PSI	HEAD	PSI	HEAD	PSI	HEAD	PSI	HEAD
10	1.5	3.3												
15	3.1	7.3												
20	5.3	12.4												
25	8.0	18.6												
30	11.2	25.7												
35	14.7	33.0	1.0	4.4										
40	18.5	42.7	2.1	5.3										
45	22.5	52.1	3.2	6.9										
50	27.2	63.0	4.4	8.3										
60			5.1	11.9	1.2	2.9								
70			6.2	15.3	1.6	3.6								
80			7.5	19.8	2.1	4.3								
90			9.0	24.0	2.5	5.9								
100			10.5	29.1	3.1	7.1	1.0	2.4						
110			12.3	35.7	4.0	9.3	1.4	3.2						
120			14.5	43.0	5.5	12.7	1.9	4.2						
130			17.0	51.0	7.1	17.1	2.3	5.0						
140			19.8	59.0	8.7	21.2	2.9	6.4	1.2	2.9				
150			22.5	68.8	10.4	26.0	3.5	8.1	1.5	3.6				
160			25.7	79.0	12.5	31.0	4.1	9.6	1.8	4.1				
170			29.1	89.8	14.5	36.8	4.8	11.2	2.1	4.7				
180			32.5	99.7	16.5	42.7	5.5	12.9	2.4	5.5	1.1	2.5		
190			36.0	109.8	18.5	48.6	6.4	14.6	2.7	6.2	1.3	3.0		
200			39.5	119.4	21.3	49.4	7.3	16.6	3.0	6.9	1.5	3.4		
220			45.0	134.3	26.0	59.3	9.5	23.0	3.9	9.0	1.9	4.4		
240			50.5	149.1	29.7	69.1	10.6	27.8	5.0	11.5	2.4	5.5	1.3	3.0
260			56.0	163.9	34.1	101.9	14.8	34.3	6.0	14.0	2.9	6.8	1.6	3.7
280			61.5	178.7	38.5	112.2	17.2	41.2	7.1	17.2	3.5	8.2	1.9	4.4
300			67.0	193.5	42.9	122.4	21.1	48.9	8.6	20.0	4.2	9.7	2.2	5.2
320			72.5	208.3	47.3	132.6	24.6	57.0	10.1	23.5	4.9	11.4	2.6	6.0
340			78.0	223.1	51.6	142.8	28.6	64.1	11.7	27.0	5.6	13.0	3.0	6.9
360			83.5	237.9	55.9	152.9	32.6	71.2	13.2	31.0	6.4	14.9	3.4	7.8
380			89.0	252.7	60.2	163.0	36.6	78.3	14.8	35.4	7.3	16.8	3.8	8.9
400			94.5	267.5	64.5	173.1	40.6	85.4	16.4	39.8	8.2	18.9	4.3	10.0
420			100.0	282.3	68.8	183.2	44.6	92.5	18.0	44.6	9.1	21.1	4.8	11.1
440			105.5	297.1	73.1	193.3	48.6	99.6	20.0	49.9	10.1	23.8	5.3	12.3
460			111.0	311.9	77.4	203.4	52.6	106.7	21.5	54.4	11.2	25.9	5.9	13.6
480			116.5	326.7	81.7	213.5	56.6	113.8	23.0	60.0	12.3	28.4	6.4	14.9
500			122.0	341.5	86.0	223.6	60.6	120.9	24.6	64.0	13.4	30.4	7.0	16.2
550			133.0	370.3	94.5	248.3	68.6	136.3	27.7	72.0	14.8	34.2	8.2	19.0
600			144.0	400.0	103.0	273.0	76.6	151.7	31.2	79.0	16.4	38.2	9.0	20.9
650			155.0	430.0	111.5	297.7	84.6	167.1	34.8	86.0	18.0	42.2	9.8	22.8
700			166.0	460.0	120.0	322.4	92.6	182.5	38.4	93.0	19.6	46.2	10.6	24.7
750			177.0	490.0	128.5	347.1	100.6	197.9	42.0	100.0	21.2	50.2	11.4	26.6
800			188.0	520.0	137.0	371.8	108.6	213.3	45.6	107.0	22.8	54.2	12.2	28.5
850			199.0	550.0	145.5	396.5	116.6	228.7	49.2	114.0	24.4	58.2	13.0	30.4
900			210.0	580.0	154.0	421.2	124.6	244.1	52.8	121.0	26.0	62.2	13.8	32.3
950			221.0	610.0	162.5	445.9	132.6	259.5	56.4	128.0	27.6	66.2	14.6	34.2
1000			232.0	640.0	171.0	470.6	140.6	274.9	60.0	135.0	29.2	70.2	15.4	36.1
1100			253.0	704.0	189.0	513.4	156.6	303.7	67.2	147.0	32.4	74.2	16.2	38.0
1200			274.0	768.0	207.0	556.2	172.6	332.5	74.4	159.0	35.6	78.2	17.0	39.9
1300			295.0	832.0	225.0	599.0	188.6	361.3	81.6	171.0	38.8	82.2	17.8	41.8
1400			316.0	896.0	243.0	641.8	204.6	390.1	88.8	183.0	42.0	86.2	18.6	43.7
1500			337.0	960.0	261.0	684.6	220.6	418.9	96.0	195.0	45.2	90.2	19.4	45.6
1600			358.0	1024.0	279.0	727.4	236.6	447.7	103.2	207.0	48.4	94.2	20.2	47.5
1700			379.0	1088.0	297.0	770.2	252.6	476.5	110.4	219.0	51.6	98.2	21.0	49.4
1800			400.0	1152.0	315.0	813.0	268.6	505.3	117.6	231.0	54.8	102.2	21.8	51.3
1900			421.0	1216.0	333.0	855.8	284.6	534.1	124.8	243.0	58.0	106.2	22.6	53.2
2000			442.0	1280.0	351.0	898.6	300.6	562.9	132.0	255.0	61.2	110.2	23.4	55.1
2200			484.0	1376.0	387.0	980.4	336.6	617.7	144.0	273.0	67.2	118.2	25.2	58.9
2400			526.0	1472.0	423.0	1062.2	372.6	672.5	156.0	291.0	73.2	126.2	27.0	62.7
2600			568.0	1568.0	459.0	1144.0	408.6	727.3	168.0	309.0	79.2	134.2	28.8	66.5



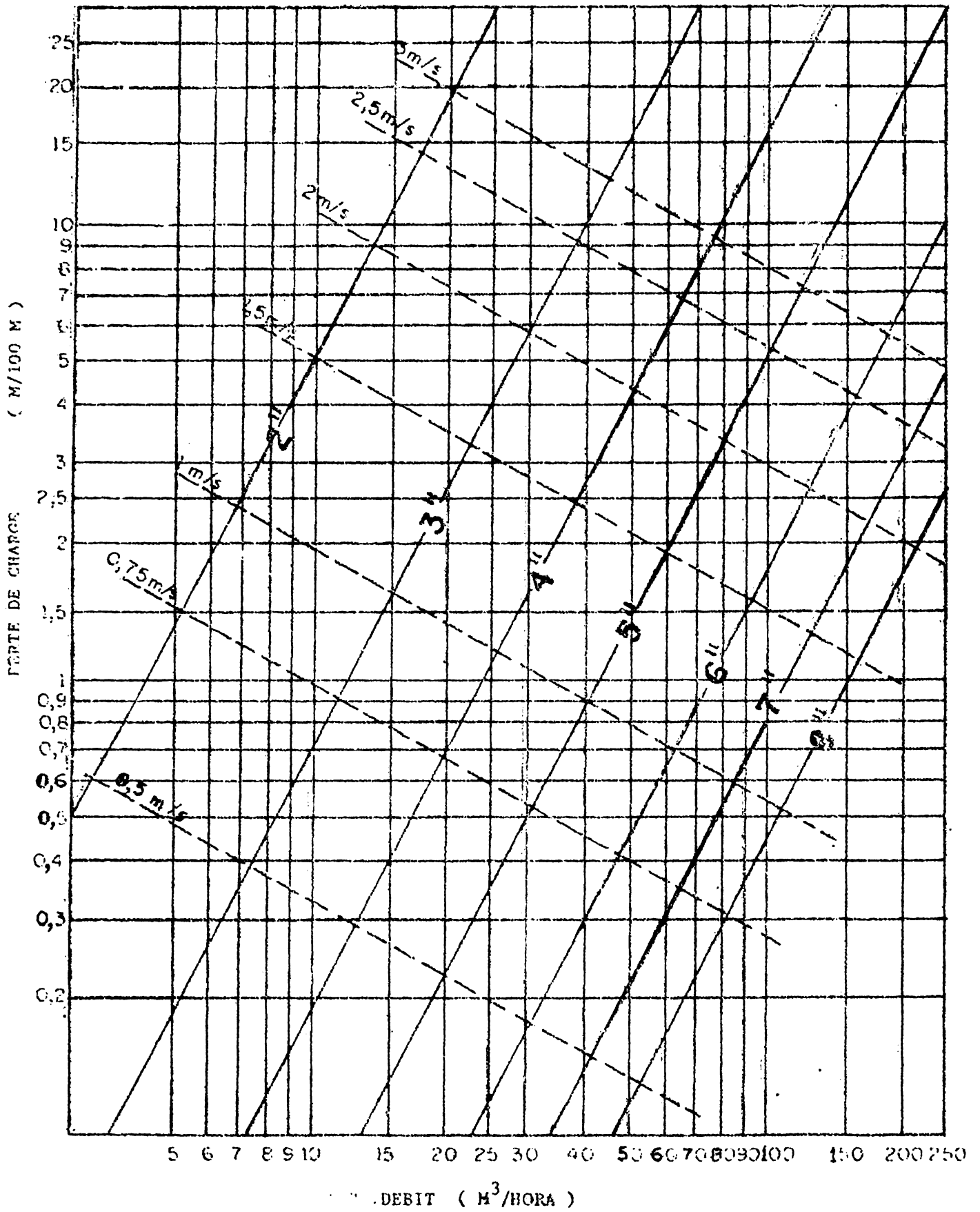


Fig. VIII-3: Perte de Charge dans les tuyaux en Aluminium et PVC.

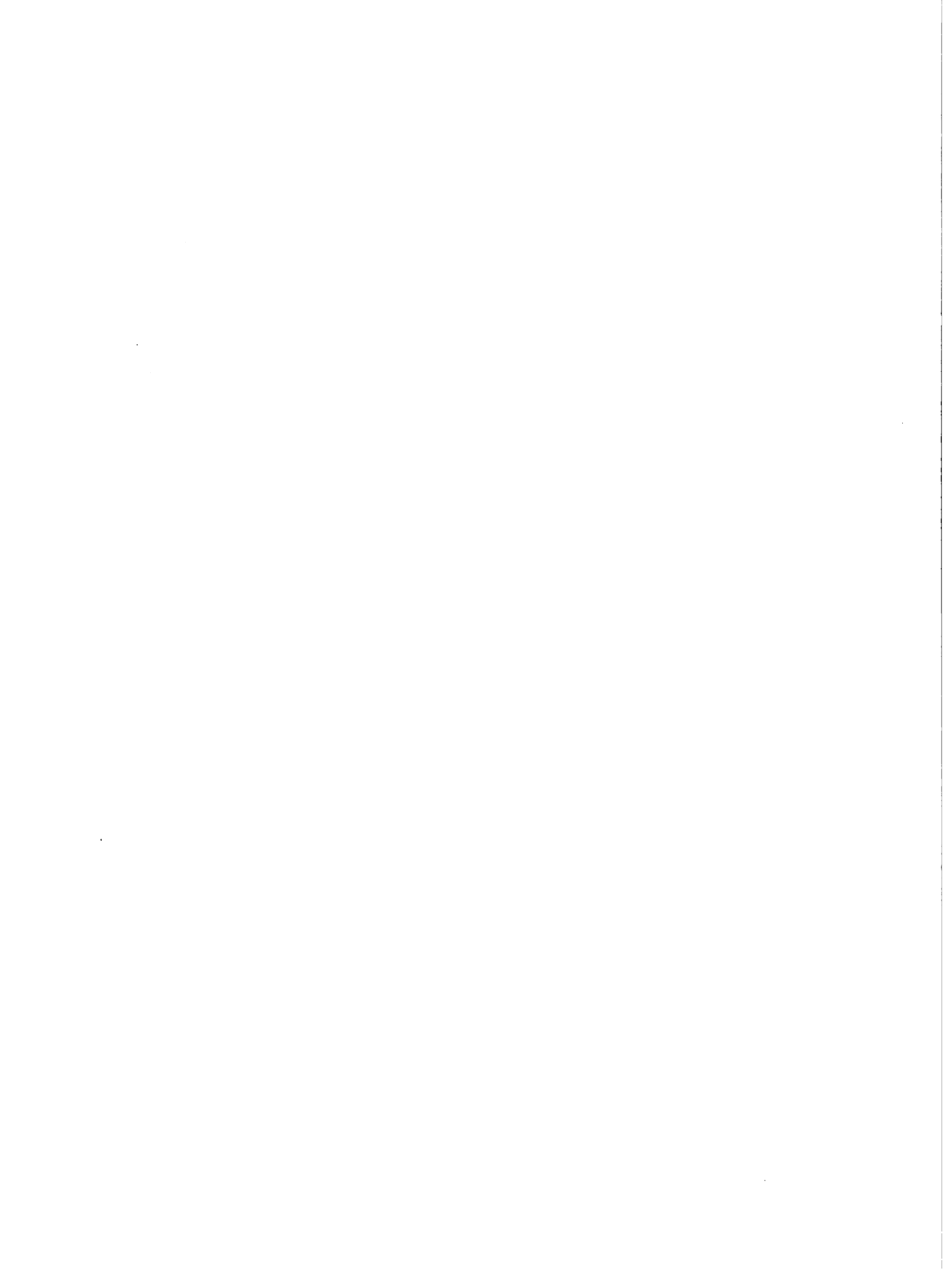


Tableau VII-5: Coefficient F pour les tuyaux en aluminium et en PVC.

n	Tuyau en plastic r = 1.760			Tuyau en aluminium r = 1.852		
	(a) F <sub>1</sub>	(b) F <sub>2</sub>	(c) F <sub>3</sub>	(a) F <sub>1</sub>	(b) F <sub>2</sub>	(c) F <sub>3</sub>
5	0.469	0.337	0.410	0.457	0.321	0.396
10	0.415	0.350	0.384	0.402	0.336	0.371
12	0.406	0.352	0.381	0.393	0.338	0.367
15	0.398	0.355	0.377	0.385	0.341	0.363
20	0.389	0.357	0.373	0.376	0.343	0.360
25	0.384	0.358	0.371	0.371	0.345	0.358
30	0.381	0.359	0.370	0.368	0.346	0.357
40	0.376	0.360	0.368	0.363	0.347	0.355
50	0.374	0.361	0.367	0.361	0.348	0.354
100	0.369	0.362	0.366	0.356	0.349	0.352
200	0.366	0.363	0.365	0.353	0.350	0.352

- (a) F<sub>1</sub> est utilisé lorsque la distance de l'entrée du latéral au premier arroseur est S<sub>1</sub> mètres.
- (b) F<sub>2</sub> est utilisé lorsque le premier arroseur est près de l'entrée du latéral.
- (c) F<sub>3</sub> est utilisé lorsque la distance à partir de l'entrée du latéral au arroseur est S 1/2 m.





Tableau VIII-6: Asperretirs type moyen - Données de fonctionnement

une buse				deux buses							
Noms des Asperretirs CODE		Période de fonctionnement (jours)	Débit m³/h	Précipitation en mm/h pour Couverts Area Soilage en mètres							
233 91	233 96			6 x 12	12 x 15	12 x 18	12 x 24	18 x 30			
3.6 TIBET	3.4 R2.2K	27	2.0	4.6	3.7	3.0	2.3	2.0			
		25	2.4	5.1	4.1	3.4	2.6	2.2			
		26	2.8	3.7	4.6	3.8	2.9	2.5			
		28	3.3	6.0	4.9	4.0	3.1	2.7			
		29	3.8	6.4	5.2	4.3	3.2	2.8			
		30	4.3	8.8	5.5	4.5	3.4	3.0			
2.9 TIRON	2.8 R2.5L	27	1.2	6.0	4.9	4.0	3.0	2.7			
		25	1.3	5.7	5.4	4.5	3.4	3.0			
		26	1.2	7.3	5.9	4.9	3.7	3.3			
		28	1.5	7.9	6.4	5.2	4.0	3.5			
		29	1.6	9.4	6.8	5.6	4.3	3.8			
		30	1.5	8.3	7.2	5.9	4.5	4.0			
4.3 T.GUV	4.4 R2.2K	27	1.0	6.9	5.6	4.6	3.5	3.1			
		25	1.1	7.7	6.2	5.1	3.9	3.4			
		26	1.2	3.7	6.8	5.6	4.3	3.8			
		28	1.2	3.9	7.2	5.9	4.5	4.0			
		29	1.3	7.5	7.7	6.0	4.8	4.3			
		30	1.3	8.9	8.1	6.6	5.0	4.5			
4.9 T.NAA	4.9 R2.5L	27	1.1	8.9	7.2	5.9	4.5	4.0			
		25	1.4	9.9	8.1	6.8	5.0	4.5			
		26	1.0	10.9	8.8	7.2	5.5	4.9			
		28	1.1	11.7	9.5	7.8	5.9	5.0			
		29	1.1	11.6	10.1	8.4	6.2	5.0			
		30	1.1	13.2	10.7	8.9	6.7	5.9			
5.6 T.LCS	5.6 R2.2K	27	1.0	11.0	9.0	7.4	5.6	5.0			
		25	1.1	12.4	10.0	8.2	6.3	5.6			
		26	1.0	13.5	11.0	9.0	6.8	6.1			
		28	1.2	11.4	11.7	9.6	7.3	6.6			
		29	1.0	15.3	12.4	10.2	7.8	6.9			
		30	1.2	15.1	13.1	10.8	8.2	7.3			
6.2 T.LCS	6.2 R2.2K	27	1.0	14.4	11.6	9.6	7.3	6.4			
		25	1.3	16.1	13.0	10.6	8.2	7.2			
		26	1.2	17.5	14.2	11.7	8.9	7.9			
		28	1.3	16.9	15.3	12.6	9.6	8.5			
		29	1.3	15.4	16.5	13.6	10.3	9.1			
		30	1.3	21.5	17.5	14.4	10.9	9.7			

Source: FAO, Rome, 1978, p. 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, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

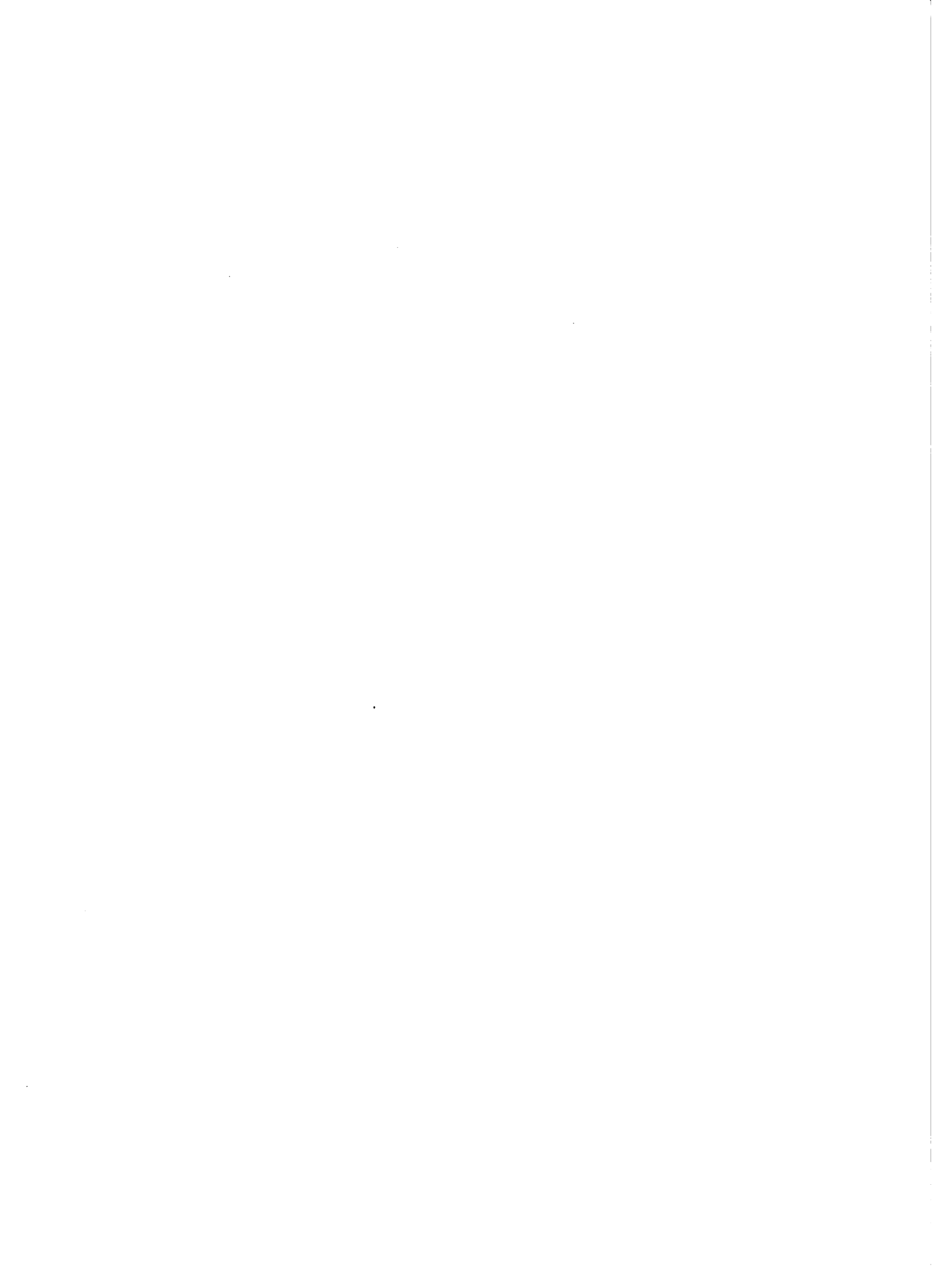


Tableau VIII-7: Asperseur type moyen - Donnée de fonctionnement

une buse

Nozzle Size in mm CCOE		Pressure in atm.	Discharge in m <sup>3</sup> /h.	Diameter Coverage in m.	Precipitation in m <sup>3</sup> /h. For Covered Area Spacing in metres													
2033/91	2033/96				12 x 12	12 x 15	12 x 18	12 x 24	18 x 18	18 x 24	24 x 24							
4.0 DOROT.	4.0 DAGESA	2.5	0.97	30	6.7	5.4	4.5	3.8										
		3.0	1.06	30	7.4	5.9	4.9	4.1										
		3.5	1.14	31	7.9	6.3	5.3	4.5										
		4.0	1.23	32	8.5	6.8	5.7	4.9										
		4.5	1.30	32	9.0	7.2	6.0	5.2										
		5.0	1.37	32	9.5	7.6	6.3	5.4										
5.5	1.44	32	10.0	8.0	6.7	5.8												
4.5 DOME-	4.5 DAVEK	2.5	1.17	30	8.1	6.5	5.4	4.0										
		3.0	1.29	30	9.0	7.2	6.0	4.5										
		3.5	1.40	31	9.7	7.8	6.5	4.9										
		4.0	1.50	32	10.4	8.3	6.9	5.2										
		4.5	1.59	32	11.0	8.8	7.2	5.5										
		5.0	1.67	32	11.6	9.3	7.7	5.9										
5.5	1.75	32	12.2	9.7	8.1	6.1												
5.0 DOFEK	5.0 DAVOS	2.5	1.50	30	10.4	8.3	6.0	5.0	4.6	3.5								
		3.0	1.66	31	11.5	9.2	7.7	5.8	5.1	3.9								
		3.5	1.80	31	12.5	10.0	8.3	6.3	5.6	4.2								
		4.0	1.91	32	13.3	10.6	8.8	6.6	5.9	4.4								
		4.5	2.02	32	14.0	11.2	9.4	7.0	6.2	4.7								
		5.0	2.13	34	14.8	11.8	9.9	7.4	6.6	4.9								
5.5	2.23	34	15.5	12.4	10.3	7.7	6.9	5.2										
5.5 DODAR	5.5 DAGUL	2.5	1.80	31	12.5	10.0	8.3	6.1	5.6	4.2								
		3.0	1.98	32	13.8	11.0	9.2	6.9	6.1	4.6								
		3.5	2.14	33	14.9	11.9	9.9	7.4	6.6	5.0								
		4.0	2.28	35	15.8	12.7	10.6	7.7	7.3	5.3								
		4.5	2.42	35	16.8	13.4	11.2	8.4	7.5	5.6								
		5.0	2.57	36	17.8	14.3	11.9	8.9	7.9	5.9								
5.5	2.68	36	18.6	14.9	12.4	9.3	8.3	6.2										
6.3 DOWER	6.3 DARLIN	2.5	2.29	31	16.0	12.7	10.6	8.0	7.1	5.3								
		3.0	2.51	33	17.4	13.9	11.6	8.7	7.7	5.8								
		3.5	2.71	34	18.8	15.1	12.5	9.4	8.4	6.3								
		4.0	2.91	36	20.2	16.2	13.5	10.1	9.0	6.7	5.1							
		4.5	3.07	37	21.3	17.1	14.2	10.7	9.5	7.1	5.3							
		5.0	3.26	38	22.6	18.1	15.1	11.3	10.1	7.5	5.7							
5.5	3.37	38	23.4	18.7	15.6	11.7	10.4	7.8	5.9									
7.0 DOROR	7.0 DATIV	2.5	2.77	35	19.2	15.4	12.6											
		3.0	3.05	36	21.1	16.9	14.1	10.6	9.4	7.1								
		3.5	3.27	37	22.7	18.2	15.1	11.4	10.1	7.6								
		4.0	3.50	39	24.3	19.4	16.2	12.2	10.9	8.1	6.1							
		4.5	3.70	38	25.7	20.5	17.1	12.8	11.4	8.5	6.4							
		5.0	3.90	40	27.1	21.7	18.1	13.5	12.0	9.0	6.7							
5.5	4.08	41	28.3	22.7	18.9	14.2	12.6	9.4	7.1									

Shaded area not recommended for ideal irrigation

deux buses

Nozzle Size in mm CCOE		Pressure in atm.	Discharge in m <sup>3</sup> /h.	Diameter Coverage in m.	Precipitation in m <sup>3</sup> /h. For Covered Area Spacing in metres													
2033/91	2033/96				12 x 12	12 x 15	12 x 18	12 x 24	18 x 18	18 x 24	24 x 24							
4.0 x 2.5 DEBIL	4.0 x 2.5 DIEUF	2.5	1.31	30	9.1	7.3	6.1	4.9										
		3.0	1.45	30	10.1	8.1	6.7	5.0	4.5									
		3.5	1.56	31	10.8	8.7	7.2	5.4	4.8									
		4.0	1.67	32	11.6	9.3	7.7	5.8	5.2									
		4.5	1.76	32	12.2	9.8	8.1	6.1	5.4									
		5.0	1.85	32	12.9	10.3	8.6	6.6	5.7									
5.5	1.95	32	13.6	10.8	9.0	6.8	6.0	4.5										
4.5 x 2.5 DECAD	4.5 x 2.5 DIKUL	2.5	1.62	30	10.6	8.4	7.0	5.3										
		3.0	1.67	30	11.6	9.3	7.7	5.9	5.2									
		3.5	1.80	31	12.5	10.0	8.3	6.3	5.6									
		4.0	1.95	32	13.4	10.7	8.9	6.7	6.1									
		4.5	2.04	32	14.2	11.3	9.4	7.1	6.3									
		5.0	2.15	32	15.0	11.9	10.0	7.5	6.6									
5.5	2.25	32	15.6	12.5	10.4	7.8	6.9	5.2										
5.0 x 2.5 DELOC	5.0 x 2.5 DIJUK	2.5	1.93	30	12.7	10.2	8.5	6.6										
		3.0	2.01	31	14.0	11.2	9.3	7.0	6.2									
		3.5	2.17	31	15.1	12.1	10.4	7.5	6.7	5.0	3.6							
		4.0	2.31	32	16.0	12.6	10.7	8.0	7.1	5.3	4.0							
		4.5	2.45	32	17.0	13.6	11.3	8.5	7.6	5.7	4.3							
		5.0	2.58	34	17.9	14.2	11.9	9.0	8.0	6.0	4.5							
5.5	2.69	34	18.7	14.5	12.5	9.3	8.3	6.2	4.7									
5.5 x 2.5 DENAR	5.5 x 2.5 DISHUN	2.5	2.15	31	14.9	11.9	10.0	7.5										
		3.0	2.34	32	16.3	13.0	10.8	8.1	7.2	6.4	4.1							
		3.5	2.50	32	17.4	13.9	11.6	8.7	7.7	5.8	4.3							
		4.0	2.68	35	18.5	14.9	12.4	9.3	8.3	6.2	4.7							
		4.5	2.86	35	19.5	15.9	13.2	9.9	8.8	6.6	5.0							
		5.0	3.02	36	21.0	16.8	14.0	10.5	9.3	7.0	5.2							
5.5	3.16	36	21.8	17.6	14.6	11.0	9.8	7.3	5.5									
6.3 x 2.5 DEKAN	6.3 x 2.5 DINAR	2.5	2.61	31	18.1	14.5	12.1	8.1	8.1	6.6	4.5							
		3.0	2.85	33	19.6	15.8	13.2	8.9	8.8	6.6	4.8							
		3.5	3.09	34	21.5	17.2	14.3	10.7	9.5	7.2	5.4							
		4.0	3.29	36	22.8	18.3	15.2	11.4	10.2	7.6	5.7							
		4.5	3.49	37	24.2	19.4	16.2	12.1	10.8	8.1	6.1							
		5.0	3.67	38	25.5	20.4	17.0	12.7	11.3	8.5	6.4							
5.5	3.84	38	26.7	21.3	17.8	13.3	11.9	8.9	6.7									
7.0 x 2.5 DENARD	7.0 x 2.5 DIMUS	2.5	3.09	35	21.5	17.2	14.3	10.7	8.5	7.2	5.4							
		3.0	3.37	36	23.4	18.7	15.6	11.7	10.4	7.8	5.9							
		3.5	3.64	37	25.3	20.2	16.9	12.6	11.2	8.4	6.3							
		4.0	3.89	38	27.0	21.6	18.0	13.6	12.0	9.0	6.6							
		4.5	4.11	38	28.5	22.6	19.0	14.3	12.7	9.5	7.1							
		5.0	4.33	40	30.1	24.1	20.0	15.0	13.4	10.4	7.6							
5.5	4.54	41	31.5	25.2	21.0	15.8	14.0	10.5	7.8									

Shaded area not recommended for ideal irrigation

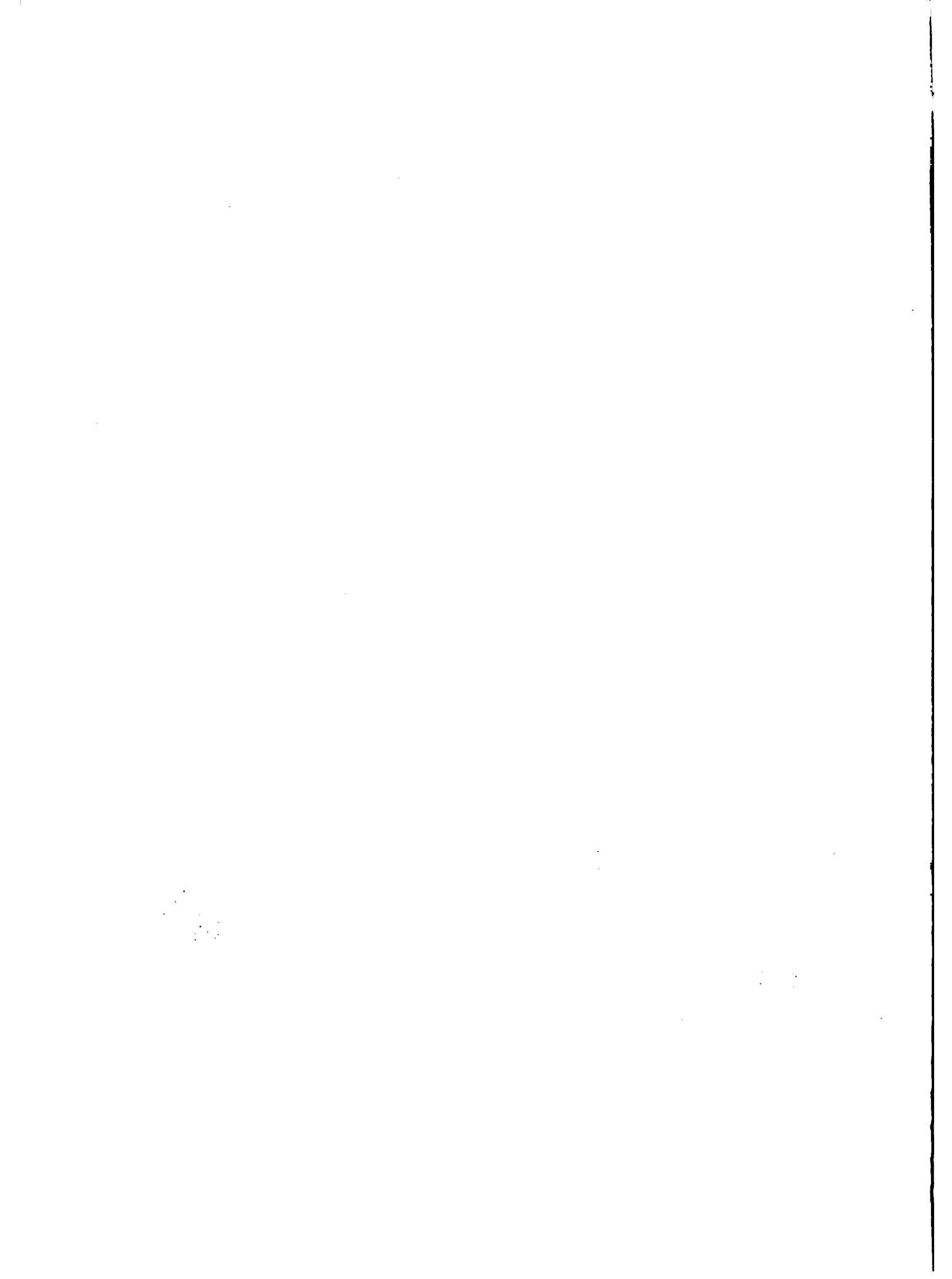
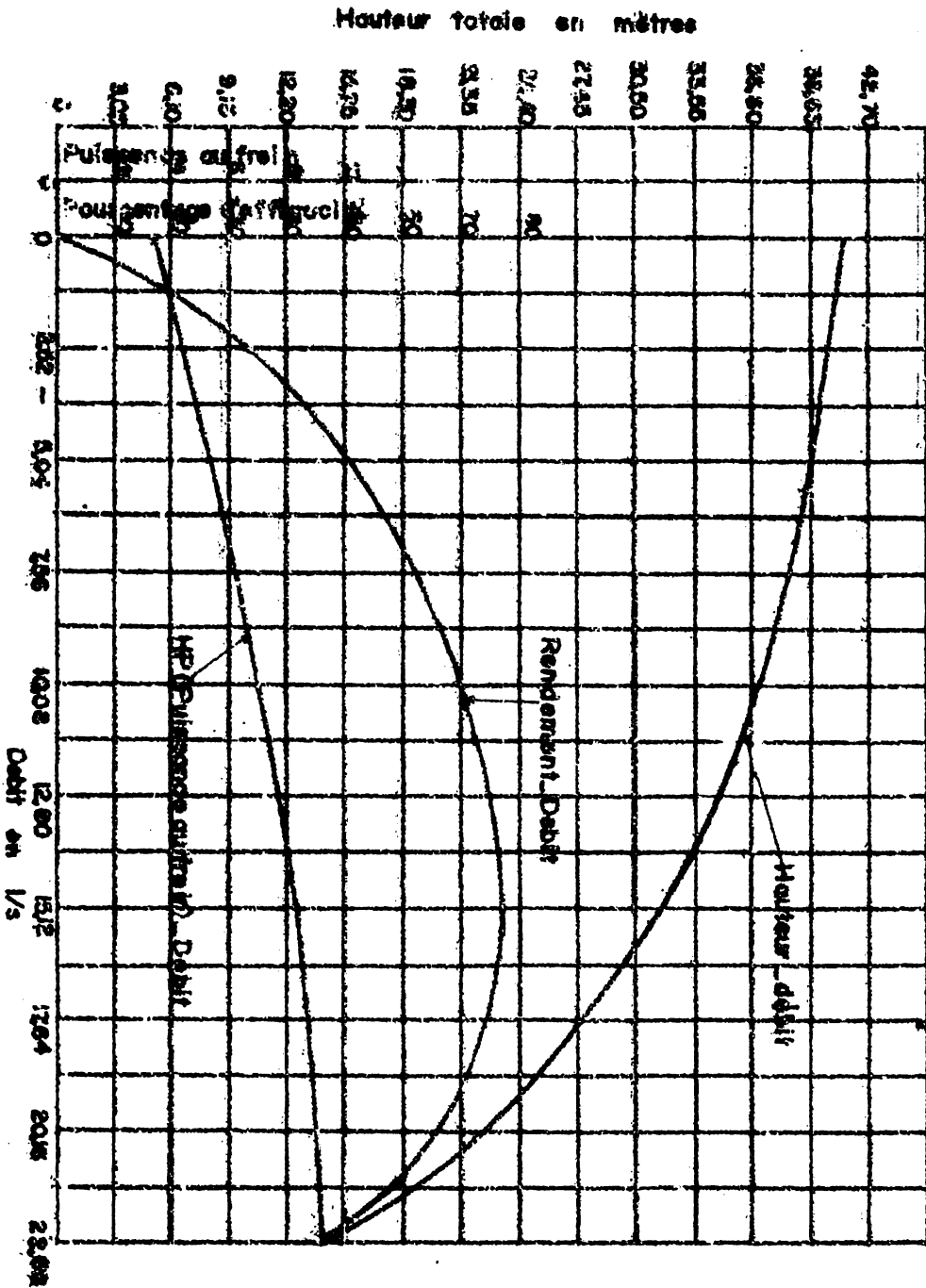


Figure VIII-4 Courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge  
 (Diamètre impeller  $5 \frac{1}{8}$ , 3750 R.P.M.) (Barométrique)





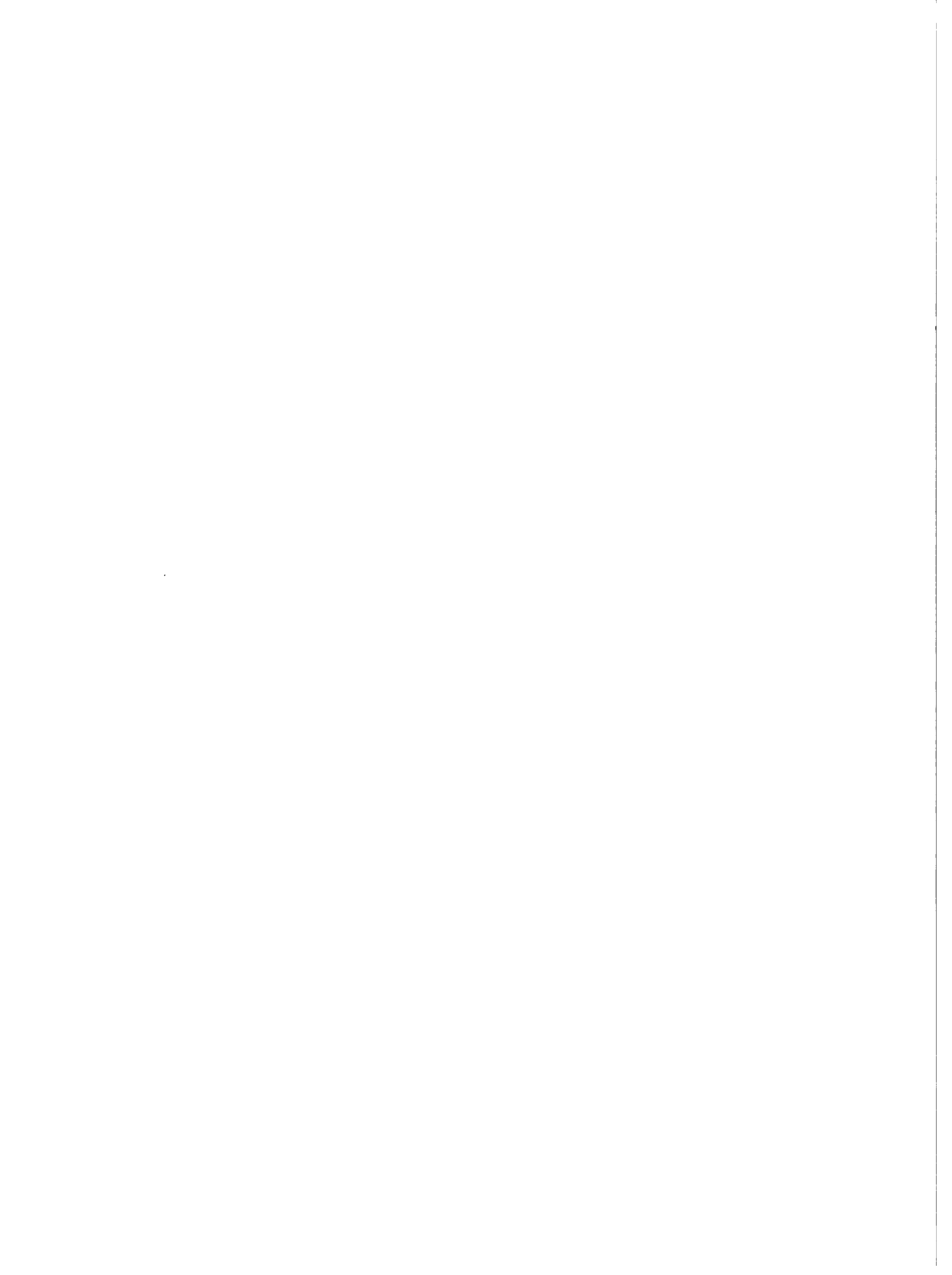
### 8.5 Données de base pour le dimensionnement d'un équipement par aspersion

- Forme et dimensions de la superficie à irriguer.
- Relevé topographique (échelle 1/2000, courbes de niveaux tous les 0.5 m).
- Relevé pédologique (types de sol, caractéristiques hydriques, capacité au champ, point de flétrissement, vitesse d'infiltration).
- Disponibilité des ressources hydriques.
- Composantes du climat de la zone (Température, pluviosité, évaporation, énergie solaire, vitesse du vent).
- Localisation de la ressource hydrique.
- Disponibilité de l'énergie et son coût.
- Les cultures à irriguer ainsi que leurs besoins en:
  - . main d'oeuvre
  - . machines agricoles
  - . travaux culturels
- Le dimensionnement du système pour satisfaire les besoins des cultures doit montrer:
  - a) La lame d'eau à appliquer dans chaque irrigation;
  - b) La fréquence d'irrigation;
  - c) La capacité du système d'irrigation par aspersion;
  - d) Le débit requis et ses variations au long du tuyau principal;
  - e) La localisation du tuyau principal ainsi que celle des latéraux;
  - f) Diamètre des latéraux et du tuyau principal;
  - g) Type d'asperseur;
  - h) Puissance de la pompe et du moteur.

### 8.6 Exemple de dimensionnement d'un système d'irrigation par aspersion

Données de base

Terrain rectangulaire de 384 m x 432 m (16.6 Ha)





Pente  $I_{N-S}$  1 % en descendant

$I_{E-O}$  0 %

Culture: maïs, la profondeur des racines est de 0.60 m.

Evapotranspiration 5mm/jour.

Caractéristiques du sol: Terre franche argileuse. Capacité au champ:

20.5 %. Point de flétrissement 10 %. Densité volumétrique:

$DV = 1.4 \text{ g/cm}^3$ . Vitesse d'infiltration lasique 15 mm/heure.

Efficience du système: 80 %.

Critère pour déclencher l'irrigation: A la consommation de 50 %  
de l'eau utilisable. 0.5 (CC - FF)

Ressource hydrique: Il n'y a pas de limite en quantité, l'eau est  
de bonne qualité ( $C_1 S_1$ ). La source est placée au milieu de  
la limite nord du terrain. Le niveau de l'eau est de 1 m au-  
dessous de la position de la pompe.

Climat: Le vent souffle à une vitesse de 6 km/heure, il n'y a pas  
de direction prioritaire. A cause de l'effet de vent une  
perte de 15 % est acceptable.

Opération du système par aspersion: tous les jours de la semaine,  
à raison de 22 heures par jour.

#### Solution

Besoins bruts d'irrigation par jour

$$FBJ = \frac{EVP}{0.8 \times 0.85} = \frac{5 \text{ mm}}{0.68} = 7.35$$



0.8 est égal à l'efficacité du système et 0.85 est la perte d'eau sous l'effet du vent.

Le volume d'eau requis par jour (VEJ)

$$VEJ = 0.00735 \times 16.6 \times 10^4 = 1220 \text{ m}^3/\text{jour}$$

Le volume d'eau requis par heure (VEH)

$$VEH = 1220/22 = 55.46 \text{ m}^3/\text{heure}$$

La lame d'eau à appliquer par irrigation (LEA)

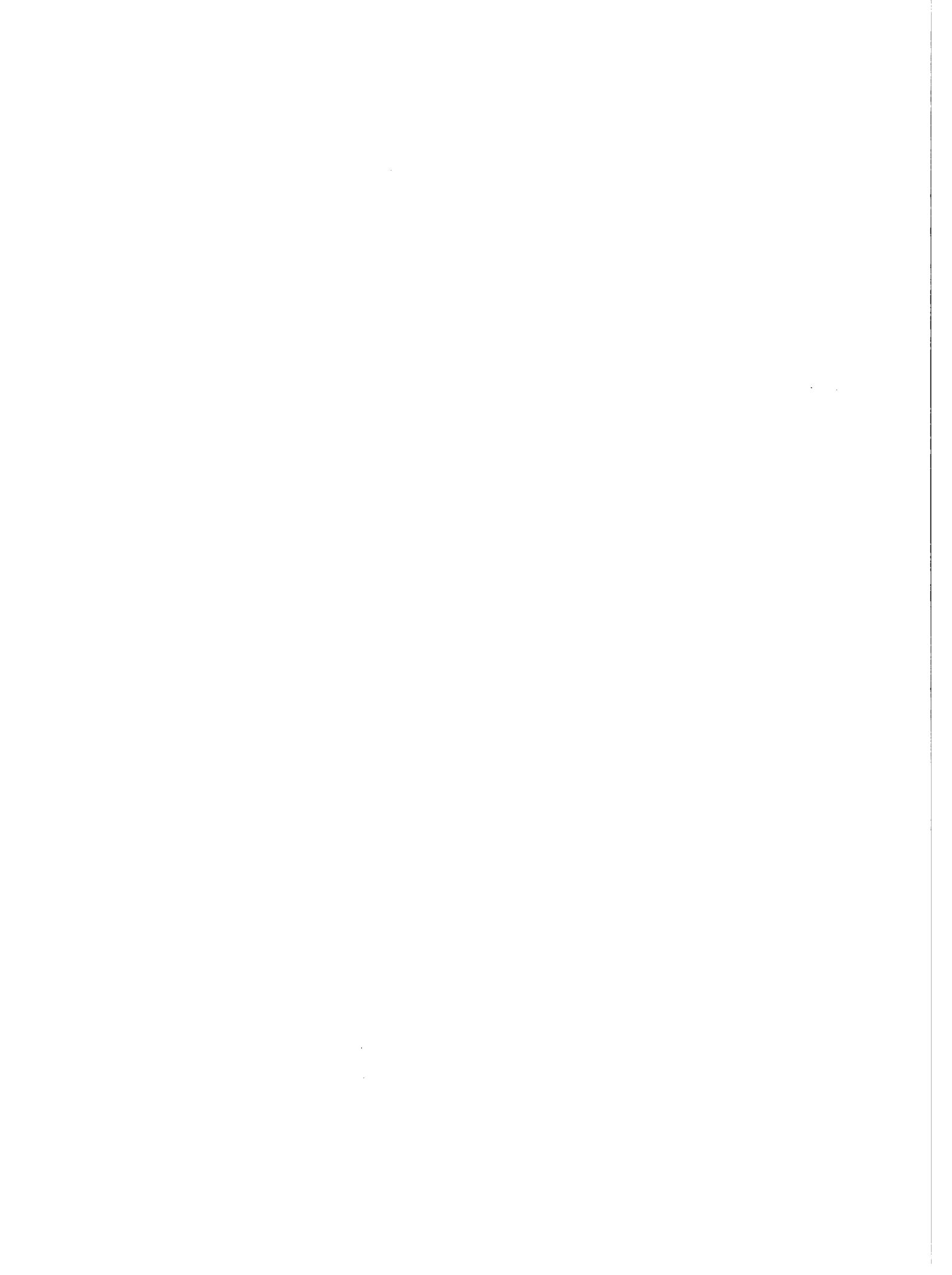
$$LEA = \left( \frac{20.5 - 10}{100} \right) \times 1.4 \times 0.5 \times 0.6 =$$

$$0.0441 \text{ m} = 44.1 \text{ mm}$$

La fréquence d'irrigation

$$\frac{44.1 \text{ mm}}{5 \text{ mm/jour}} = 9 \text{ jours}$$

Le tuyau principal est placé au milieu du terrain dans la position Nord-Sud. Les latéraux auront une longueur de 186 m puisque le dernier asperseur va être placé à 6 m avant la limite du terrain.



### Le type d'aspersion

Pour choisir le type d'aspersion il est nécessaire de consulter les catalogues de différents fournisseurs, avant tout il faudra tenir compte de la dimension du terrain à irriguer. D'après la dimension, il faudra choisir un écartement de 12 x 18 (12 m entre les aspersionneurs et 18 m entre les latéraux). En outre la pression de travail doit être une moyenne.

Supposons que l'on choisisse l'aspersionneur NAAN 233/96 composé de 2 buses type Zulex 6.2 x 2.5 dont les caractéristiques sont les suivantes:

- Pression de travail: 2.5 atmosphères
- Débit: 2.63 m<sup>3</sup>/heure
- Diamètre de couverture: 33 m
- Ecartement: 12 m x 18 m
- Taux d'application: 12.1 mm/heure.

La lame d'eau à appliquer dans chaque irrigation est:

$$\frac{4.1}{0.68} = 64.85 \approx 65 \text{ mm}$$

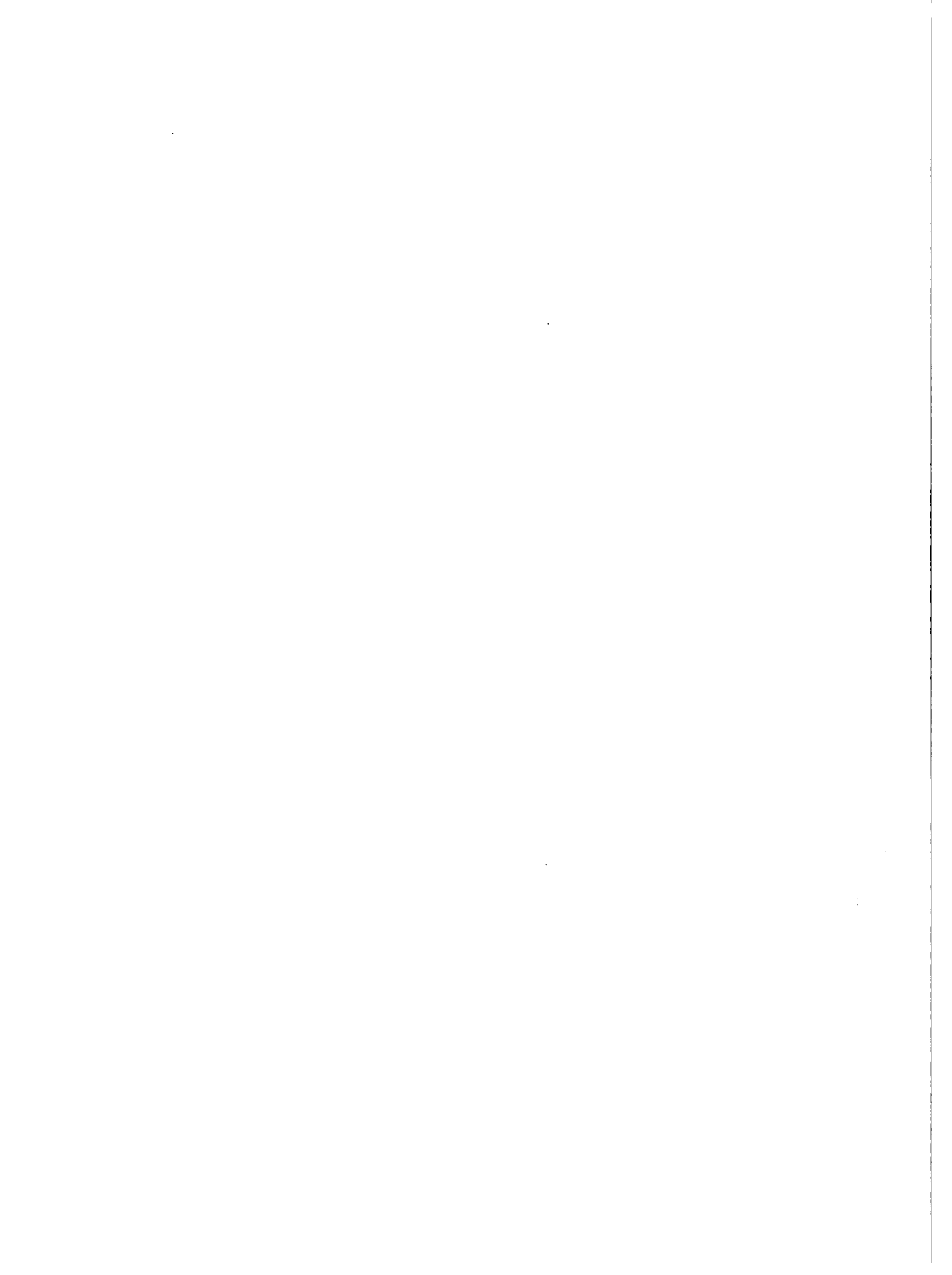
Le temps d'application en utilisant l'aspersionneur NAAN 233/96 sera:

$$\frac{65 \text{ mm}}{12.1 \text{ mm/h}} = 5.37 \text{ heures} \quad 5.5 \text{ heures}$$

Chaque latéral sera employé sous 4 différentes positions par jour

Le nombre total de positions sera:

$$\frac{4 \times 2}{1.8} \times 2 = 48$$



Nombre d'aspenseurs par latéral

$$\frac{180}{12} = 15 + 2 = 17$$

Le débit par latéral

$$2.05 \frac{\text{m}^3}{\text{heure}} \times 17 = 34.71 \quad 45 \text{ m}^3/\text{heure}$$

Une bonne opération du système montrerait que le côté gauche du terrain est arrosé en montant, et le côté droit en descendant. Ainsi le tuyau principal aura une capacité de  $90 \text{ m}^3/\text{heure}$  pour la première moitié et  $45 \text{ m}^3/\text{heure}$  pour la deuxième moitié.

Perte de charge admissible dans le latéral (Règle du 20 %).

$$F = 0.175$$

$$h_{f \text{ latéral}} = 0.2(2.5 \times 10.33 \text{ m}) = 5.165 \text{ m}/0.360 = 14.34$$

Diamètre des latéraux

$$4 \text{ pouces } Q = 45 \text{ m}^3/\text{heure}; \quad \text{perte de charge } 3.5 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ latéral } 386} = 6.51 \text{ m}$$

$$3 \text{ pouces } Q = 45 \text{ m}^3/\text{heure}; \quad \text{perte de charge } 13 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ latéral } 186} = 24.18 \text{ m}$$





Si l'on emploie le diamètre de 4" on aura un gaspillage d'énergie. Par contre si l'on emploie le diamètre de 3" on aura pas suffisamment d'énergie. La solution est un tuyau composé de deux diamètres, un tronçon de 4 pouces et un autre de 3 pouces. Pour cela on écrit l'expression

$$hf = hf_1 + hf_2 + hf_3$$

Où:

$hf$  = Perte de charge totale dans le tuyau

$$hf_1 = f(L_2, D_2, Q_2)$$

$$hf_2 = f(L, D_1, Q_1)$$

$$hf_3 = f(L_2, D_1, Q_2)$$

$L_2$  = Longueur du tronçon de diamètre de 3 pouces

$D_2$  = Diamètre 3 pouces

$Q_1$  = Débit du premier tronçon

$Q_2$  = Débit du deuxième tronçon

$D_1$  = Diamètre de 4 pouces

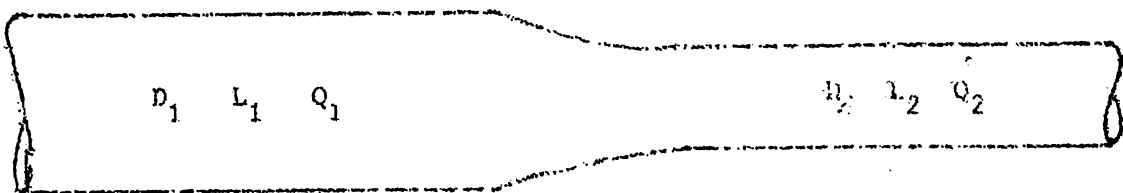
Exemple

7 aspersiones

longueur:  $L_1 = 76$

$L_2 = 108$

Débit :  $Q_2 = 26.30 \text{ m}^3/\text{heure}$





$$hf = f(108 \text{ m}, 2\%, 26.5 \text{ m}^3/\text{heure}) = 4.3 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$hf_1 = 4.64$$

$$hf_2 = 6.51 \text{ m}$$

$$hf_3 = f(108, 4\%, 26.5 \text{ m}^3/\text{heure}) = 1.4 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$hf_3 = 2.51 \text{ m}$$

$$hf = 11.15 - 1.51 = 9.64 \text{ m}$$

On a un excédent d'énergie que l'on pourra utiliser pour une longueur plus importante du diamètre de 2 pouces.

#### Deuxième essai

3 asperseurs

Longueur:  $L_1 = 39 \text{ m}$

$L_2 = 156 \text{ m}$

Débit :  $Q_2 = 36.82 \text{ m}^3/\text{heure}$

$$hf_1 (156 \text{ m}, 2\%, 36.82 \text{ m}^3/\text{heure}) = 6.3 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$hf_1 = 12.45 \text{ m}$$

$$hf_2 = 6.51 \text{ m}$$

$$hf_3 = 2.3 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$hf_3 = 3.59 \text{ m}$$



as ta.rrant  
satureau

Ressort de tension

Chapeau

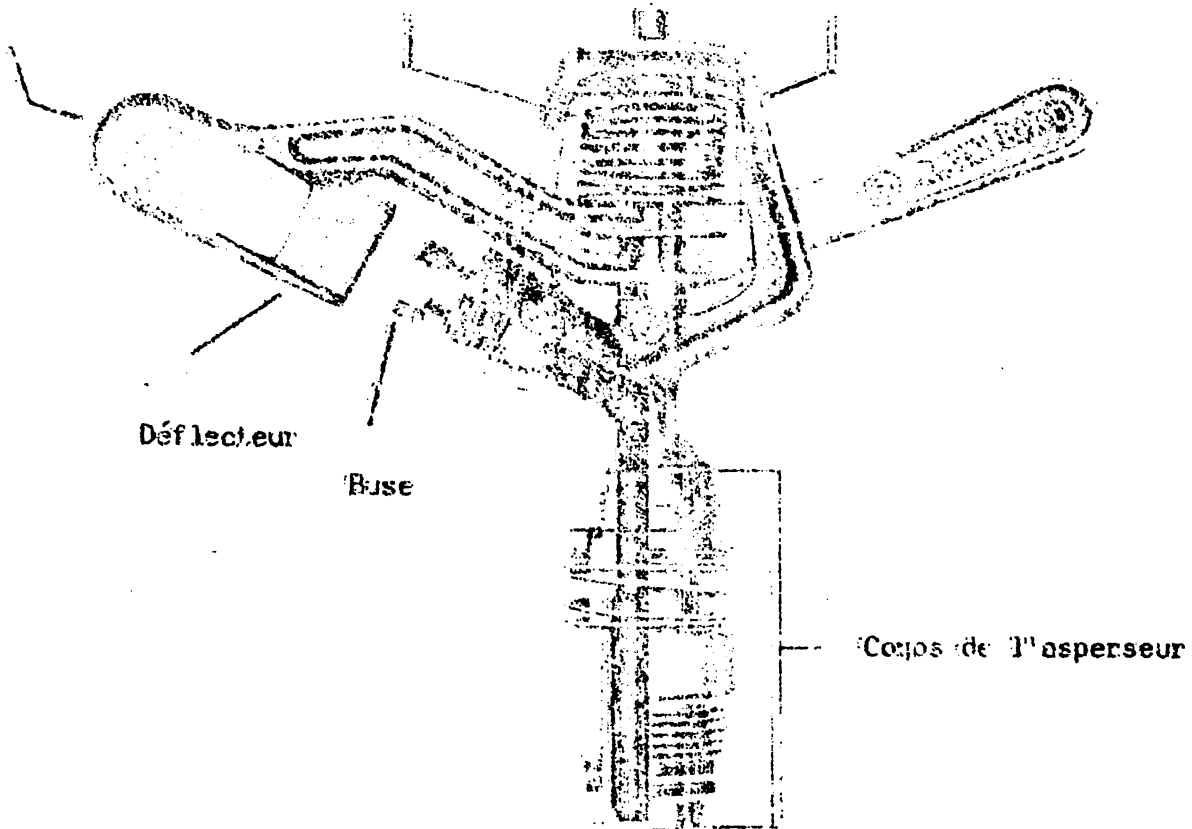


Figure VIII-5 Composantes d'un Asperseur rotatif



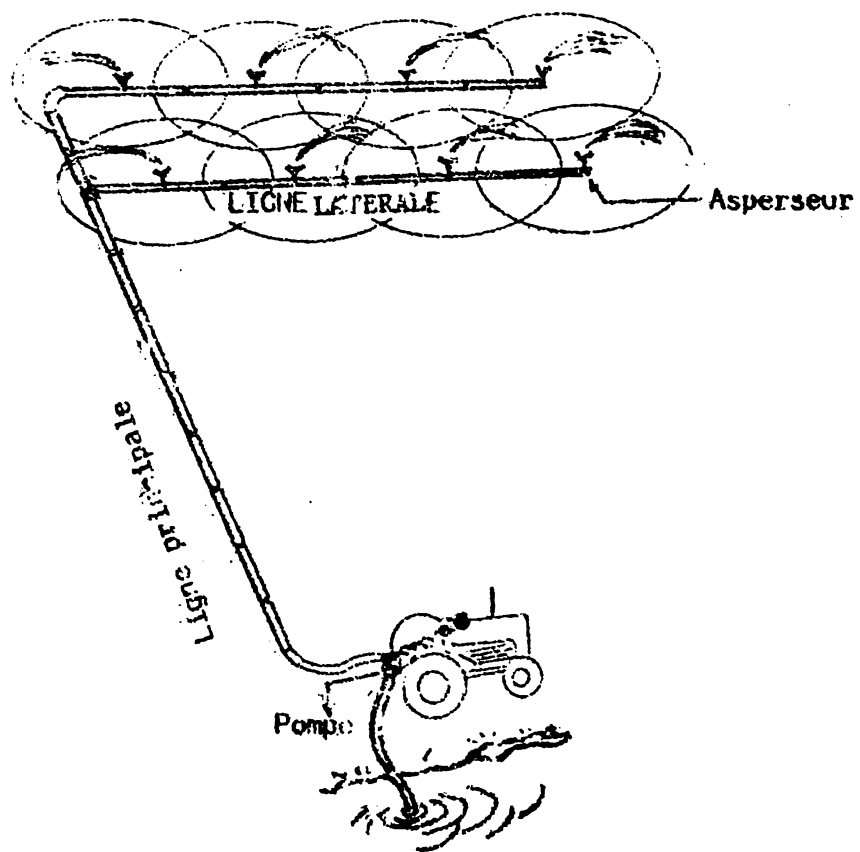


Figure VIII-6: Schéma d'une installation d'irrigation par aspersion.





Figure VII-2 Réaccordement rapide de deux tuyaux d'aspersion

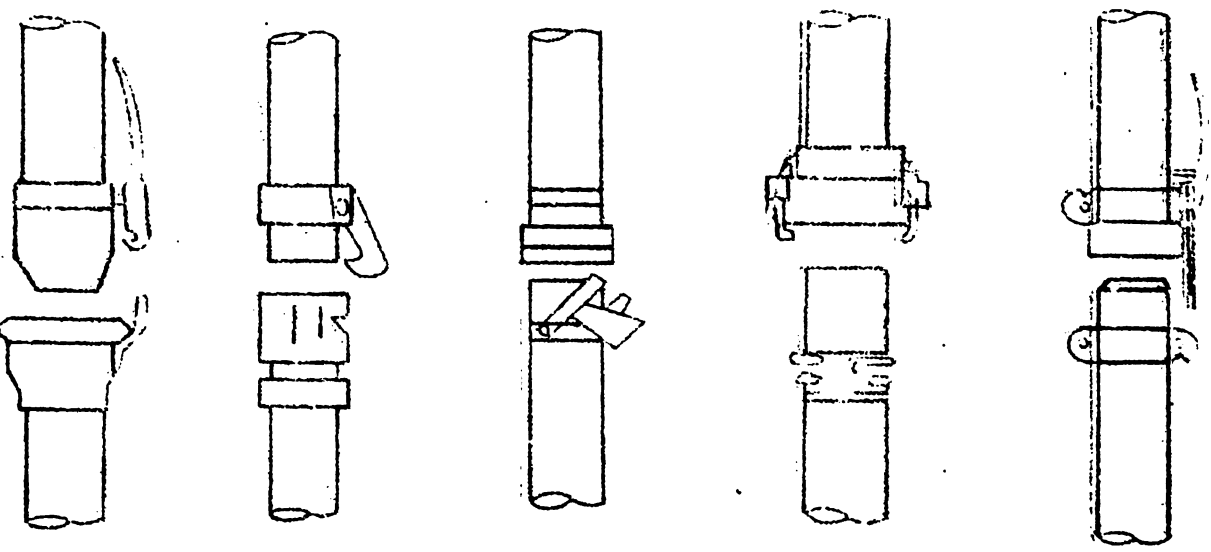
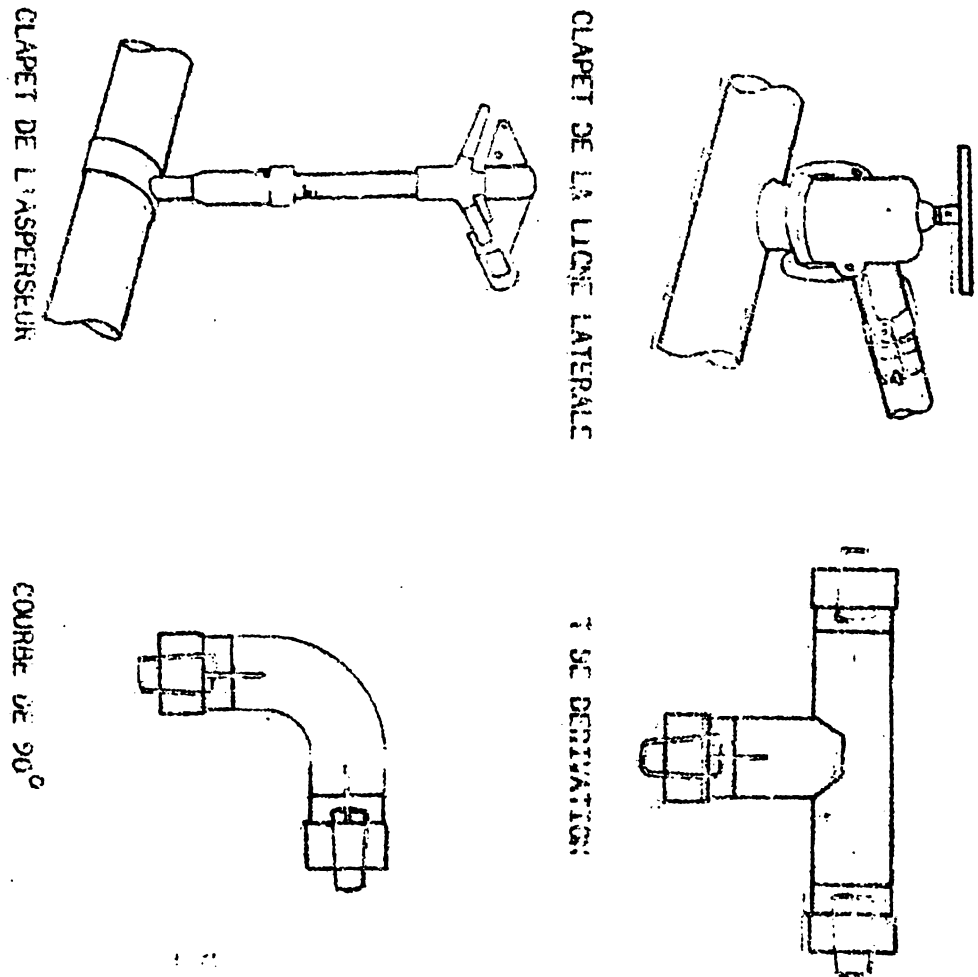


Figure VIII-7: Quelques Accessoires de l'équipement d'irrigation par aspersion.



CLAPET DE LA LIGNE LATÉRALE

90° DEVIATION

CLAPET DE L'ASPERSEUR

COURBE DE 90°



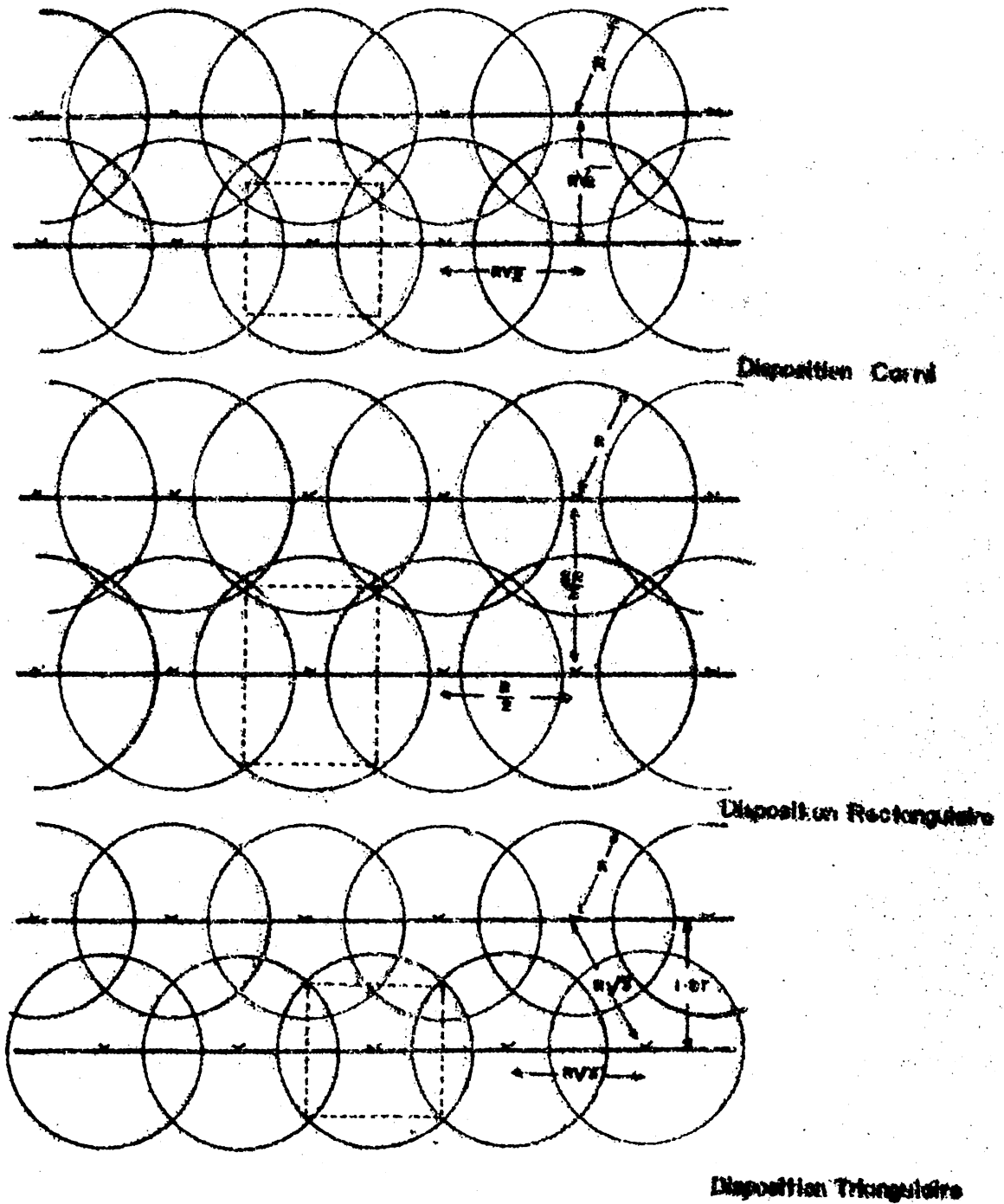
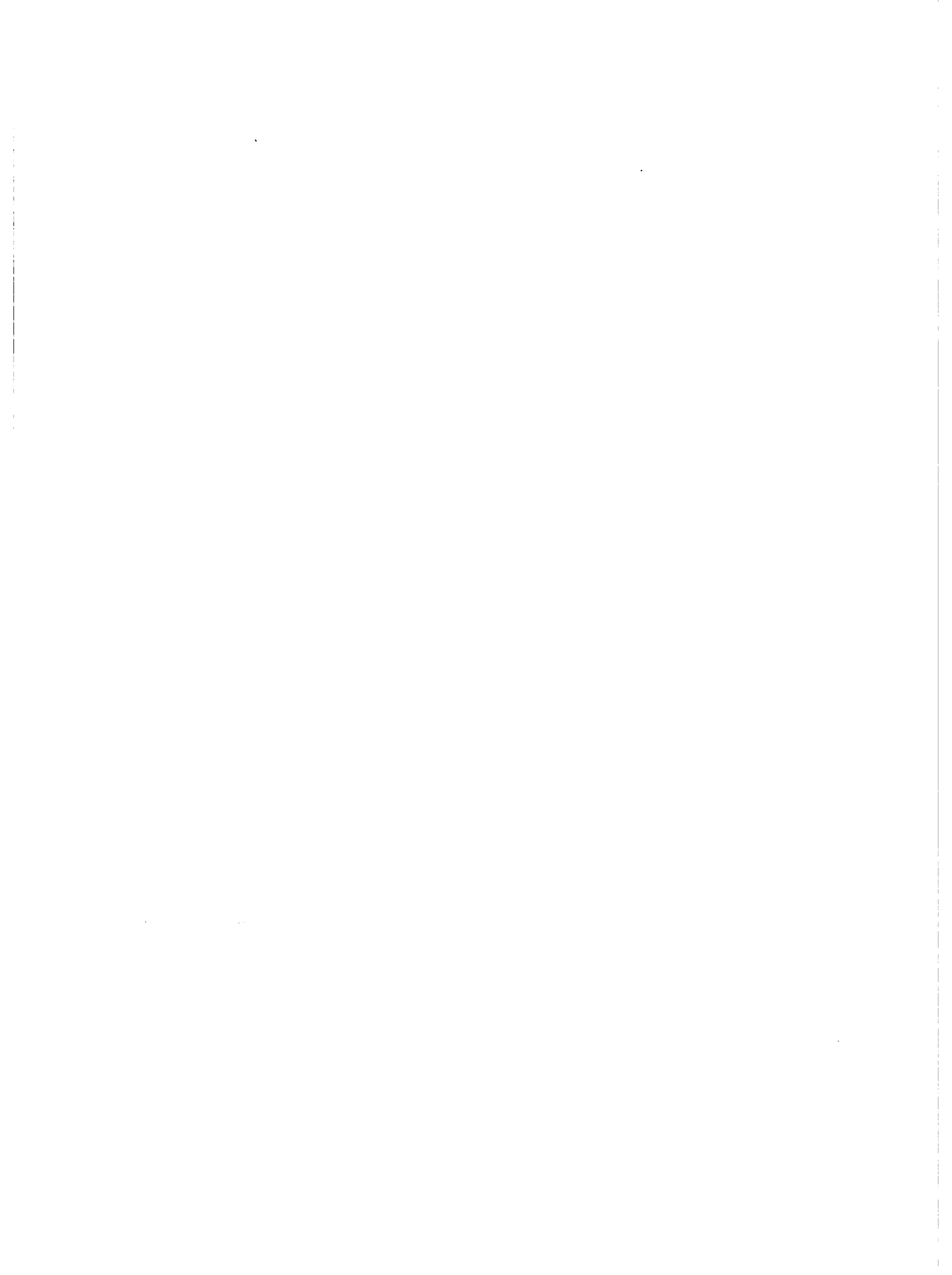


Figure VIII-8: Disposition des répercuteurs dans un système d'irrigation par aspersion de type conventionnel



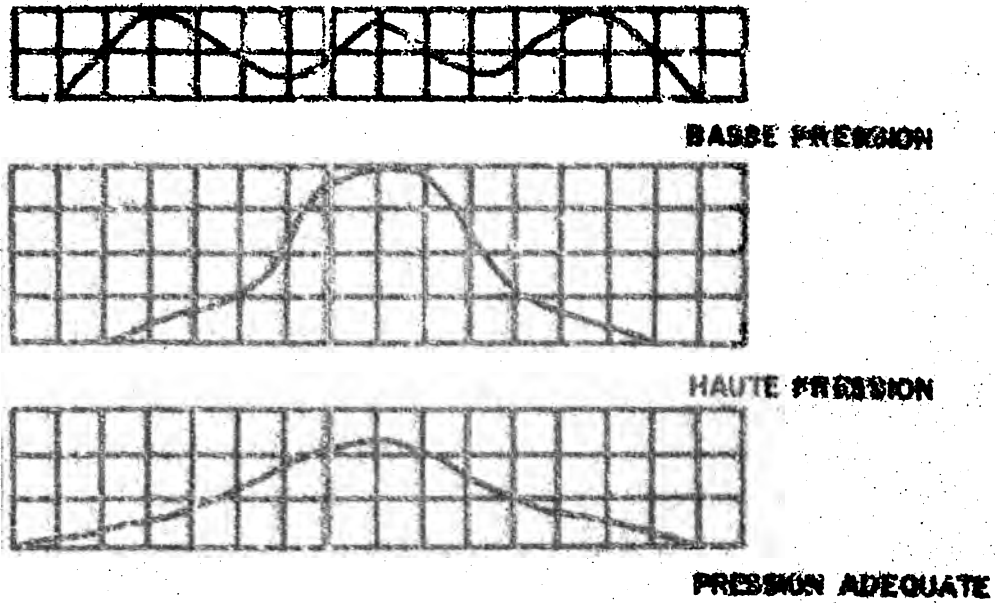
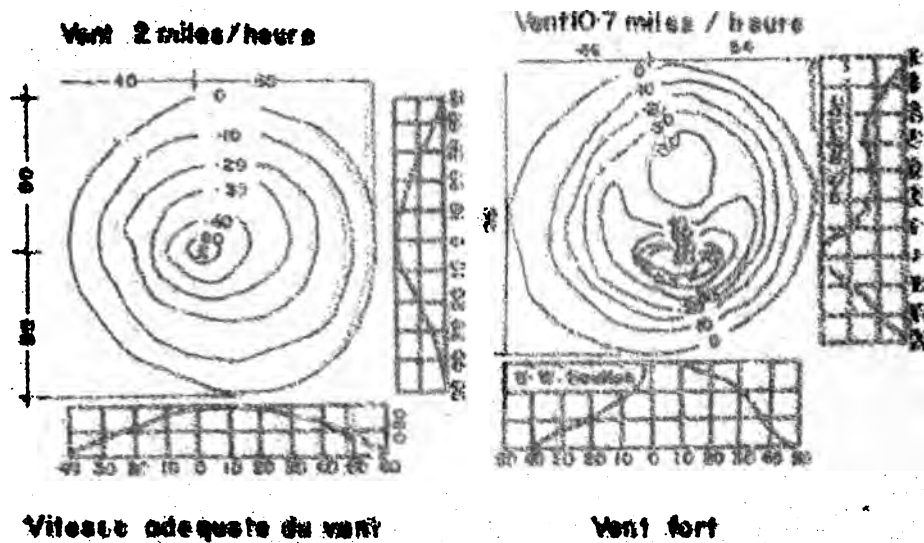


Figure VIII-9 Profils de distribution de l'eau d'un aspersion fonctionnant sous différentes pressions



Vitesse adéquate du vent

Vent fort

Figure VIII-20 Profils et distributions spéciales de l'eau d'un aspersion (Effet du vent)



$$hf = 12.95 + 6.51 - 3.59 = 19.46 - 3.59 = 15.87$$

Les pertes de charge calculées dépassent les pertes de charge tolérables.

### Troisième essai

#### 4 asperseurs

Longueur:  $L_1 = 42 \text{ m}$

$$L_2 = 144 \text{ m}$$

Débit :  $Q_2 = 34.19 \text{ m}^3/\text{s}$

$$hf_1 = f(144 \text{ m}, 3'', 34 \text{ m}^3/\text{s}) = 7 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$hf_1 = 10.08 \text{ m}$$

$$hf_2 = 6.51$$

$$hf_3 = f(144, 4'', 34 \text{ m}^3/\text{s}) = 1.8 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$hf_3 = 2.59 \text{ m}$$

$$hf = 10.08 + 6.51 - 2.59 = 14.00$$

Les pertes de charge sont équivalentes à la perte de charge tolérable. On arrête le calcul. Le latéral sera composé de 2 tronçons: un de 42 m de 4"; l'autre de 144 m de 3".

#### Diamètre du tuyau principal

216 m  $Q = 90 \text{ m}^3/\text{heure}$

216 m  $Q = 45 \text{ m}^3/\text{heure}$

$$h_u = h_\varepsilon + \frac{3}{4} hf + \text{hauteur de l'aspersion}$$





Où:

$h_u$  = Pression dans le principal au raccordement du latéral

$h_s$  = Pression de travail de l'asperseur = 25.83  $\approx$  26 m

$h_f$  = Perte de charge réelle dans le latéral = 14.00 m

La hauteur de l'asperseur: 1 m

$$h = 26 + 0.75(14.00) + 1 = 27 + 10.5 = 37.5 \text{ m}$$

Si nous prenons 15% comme valeur de la différence de la pression tolérable, on aura:

$$h_{f_{\text{principal}}} = 0.15 (37.5 \text{ m}) = 5.625 \text{ m} \approx 5.65 \text{ m}$$

$$2.36 + 4.32 \text{ m} = 9.95 \text{ m}$$

$Q = 90 \text{ m}^3/\text{heure}$ ; longueur = 216 m

$$6'' \quad 1.5 \text{ m}/100 \text{ m}; \quad h_f = 3.24 \text{ m}$$

$$5'' \quad 4.2 \text{ m}/100 \text{ m}; \quad h_f = 9.72 \text{ m}$$

$Q = 45 \text{ m}^3/\text{heure}$ ; longueur = 216

$$5'' \quad 1.5 \text{ m}/100 \text{ m}; \quad h_f = 2.81 \text{ m}$$

$$4'' \quad 3.5 \text{ m}/100 \text{ m}; \quad h_f = 7.56 \text{ m}$$

La différence de niveau est de 4.32 m en descendant.



Si le tuyau principal est composé de 2 tronçons de diamètre différent: l'un de 4 pouces, l'autre de 5 pouces et la longueur de chaque tronçon est égal à 216 m. Dans ce cas, la perte de charge sera de 7.56 m + 9.32 m = 17.28 m, ce qui dépasse l'énergie disponible. Afin de rester dans la limite de l'énergie disponible. On doit donc chercher une autre combinaison de tuyaux.

#### Premier essai pour dimensionner le tuyau principal

Prenez trois diamètres de 4", 5" et 6", soit:

108 m de 6"

108 m de 5"

216 m de 4"

$$hf_{60} = f (90 \text{ m}^3/\text{heure}, 108 \text{ m}) = 1.62 \text{ m}$$

$$hf_5 = f (90 \text{ m}^3/\text{heure}, 108 \text{ m}) = 4.54 \text{ m}$$

$$hf_4 = f (45 \text{ m}^3/\text{heure}, 216 \text{ m}) = 7.56 \text{ m}$$

$$hf = 13.72 \text{ m}$$

La perte de charge dépasse l'énergie disponible. On peut prendre un tronçon additionnel de 5", soit:

108 m de 6"

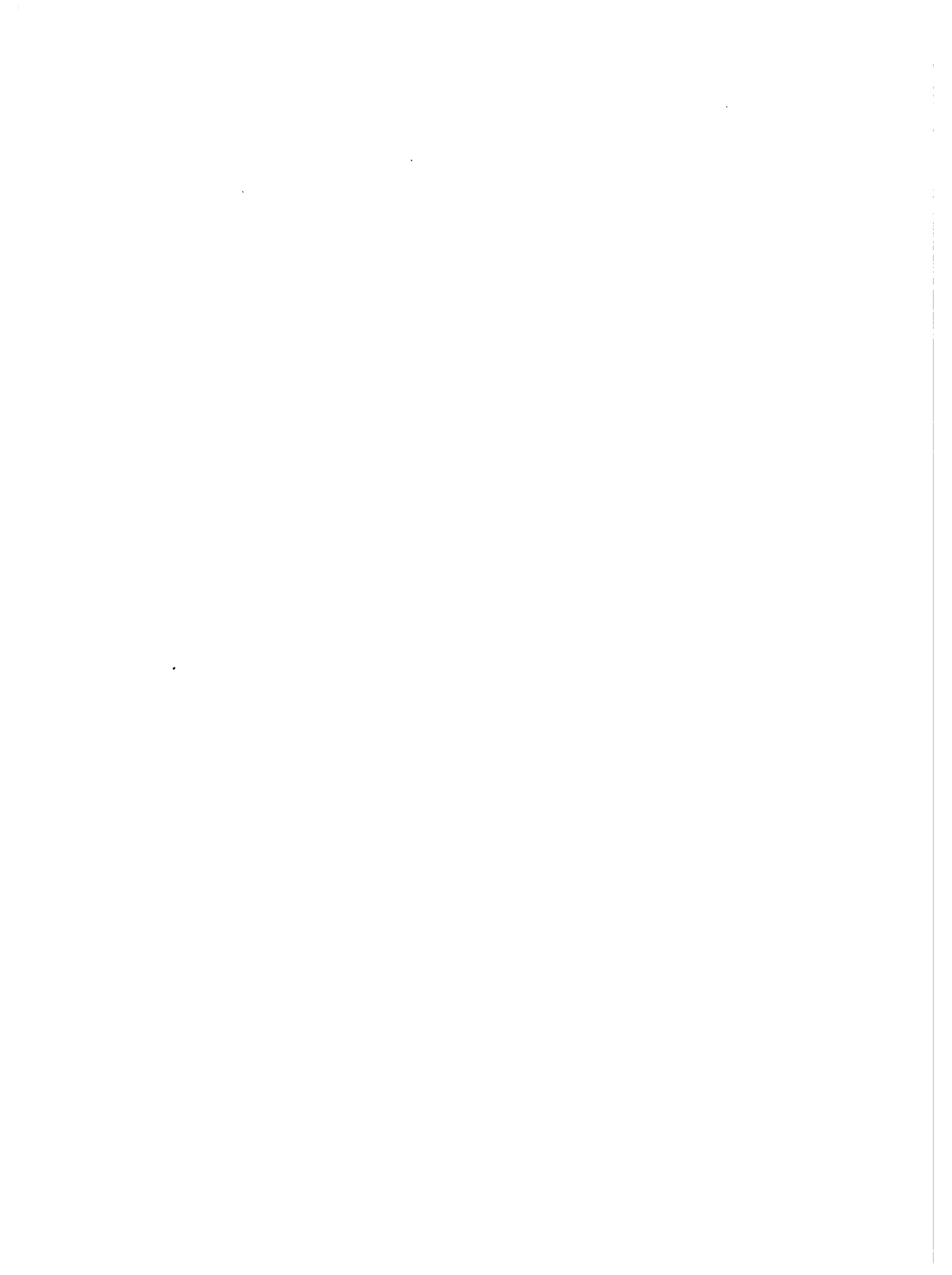
162 m de 5"

162 m de 4"

$$hf_6 = f (90 \text{ m}^3/\text{heure}, 108 \text{ m}) = 1.62 \text{ m}$$

$$hf_5 = f (90 \text{ m}^3/\text{heure}, 108 \text{ m}) = 4.54 \text{ m}$$

$$hf_5 (45 \text{ m}^3/\text{heure}, 54 \text{ m}) = 0.70 \text{ m}$$



$$h_{i_4} = (45 \text{ m}^3/\text{heure} \cdot 162 \text{ m}) = 5.67 \text{ m}$$

La perte de charge trouvée dépasse la valeur de l'énergie disponible. Nous devons donc combiner autrement les différents diamètres.

Prenons:

108 m de 6"

216 m de 5"

108 m de 4"

$$hf_6 = hf (90 \text{ m}^3/\text{heure}, 108 \text{ m}) = 1.62 \text{ m}$$

$$hf_5 = hf (90 \text{ m}^3/\text{heure}, 108 \text{ m}) = 4.54 \text{ m}$$

$$hf_5 = hf (45 \text{ m}^3/\text{heure}, 108 \text{ m}) = 1.40 \text{ m}$$

$$hf_4 = hf (45 \text{ m}^3/\text{heure}, 108 \text{ m}) = 3.78$$

$$hf = 11.34 \text{ m}$$

Encore une fois, la perte de charge calculée dépasse l'énergie disponible. On doit prendre une autre combinaison des diamètres.

Prenons:

162 m de 6"

162 m de 5"

108 m de 4"

$$hf_6 = hf (90 \text{ m}^3/\text{heure}, 162 \text{ m}) = 2.43 \text{ m}$$

$$hf_5 = hf (90 \text{ m}^3/\text{heure}, 54 \text{ m}) = 2.67 \text{ m}$$



$$hf_5 = Hf (45 \text{ m}^5/\text{heure}, 108 \text{ m}) = 1.42 \text{ m}$$

$$hf_4 = Hf (45 \text{ m}^5/\text{heure}, 108 \text{ m}) = 2.78 \text{ m}$$

$$hf = 10.10 \text{ m}$$

La perte de charge trouvée est à peu près égale à l'énergie disponible, le tuyau principal peut être comparé de 2 diamètres, à raison de:

162 m de 6 pouces

162 m de 5 pouces

108 m de 4 pouces

Calcul de la pompe:

$$\text{Puissance} = \rho g Q H_m$$

$$H_m = h_s + h_p + h_n + h_l + h_e + h_t$$

Où:

$H_m$  = Hauteur manométrique qui doit être fournie par la pompe

$h_s$  = Hauteur de succion, 2 m (donnée)

$h_p$  = Pertes de charge dans le tuyau principal, 10.1 m

$h_n$  = Différence de niveau  $1\% \times 432$ , = 4.32 m

$h_l$  = Perte de charge dans le tuyau latéral, 16.00 m

$h_e$  = Hauteur de l'aspersion, 1 m

$h_t$  = Pression de travail: 2.5 atm = 25.8 m





$$H_m = 1 + 10.1 + 14.00 + 1 + 25.8 - 4.32 = 51.90 \text{ m}$$

On ajoute 5 % de  $H_m$  afin de tenir compte des pertes localisées (2.59).

$$H_{\text{Total}} = 54.49 \text{ m}$$

$$P = \frac{90 \text{ m}}{\text{heure}} \times \frac{3600 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m}}{\text{m}^2 \text{ s}^2} \times \frac{54.49 \text{ m} \times \text{heure}}{3600 \text{ Sec.}}$$

$$P_T = \frac{90 \times 9.81 \times 54.49}{3.6} = 13348.95 \quad \frac{\text{N} \cdot \text{M}}{\text{S}} = \text{Watts}$$

$$\text{IEP} = 746 \text{ Watts}$$

$$\text{Puissance Technique} = 17.89 \text{ HP}$$

Puissance réelle de la pompe :  $E_b = 0.85$

$$P_{\text{PR}} = \frac{17.89}{0.85} = 21.05 \text{ HP}$$

Puissance réelle du moteur :  $E_m = 0.9$

$$P_{\text{RM}} = \frac{21.05}{0.9} = 23.39 \text{ HP}$$



## CHAPITRE IX

### IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE

Cette technique d'irrigation consiste à répandre l'eau sous forme de gouttelettes à travers les goutteurs, après que celle-ci ait été conduite dans des tuyaux (principal et latéraux) placés sur la surface du sol. L'eau appliquée pénètre dans le profil du sol où va se former un "bulbe d'humidité" autour des racines. Le bulbe d'humidité dépend: du débit de l'émetteur, de la durée d'application de l'eau et du type de sol. En général le bulbe est plus large et plus superficiel dans un sol argileux que dans un sol sablonneux (car dans le premier le mouvement de l'eau obéit à la force de capillarité, tandis que dans le second le mouvement de l'eau obéit à la force de gravité).

Les goutteurs ont pour rôle de dissiper l'énergie de pression existant dans tout le réseau. Parfois à leur place on peut creuser des trous tout au long de la parcelle du tuyau. La dissipation de l'énergie se fait par le passage de l'eau à travers l'orifice ou par un long chemin de parcours. Ainsi, sous une faible pression (10 m) le débit est de 2,4 ou 8 l/heure.

Généralement les terrains irrigués de cette façon présentent des bandes continues humides où poussent les plantes. L'aire comprise entre ces bandes reste sèche, ce qui facilite les travaux dans la ferme.

Pour dimensionner un système d'irrigation goutte à goutte, le choix de l'écartement entre les émetteurs et le débit d'application est très important. Compte tenu que la méthode est relativement nouvelle, on ne dispose pas d'information locale, c'est pourquoi on doit se baser sur des informations provenant des zones similaires. Cependant pour obtenir de bons résultats il faut réaliser des essais locaux pour chaque culture que l'on a l'intention de pratiquer.

L'installation d'un système d'irrigation goutte à goutte est très coûteuse, c'est la raison pour laquelle il est surtout utilisé dans les cultures rentables et où la disponibilité en eau est très réduite. Par ailleurs cette technique est utilisée parce qu'elle facilite:



- 1) l'emploi de l'eau à forte concentration saline;
- 2) l'optimisation de l'utilisation de l'eau dans les sols sablonneux;
- 3) une meilleure uniformité dans la distribution de l'eau, ce qui contribue à activer la récolte et en même temps à une meilleure qualité des produits;
- 4) l'application directe des fertilisants et des pesticides.

### 9.1 Schéma de disposition d'un système d'irrigation goutte à goutte.

La figure IX-1 A présente une disposition simple d'un système d'irrigation goutte à goutte dans lequel le tuyau principal placé au milieu du terrain distribue l'eau aux latéraux situés des deux côtés. L'eau est fournie aux systèmes par un tuyau à pression. Un appareil contrôlant la pression est placé à l'amont de l'unité d'irrigation. Il existe trois alternatives pour dimensionner un système d'irrigation goutte à goutte:

- La première (No. I) est utilisée quand la pression disponible est faible ou quand dans un projet on veut éviter les dépenses élevées, pour cela on se sert d'une pompe à faible puissance. Le dimensionnement suit la règle du 10 % de variation du débit entre les émetteurs. Les latéraux et le principal sont choisis de telle manière que la moitié de l'énergie disponible soit dissipée dans les latéraux et l'autre moitié dans le principal. S'il y a un excédent d'énergie, celle-ci peut être contrôlée par un appareil de contrôle à l'amont.
- La seconde (No. 2) est dimensionnée de telle façon que la variation de 10 % du débit se réalise dans les latéraux, ce qui permet l'emploi des latéraux plus longs ou à diamètres plus petits. La variation de la pression au long du principal est contrôlée par des appareils conçus spécialement pour la réalisation de ce travail. Le diamètre du principal est choisi selon l'énergie disponible dans l'unité de contrôle.
- La troisième (No. III) permet une réduction du diamètre des latéraux par l'emploi des émetteurs pourvus de régulateurs de pression. Dans ce



cas la variation du débit le long du latéral (entre les émetteurs) peut être supérieur à 10 %. Les émetteurs à régulateurs de pression sont très utiles lorsque les latéraux sont placés au long des pentes raides ou lorsque le terrain a une topographie irrégulière.

L'unité d'irrigation présentée dans la figure IX-1A est similaire à celle de la figure IX-1 B, sauf que pour cette dernière, la position de l'unité de contrôle permet de diviser l'unité à irriguer en deux sous-unités, lesquelles sont irriguées simultanément. L'eau est conduite par un tuyau tête morte aux deux tuyaux principaux et chacun d'entre eux arrose une sous-unité. Chaque sous-unité est dimensionnée selon les trois alternatives présentées ci-dessus. Si l'on utilise la première alternative pour une topographie irrégulière ou différente dans les deux sous-unités, les débits seront maintenus constants à l'aide des contrôleurs de débit ou de pression en amont de chaque principal. Cette pratique évite la montée de la pression disponible à l'entrée.

Si l'unité d'irrigation se trouve sur un terrain uniforme, un seul contrôleur de pression suffira (Le contrôleur de pression est aussi nécessaire à la deuxième et la troisième alternative). Étant donné que l'irrigation est simultanée dans les deux sous-unités, le débit dans chaque principal doit être diminué de moitié, ce qui permettra de réduire le diamètre de tuyau. Cependant la longueur du principal doit être augmentée.

La figure IX-1 C montre la même unité d'irrigation que celle se trouvant dans la figure IX-1 A sauf que le tuyau tête morte placé au centre du terrain délivre l'eau à quatre tuyaux principaux: chacun d'entre eux dessert un quart de l'unité d'irrigation. Le système peut être dimensionner pour irriguer simultanément les quatre sous-unités, ce qui réduira le diamètre des tuyaux. Le dimensionnement montré dans la figure IX-1 D convient aux terrains en pente raide ou accidenté. L'unité d'irrigation est divisée en six sous-unités, lesquelles sont arrosées deux par deux. Si le dimensionnement se fait d'après la première alternative, il faudra placer les contrôleurs de pression à l'amont des tuyaux principaux, ce qui permet d'éviter la variation de





pression et assurera le débit permanent dans les émetteurs. Il faudra tenir compte que la perte d'énergie dans les contrôleurs de pression ou de débit est importante, elle doit être donnée par le fournisseur de l'appareil.

Les tuyaux tête morte peuvent être construits en acier, aluminium, asbest-ciment, polyéthylène dure ou PVC et les tuyaux principaux sont en polyéthylène dure, PVC ou aluminium. Les tuyaux principaux sont dimensionnés en tant que tuyaux à sorties multiples et sont calculés comme les latéraux d'un système d'aspersion. Les latéraux sont en polyéthylène moins dure; de 12, 16 ou de 20 mm de diamètre.

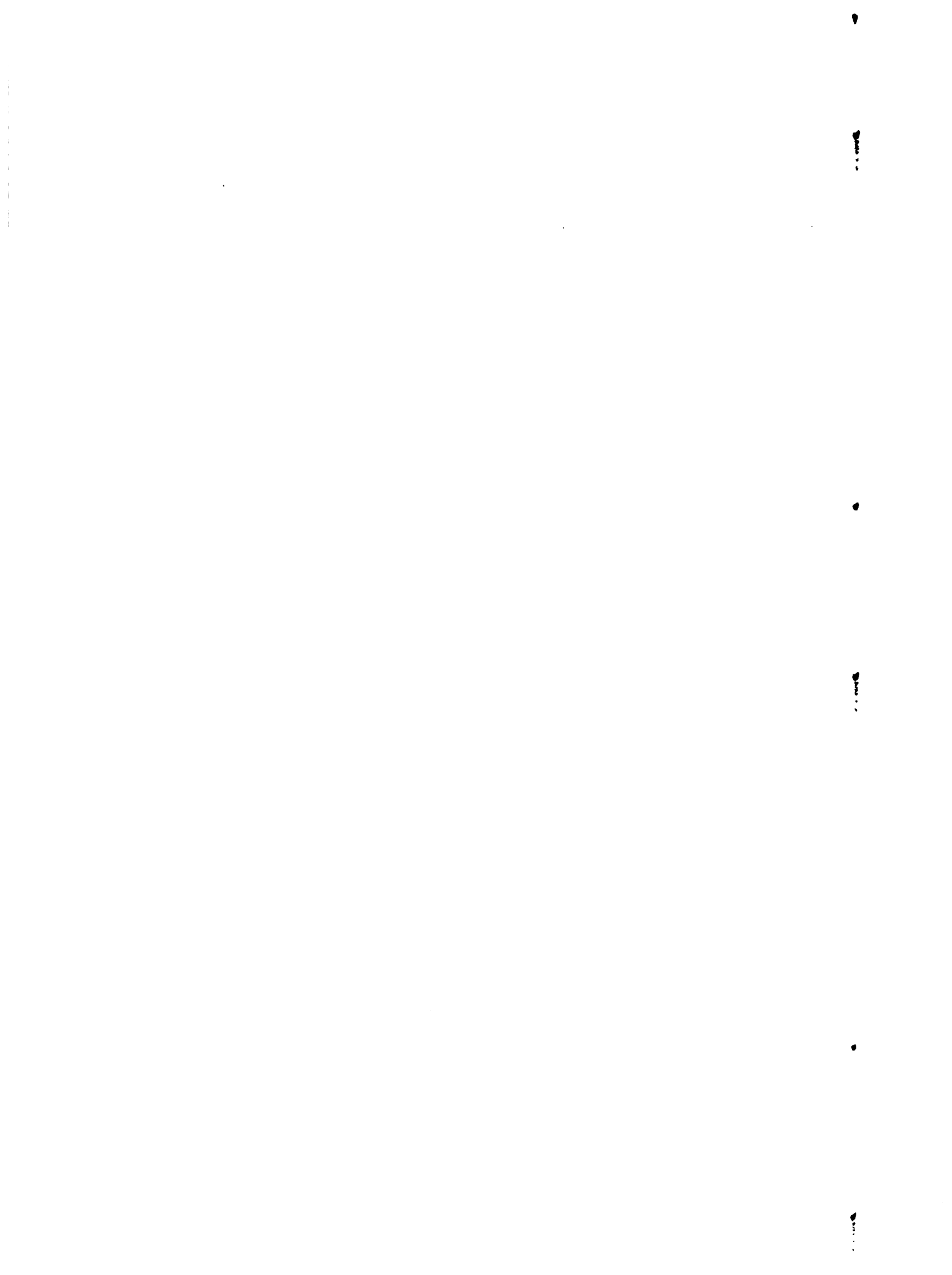
## 9.2 L'unité de contrôle

L'équipement pour le contrôle d'énergie, servant à fournir de l'eau à une ou à plusieurs unités d'irrigation est composé: d'un clapet de retenue, d'une soupape d'aération, d'une vanne automatique de jaugeage, d'un réservoir de fertilisant, d'un ou de plusieurs filtres et un régulateur de débit. Parfois certains de ces appareil sont placés à l'aval.

Le clapet de retenue: Il permet de prévenir le retour de l'eau qui peut contenir des fertilisants introduits dans la pompe ou dans la source même, lorsque le système n'est pas en marche. Ainsi, le système est protégé contre les transformations brusques de l'énergie.

Le purgeur d'air ou Soupape d'aération: Placé sur les points élevés, il permet l'évacuation de l'air accumulé dans les tuyaux.

La vanne de jaugeage: Elle est utilisée pour contrôler le passage de l'eau. Elle est réglée en fonction des besoins. Une fois que le volume nécessaire est atteint, l'appareil s'arrête automatiquement. Il existe d'autres appareils qui peuvent fonctionner comme jaugeur. Ces types de vanne permettent une économie de main-d'oeuvre et d'avoir une amélioration de l'efficacité d'application de l'eau. Elles sont choisies d'après le volume et du débit à



à fournir. Il est nécessaire de tenir compte des pertes de charge produites par ces vannes. Par exemple, pour une vanne 2 pouces présente normalement une perte de charge de 1 m pour un débit de  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  et de 3.6 m pour un débit de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Le réservoir de fertilisant: L'irrigation goutte à goutte permet d'appliquer les fertilisants directement à la plante. Le réservoir où est dissout le fertilisant est branché au système principal au moyen de deux tuyaux. Entre les tuyaux il y a une perte de charge dans la vanne, ce qui force l'eau du système principal à passer à travers le tuyau d'entrée et à pousser le fertilisant vers le tuyau de sortie pour atteindre le système principal. L'application du fertilisant doit se faire pour une période allant de 70 à 80 % de la durée d'application de l'irrigation, afin de permettre le nettoyage du tuyau et l'écoulement d'une eau limpide. Le débit coulant vers le réservoir peut être contrôlé par la mise en place des vannes aussi bien dans le tuyau d'entrée que dans celui de sortie.

Le volume du réservoir de fertilisant est déterminé par l'expression:

$$V = \frac{W \times A}{P}$$

Où :

V = Volume du réservoir, en litre

W = Quantité de fertilisant nécessaire, en kg/Ha

A = Superficie à irriguer, en Ha

P = Taux de dilution de la solution en Kg/l

Les filtres: Ils servent à retenir les matières organiques et les particules solides en suspension dans l'eau afin d'éviter l'obstruction des émetteurs. En général ils sont en fil métallique et leur perte de charge est donnée par le fournisseur (pour un filtre de 1.5 pouces présente une perte de charge de 0.2 m pour un débit de  $5 \text{ m}^3/\text{heure}$  mais cette perte de charge augmente de 0.8 m lorsque le débit est de  $10 \text{ m}^3/\text{heure}$ ). L'obstruction des filtres augmente la perte de charge, c'est pourquoi leur nettoyage doit être fréquent.



Le filtre de gravier est utilisé pour l'élimination des matériaux grossiers, des matières organiques, des micro-organismes, des particules colloïdales. Il est formé de plusieurs couches de gravier, chacune est constituée de particules de diamètre différents. Le type, la dimension et le nombre de couches dépend de la qualité de l'eau et du débit à l'amont. Le système de filtration est parfois composé de plusieurs filtres superposés placés à l'amont ou à l'entrée de l'unité d'irrigation. Mais il arrive que le filtre ne résout pas le problème d'obstruction.

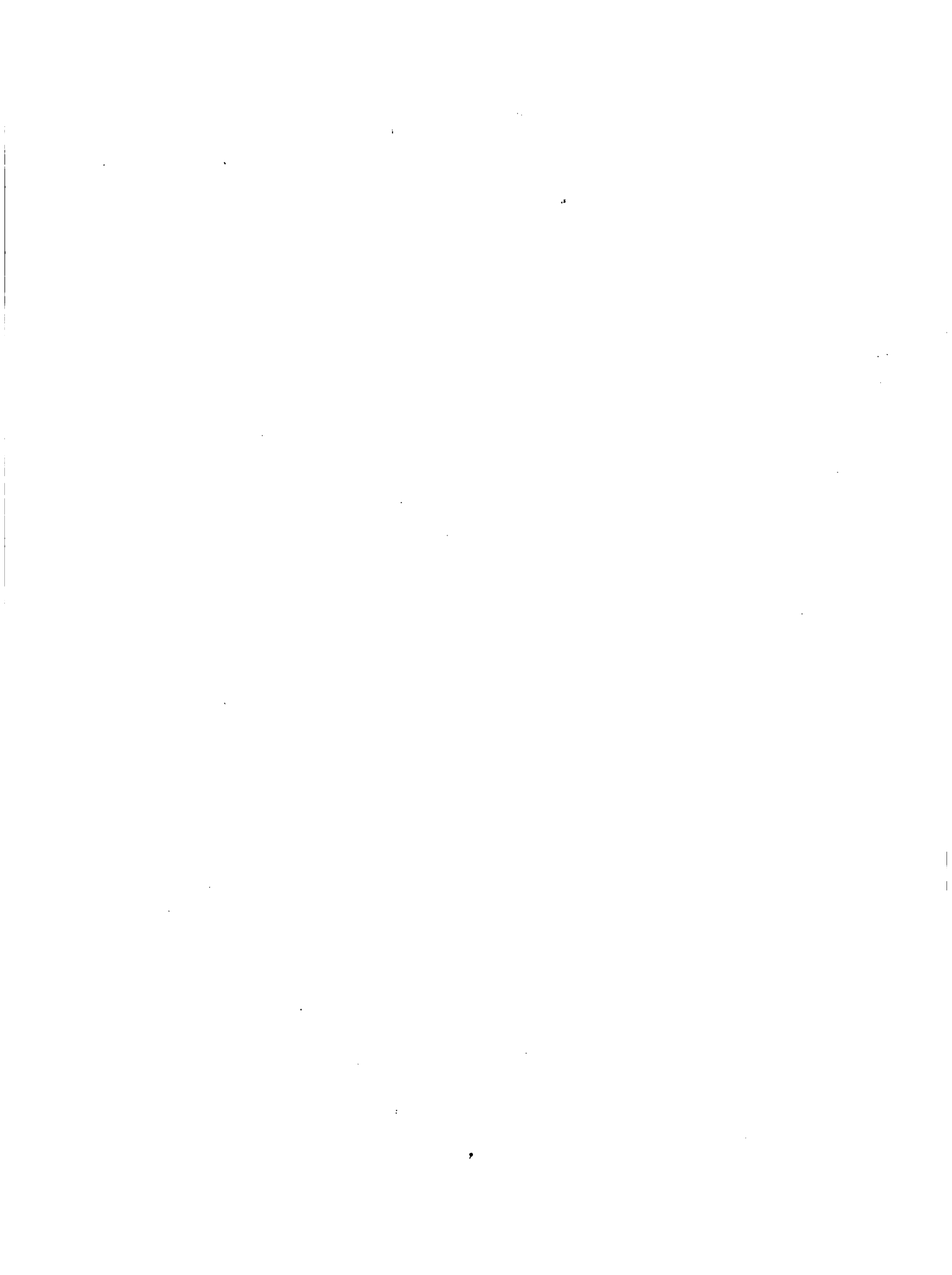
Certains éléments comme le carbonate de calcium précipité et la matière organique ne peuvent pas être retenus par le filtre. Pour évacuer le premier, le système doit être lavé avec une solution d'acide hypochlorique. Les dépôts de matière organique peuvent être enlevés par l'écoulement de l'eau durant un quart d'heure puis on fait passer de l'air comprimé à forte pression. L'hydrocyclone est un autre type de filtre utilisé en irrigation goutte à goutte.

Le régulateur de pression: Pour stabiliser un débit il convient de placer le contrôleur de pression dans l'équipement de l'unité de contrôle. Dans le choix d'un régulateur de pression, il faut tenir compte du coût, de la précision du contrôle et de la perte de charge.

Les émetteurs: Fabriqués en plastic, ils sont placés uniformément le long du latéral et constituent les points d'application de l'eau à faible débit et à faible pression. L'écartement des émetteurs le long du latéral et entre les latéraux dépend du débit de l'émetteur, du type de sol et de la culture pratiquée. Pour les arbres fruitier, les émetteurs sont placés autour de l'arbre même. Ils fonctionnent comme dissipateurs d'énergie en réduisant celle-ci de 10 à 15 m à l'entrée et de 0 à la sortie. Les émetteurs sont limités en dimension et peuvent être adaptés à faible débit, ce qui augmente le risque d'obstruction. La dimension de ceux-ci varie entre 0.5 et 1.5 mm.

Le débit d'un émetteur est calculé d'après la formule:

$$q = ch^n$$



Où:

- q = Débit appliqué par l'émetteur, en l/heure  
 h = Energie de fonctionnement  
 n & c = Constantes

#### Dimensions des mailles pour les filtres

No.	Ouverture mm	Microns 1/1000 mm	1/1000 de pouce
4	3.5	3500	150
6	2.5	2500	100
10	1.5	1500	60
20	0.8	800	30
30	0.5	500	20
50	0.3	300	12
75	0.2	200	8
120	0.13	130	5
155	0.1	100	4

La valeur de n dépend du type d'écoulement dans l'émetteur d'après le nombre de Reynolds, Re (Relation de la force de viscosité à la force d'inertie). Pour la plupart des émetteurs, l'écoulement est turbulent.  $n = 0.5$ . Pour satisfaire la condition d'une variation maximale du débit des émetteurs de 10 %, la variation correspondante de la pression doit être de 20 %. Dans certains cas, l'écoulement des émetteurs s'approche du type laminaire pour lequel  $n = 0.7$  ou  $0.8$ . Dans ce cas, le débit varie plus fortement avec la pression (ce qui demande un raccourcissement des latéraux ou un agrandissement des diamètres). En principe il est recommandé que la variation maximale de pression ne doit pas dépasser 15 %. Les valeurs de n pour les émetteurs sont:





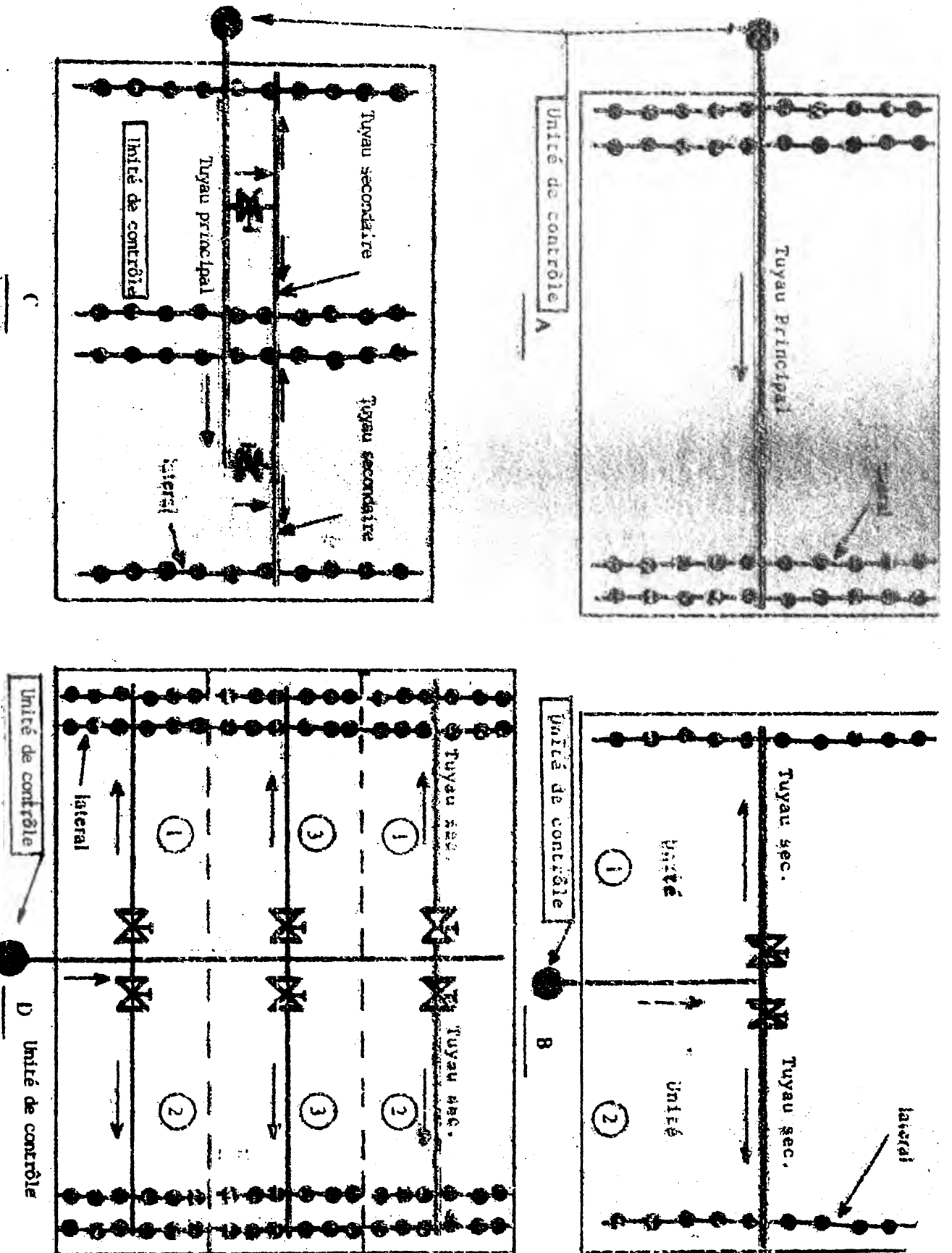
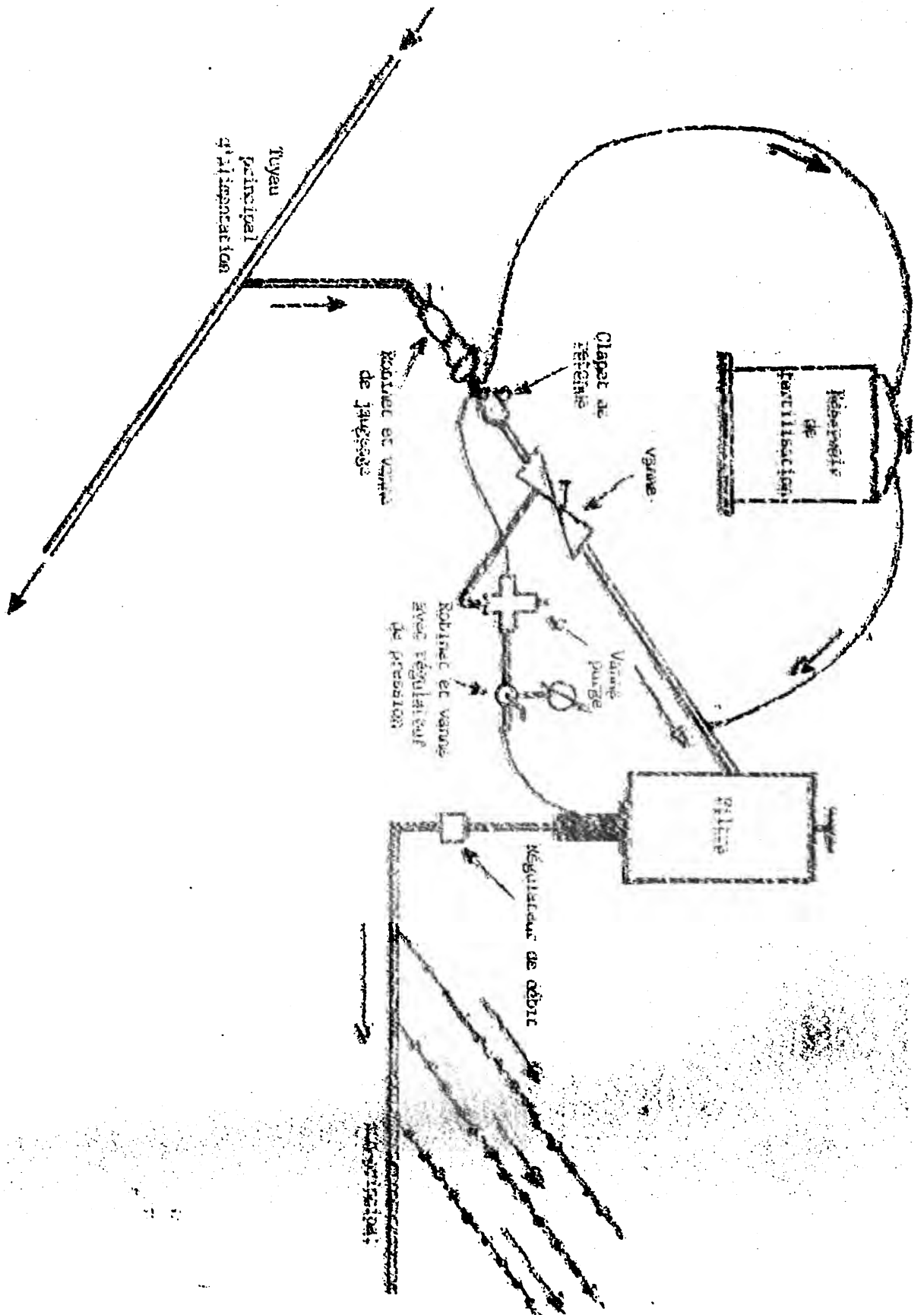


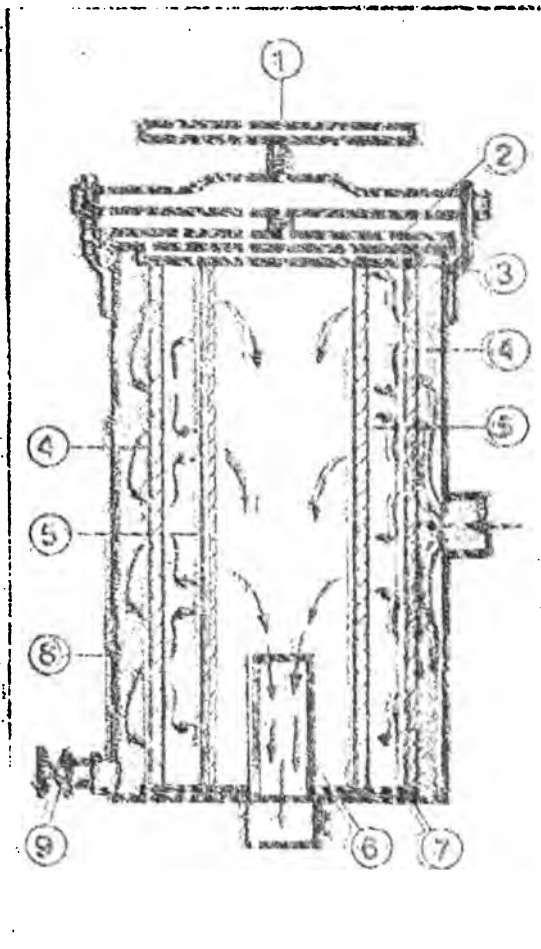
Fig. IX-1: Schéma de la disposition d'un système d'irrigation goutte à goutte.



Fig. IX-2: Schéma de l'unité de contrôle d'un équipement pour l'irrigation goutte à goutte.







1. Volant permettant d'ouvrir et de fermer le filtre.
2. Couverture
3. Lane supérieure d'étanchéité
4. Élément extérieur du filtre
5. Élément intérieur du filtre
6. Raccord en F.V.C.
7. Lane inférieure d'étanchéité
8. Corps du filtre
9. Vanne de drainage du filtre.

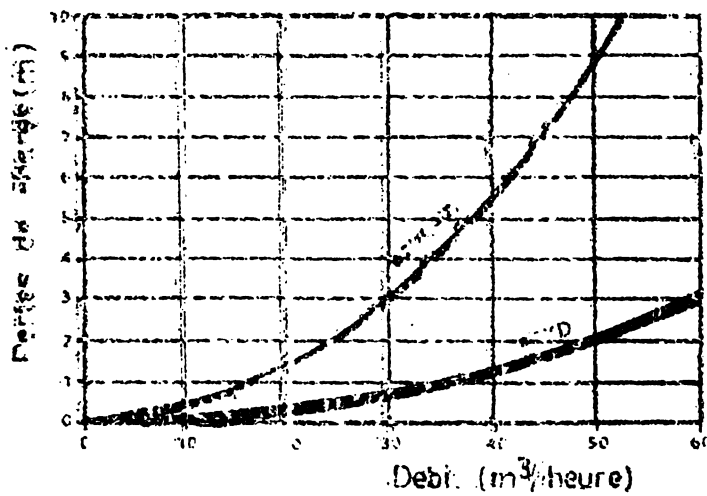
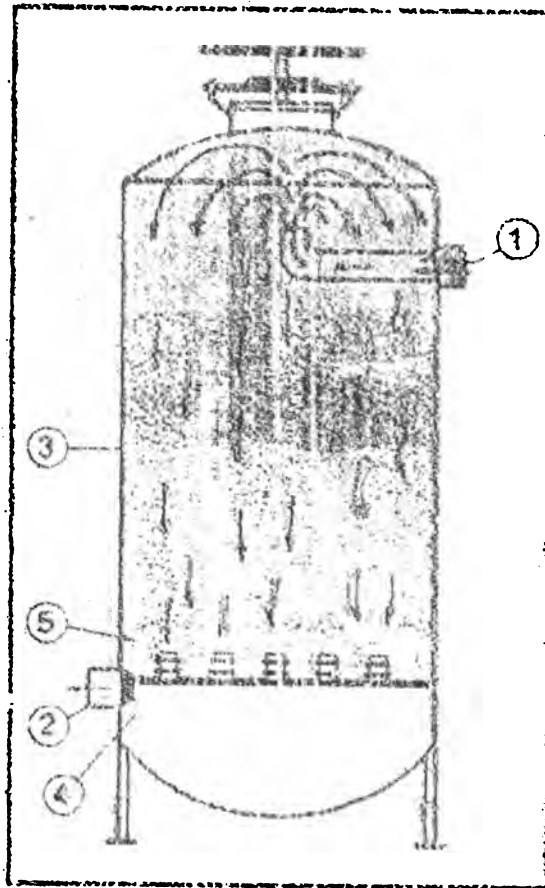


Fig. 14-3: Filtres en toile métallique utilisés pour le filtrage final.





1. Entrée
2. Sortie
3. Corps du filtre
4. Élément du filtre
5. Matériau entrant dans la composition du filtre: couche de sable, gravier de 1.5 à 4 mm de diamètre.

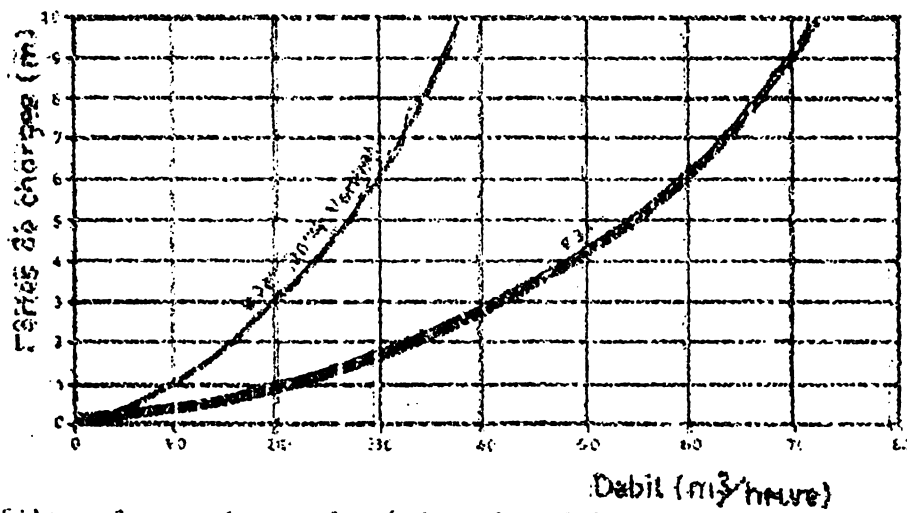
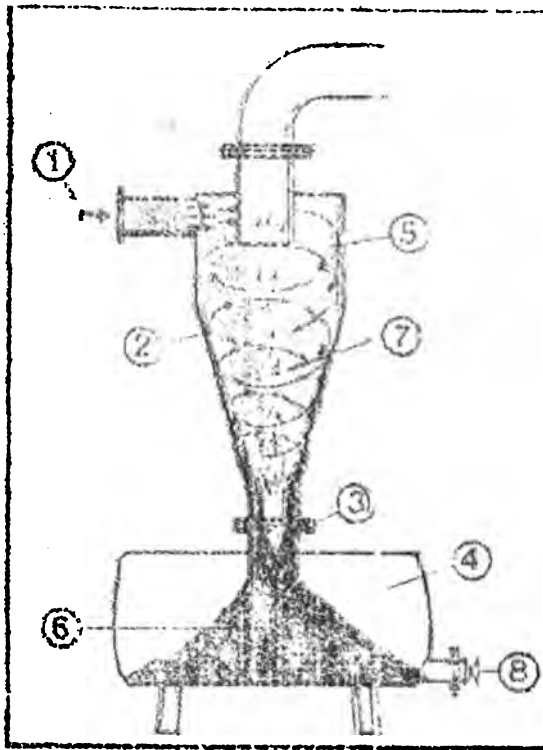


Figure 1)-4: filtre de gravier employé dans les filtrations primaires de l'eau provenant d'un réservoir.







1. Entrée d'eau
2. Corps de l'hydrocyclone
3. Raccordement au récipient de recollection
4. Récipient de recollection des matériaux solides
5. Direction tangentielle de l'eau dans l'hydrocyclone
6. Le tourbillon pousse le sable vers le bas
7. L'eau monte en spiral
8. Vanne de drainage pour le nettoyage du récipient.

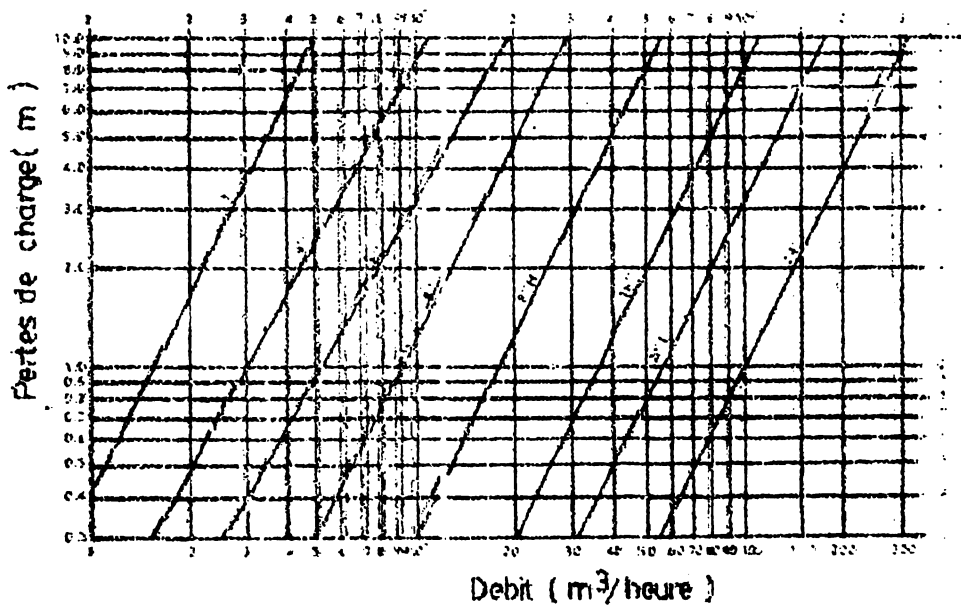


Fig. IX-5: L'hydrocyclone -- Filtré employé pour la séparation du sable de l'eau d'un puits ou le limon provenant d'une rivière.



données par le fournisseur, autrement il faudra réaliser des essais au laboratoire.

### 9.3 Les types d'émetteurs goutte à goutte

Il existe plusieurs types d'émetteurs goutte à goutte :

- les émetteurs de longue trajectoire
- les émetteurs d'orifice
- les émetteurs de vortex

#### 9.3.1 Les émetteurs de longue trajectoire

Dans ces émetteurs l'eau coule à travers un long chemin en spirale ou un passage en zig-zag. Il y a une dissipation de l'énergie à travers les émetteurs. Le débit est calculé à partir de l'expression

$$q = \frac{\bar{\mu} d^{2.5}}{24.84} \left( \frac{gh}{fl} \right)^{0.5}$$

Où :

- q = Débit en l/heure
- d = Diamètre de l'émetteur en mm
- g = Accélération de la pesanteur, en m/s<sup>2</sup> (9.81 m/s<sup>2</sup>)
- h = Charge hydraulique, en m
- f = Coefficient de friction (calculé à partir de la formule de Darcy-Weisbach)
- l = Longueur du tube, en m.

Si l'écoulement est laminaire ( $Re \leq 2000$ );  $f = \frac{64}{Re}$

#### 9.3.2 Les émetteurs d'orifice ou de courte trajectoire

Ils sont placés dans des trous perforés dans la paroi du latéral. Parfois les émetteurs sont fixés dans des accouplements spéciaux en plastic



lesquels sont adaptés dans les trous du latéral. La perte d'énergie se produit par la réduction du diamètre d'entrée de l'eau. Le débit est calculé par l'expression:

$$q = Cq \cdot 2.82 \cdot d^2 \cdot (2 \cdot gh)^{0.5}$$

Où:

- q = Débit en l/heure
- d = Diamètre de l'orifice, en m
- Cq = Coefficient de débit
- g = Accélération de la pesanteur (9.81 m/s<sup>2</sup>)
- h = Charge hydraulique, en m

### 9.3.3 Les émetteurs de vortex

Dans ce type d'émetteur la dissipation d'énergie se produit par la rotation turbulente créée par l'entrée tangentielle de l'eau dans l'émetteur et par la réduction du diamètre de l'orifice.

Il existe des émetteurs pourvus d'un nettoyeur automatique. Dans ce type d'émetteur le passage de l'écoulement s'ouvre d'avantage à basse pression, permettant ainsi le passage d'un débit plus important et le nettoyage des dépôts de résidus qui peuvent gêner les émetteurs.

Les émetteurs pouvant contrôler ou compenser la pression sont devenus très populaires. Ils permettent d'utiliser des latéraux plus longs ou des tuyaux à diamètre plus petits. Ainsi, ils sont convenables lorsque la pente du terrain est raide ou de topographie irrégulière. Certains latéraux sont munis de perforations à la place des émetteurs. D'autres peuvent fonctionner avec des tuyaux à double paroi, dans ce cas l'eau coule dans le tuyau intérieur à forte pression et elle passe à travers des perforations du tuyau extérieur, à partir duquel l'eau a été appliquée à faible pression.



Les pertes de charge localisées à travers les émetteurs s'expriment en pourcentage de la perte de charge principale.

Tableaux IX-1: Perte de charge localisée à travers les émetteurs  
(exprimée en pourcentage de la perte de charge principale)

Latéral Diamètre, mm	Ecartement entre émetteurs, en m.		
	0.5	1.0	1.5
	Emetteurs de trajectoire longue.		
	48	24	16
	Emetteurs de trajectoire courte.		
12	33	17	11
16	24	12	8
20	18	9	6

#### 9.4 Distribution de l'eau dans le profil du sol

L'eau appliquée par l'émetteur pénètre dans le profil du sol et elle se déplace aussi bien latéralement que verticalement en prenant la forme d'un cône appelé "bulbe d'humidité", à l'intérieur duquel se développe les racines. La taille et la forme du bulbe dépend du débit de l'émetteur, du type de sol et de la durée d'application de l'eau. L'écartement des émetteurs doit être choisi de telle sorte que le sol soit mouillé, aussi bien dans le sens vertical que dans le sens horizontal afin de couvrir toute la zone des racines.





Parfois il est nécessaire d'appliquer un excès d'eau pour le lessivage des sel.

En général, la distribution de l'eau dans le profil du sol au moyen d'un émetteur goutte à goutte est divisé en trois parties:

La zone de transition: (presque saturée) Elle est formée aux alentours de l'émetteurs.

La zone d'humidité: C'est dans cette zone que développe les racines. L'eau se déplace grâce aux forces de capillarité et de la pesanteur. La teneur en eau décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la zone de transition.

Le biseau d'humidité: dont le taux d'humidité est égal à la teneur en eau initiale du sol. Lorsqu'on applique un volume d'eau au moyen d'un émetteur goutte à goutte, le bulbe d'humidité dans un sol argileux est plus large que dans un sol sablonneux. Par conséquent l'écartement entre les goutteurs est plus grand dans le premier type de sol que dans le dernier. Si le débit appliqué est constant, la largeur et la profondeur du bulbe d'humidité croissent avec le volume d'eau appliqué. Cependant pour un volume donné d'eau d'application, une augmentation du débit (Pour tous les types de sol) donnera un bulbe d'humidité plus large et plus superficiel. Pour cela les émetteurs doivent être séparés par un plus grand écartement particulièrement lorsque la racine des plantes cultivées est profonde.

En ce qui concerne l'effet de la concentration saline, on doit considérer que les sels minéraux se déplacent vers l'extrémité de la zone d'humidité. Leur concentration à l'intérieur du bulbe d'humidité (où se développent les racines) est faible et il n'y a pas de danger pour les plantes. En effet s'il y a une application continue de l'eau dans le sol, l'équilibre en sels va être maintenu. Cependant, il convient de remarquer que si l'eau est salée, l'irrigation goutte à goutte va favoriser la concentration. Les longues périodes de sécheresse peuvent également augmenter la concentration. C'est la raison pour laquelle il est indispensable de lessiver le sol à la saison humide.



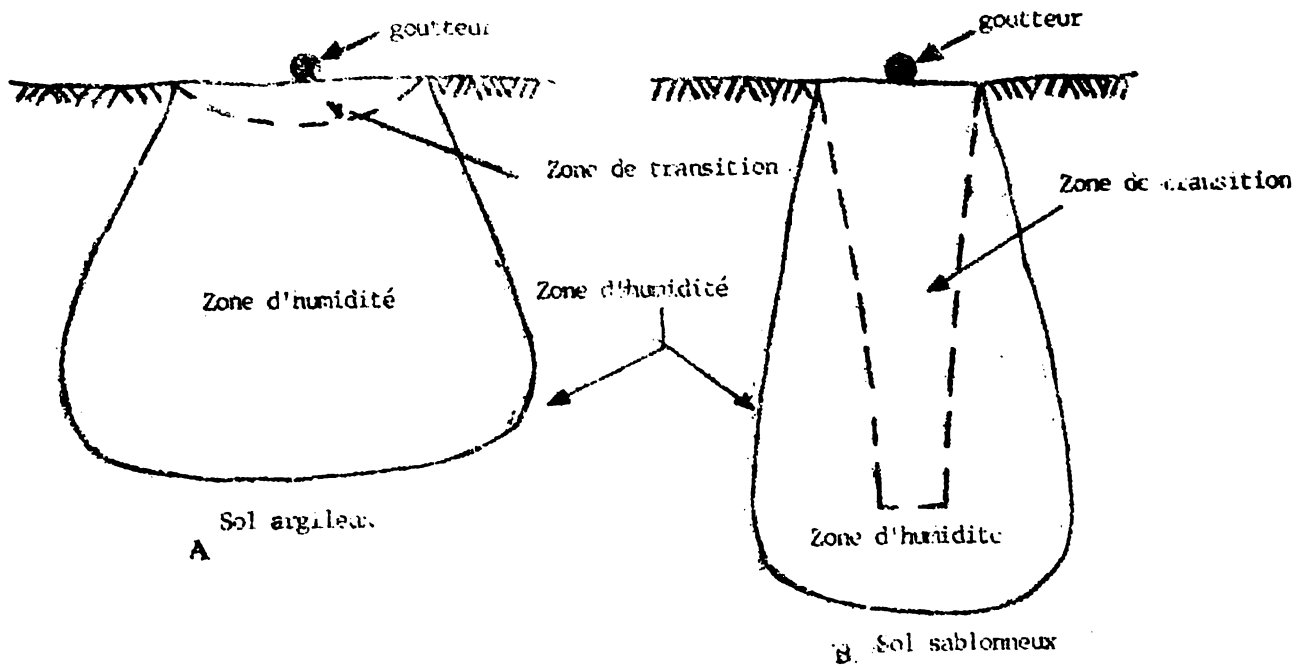
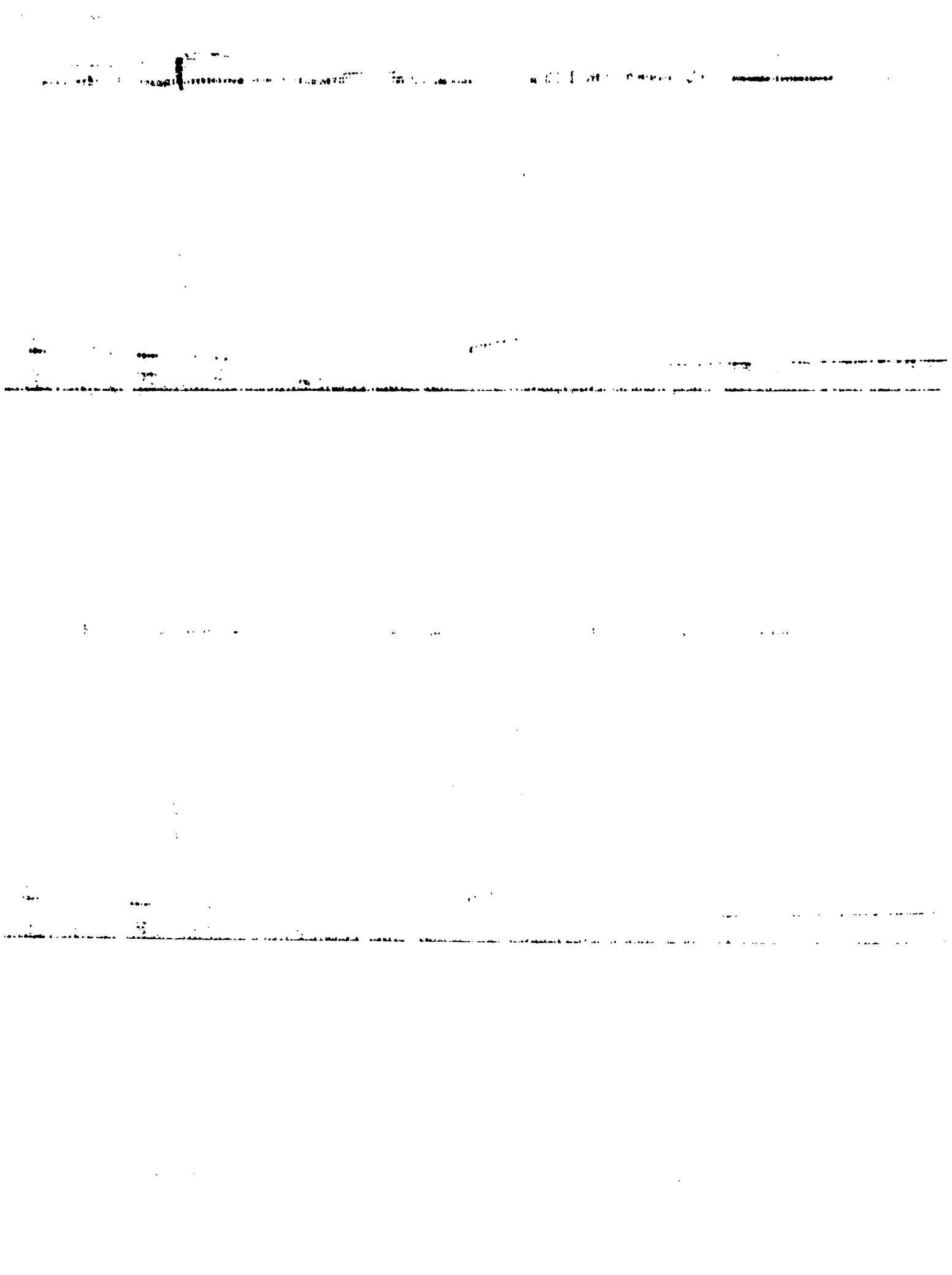


Fig. IX-6: Distribution de l'eau dans le sol à partir d'un goutteur à faible débit.



### 4.5 Principe de dimensionnement du système d'irrigation goutte à goutte

Le principe de dimensionnement d'un système goutte à goutte est similaire à celui de dimensionnement du système par aspersion. Dans les deux systèmes, les besoins en eau et la fréquence d'application doivent être calculés. Les émetteurs sont dimensionnés suivant la pression de fonctionnement, le débit d'opération, l'écartement, la durée d'application et le nombre d'applications par jour. Une fois que toutes ces données sont rassemblées, le dimensionnement se fera selon la forme et la taille de l'unité à irriguer ainsi que l'opération de l'application de l'eau. Le dimensionnement d'un système goutte à goutte doit être précédé d'une analyse hydraulique et économique. Pour le réaliser, il est nécessaire de disposer des données sur place, à partir des expériences réalisées sur le terrain. Si cela n'est pas possible, on peut estimer les valeurs à partir des données des zones semblables ou d'après l'analyse statistique des données climatologiques (Des données existantes sur les besoins en eau utilisés pour le système par aspersion peuvent être employées pour le dimensionnement du système goutte à goutte).

L'estimation des besoins en eau dans une nouvelle zone pour une fréquence déterminée (en général de 1 à 7 jours) peut être faite à partir des données d'un bac d'évaporation. Pour chaque année, on choisit la valeur maximale des données disponibles pour la réalisation du graphique de probabilité où l'on pourra choisir la valeur correspondante à la période de retour désirée. Celle-ci sera multipliée par la constante de l'appareil et elle prise dans une autre zone pour la même culture. Ainsi on obtient le besoin en eau maximale des cultures.

Voici la formule proposée dans les unités anglaises pour estimer le besoin en eau maximum des cultures:

$$\text{Gallons/plante/jour} = 0.623 \times (\text{Surface couverte par la plante, en pied carré}) \\ \times (\text{facteur de la culture}) \times (\text{un facteur climatique})$$

où:

$$\text{Gallon/plante/jour} = 3.8 \text{ litres/plante/jour}$$



Quelques facteurs de culture:

Orange, citron.....	0.60
raisin .....	0.70
Pêche, prune.....	0.75
Pomme.....	0.85
Melon, laitue.....	0.95
Carotte, haricot, pois.....	1.00
Coton, pomme de terre.....	1.05
Tomate.....	1.05
Maïs, betterave.....	1.00

Le facteur chimique est calculé de la façon suivante:

$$\text{Facteur climatique} = (\text{Facteur de Température}) \times (\text{Facteur d'humidité relative}) \times (\text{Facteur du vent}) \times (\text{Facteur des nuages})$$

Les facteurs sont évalués comme suit:

Température °F	Température °C	Fact. de Température	Humidité Relative %	Facteur	Vent Km/h	Facteur	Nuages	Facteur
100	37.7	0.85	30	1.1	3.2	1.0	claire	0.46
90	32.2	0.81	40	1.0	8.0	1.1	part. nuag.	0.40
80	26.7	0.77	50	0.9	16.0	1.2	nuageux	0.30
70	21.1	0.71	60	0.8	24.0	1.4	couvert	0.15
60	15.6	0.64	70	0.7	32.0	1.6	---	





Exemple

Des avocatriers irrigués par le système goutte à goutte sont séparés entre eux par une distance de 6 m (19.7 pieds). Le facteur de culture est estimé à 0.75. Les conditions climatiques sont:

Température 85° F (29.4° C). Facteur = 0.79

Humidité relative 50 %; Facteur 0.90

Vitesse du vent: 8 km/h; Facteur = 1.1

Nuages; Facteur: 0.43

D'après les données le facteur climatique sera:

$$0.79 \times 1.1 \times 0.9 \times 0.43 = 0.33$$

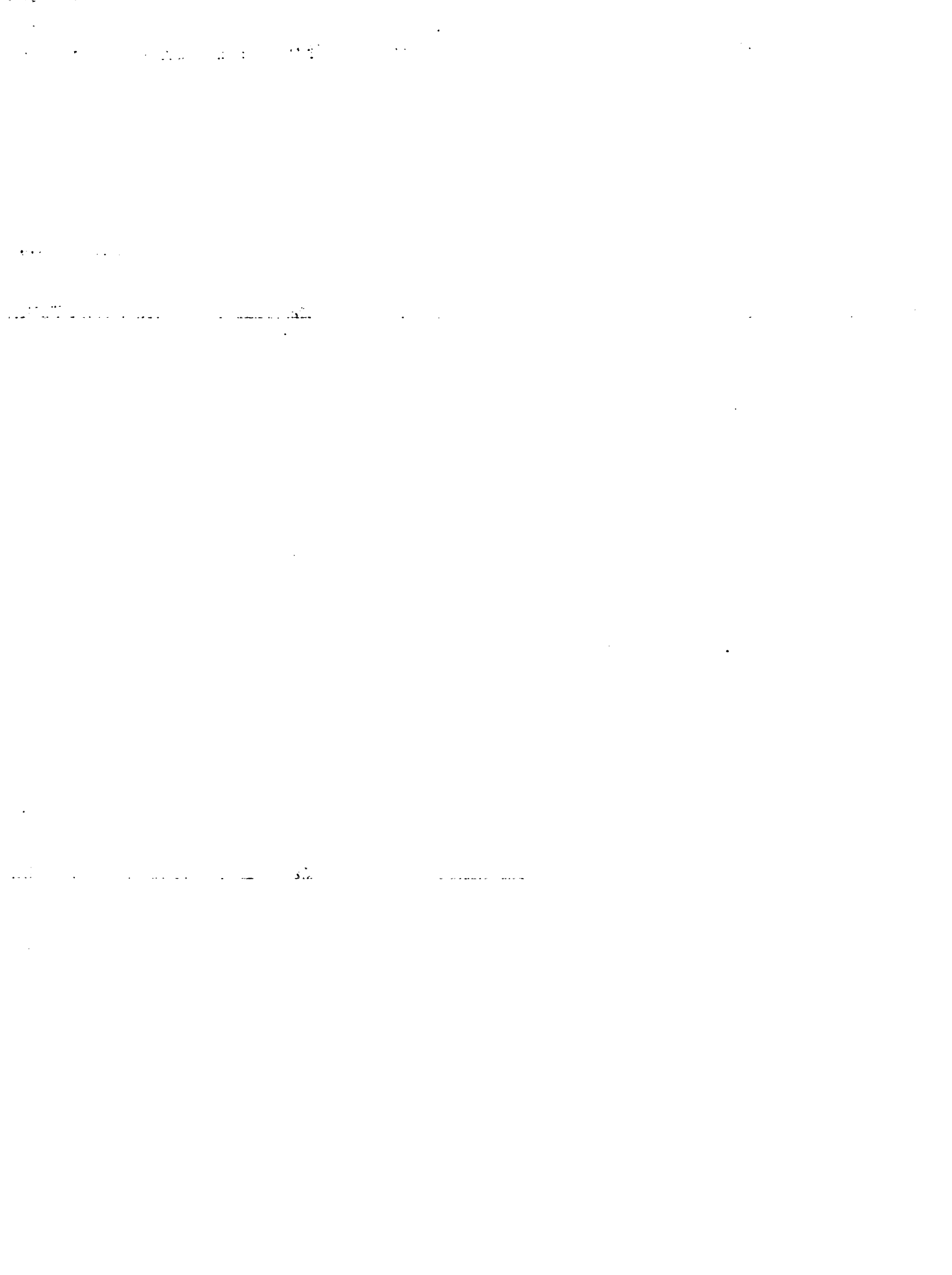
$$\text{Gal./plante/jour} = 0.623 \times (19.7)^2 \times 0.75 \times 0.33 = 59.8$$

$$59.8 \cdot \text{Gal./plante/jour} = 59.8 \times 3.8 = 227 \text{ l/jour}$$

Ecartement entre les émetteurs

Tableau IX-2: Ecartement entre les émetteurs pour trois types de sol et trois débits d'application différents.

Sol	Débit l/heure		
	2	4	8
Léger (Sable)	0.4 x 0.4	0.8 x 0.8	1.2 x 1.2
Moyen	0.8 x 0.8	1.2 x 1.2	1.6 x 1.6
Lourd (Argile)	1.2 x 1.2	1.6 x 1.6	2.0 x 2.0



Pour déterminer l'écartement entre les émetteurs pour une plante mûre, on calcule d'abord le nombre d'émetteurs puis on prend l'écartement du tableau ci-dessus et on fait le calcul du pourcentage P de l'aire mouillée (par rapport à l'aire entre quatre arbres). L'écartement sera accepté si P est compris entre les deux valeurs suivantes:

$$P \geq 33 - 40 \% \quad (\text{Pour un climat aride})$$

$$P \geq 25 - 30 \% \quad (\text{Pour un climat humide})$$

#### Exemple

Une plantation d'arbres mûrs dont l'écartement est de 3.6 m x 3.6 m en zone aride sera irriguée par le système goutte à goutte. On utilise un latéral par ligne d'arbre. Les émetteurs placés uniformément le long du latéral fournissent 4 l /heure à la pression de 10 m. Le sol est moyen (limo-sablo-argileux).

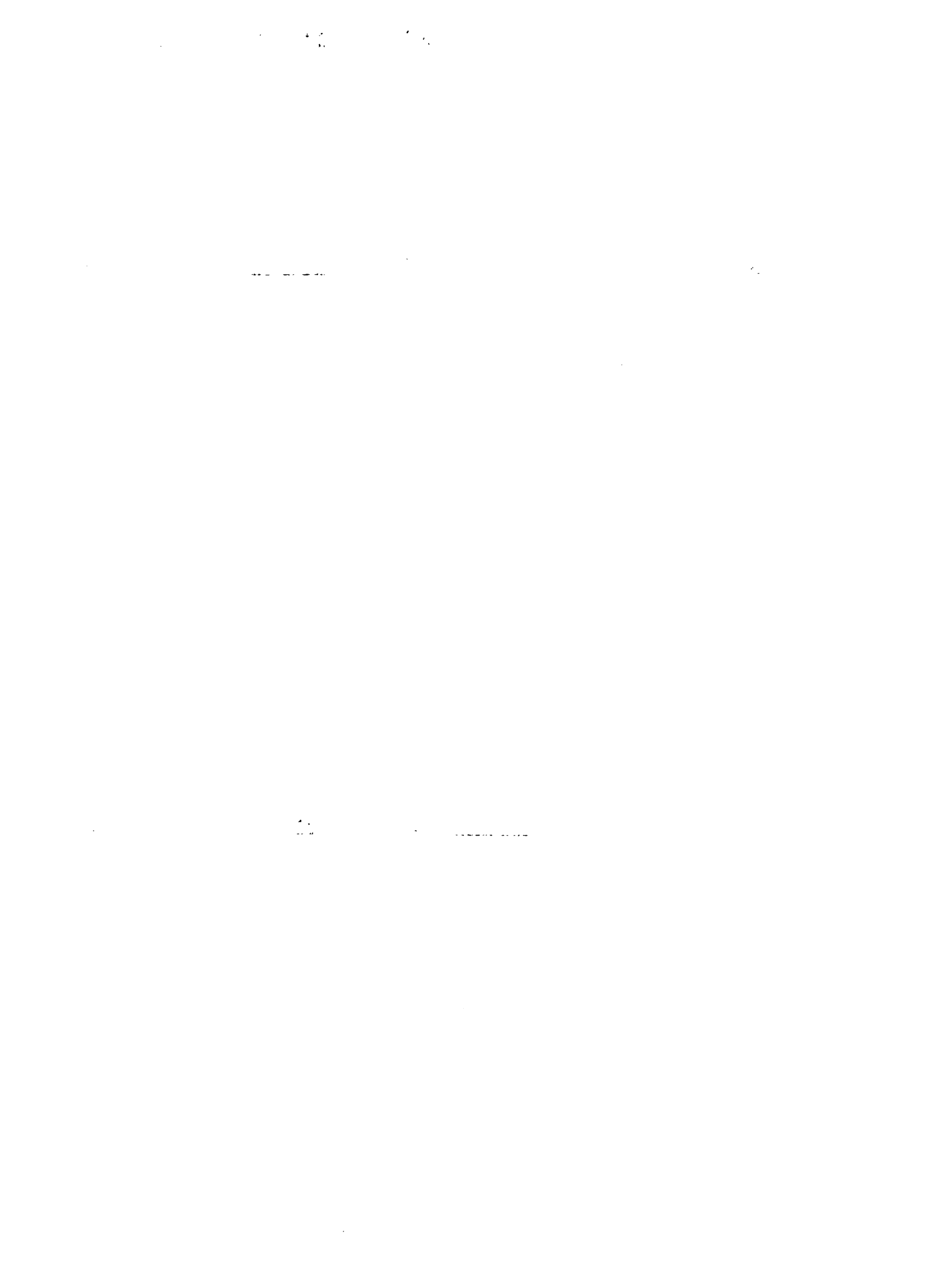
Supposons que l'on utilise 3 émetteurs pour une longueur de 3.6 m, chacun d'eux sera placé à 1.2 m. Au long de chaque rangée d'arbres, il y a une bande de terrain mouillée dont la largeur est de 1.2 m et la valeur de P sera:

$$P = \frac{1.2 \times 3.6}{3.6 \times 3.6} = \frac{1.2}{3.6} = 33 \%$$

Le résultat nous indique que l'écartement des émetteurs est convenable.

#### Exemple

Si l'on retient les données de l'exemple précédent sauf pour les arbres qui auront entre eux un écartement de 6 m. Dans ce cas on prendra 5 émet-



teurs qui seront séparés entre eux par un écartement de 1.2 m le long du latéral et la valeur de P sera :

$$P = \frac{1.2 \times 6}{6 \times 6} = \frac{1.2}{6} = 20 \%$$

Le résultat montre une faible valeur de P, alors on prendra 2 latéraux par ligne d'arbres et dans ce cas on aura 10 émetteurs par arbre

et l'écartement sera de 1.2 m le long des latéraux (c'est-à-dire 0.6 m de chaque côté de la ligne d'arbre. La largeur de la bande mouillée sera 2.4 m.

$$P = \frac{2.4 \times 6}{6 \times 6} = 40 \%$$

Le résultat ainsi obtenu est acceptable

Pour l'écartement des émetteurs ainsi que pour déterminer le nombre d'émetteurs par plantes on a proposé des formules, telles que :

$$\text{Ecartement (pied)} = 3.3 \times F$$

Où :

F = Facteur pris du tableau IX-3

1000

1000

1000

1000

Tableau IX-3: Valeurs de F pour différents types de sols et pour différents débits.

Type de sol	Débit (litres/heure)		
	0.5	1	2
Sablonneux	0.3	0.6	1.0
Moyen	0.7	1.0	1.3
Argileux	1.0	1.3	1.7

Le nombre d'émetteurs par plante est égal à  $0.027$  (surface occupée par la plante en pied<sup>2</sup>) /  $F^2$ .

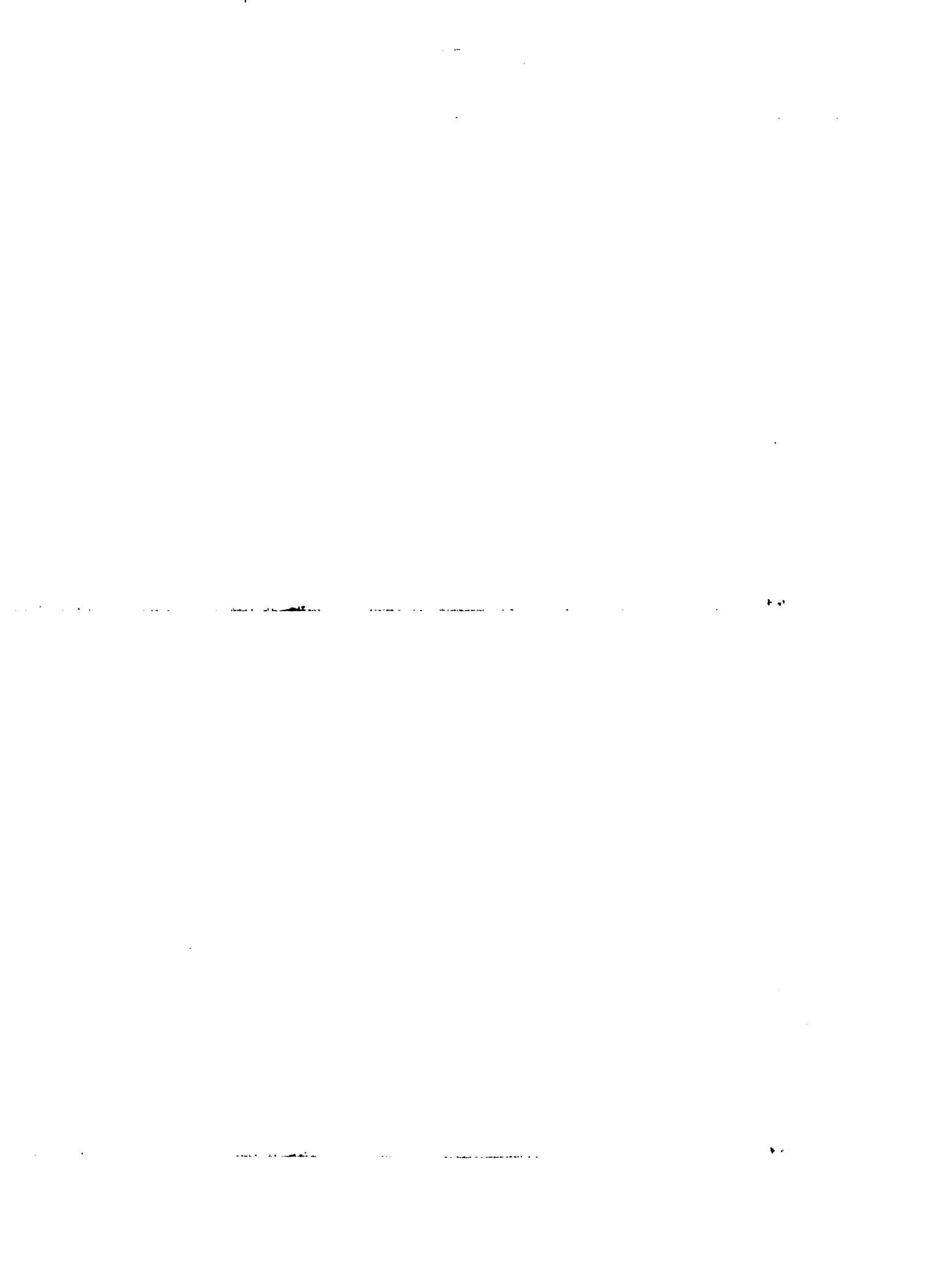
#### Exemple

Un sol moyen qui sera irrigué par le système goutte à goutte dont l'écartement des émetteurs est de 1 m (3.3 pieds). Si les arbres sont séparés entre eux par un écartement de 6 m x 6 m, le nombre d'émetteurs sera:

$$(0.027 \times 19.7 \times 19.7) \div 1 = 10.48 \quad 11 \text{ émetteurs.}$$

Après que l'écartement entre les émetteurs est déterminé, on peut calculer la durée de l'irrigation.

$$\text{Durée (en heure)} = \frac{\text{Besoin en eau à appliquer (mm)}}{\text{Taux d'application (mm/h)}}$$





$$\text{Taux d'application mm/h} = \frac{\text{Débit de l'émetteur (l/heure)}}{\text{Ecartement entre les lat. (m) x Ecart. le long du latéral}}$$

## Exemple

Une plantation de coton irriguée par le système goutte à goutte se fera tous les trois jours. Les émetteurs ont un écartement de 2m x 1m. Le débit d'application est de 4 l/heure pour une pression de 10 m. Le besoin maximum est de 18 mm (180 m<sup>3</sup>/ha).

$$\text{Taux d'application} = \frac{0.004 \text{ m}^3}{\text{heure} \times 2 \text{ m} \times 1 \text{ m}} = 2\text{mm/heure}$$

$$\text{Durée} = \frac{18 \text{ m}}{2\text{mm/heure}} = 9 \text{ heures}$$

Lorsqu'on envisage de mettre en fonctionnement un système d'irrigation goutte à goutte, il est nécessaire, comme pour tout système d'application d'eau à la parcelle, d'obtenir les données de base telles que: Cartes topographiques, alternatives de disposition de l'infrastructure (source d'eau, tuyaux, canaux, latéraux, etc...), les types de cultures, de sol et la disponibilité en énergie. Il sera très important d'obtenir toutes les informations disponibles sur place: le besoin d'irrigation, le besoin de fertilisant, la fréquence d'irrigation, l'écartement entre les émetteurs pour les différents types de cultures et la capacité d'infiltration du sol.

Le dimensionnement approprié d'un système d'irrigation, goutte à goutte doit fournir à l'usager les informations suivantes:



- Le débit et la pression à la sortie de l'unité de contrôle.
- La façon d'opérer des tuyaux principaux, s'ils existent.
- Le besoin des cultures, la fréquence d'irrigation, la durée d'application de l'eau ainsi que la durée d'application des fertilisants pour chacune des unités d'irrigation.
- Les pressions et les débits d'opérations pour les unités d'irrigation spécialement dans les points de contrôle.
- La longueur des tuyaux principaux et celles des tuyaux latéraux.
- Le mode d'emploi et d'entretien pour chaque unité de contrôle et pour le fonctionnement des émetteurs.

1. The first line of the document is a header line containing the title and author information.

2. The second line of the document is a header line containing the title and author information.

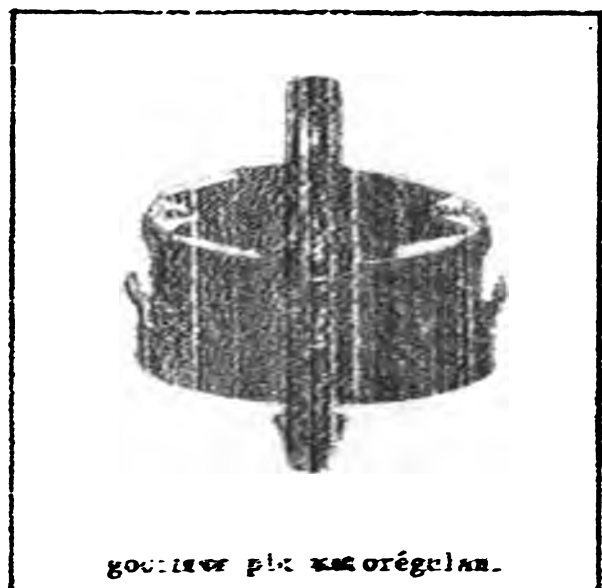
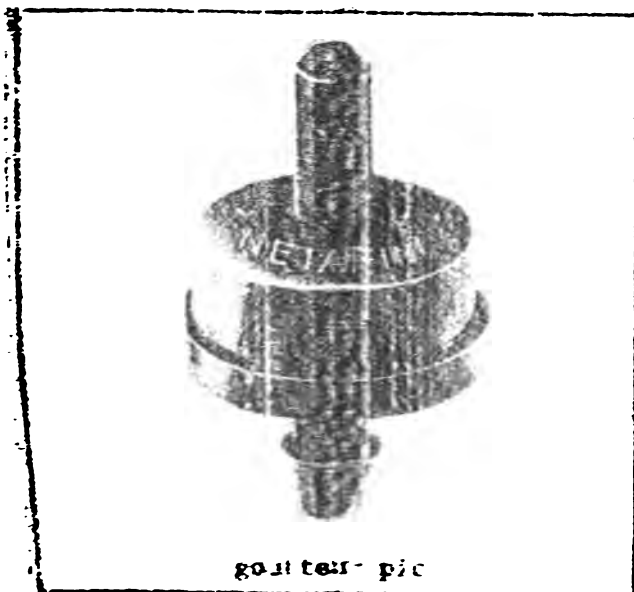
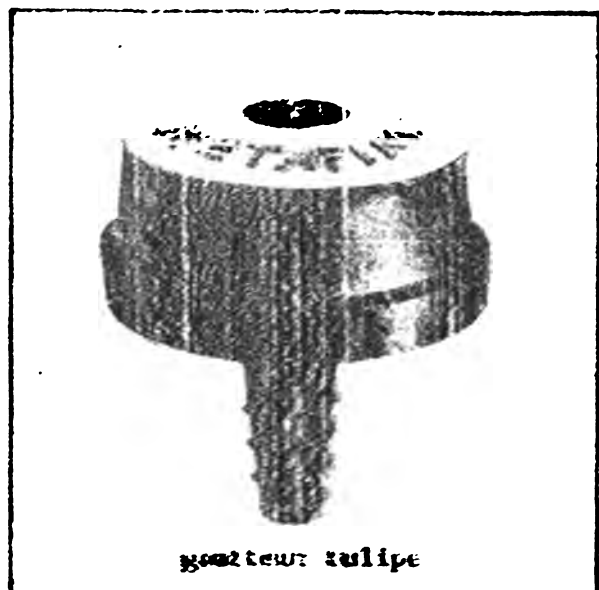
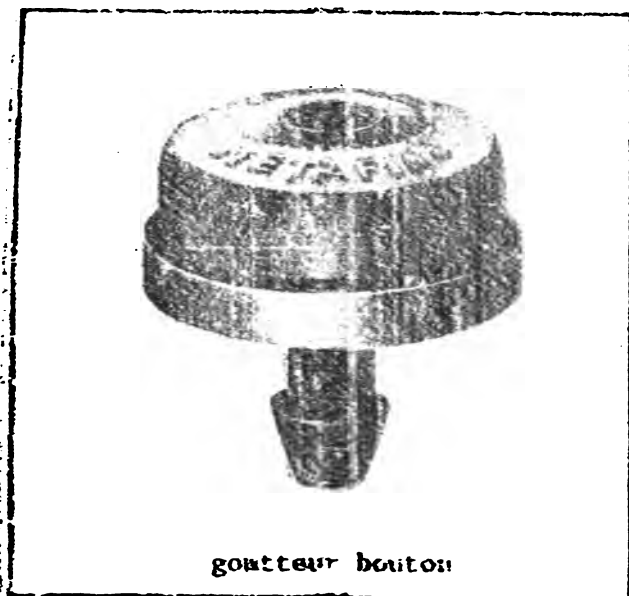


Fig. IX- : Schéma des goutteurs montés sur le tuyau.



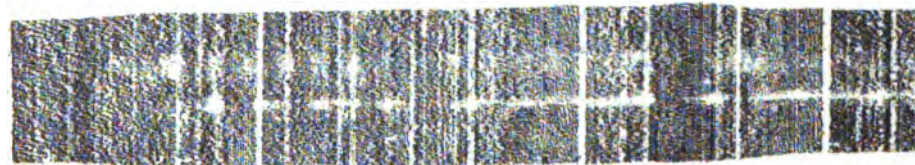
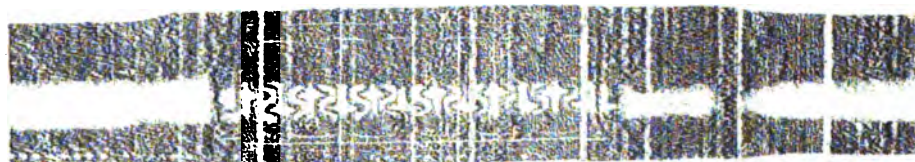
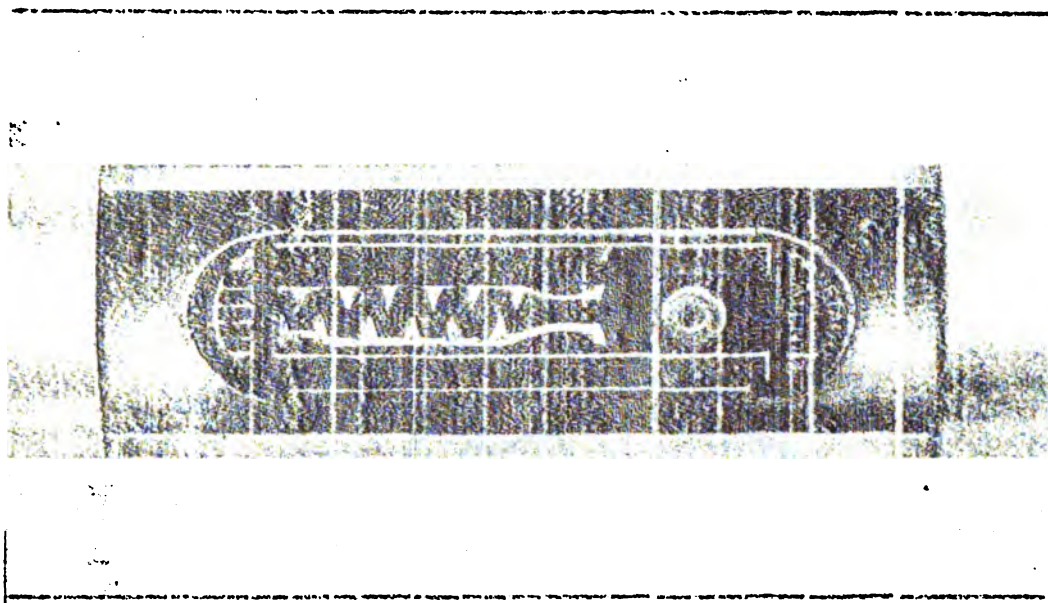


Fig. IX-8: Schéma des goutteurs raccordé dans le tuyau.





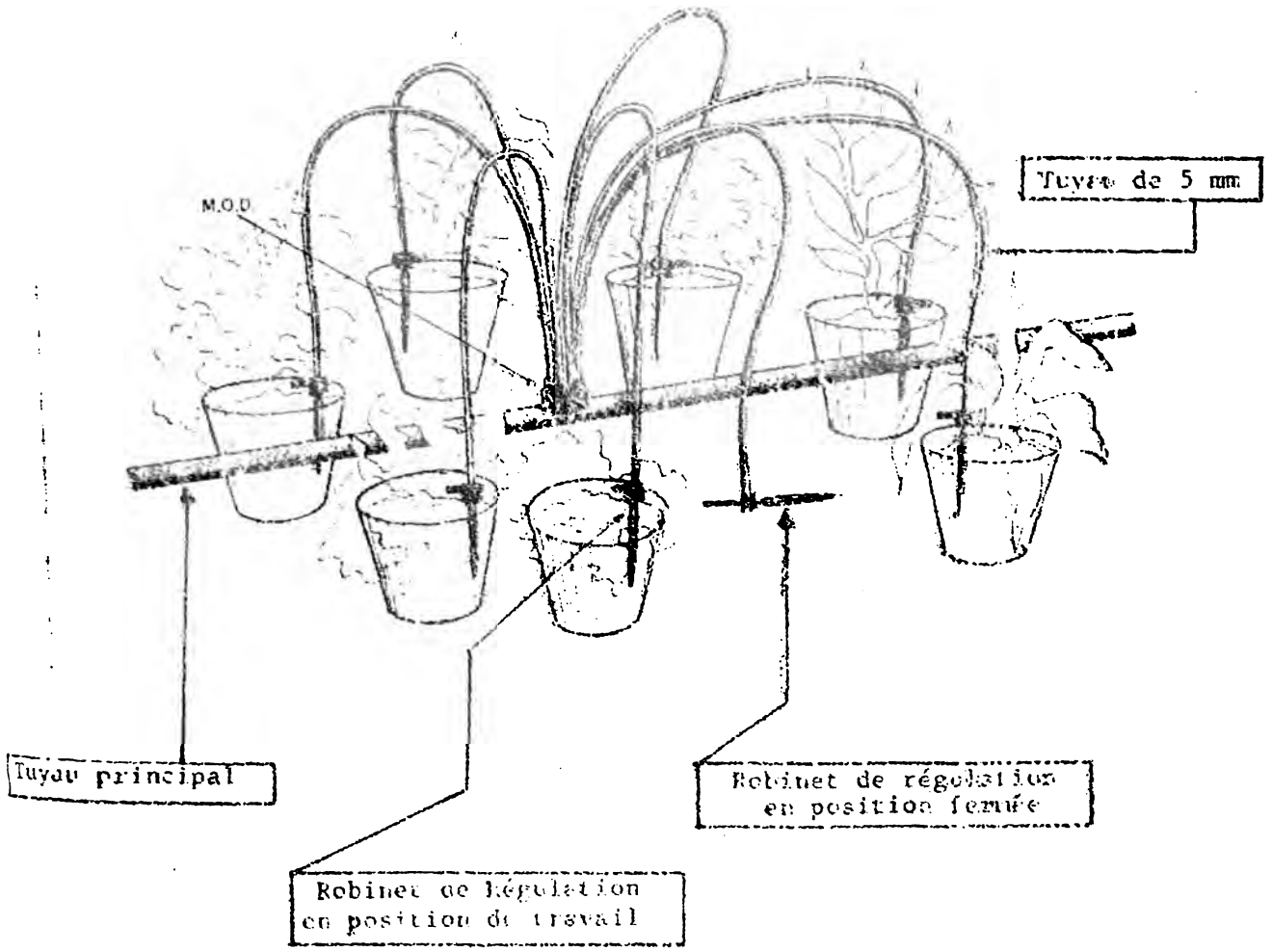


Fig. IX- : Assemblage d'une sortie multiple



### 9.6 Dimensionnement hydraulique d'un système goutte à goutte

#### Exemple

Un système d'irrigation goutte à goutte dont les émetteurs sont écartés entre eux par une distance de 1 m, et chacun applique respectivement 4 l/heure à la pression de 10 m, lesquels sont installés au long d'un latéral horizontal (en polyéthylène grade 4) de 100 m de long. L'écoulement dans les émetteurs est turbulent ( $n = 0.5$ ). Les variations de débit ne doivent pas dépasser 10 % (Soit 20 % de la variation de la pression).  $\Delta p = 20\% (10 \text{ m}) = 2 \text{ m}$ . Environ la moitié de la perte de pression, soit 1 m peut être dissipée au long du latéral.

Nombre d'émetteurs = 100 (le premier émetteur est placé à 1 m du raccordement)

$$F = 0.366$$

$$L = 100 \text{ m (longueur du latéral)}$$

$$Q = 4 \text{ l/heure} \times 100 = 400 \text{ l/h} = 0.4 \text{ m}^3/\text{heure}$$

Pour un tuyau de 16 mm (12 % de pertes additionnelles dans les émetteurs (tableau IX-1), les pertes de charges sont :

$$J = 9.2 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$H_f = 1.12 \times 9.2 \times \frac{100}{100} \times 0.366 = 3.8$$

Etant donné que les pertes de charge sont très élevées, on doit augmenter le diamètre du tuyau :

$$\phi = 20 \text{ mm}$$

Pour un latéral de 20 mm (9 % de pertes additionnelles dans les émetteurs.

$$J = 2.9 \text{ m}/100 \text{ m} \quad (\text{tableau IX-1})$$



$$h_f = 109 \times 2.9 \times \frac{100}{100} \times 0.366 = 1.2 \text{ m}$$

$$1.2 \text{ m} < 2.0 \text{ m} (\Delta p = 2.0 \text{ m})$$

On va utiliser un latéral de 20 mm.

Si on place un régulateur de pression à l'entrée du latéral, on aura une perte de charge de 20 % pour 10 m, soit 2 m.

### 9.7 Exemple de dimensionnement d'une unité d'irrigation par le système goutte à goutte

Soit une unité d'irrigation dressée pour être irriguée par le système goutte. Les arbres écartés entre eux par un intervalle de 3.2 m et de 3.0 m entre les rangées. Le sol est de texture légère. Les besoins maximaux d'irrigation sont de 18 mm ( $180 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) et la période d'irrigation est de 5 jours.

#### Solution

Hypothèse de base: On choisira des émetteurs de trajectoire courte qui appliqueront 4 l/heure à la pression de 10 m. L'écoulement dans les émetteurs est turbulent. Les émetteurs seront écartés entre eux par une distance de 0.8 m le long du latéral et les latéraux sont séparés entre eux par un écartement de 3 m (un latéral par rangée).

Calcul du taux d'application:

$$\frac{4 \text{ litres}}{\text{heure} \times 0.8 \text{ m} \times 3 \text{ m}} = \frac{0.004 \text{ m}^3}{\text{heure} \times 2.4 \text{ m}^2} = 1.7 \text{ mm/heure}$$



Calcul de la durée d'application:

$$\frac{18 \text{ mm}}{1.7 \text{ mm/heure}} = 10 \text{ h } 48 \text{ min.}$$

Si la durée d'application est de 10 heures 48 minutes, on pourra faire 2 applications par jour.

Pour faire fonctionner une unité d'irrigation, on la divise en deux sous-unités A et B, lesquelles sont irriguées simultanément pendant 22 hres. Dans chaque sous-unité il existe un tuyau principal qui alimente les latéraux. Les variations de pression tolérables n'excèdent pas 20 %, soit 2 mètres.

Dimensionnement d'un latéral

$$\text{Nombre d'émetteurs} = \frac{50}{0.8} + 1 = 64$$

$$l = 50 \text{ m}$$

$$F = 0.367$$

$$Q = 64 \times 0.4 = 0.264$$

Pour un tuyau de 16 mm.  $J = 4.3 \text{ m}/100 \text{ m}$  (on considère 15 % des pertes additionnelles dans les émetteurs)

$$h_f = 1.15 \times 4.3 \times \frac{50}{100} \times 0.637 = 0.9 \text{ m}$$

Compte tenu que la perte de charge est la moitié de la tolérable, on pourra utiliser un tuyau de 16 mm.





La pression de fonctionnement en amont et en aval sera:

$$h_{am} = 10 + 3/4 \times 0.9 = 10.675 \text{ m}$$

$$h_{av} = 10 - 1/4 \times 0.9 = 9.775 \text{ m}$$

Où:

$h_{am}$  = Pression de travail en amont du latéral, en m.

$h_{av}$  = Pression de travail en aval du latéral, en m.

Dimensionnement du tuyau principal (Polyéthylène dure)

Nombre de sortie du latéral ( $\frac{30}{3}$ )  $\times$  2 = 20;  $l = 30$  m;  $F = 0.384$

Pour un tuyau de 40 mm, les pertes de charge sont 6.4 m/100 m, on additionne 20 % pour les pertes de charge localisées dans le principal.

$$h_{f_{A-D}} = 1.2 \times 6.4 \times \frac{30}{100} \times 0.384 = 0.9 \text{ m}$$

Le calcul de la pression de fonctionnement en aval et en amont du tuyau principal:

$$h_{am} = 10.7 + 3/4 \times 0.9 = 11.4 \text{ m}$$

$$h_{av} = 10.7 - 1/4 \times 0.9 = 10.5 \text{ m}$$

Pour calculer la perte de charge en A' à l'extrémité aval, on procède ainsi:



$$\frac{10.7}{9.8} \times \frac{10.5}{x} = x = \frac{10.5}{10.7} \times 9.8 = 9.6 \text{ m}$$

$$h_C - h_A = 11.4 - 9.6 = 1.8 \text{ m}$$

Dimensionnement du tuyau tête morte

$$l = 50 \text{ m}; \quad Q = 5.28 \text{ m}^3/\text{heure}; \quad E = 40 \text{ mm}; \quad J = 6.4 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$h_f = 6.4 \times \frac{50}{100} = 3.2 \text{ m}$$

Si le régulateur de pression dans le tuyau tête morte est de 3.5 m l'énergie de pression nécessaire serait de

$$11.4 + 3.2 + 3.5 = 18.1 \text{ m}$$

Pour calculer la puissance de la pompe et celle du moteur on procède de la même façon que dans l'irrigation par aspersion.

#### Quelques points à souligner en ce qui concerne la méthode goutte à goutte

La méthode d'irrigation goutte à goutte est recommandable non seulement parce qu'elle augmente la productivité mais encore parce qu'elle permet une meilleure utilisation de l'eau, autrement dit elle permet de réaliser des économies dans l'utilisation de l'eau, ce qui constitue un grand avantage que n'offre pas les autres méthodes. Cependant il convient de souligner que pour une même culture on peut trouver des variations dans la productivité dans des zones différentes et parfois dans une même localité. Les causes de ces variations peuvent être: une mauvaise installation du système, un manque d'entretien, etc...



Dans les nouvelles installations d'un système d'irrigation goutte à goutte, il est indispensable de réaliser préalablement une étude économique, particulièrement lorsque ce système doit remplacer un autre système d'application de l'eau à la parcelle.

Comparativement aux autres méthodes d'irrigation, on a constaté que deux facteurs sont favorables à l'irrigation goutte à goutte: une faible énergie de travail et un faible débit d'application de l'eau.

L'obstruction des émetteurs constitue un des problèmes majeurs qu'on peut rencontrer dans ce système d'irrigation, c'est pourquoi la qualité de l'eau ainsi que le dimensionnement du système des filters doivent être étudiés avec beaucoup d'attention avant même de décider à utiliser l'irrigation goutte à goutte. L'efficacité de celle-ci a été observée en l'absence de ruissellement superficiel et lors de la réduction de l'évaporation.

Ce système limite la croissance des mauvaises herbes, par conséquent il n'y a pas d'évapotranspiration inutile.

L'expérience montre que les plantes répondent favorablement à l'application de l'eau par le système goutte à goutte. En général on obtient des fruits de meilleure qualité et un rendement plus uniforme.

L'environnement des racines est très favorable au développement de celles-ci compte tenu de l'aération et de la disponibilité en eau et des fertilisants.

La réduction de la surface mouillée (du sol et des plantes) évite la propagation des maladies et des pestes.

Le système goutte à goutte favorise aussi l'emploi de l'eau saline, dans ce cas il est nécessaire de maintenir la teneur en eau assez élevée dans le sol, afin de diminuer la concentration saline dans le bulbe humide, pour



annuler l'effet négatif du sel.

Elle favorise certains travaux tels que le labourage, le sarclage, la pulvérisation et la récolte à cause de la réduction de l'espace arrosée.

#### Autres considérations sur l'irrigation goutte à goutte

Voici les transformations les plus remarquables qu'on peut constater dans un champ irrigué par le système goutte à goutte:

- Augmentation de la concentration saline dans le sol. L'eau d'irrigation contient des sels minéraux, les plantes et l'évaporation puisent seulement l'eau alors que tous les sels minéraux restent dans le sol. L'eau du bulbe pousse les sels au bord de la masse mouillée. Dans ce cas il est nécessaire de procéder à un lessivage du sol (si cela arrive pendant la saison sèche) pour enlever l'excès de sels qui peuvent endommager sérieusement les plantes.
- La distribution de l'humidité et le développement des racines. Le bulbe d'humidité affecte seulement une partie du volume du sol où se développent les racines. Le volume du sol mouillé ainsi que sa forme dépend de sa qualité, du volume d'eau appliqué et du débit d'application.

#### 9.6 Détermination pratique de l'uniformité d'application d'un système goutte à goutte

L'uniformité est exprimée par la formule suivante:

$$U = 100 \left( 1 - \frac{S}{X} \right)$$

Où :

U = Uniformité du système





$S/\bar{X} = V =$  Coefficient de variation de l'échantillon

$S =$  Ecart type de l'échantillon

$\bar{X} =$  La moyenne des mesures prises pendant le test.

Si  $U = 100$  il n'y a pas de différence entre les mesures. La figure IX-10 montre les valeurs de  $U$  et de  $V$  pour évaluer l'uniformité d'un système d'irrigation goutte à goutte. La procédure à suivre est la suivante:

1. Faire fonctionner le système à la pression normale.
2. Choisir 18 gouteurs représentatifs du latéral: 6 au début, 6 au milieu et 6 à l'extrémité aval.
3. Choisir un récipient de volume connu.
4. Prendre le temps pour remplir le récipient avec chacun des 18 émetteurs choisis.
5. Faire la somme des 3 temps les plus grands, c'est le temps maximum.
6. Faire la somme des 3 temps les plus petits, c'est le temps minimum.
7. A l'aide du temps maximum, du temps minimum et de la figure IX-10, déterminer l'uniformité du système.

Le fonctionnement du système est acceptable si  $U \geq 90 \%$ .

#### Exemple

Le temps (en sec.) mis pour chacun des 18 émetteurs d'un système d'irrigation goutte à goutte sont les suivants :



1	89*	7	97	13	110**
2	104	8	107**	14	93
3	92	9	100	15	103
4	96	10	94	16	108**
5	100	11	98	17	91*
6	99	12	102	18	87*

La somme des 3 temps les plus grands sont:  $107 + 110 + 108 = 325$   
secondes.

La somme des 3 temps les plus petits sont:  $89 + 91 + 87 = 267$  sec.

D'après la figure IX-10 la valeur de  $U$  est supérieure à 90 %.



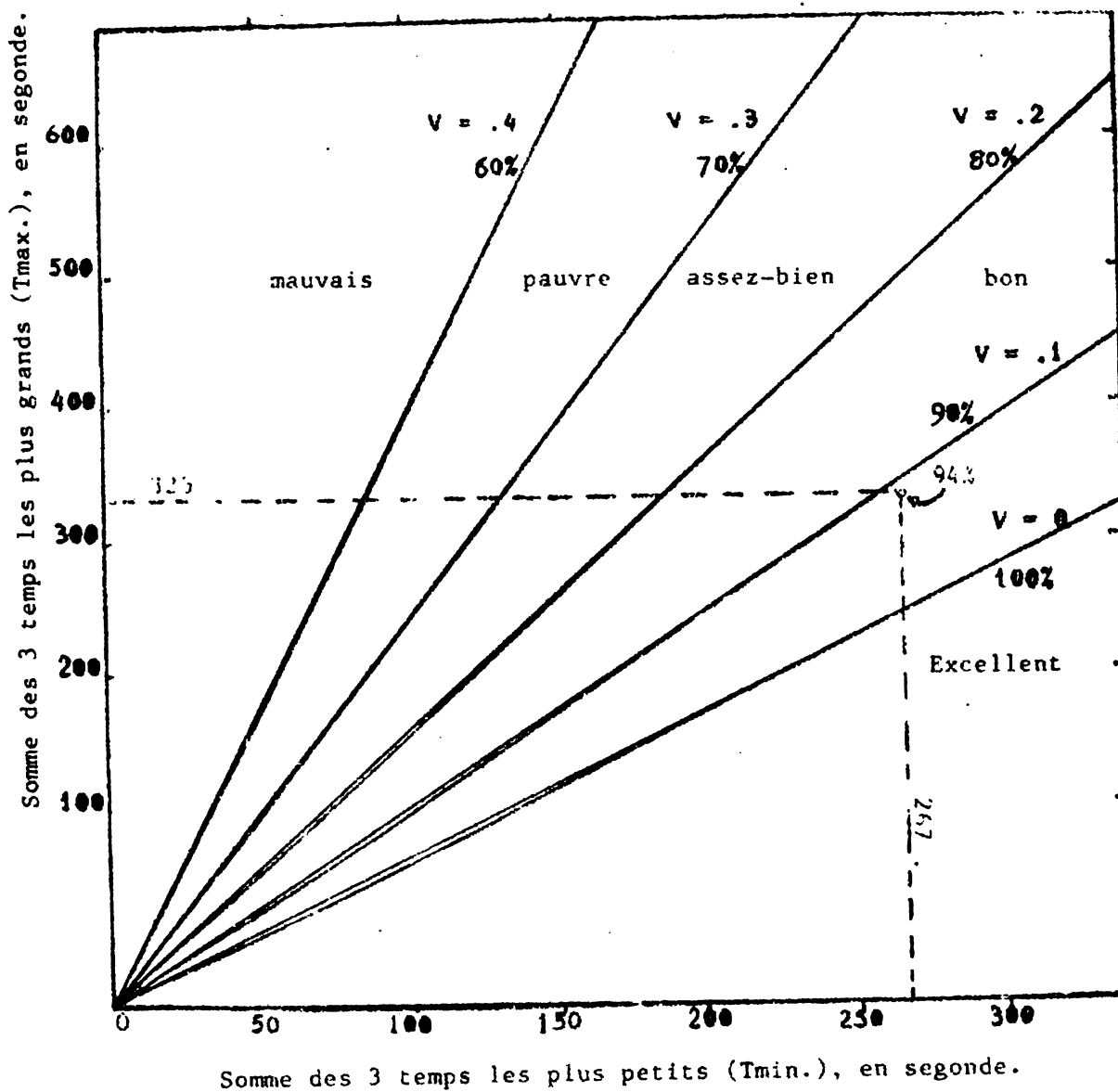


Fig. IX-10: Graphique permettant de déterminer l'uniformité d'un système d'irrigation goutte à goutte.



## CHAPITRE X

### L'ORGANISATION DES USAGERS ET LE TARIF D'IRRIGATION

#### Généralités:

L'agriculture intensive n'est possible en Haïti que grâce à l'irrigation. Cependant l'eau disponible à l'époque sèche n'est pas suffisante pour irriguer simultanément toute la terre cultivée, c'est la raison pour laquelle il est impératif que tous les usagers d'une même source d'alimentation en eau doivent s'organiser en vue d'arriver à une distribution rationnelle de l'eau disponible; afin que l'on puisse tirer le maximum de bénéfice par une plus grande productivité. Pour cela il est nécessaire que l'infrastructure d'irrigation (barrage de rétention et de dérivation, canal tête morte, canal principal, canaux secondaires, tertiaires et quaternaires; ouvrages d'art tels que: ponts, aqueducs, siphons, chutes verticales, chutes inclinées, déversoirs, dessableurs, partiteurs, vannes, contrôleurs de débit et de niveau) soit dimensionnée afin de pouvoir fonctionner convenablement, pour que l'eau puisse arriver en quantité suffisante à la parcelle, et au moment désiré.

Par ailleurs le réseau routier et celui de drainage doivent être fonctionnels afin de mieux accomplir les tâches que nous venons de souligner plus haut. L'entretien doit être fréquent, et sera à la charge des usagers sous le contrôle de l'ingénieur du district d'irrigation. Les usagers de l'eau sont les premiers bénéficiaires d'un système d'irrigation, car, grâce à l'application artificielle de cette ressource ils voient leurs productivités augmentées, d'où une augmentation de leurs revenus. Cette augmentation est due principalement à la présence de l'eau parmi les composantes de la production agricole, ce qui signifie que l'eau en tant qu'intrant de la production agricole mérite qu'on lui donne sa valeur économique. Cette valeur peut être considérée à partir de deux points de vue: le premier est l'investissement initial dans l'infrastructure pour dériver l'eau vers l'unité d'irrigation. Le deuxième est l'investissement permanent permettant le fonction-





nement du système de façon optimale pendant toute sa vie. Ce deuxième volet est variable, il est calculé annuellement en fonction des activités d'opération, d'administration, d'entretien et d'amélioration du système.

En Haïti, les usagers de l'eau d'irrigation, jusqu'à présent n'accorde pas à l'eau sa valeur en tant que composante des facteurs de la production agricole irriguée.

### 10.1 Service d'opération

Dans un système d'irrigation, le service d'opération est responsable du captage de l'eau dans les sources d'alimentation du système (Rivière, réservoir, source, puit, etc.), ce service est également responsable de sa conduction à travers le réseau des canaux de distribution et de sa livraison aux usagers dans les prises de parcelles respectives y compris son jaugeage permanent, son contrôle et son évaluation. Ce service doit assurer l'arrivée de l'eau à la parcelle de chaque usager, d'après le besoin des cultures. Il est également responsable du fonctionnement des appareils météorologiques installés dans le domaine du système d'irrigation et finalement du dépouillement des données statistiques liés à l'activité agricole irriguée.

Pour l'accomplissement de ces tâches, le Service d'opération partage le domaine du système d'irrigation en zones, sections, secteurs, sous-secteurs et unités de gestion. L'aire de chaque unité, sous-secteur, section ou zone est variable suivant la capacité des canaux et de la tenure de la terre.

Le personnel du Service d'Opération peut aussi varier suivant les caractéristiques du système d'irrigation. A la tête de ceci il doit se trouver un ingénieur en génie rural ou un agronome assisté de techniciens moyens d'agriculture qui assument la tâche de Chefs de section ou de secteur (contrôleurs, syndic, chef de canal, jaugeurs, vannier de prise d'admission, vanniers de réservoirs, surveillant et opérateur de stations de pompage, obs-



servateurs météorologiques, assistant pour la formulation, l'application, le contrôle et l'évaluation des plans de cultures irriguées pour la distribution de l'eau et de l'élaboration des statistiques.

### 10.2 Service d'entretien

Ce service a pour tâches de contrôler la bonne marche du système d'irrigation y compris les structures hydrauliques et routières, de façon permanente. Il doit aussi effectuer les études et exécuter les modifications qui s'avèrent nécessaires pour mieux satisfaire les besoins des usagers. L'ampleur du service d'entretien dépend de l'envergure du système d'irrigation. Le Chef de Service doit être ingénieur civil assisté d'ingénieurs mécaniciens, topographes, dessinateurs, opérateurs de machines, maçons, etc.

La planification de l'entretien comprend: le curage, le reprofilage des canaux, l'évacuation des sédiments du réservoir, la réparation et revêtements des vannes et des canaux, installation des jaugeurs et des partiteurs, l'acquisition des machines ainsi que leur entretien, l'atelier et le stock des pièces de rechange, la formation du personnel d'entretien, le système de communication dans le domaine du système d'irrigation. Par ailleurs le service d'entretien doit se doter des techniques de gestion et de contrôle du personnel, des machines et des activités pour faciliter l'exécution des tâches.

### 10.3 Service d'administration

Ce service doit offrir l'appui logistique et administratif nécessaire aux services d'opération et de conservation (préparation du budget, la gestion du personnel, des machines etc. ; l'acquisition et l'inventaire des biens, renouvellement du stock de matériels; évaluation du tarif d'irrigation; la perception (permettant de faire face aux dépenses des services ci-dessus mentionnés ainsi que la formation d'un fond d'urgence).



#### 10.4 Financement des services

Dans la plupart des pays où est pratiquée l'agriculture irriguée, il existe des lois obligeant les usagers à payer une somme annuellement, correspondant aux montants des services d'opération, de conservation et d'administration.

Les coûts annuels proviennent des:

- Salaires et services sociaux du personnel exécutant les tâches dans les services ci-dessus mentionnés.
- Dépenses correspondant aux fournitures de bureau, les frais de publications, de communications.
- frais d'opération et d'entretien des véhicules, des tracteurs, des équipements topographiques, des appareils hydrométéorologiques, des outils de travail, etc.
- Frais d'entretien du système d'irrigation (réseau d'irrigation, réseau de drainage et routier); des structures hydrauliques, des bâtiments, des vannes, etc. ainsi que l'équipement de communication.
- Frais correspondants aux dépenses du fond de réserve pour le renouvellement de l'équipement.
- Frais de recherche et du transfert de technologie dans l'agriculture irriguée (méthodes d'application de l'eau, matériel d'irrigation, traitement des structures, etc.).

Ces frais doivent être couverts par les usagers du système d'irrigation par le biais du tarif d'irrigation.

#### 10.5 Tarif d'irrigation

Les obligations financières des usagers provenant du budget annuel élaboré à partir des besoins des services d'opération, de conservation et d'administration sont perçues sous le nom du tarif d'irrigation. Plusieurs



modalités sont en application pour déterminer le montant du tarif ainsi que la date du paiement:

- a) Tarif d'irrigation calculé par hectare (unité de taxation)  
Il y a des alternatives telle que "hectare physique" cultivé ou non;  
"hectare cultivé"  
"hectare cultivé et type de culture".
- b) L'usager paie le montant correspondant au volume d'eau reçu dans sa ferme.
- c) Paiement mixte; c'est-à-dire qu'une partie du périmètre sera taxé selon le volume d'eau reçu et l'autre partie d'après la superficie cultivée.
- d) Dans certains cas la modalité varie selon la superficie consacrée à telle type de culture. Par exemple en République Dominicaine le tarif est appliqué à la superficie et au type de culture. On détermine ainsi le tarif d'irrigation:
  - Pour les 10 premiers hectares plantés d'une culture autre que le riz, le tarif est X par hectare.
  - Pour une superficie supérieure à 10 hectares plantés d'une culture autre que le riz, le tarif est de 2 X par hectare.
  - Pour les 10 premiers hectares plantés en riz, le tarif est de 2 X par hectare.
  - Pour une superficie supérieure à 10 hectares plantés en riz, le tarif est de 4 X par hectare.
- e) Dans certains pays comme le Pérou le tarif d'irrigation est calculé sur la basé volumétrique mais le tarif augmente progressivement, au fur et à mesure que le volume consommé augmente à partir du volume de base qui a été estimé comme étant le nécessaire pour produire une récolte optimale de la culture. Le volume de base





est variable et dépend du type de culture, de la localisation de la zone agricole et de l'efficacité d'utilisation de l'eau. Cette dernière procédure favorise l'emploi rationnel de l'eau et encourage les usagers à éviter le gaspillage.

Quelle que soit la modalité choisie, l'agriculture irriguée doit être autofinancée afin d'assurer une production permanente des denrées agricoles.



## BIBLIOGRAPHIE

- Millar A. Augustin** 1985 a Relations Hydriques dans les sols Premier Cours National Post Gradué sur l'Irrigation, le Drainage et la Gestion des Ressources Hydriques Port-au-Prince, Haiti juillet-septembre 1985 IICA
- Millar A. Augustin** 1985 b Information de Base des Cultures pour l'Aménagement de l'Application de l'Irrigation Premier Cours National Post Gradué sur l'Irrigation, le Drainage et la Gestion des Ressources Hydriques Port-au-Prince, Haiti juillet-septembre 1985 IICA
- Millar A. Augustin** 1985 c Détermination de l'humidité du Sol Procédure, Equipement et Calcul Premier Cours National Post Gradué sur l'Irrigation, le Drainage et la Gestion des Ressources Hydriques Port-au-Prince, Haiti juillet-septembre 1985 IICA
- Millar A. Augustin** 1985 d Irrigation suivant les Courbes de Niveau Premier Cours National Post Gradué sur l'Irrigation, le Drainage et la Gestion des Ressources Hydriques Port-au-Prince, Haiti juillet-septembre 1985 IICA
- Millar A. Augustin** 1985 e Irrigation par Aspersion Information de Base Calcul et Dimensionnement du Système
- Soil Conservation Service U.S.A.** 1964 National Engineering Handbook Section 15 Irrigation Chapter I Soil Plant Water Relationship
- Benami A. et Ofen A.** 1983 Irrigation Engineering Irrigation Engineering Scientific Publications Technion Israel Institut of Technology Technion City Haifa Israel

