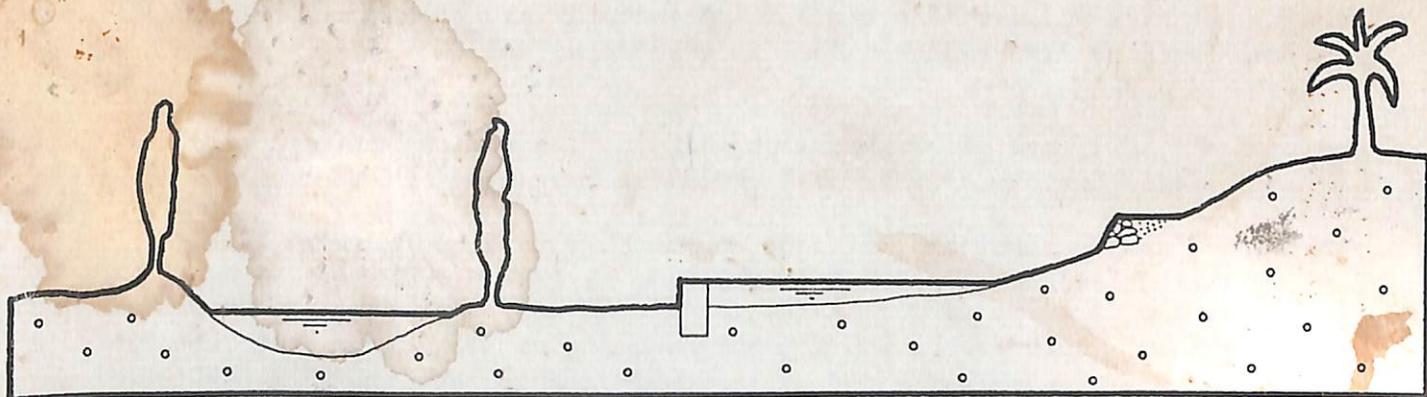


SIDAR / SEHIOU

ASSOCIATION FRANÇAISE DES VOLONTAIRES DU PROGRES



## AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES \*

manuel à l'usage des agents de l'agriculture de la région de KOLDA

Mai 1990

par Xavier BOULENGER  
A.F.V.P. SENEGAL

## AVANT-PROPOS

Ce manuel a été rédigé à l'intention des agents de l'agriculture de la région de Kolda et son contenu s'inspire de l'expérience acquise par l'Association Française des Volontaires du Progrès (A.F.V.P.) dans le domaine de l'hydraulique de surface au Sénégal et dans d'autres pays du Sahel (Burkina Faso, Mali).

Il a été réalisé à l'occasion du séminaire de formation, organisé à Kolda du 07 au 11 Mai 1990, sur le thème "Aménagements Hydrauliques".

Ce séminaire a été financé sur la rubrique "stage" du volet hydraulique du PDRSO (Projet de Développement Rural du Sénégal Oriental) mis en oeuvre par la SODEFITEX. Il s'inscrit dans une volonté d'élargir les réponses aux problèmes de l'eau en donnant une place plus importante aux techniques d'hydraulique de surface.

Ce document pratique décrit un certain nombre de techniques relatives à la maîtrise des eaux de surface. Il présente en même temps des principes simples pour le dimensionnement et la conception des petits ouvrages.

Ce fascicule ne prétend pas faire une présentation exhaustive de toutes les techniques d'aménagements existantes, il veut simplement exposer celles qui apparaissent les plus facilement applicables à la région de Kolda et pour lesquelles, une forte implication villageoise s'avère nécessaire.

La maîtrise des eaux de surface apparaît comme un excellent support à une démarche d'auto-promotion du monde rural :

- elle requiert une forte mobilisation villageoise et peut être réalisée en grande partie par une main d'oeuvre non qualifiée mais bien organisée ;
- la dynamique suscitée par la résolution initiale d'un problème touchant à l'espace vital des villageois laisse entrevoir d'autres actions de développement et des possibilités de mise en valeur du terroir.
- le coût des infrastructures reste accessible à des financements locaux et ce type de projet devrait pouvoir être mis en oeuvre à partir des ressources locales.

Dans ce contexte, les agents de terrain constituent les acteurs idéaux pouvant diffuser et accompagner les projets d'hydraulique de surface.

Puisse ce fascicule les aider dans leur mission auprès du monde rural et les encourager dans leurs actions d'encadrement.

# S O M M A I R E

AVANT-PROPOS .....	1
<b>I NOTIONS PREALABLES .....</b>	<b>2</b>
* 1.1 <u>HYDROLOGIE</u> .....	2
1.1.1 Cycle de l'eau .....	2
1.1.2 Précipitations .....	3
1.1.3 Estimation des débits de crue .....	4
* 1.2 <u>TOPOGRAPHIE</u> .....	8
1.2.1 Instruments de mesure .....	8
1.2.2 Plan en courbes de niveau .....	11
1.2.3 Profil en long .....	13
1.2.4 Profil en travers .....	14
* 1.3 <u>GEOTECHNIQUE</u> .....	15
1.3.1 Identification des terres .....	15
1.3.2 Estimation de la perméabilité .....	18
<b>II RETENTION D'EAU POUR L'AGRICULTURE .....</b>	<b>20</b>
* 2.1 <u>MICRO-BARRAGES</u> .....	21
2.1.1 Principe .....	21
2.1.2 Etude des différentes parties d'un barrage .....	22
2.1.3 Choix du site .....	26
2.1.4 Données concernant les micro-barrages en béton cyclopéen ....	27
* 2.2 <u>DIGUES FILTRANTES</u> .....	30
2.2.1 Principe et fonctionnement .....	30
2.2.2 Caractéristiques techniques .....	31
2.2.3 Protection éventuelle des digues .....	32
<b>III RETENTION D'EAU POUR L'ABREUVEMENT DU BETAIL .....</b>	<b>33</b>
* 3.1 <u>ETUDES RELATIVES AUX MARES</u> .....	33
3.1.1 Estimation du volume d'une mare .....	33
3.1.2 Nature de la cuvette .....	36
3.1.3 Apports en eau .....	36
* 3.2 <u>RESTAURATION D'UNE MARE</u> .....	37
3.2.1 Dimensionnement de la mare .....	38
3.2.2 Travaux de restauration .....	38
3.2.3 Schéma d'ensemble d'une mare aménagée .....	41
<b>IV MAITRISE DE L'EAU CONTRE L'EROSION .....</b>	<b>42</b>
* 4.1 <u>MECANISME DE L'EROSION HYDRIQUE</u> .....	42
* 4.2 <u>CORRECTION DE RAVINES</u> .....	43
4.2.1 Principe de dégradation .....	43
4.2.2 Aménagement de ravines .....	44
* 4.3 <u>AUTRE TECHNIQUES DE CONSERVATION DES EAUX ET DU SOL</u> .....	46
4.3.1 Diguettes isohypses .....	46
4.3.2 Demi-lunes .....	48
<b>ANNEXES .....</b>	<b>51</b>
A1 : Bibliographie .....	52
A2 : Exercices d'application .....	53

# I. - NOTIONS PREALABLES

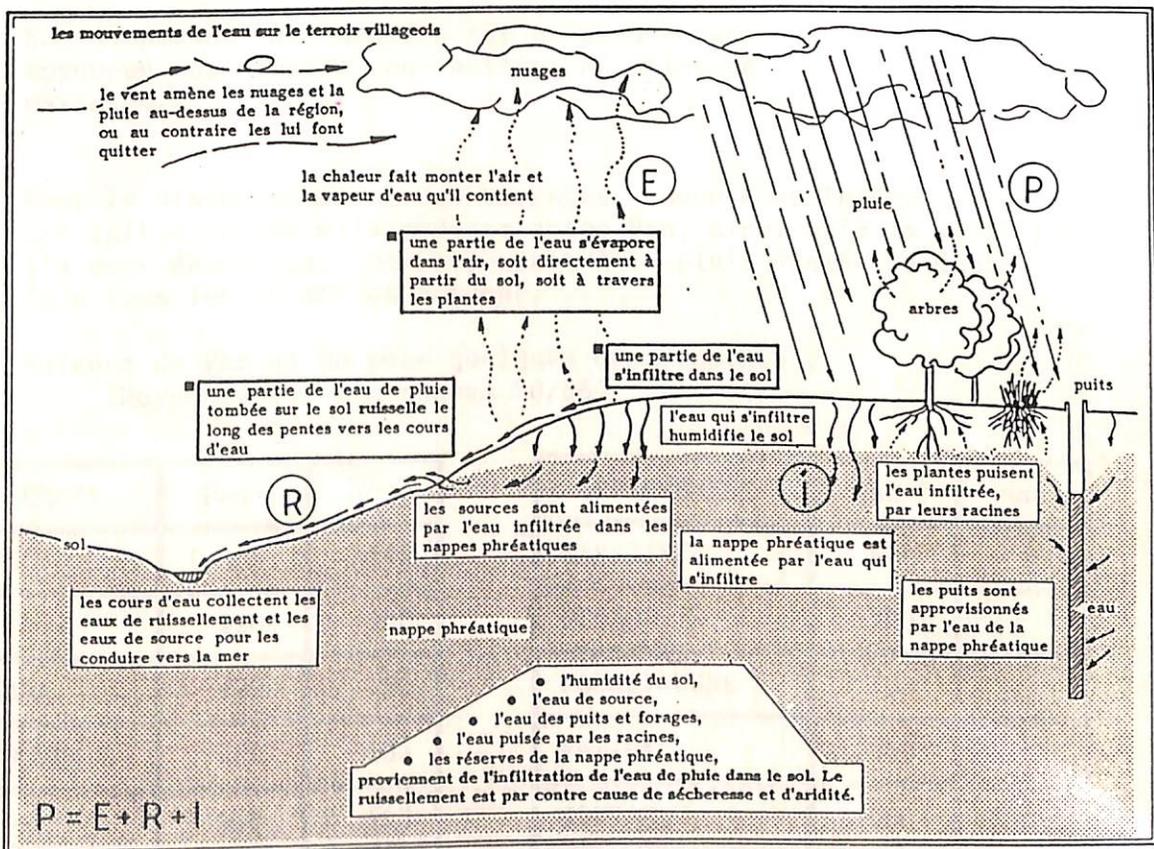
## 1.1. - HYDROLOGIE

### 1.1.1. - Cycle de l'eau

Si l'on considère l'ensemble de la planète, on peut dire que la quantité totale d'eau que l'on y trouve est constante : elle prend des formes variées : mers, océans, lacs, mares, fleuves, rivières, marigots. On la trouve aussi dans le sol, dans les plantes et les animaux et enfin, dans l'air sous forme de vapeur.

Cette eau est mouvante, elle tombe, s'écoule, s'infiltrate ou s'évapore. Elle se déplace avec l'air sous l'effet des vents. Par rafraîchissement, la vapeur d'eau devient gouttes de pluie et tombe sur le sol.

Ces mouvements essentiels de l'eau, dans l'espace fermé de la terre, constituent ce qu'on appelle le cycle de l'eau. C'est encore le déplacement sans fin de l'eau entre le ciel et la terre.



Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme :

Précipitations = Infiltrations + Ruissellements + Evaporations.

### 1.1.2. - Précipitations

\* Une pluie est caractérisée par sa hauteur exprimée en mm.

Cette hauteur correspond à l'épaisseur comptée suivant la verticale, de la lame d'eau qui s'accumulerait sur une surface horizontale, si toute l'eau tombée s'y trouvait immobilisée.

\* Sa mesure peut être faite simplement par un pluviomètre (récipient gradué transparent en forme de cône) placé dans un site bien dégagé, à environ 1,50 m au dessus du sol.

\* La mesure journalière des précipitations permettra d'établir des cumuls mensuels et annuels.

En disposant de données sur plusieurs années, on calculera les moyennes ou encore on mettra en évidence la pluie de hauteur maximale.

Pour le dimensionnement des barrages, nous nous intéresserons à la précipitation annuelle moyenne notée Pan, ainsi qu'à la hauteur Ho de l'averse décennale, correspondant à la pluie égalée ou dépassée une fois tous les 10 ans en moyenne.

Valeurs de Pan et Ho pour quelques départements :  
(Moyennes sur les années 70/86)

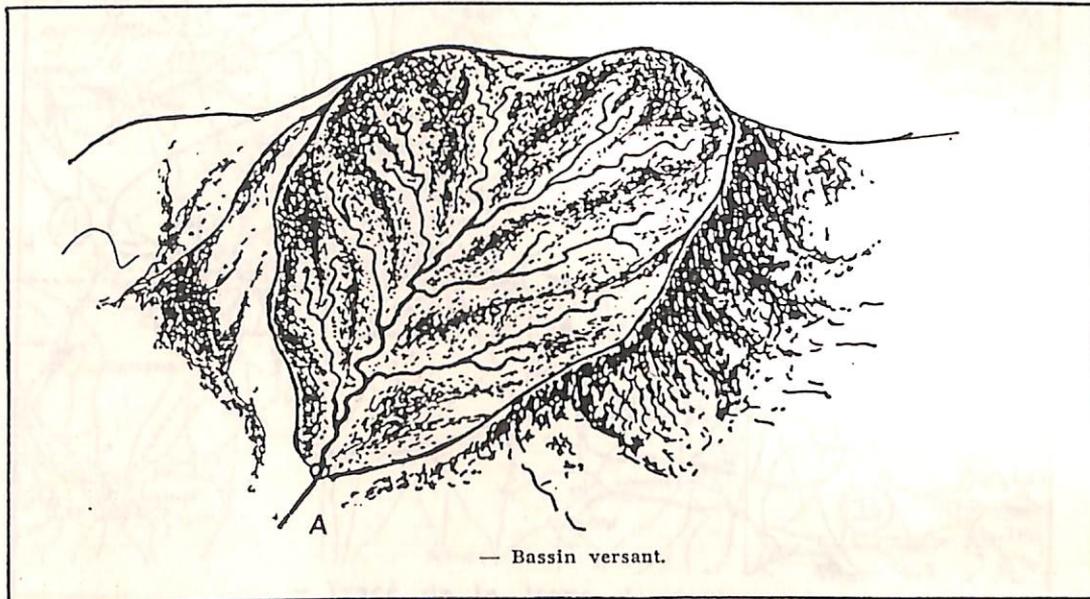
DEPARTEMENT	Pan	Ho
SEDHIOU	1.000	145
KOLDA	920	150
VELINGARA	830	130
TAMBACOUNDA	750	105
BAKEL	550	110
KEDOUGOU	1.200	120
KAOLACK	650	125

DEPARTEMENT	Pan	Ho
KAFFRINE	600	100
NIORO	700	
FOUNDIOUGNE	750	
FATICK	650	
GOSSAS	600	
BIGNONA	1.000	145
ZIGUINCHOR	1.150	140

### 1.1.3. - Estimation des débits de crue

#### 1.1.3.1. - Calcul de la superficie d'un bassin versant (B.V.)

Le Bassin Versant correspondant à un point A d'un cours d'eau et une surface regroupant l'ensemble des points d'où partent les écoulements passant par A.



La superficie du BV conditionne directement les débits transitant par A. Il est donc indispensable de pouvoir évaluer cette surface que nous noterons S.

Pour ce faire, on utilisera la carte du SGN au 1/50.000, ou à défaut celle au 1/200.000. On place un calque millimétré sur la zone d'étude et on délimite au crayon le BV en traçant la ligne de partage des eaux. On s'aidera pour cela des points cotés, des courbes de niveaux, et on supposera que cette ligne et à mi-distance entre 2 marigots voisins.

Pour déterminer la surface S, il suffit de compter les points situés à l'intérieur du contour. Le point de référence sera choisi en fonction de la taille du BV.

Cas possibles :

ECHELLE CARTE	EQUIDISTANCE POINTS	SUPERFICIE CORRESPONDANTE
1/50.000	1 mm	0,0025 Km <sup>2</sup>
	0,5 cm	0,0625 Km <sup>2</sup>
	1 cm	0,25 Km <sup>2</sup>
1/200.000	1 mm	0,04 Km <sup>2</sup>
	0,5 cm	1 km <sup>2</sup>
	1 cm	4 Km <sup>2</sup>



### 1.1.3.2. - Méthode de calcul du débit décennal

Le dimensionnement de l'ouvrage évacuateur d'un barrage est conditionné par la quantité d'eau qu'il doit pouvoir laisser passer lors d'une très grosse pluie.

Pour les petits barrages, on peut se baser sur la pluie exceptionnelle (hauteur  $H_0$  cf P.3) dont la probabilité d'arriver est décennale (une fois tous les 10 ans).

A cette pluie, correspond un volume d'eau drainé par le BV correspondant à :

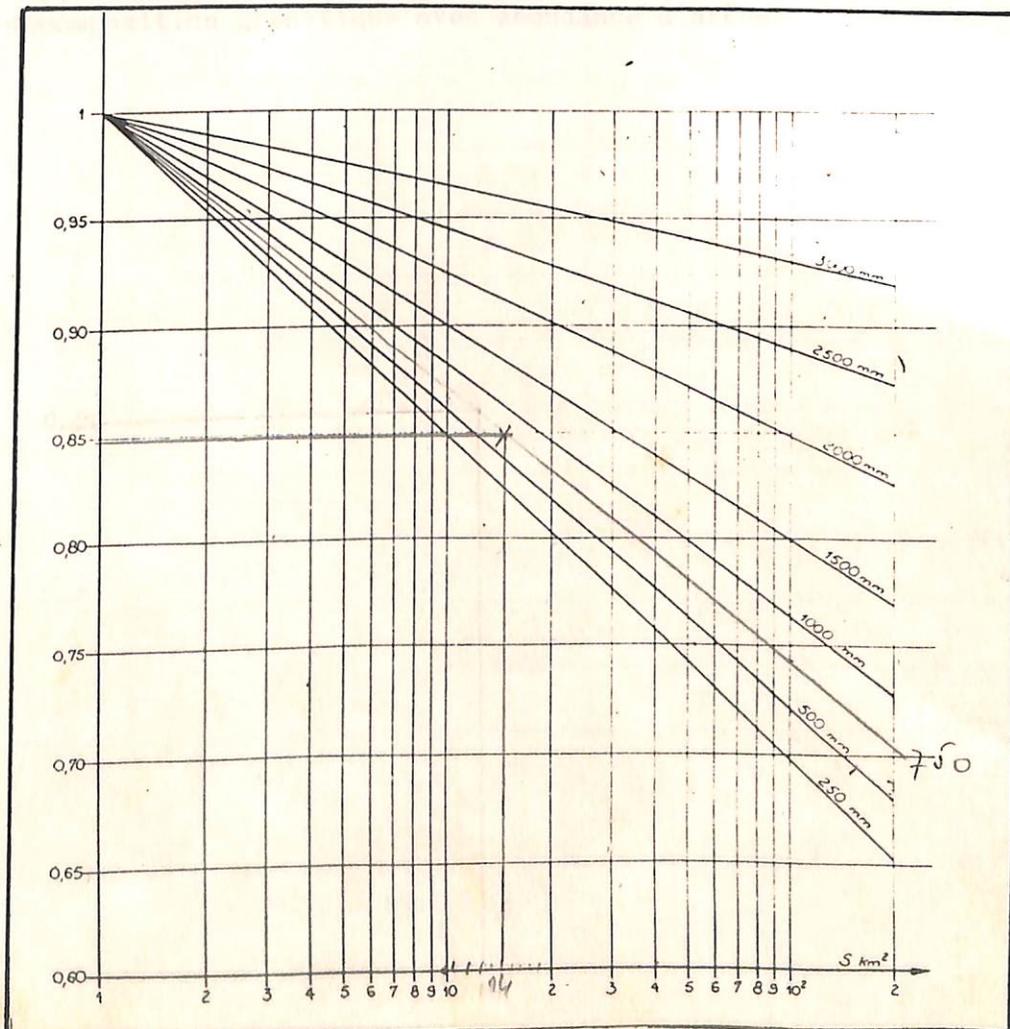
$$V = a \cdot K_r \cdot H_0 \cdot S$$

*$K_r$  = coefficient de ruissellement.*

- avec  $a$  coefficient d'abattement tenant compte de la non-homogénéité spatiale de l'averse considérée.

- avec  $K_r$  coefficient de ruissellement, tenant compte des pertes par infiltration (fonction des pentes, de la perméabilité du sol, de la végétation....)

Le coefficient  $a$  varie en fonction de la pluviométrie annuelle  $P_{an}$  et de la surface du bassin versant suivant le graphique ci-après :



Le coefficient  $K_r$  varie en fonction des caractéristiques topographiques, végétales et géologiques du bassin versant. On classera le bassin en lui affectant un indice P (perméabilité) et un indice R (pente) puis on lira la valeur de  $K_r$  dans le tableau suivant (Méthode ORSTOM).

\* Indice R

- R2 correspond à des pentes faibles inférieures à 0,5 % ; ce sont des bassins de plaine.
- R3 à des pentes modérées comprises entre 0,5 % et 1 % ; ce sont des terrains intermédiaires entre la plaine et les zones à ondulation de terrain.
- R4 à des pentes assez fortes : pentes longitudinales comprises entre 1 et 2 %, pentes transversales supérieures à 2 %. Zones à ondulation de terrain.
- R5 à des pentes fortes : pentes longitudinales comprises entre 2 % et 5 %, pentes transversales entre 8 et 20 % ; Région de collines.

\* Indice P

- P2 : bassins imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue ou bassins homogènes presque imperméables.
- P3 : bassins assez imperméables comportant des zones perméables d'étendue notable ou bassins homogènes assez peu perméables.
- P4 : bassins assez perméables tels qu'on en rencontre en zone de décomposition granitique avec abondance d'arènes.

R1	P1	0,42	0,42	0,42
R2	P1	0,34	0,34	0,34
R3	P1	0,13	0,13	0,13
R3	P2	0,24	0,24	0,24
R3	P3	0,30	0,30	0,30
R3	P4	0,30	0,30	0,30
R4	P1	0,68	0,67	0,63
R4	P2	0,4	0,34	0,31
R4	P3	0,33	0,32	0,31
R4	P4	0,33	0,33	0,33
R5	P1	0,39	0,38	0,37

		S = Superficie du Bassin Versant (km <sup>2</sup> )				
Précipitation Annuelle	Indices BV	< 5	5 < < 10	10 < < 20	20 < < 40	40 < > 60
Pan < 800 mm	R2 P2	0,60	0,58	0,54	0,47	0,40
	R2 P3	0,25	0,23	0,19	0,15	0,13
	R3 P2	0,74	0,70	0,64	0,56	0,48
	R3 P3	0,35	0,32	0,27	0,24	0,22
	R3 P4	0,13	0,12	0,10	0,06	0,02
	R4 P2	0,83	0,80	0,73	0,64	0,56
	R4 P3	0,45	0,42	0,37	0,32	0,28
	R4 P4	0,25	0,23	0,20	0,16	0,13
	R5 P3	0,52	0,48	0,44	0,39	0,36
Pan > 800 mm	R2 P2	0,42	0,42	0,41	0,39	0,37
	R2 P3	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32
	R2 P4	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10
	R3 P2	0,55	0,54	0,51	0,47	0,44
	R3 P3	0,39	0,39	0,38	0,37	0,36
	R3 P4	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18
	R4 P2	0,68	0,67	0,63	0,58	0,54
	R4 P3	0,44	0,44	0,43	0,41	0,40
	R4 P4	0,32	0,32	0,31	0,30	0,29
	R5 P3	0,55	0,55	0,53	0,50	0,48
R5 P4	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	

Valeurs de Kr en fonction de Pan, R, P et S (tableau synthétique élaboré à partir des abaques ORSTOM)

A ce volume  $V_r$  correspond un débit moyen lié à la durée effective du ruissellement sur le bassin :

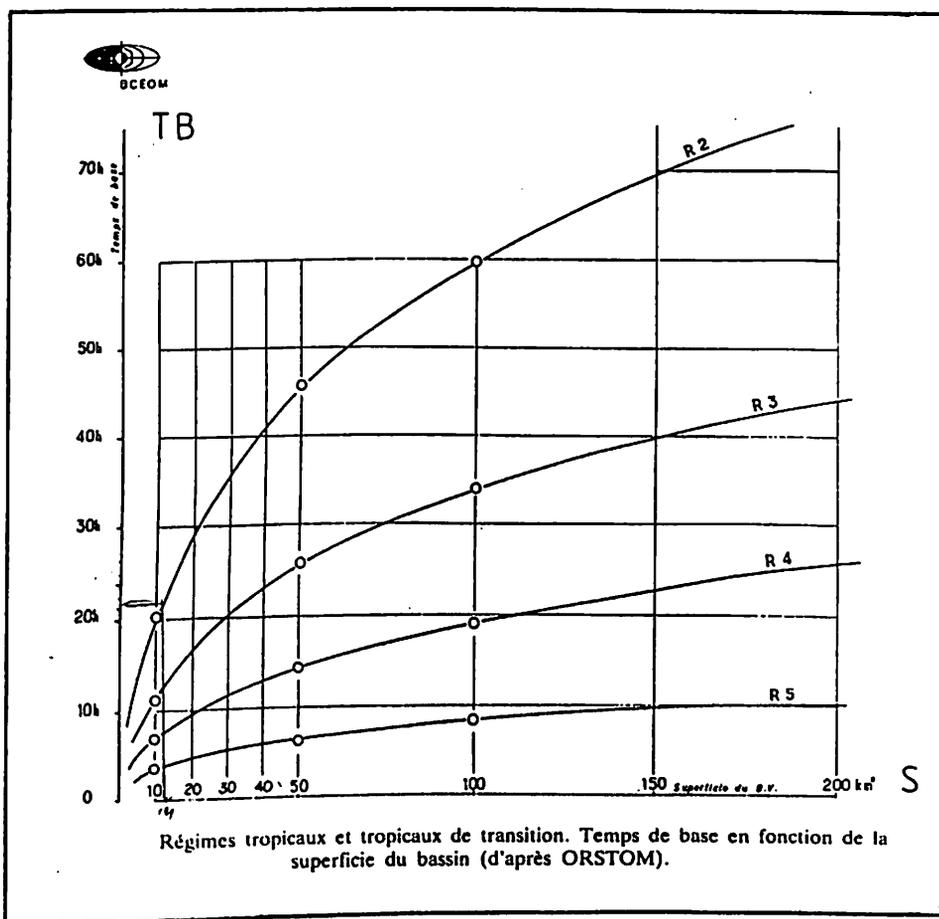
Cette durée s'appelle le temps de base et est notée TB

Le débit moyen Q de ruissellement sera :  $Q = \frac{V_r}{TB}$

Le temps de base est fonction de la superficie S du bassin versant, et du type de pente.

L'abaque ci-dessous, permet d'estimer TB

$$Q_{10} = 2,5 \times Q_m$$



Le débit de pointe  $Q_{10}$  de l'averse décennale sera égale au produit du débit moyen Q par un coefficient majorateur n pris égal à 2,5.  $Q_{10}$  est encore appelé débit décennal du projet.

## 1.2. - TOPOGRAPHIE

Technique de levé des plans de terrain, la topographie exprime la configuration et le relief d'un lieu.

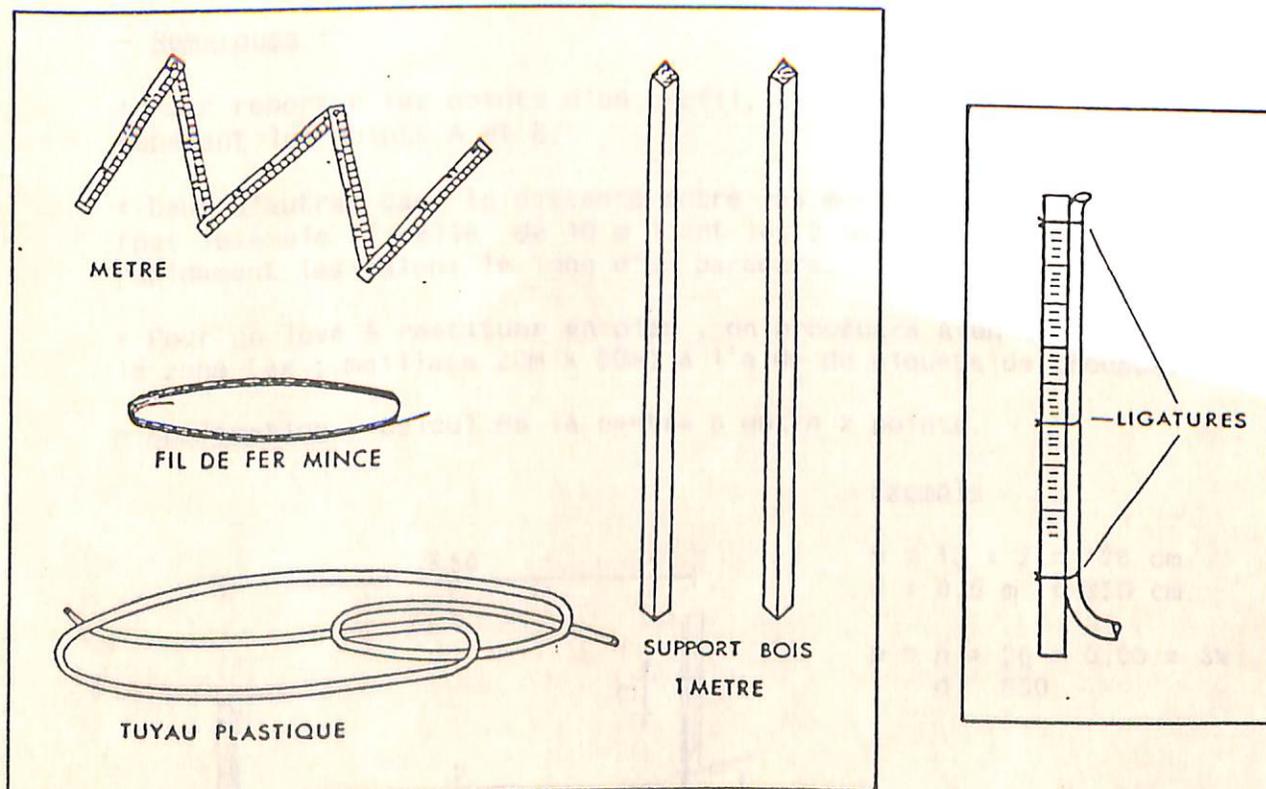
La précision des levés topographiques dépend directement du type d'ouvrage à implanter. On cherchera à regrouper les informations topographiques sous forme de documents construits à partir des mesures planimétriques (situation des points en plan) et des mesures altimétriques (dénivelée des points).

### 1.2.1. - Instruments de mesure

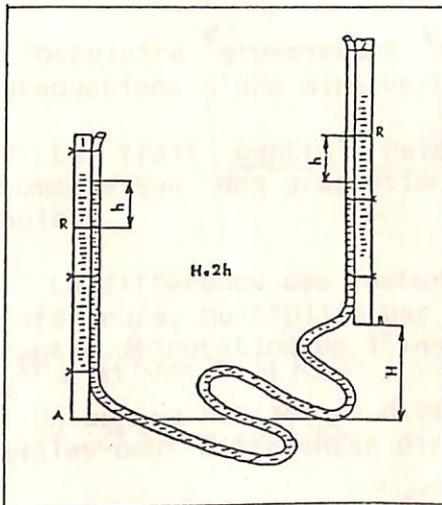
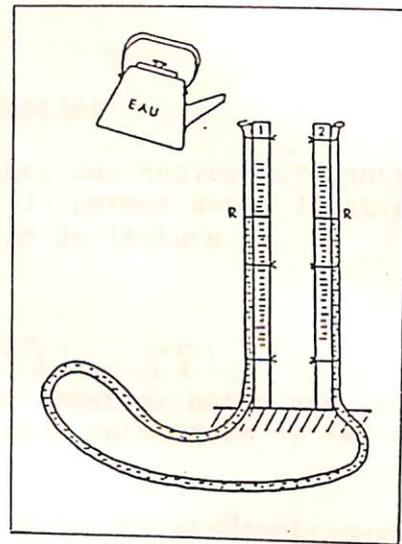
#### 1.2.1.1. - Niveau à eau gradué

Pour des relevés sommaires et sur de faibles étendues, le niveau à eau permet facilement d'évaluer la dénivelée entre plusieurs points.

Sa fabrication est simple, et ne nécessite qu'un long tuyau en plastique transparent fixé à ses extrémités à deux montants en bois gradués.



Le principe est celui des vases communicants. La préparation initiale consiste à remplir le tuyau d'eau, de placer les supports l'un à côté de l'autre sur une surface bien plate, et repérer par un élastique mobile le niveau de l'eau sur chaque bois.



Pour mesurer la dénivelée entre 2 points proches A et B, il suffit de placer chacun des montants aux points de mesure. La dénivelée entre les 2 points sera obtenue en multipliant par 2 la différence de graduations lue entre l'élastique-repère et le nouveau niveau atteint par l'eau.

- Remarques :

\* Pour reporter les points d'un profil, on pourra mesurer la distance séparant les points A et B.

\* Dans d'autres cas, la distance entre les montants pourra être fixée (par exemple ficelle de 10 m liant les 2 bois) afin de déplacer rapidement les jalons le long d'un parcours.

\* Pour un levé à restituer en plan, on procédera à un quadrillage de la zone (ex : maillage 20m x 20m) à l'aide de piquets de brousse.

- Application : Calcul de la pente  $p$  entre 2 points.

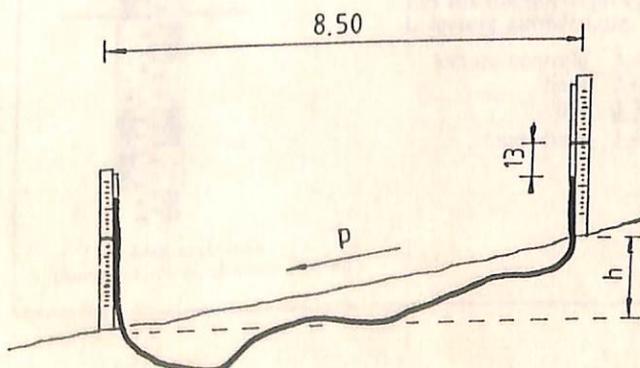
Exemple

$$h = 13 \times 2 = 26 \text{ cm}$$

$$d = 8,5 \text{ m} = 850 \text{ cm}$$

$$p = \frac{h}{d} = \frac{26}{850} = 0,03 = 3\%$$

$$p = \frac{H \text{ AB}}{d \text{ AB}}$$



### 1.2.1.2. - Niveau de chantier

Plus précis, ce matériel permet la lecture des angles horizontaux et celle des hauteurs sur une mire graduée. Il permet aussi l'estimation de la distance entre la mire et la station de lecture.

Lectures :

L'instrument de mesure appelé niveau de chantier est placé sur un trépied à hauteur de vue. Des vis callantes permettent le réglage du niveau dans un plan strictement horizontal.

L'oculaire grossissant intercepte sur 3 traits stadimétriques les graduations d'une mire verticale placée au point de mesure.

\* Le trait central relatif au plan horizontal, permettra par comparaison des graduations lues, de connaître la dénivelée entre 2 points.

\* La différence des lectures correspondant aux traits supérieurs et inférieurs, multipliée par 10, donne la distance horizontale entre le centre de rotation de l'instrument et le point de station de la mire.

\* Un anneau horizontal divisé en grades ou degrés donne la mesure des angles pour différentes directions.

**Lecture sur la mire**

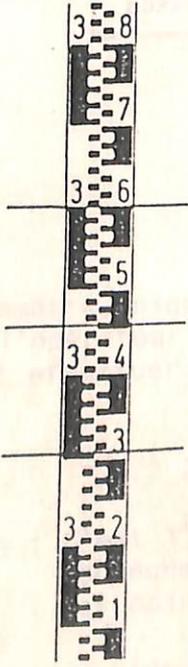
**1 Lecture altimétrique**  
Lire la position du fil horizontal sur l'image de la mire. Estimer les millimètres dans le champ centimétrique. La lecture altimétrique est 3,456 m

**2 Mesure de la distance avec les fils stadimétriques**  
La distance entre l'instrument et la mire peut être déterminée à l'aide des deux courts traits horizontaux du réticule. La lecture d'en haut moins la lecture d'en bas, en centimètres, donne la distance en mètres

haut	360,1 cm
bas	<u>330,9 cm</u>
différence	29,2 cm
distance	29,2 m

**3 Contrôle de la lecture altimétrique avec les fils stadimétriques**  
Les fils stadimétriques peuvent aussi être utilisés pour contrôler la lecture altimétrique.

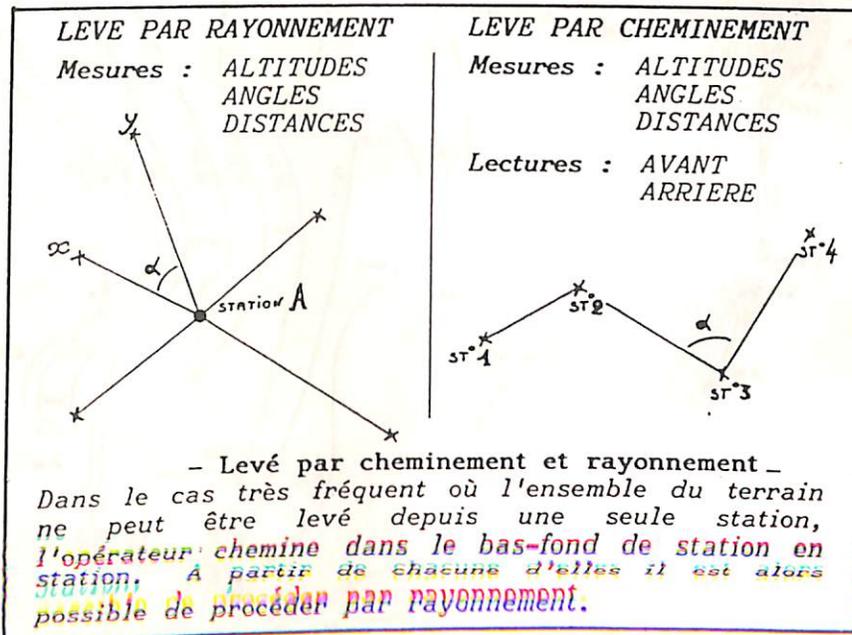
lecture centrale	3,456 m
haut	3,601 m
bas	<u>3,309 m</u>
moyenne	3,455 m



Lecture de mire  
(hauteur 3,456 m, distance 29,2 m)

En combinant les mesures des dénivelées, de distances et des angles, il est possible d'établir des levés topographiques très complets.

Remarque : Dans le cas où l'ensemble du terrain ne peut être levé depuis une seule station, l'opérateur chemine dans le bas fond de station en station. Il veillera à raccorder l'ensemble de ses mesures en levant des points (ou un point suivant le cas) communs pour 2 stations successives.



### 1.2.1.3. - Petit matériel

Décamètre, piquets de brousse, marqueurs, cordeau, boussole serviront à l'opérateur pour réaliser son relevé de terrain, notamment s'il doit effectuer un maillage préalable sur le site.

### 1.2.2. - Plans en courbes de niveau

Plan : C'est l'image vue de dessus d'une zone donnée  
Son échelle est fonction de la superficie à étudier  
Les points mesurés sont reportés sur le plan :

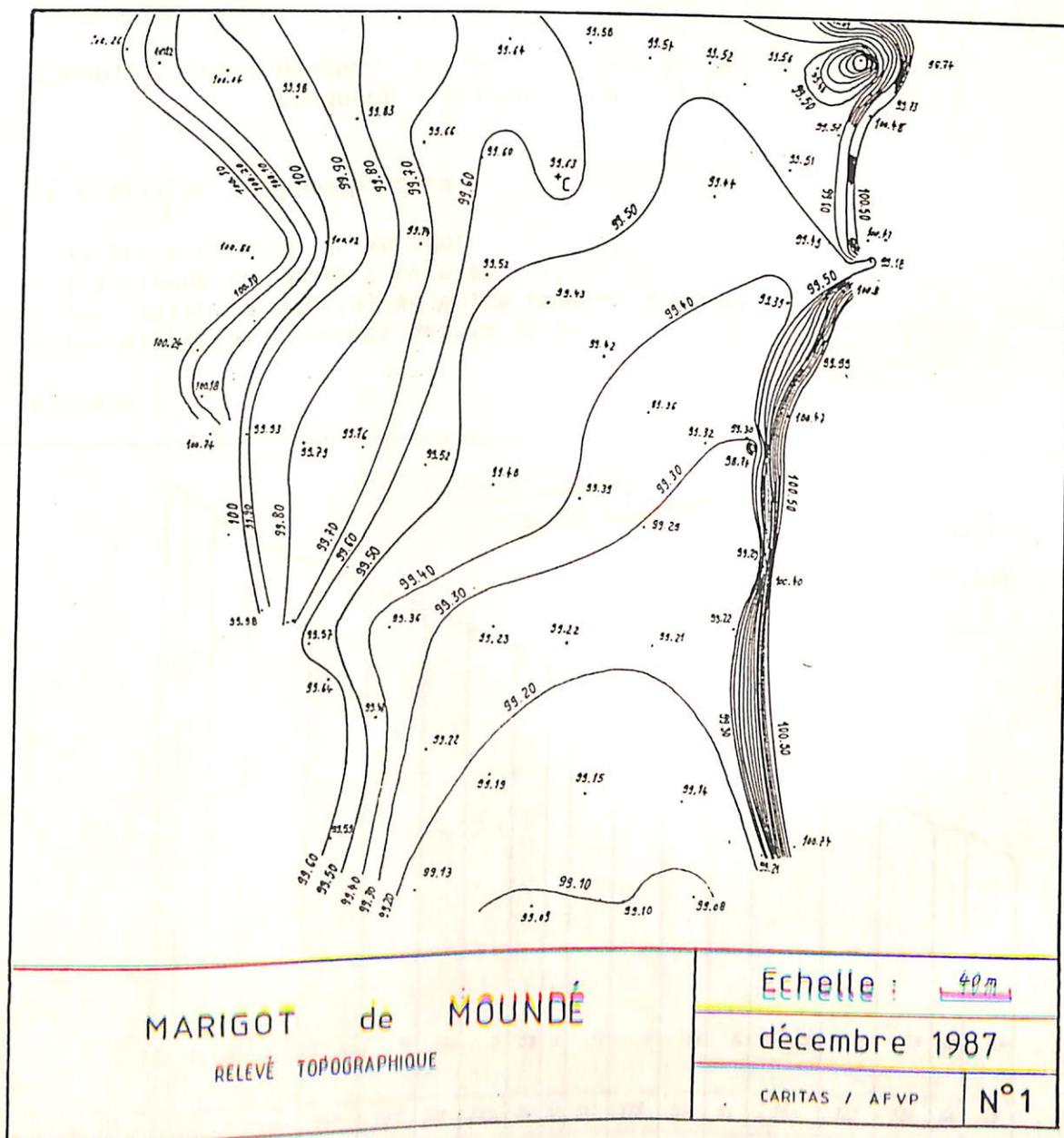
niveau à eau ----> report du maillage  
niveau de chantier ----> report du rayonnement.

Courbes de niveau :

A chaque point est affectée une cote d'altitude, issue des mesures sur le terrain.

Une courbe de niveau se trace à partir des points cotés, en interpolant linéairement entre 2 mesures.

Exemple de tracé



### 1.2.3. - Profil en long

Le profil correspond à une coupe longitudinale suivant la ligne des points bas d'un marigot (le talweg).

Cette représentation graphique permet d'apprécier les caractéristiques topographiques du terrain (pentes, rupture de pente...)

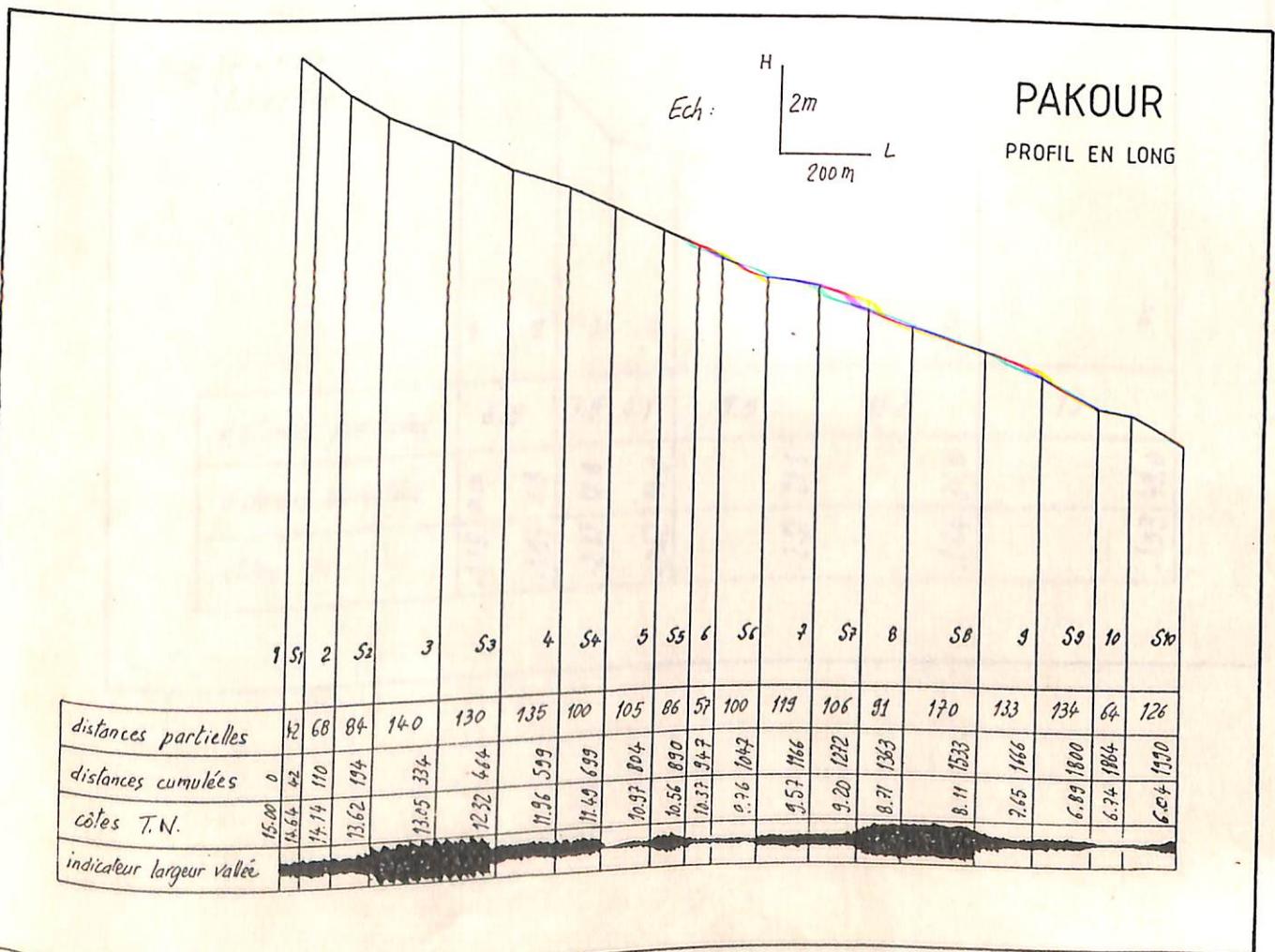
Dans la région de Kolda, les pentes sont faibles. Pour mieux mettre en valeur le relief, il est nécessaire de choisir une échelle verticale (des hauteurs) plus grande que l'échelle horizontale (des longueurs).

Exemple : Ech : Hauteur = 1/20 (1 cm = 20 cm)  
Longueur = 1/1000 (1 cm = 10 m)

Le profil en long comportera :

- le tracé du fond du marigot
- l'altitude des points relevés
- les distances partielles entre mesures successives
- les distances cumulées depuis le point origine

Exemple :



### 1.2.4. - Profil en travers

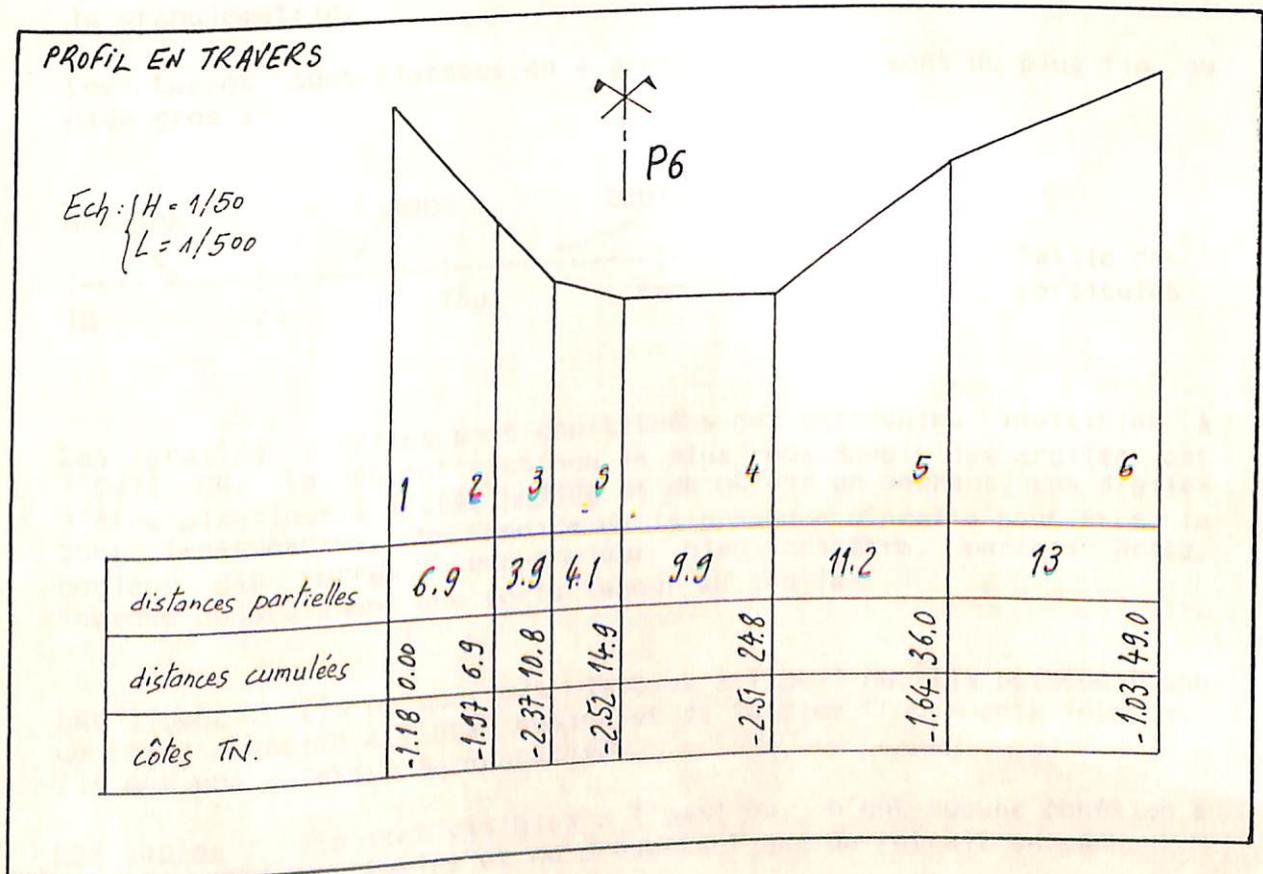
Ce profil correspond à une coupe transversale suivant une ligne perpendiculaire à l'axe du marigot.

Pour convention, on représentera les profils en travers comme si l'on se trouvait dans le sens d'écoulement de l'eau du marigot (on définit ainsi la rive droite et la rive gauche).

Ce type de représentation permet d'appréhender le modelé du terrain. Comme pour le profil en long, les échelles des hauteurs et des longueurs pourront différer. Par contre, on gardera les mêmes échelles pour faciliter la comparaison entre les différents profils en travers d'un même marigot.

Un profil en travers comportera :

- le tracé du fond de la vallée
- l'altitude des points relevés
- les distances partielles entre mesures successives
- les distances cumulées (de la rive gauche vers la rive droite)



### 1.3. - GEOTECHNIQUE

L'étude des sols variera suivant le type d'ouvrage projeté. Plusieurs aspects pourront être abordés :

- les caractéristiques du sol de fondation
- la qualité des matériaux de remblais
- l'étanchéité d'une cuvette...

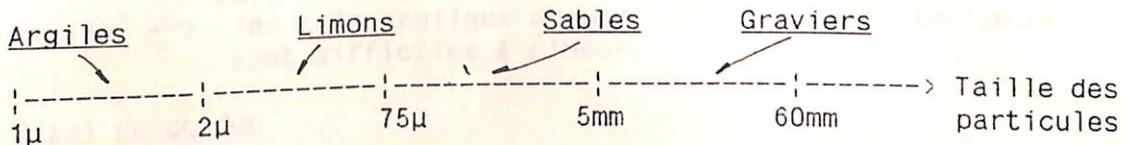
La géotechnique concernera l'étude des sols en place ou des matériaux de construction.

#### 1.3.1. - Identification des terres

##### 1.3.1.1. - Classification des sols

Le sol est composé d'un très grand nombre d'éléments minéraux et organiques qui peuvent être décrits et classés selon différents critères : chimiques ou physiques. Dans la pratique courante, la classification des terres est fondée sur la taille des particules. Cette classification, qui a l'avantage d'être simple, indique de plus des propriétés (cohésion, perméabilité...) liées en grande partie à la granulométrie.

Les terres sont classées en 4 grands types qui sont du plus fin au plus gros :



Les argiles : Elles sont constituées de particules invisibles à l'œil nu. La caractéristique la plus remarquable des argiles est d'être plastique à l'état humide et de durcir en séchant. Les argiles sont imperméables. Un indice de la présence d'argile peut être la couleur des terres : une couleur bleu grisâtre, parfois grise, indique généralement une forte teneur en argile.

Les limons : Ils ne sont pas visibles à l'œil nu. Ils possèdent une certaine cohésion à l'état humide et de faibles frottements internes. Ils ont une relative perméabilité.

Les sables : ils sont visibles à l'œil nu, n'ont aucune cohésion à sec. Ils sont perméables et ne présentent pas de retrait en séchant.

Les graviers : ils n'ont aucune cohésion, sont perméables et ne présentent aucune variation dimensionnelle.

### 1.3.1.2. - Tests de reconnaissance

#### Examen visuel :

La simple vue d'un échantillon permet de se faire une idée de sa composition granulométrique : les particules d'argile et de limon sont invisibles à l'oeil nu, et l'on peut donc estimer la proportion de grosses particules (sables) par rapport à la partie indiscernable.

#### Toucher :

En triturant le sol entre les doigts, l'impression retirée permet de déterminer la composition de base du sol :

sable --> sec : rugosité, pas de cohésion

limon --> sec : rugosité moins prononcée, humide : plasticité moyenne

argile --> sec : sous forme de mottes résistantes, ou sous forme de fine poudre.

humide : collant, plastique, très doux au toucher.

#### Lavage des mains

Il s'agit de se laver les mains avec la terre, de la même manière qu'avec du savon :

sable --> les sols sablonneux se rincent sans problème

limon --> les sols limoneux sont plus difficiles à rincer et paraissent pulvérulents.

argile --> les sols argileux donnent une sensation onctueuse, ils sont difficiles à rincer.

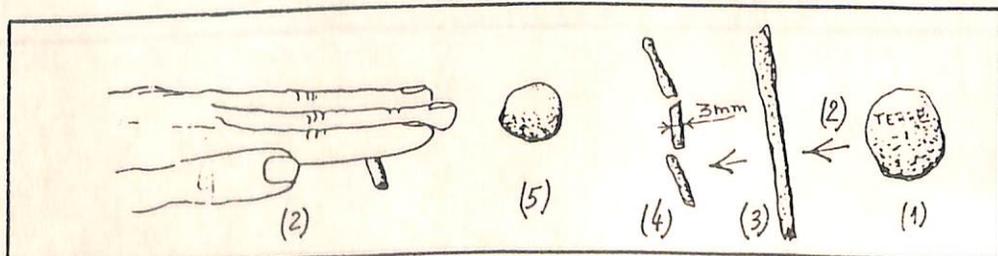
#### Essai de cordon

Il permet de détecter la présence ou non d'argile. On prend un morceau de terre de la taille d'une grosse olive, que l'on mouille légèrement. L'échantillon est ensuite roulé pour en faire un cordon.

--> Dans le cas où quelque soit la quantité d'eau, on ne peut former un cordon, la terre ne contient que peu d'argile.

Dans le cas contraire, on réduit le cordon à 3mm de diamètre, il commence alors à se diviser en morceaux. On reconstitue alors une boulette et on regarde quelle force il faut pour l'écraser entre le pouce et l'index.

--> Si la boulette se déforme facilement, mais sans fissures, ni émiettement, la terre contient beaucoup d'argile.



### Essai de sédimentation

Cet essai permet de déterminer les différentes fractions du sol : gros, moyen, fin.

Pour effectuer cet essai, il faut disposer d'un flacon de terre transparent d'une capacité d'un 1/2 litre environ (gros pot à confiture par exemple).

L'échantillon de sol est versé dans le flacon, jusqu'au quart de sa hauteur.

De l'eau est ajoutée jusqu'au trois quarts de la hauteur.

La bouteille est ensuite agitée vigoureusement pendant 2 minutes.

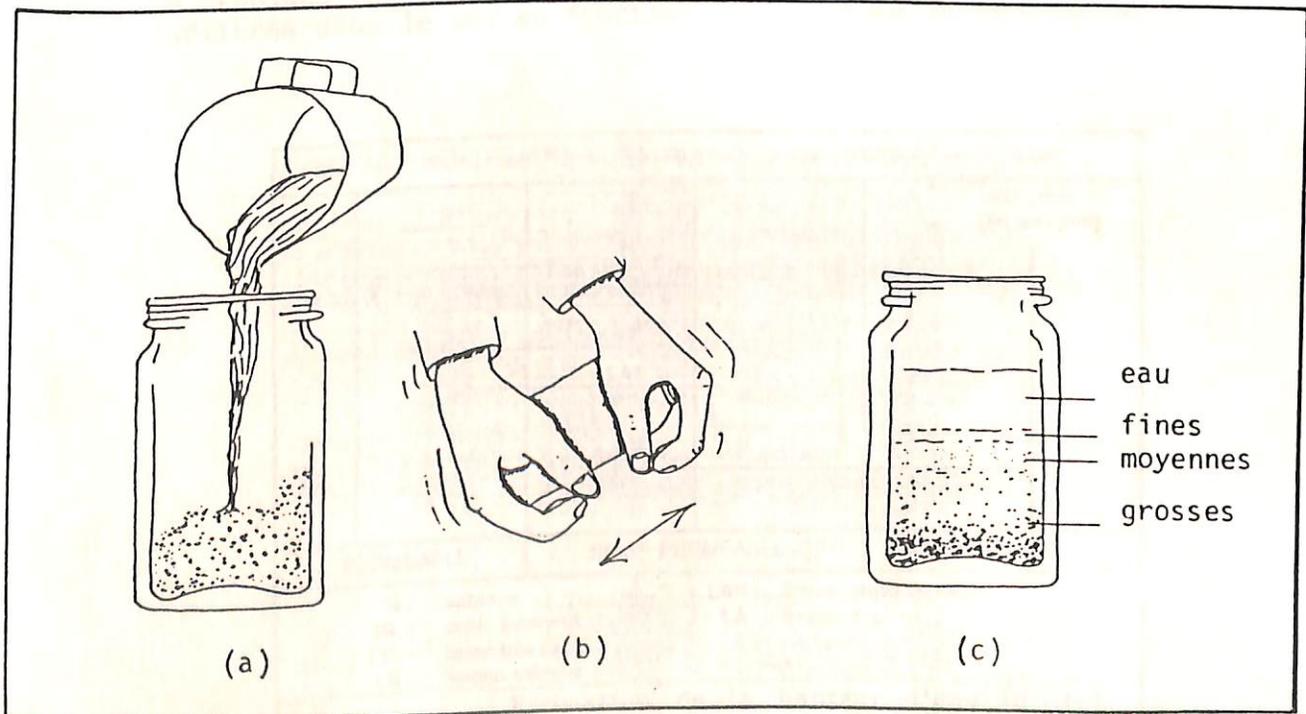
On la laisse reposer sur une surface horizontale.

Après une heure, la décantation est faite :

le sable au fond, le mélange argile-limon au dessus.

On mesure ensuite les différentes couches en pourcentage de l'épaisseur totale des couches.

### TEST DE SEDIMENTATION



### 1.3.2. - Estimation de la perméabilité

#### 1.3.2.1. - Perméabilité du sol

La perméabilité d'un sol caractérise la facilité plus ou moins grande avec laquelle s'effectue la circulation de l'eau au travers de ses particules.

Elle est mesurée par un coefficient K, coefficient de perméabilité, équivalent à une vitesse de filtration et exprimé en cm/s

Le tableau reporté ci-dessous donne l'échelle de grandeur du coefficient de perméabilité pour les grands types de sol.

	10	1	$10^{-4}$	$10^{-7}$	$10^{-10}$	K (cm/s)
Nature du sol	Graviers	Sables	Limons	Argiles		
Perméabilité	Très bonne	Bonne	Moyen. à médiocre	Imperméable		

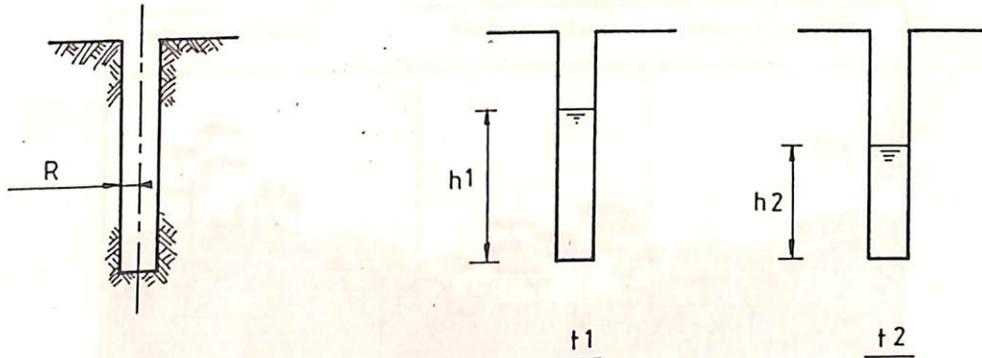
#### 1.3.2.2. - Perméabilité d'une cuvette

Le tableau ci-après donne une estimation de la hauteur d'eau infiltrée dans le sol en fonction de la nature de la cuvette.

850	85	8,5	0,85	0,085	Infiltration (en cm / jour)	
S	SL	LTS	LS	LAS	LA	A
... PERMEABLE	SEMI-PERMEABLE			IMPERMEABLE ...		
S : sableux	SL : sablo limoneux	LTS : limon très sableux	LS : limono sableux	LAS : limono argilo sableux	LA : limono argileux	A : argileux
- Estimation de la hauteur d'eau infiltrée dans le terrain en fonction de la nature de la cuvette						

L'estimation de la perméabilité in situ pourra se faire par la méthode décrite ci-après :

- Réaliser un trou à la tarière dans la cuvette - soit R le rayon du trou
- Remplir le trou d'eau et attendre 20 mn (temps de saturation du sol)
- Mesurer pour des temps  $t_1$  et  $t_2$  suffisamment espacés les hauteurs d'eau dans le trou  $h_1$  et  $h_2$ .

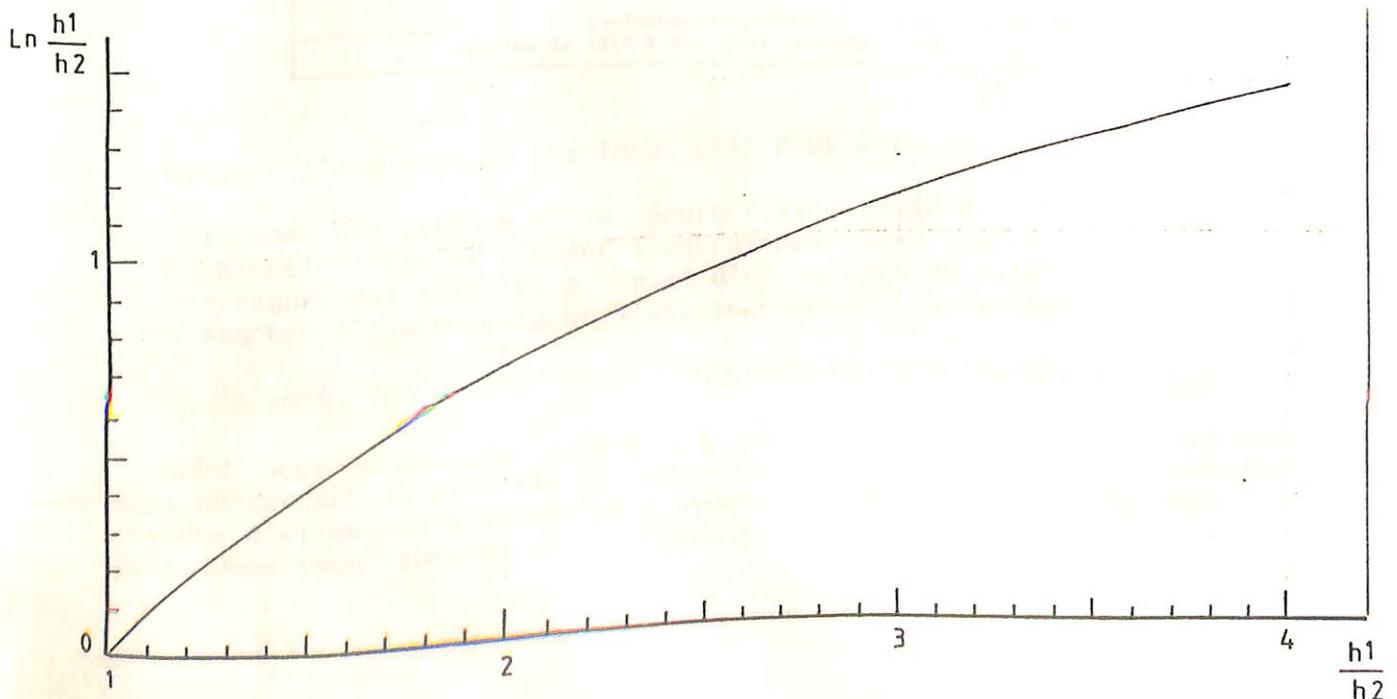


Estimation de la perméabilité

$$K = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} \times \text{Ln} \frac{h_1}{h_2}$$

avec R en cm,  $h_1$  et  $h_2$  en m,  $t_1$  et  $t_2$  en s, K en cm/s

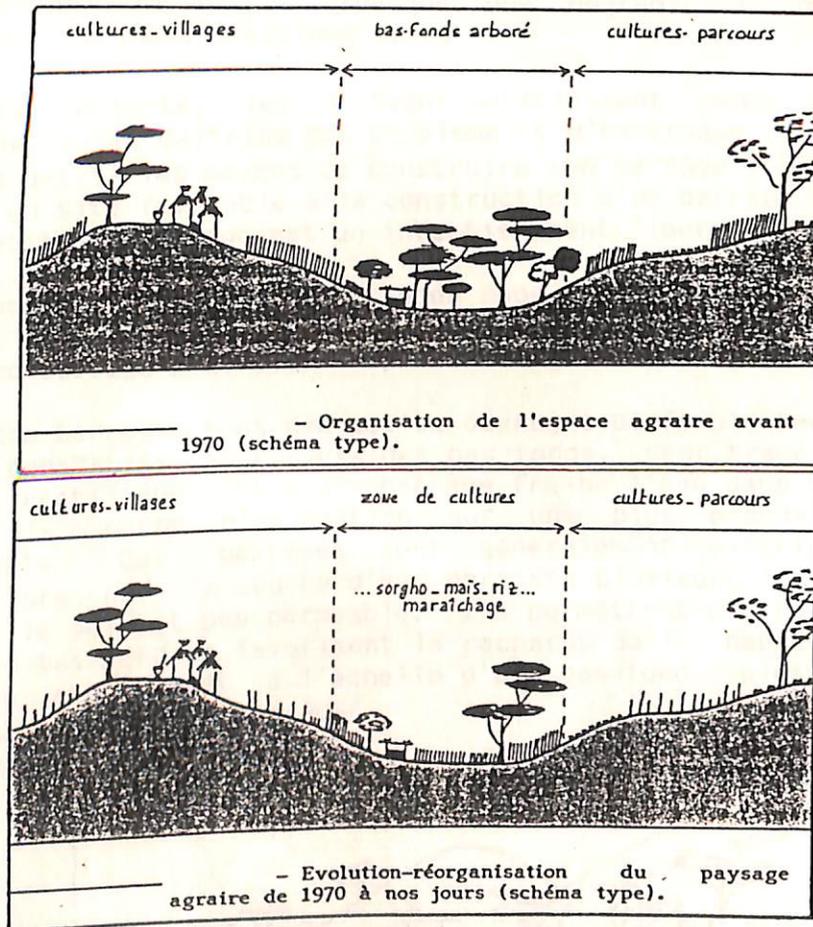
Ln : Logarithme népérien  
Fonction incluse sur les calculettes scientifiques  
A défaut, on utilisera la courbe ci-dessous



## II. - RETENTION D'EAU POUR L'AGRICULTURE

La période sèche qui vient de toucher l'Afrique Sahélienne a conduit les populations à modifier et à adapter leurs systèmes de production.

Un des éléments de cette transformation réside dans l'utilisation possible des terres des bas-fonds, zones temporairement inondées durant l'hivernage. Le matériau des bas-fonds est en général constitué d'un remblaiement colluvio-alluvial brun à grisâtre, à dominance argileuse.



Retenir l'eau dans un bas-fond, cela peut être :

- inonder une surface et la rendre rizicultivable
- ralentir l'eau et stopper l'entraînement des limons fertiles
- irriguer des cultures à l'aval d'un barrage de retenue
- stocker l'eau douce pour l'utiliser après l'hivernage...

On le voit, les possibilités d'intervention sont multiples.

Nous nous proposons, dans ce paragraphe, d'exposer quelques techniques concernant la maîtrise des eaux dans le bas-fond ; nous fournirons pour chacune d'elles les éléments de l'étude préalable tout en précisant les caractéristiques techniques de chaque ouvrage.

caractéristiques techniques (2000m)

## 2.1. - MICRO-BARRAGES

### 2.1.1. - Principe

Depuis les années 1970, l'Afrique soudano-sahélienne connaît des cycles de sécheresse très marqués qui engendrent une insécurité de l'agriculture pluviale. Cette situation de sécheresse n'affecte pas *cependant* la valeur des pluies exceptionnelles ; les crues dans les bas-fonds sont très violentes :

- les terres cultivables profitent peu de l'eau qui ne s'arrête pas et ne s'étale pas
- l'érosion importante provoque une dégradation des terroirs (rigoles, ravines, ensablement...)

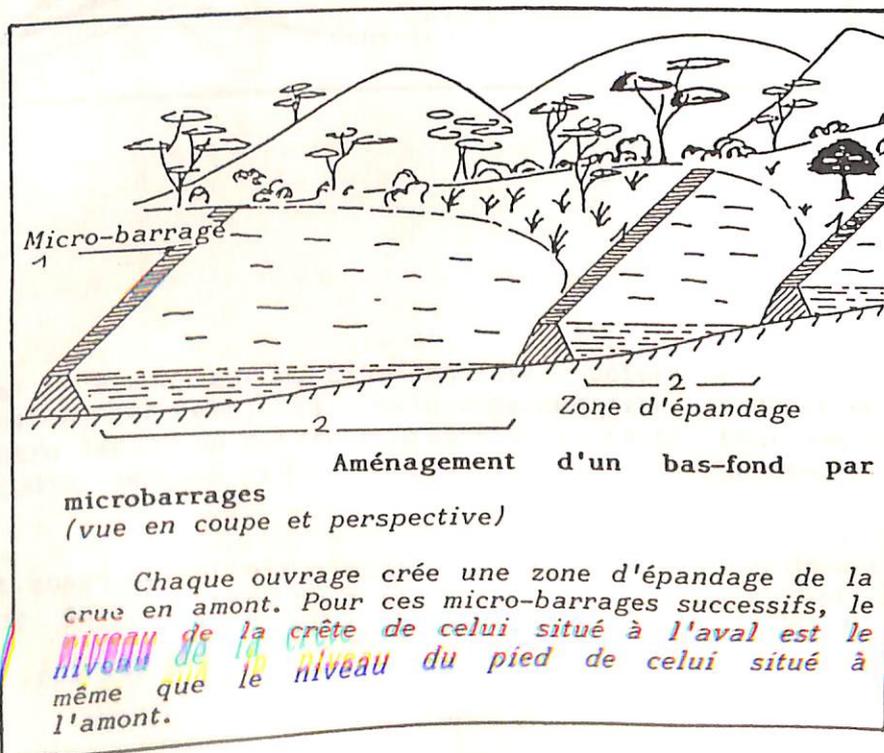
Dans ce contexte, les barrages apparaissent comme une solution possible à la maîtrise des écoulements d'hivernage ; mais chaque village a-t-il les moyens de construire son barrage ? Chaque bas-fond est-il un site favorable à la construction d'un barrage ?

Même petit, le barrage est un investissement "lourd" pour une société rurale.

Mal conçu, il peut noyer de grandes superficies cultivables.

Le micro-barrage peut alors représenter une alternative.

Les micro-barrages sont des petits ouvrages de faible hauteur (0,5m à 1,5m) construits en travers des bas-fonds. Leur tracé est le plus souvent rectiligne. Le micro-barrage freine l'eau dans sa course et étend la nappe d'inondation sur une plus grande superficie cultivable. Ces ouvrages sont généralement valorisés par la riziculture car la couche d'eau persiste plusieurs jours après la crue si le sol est peu perméable. Ils permettent d'arrêter l'érosion dans le bas-fond et favorisent la recharge de la nappe phréatique. Dans un aménagement à l'échelle d'un bas-fond, plusieurs micro-barrages pourront se succéder :

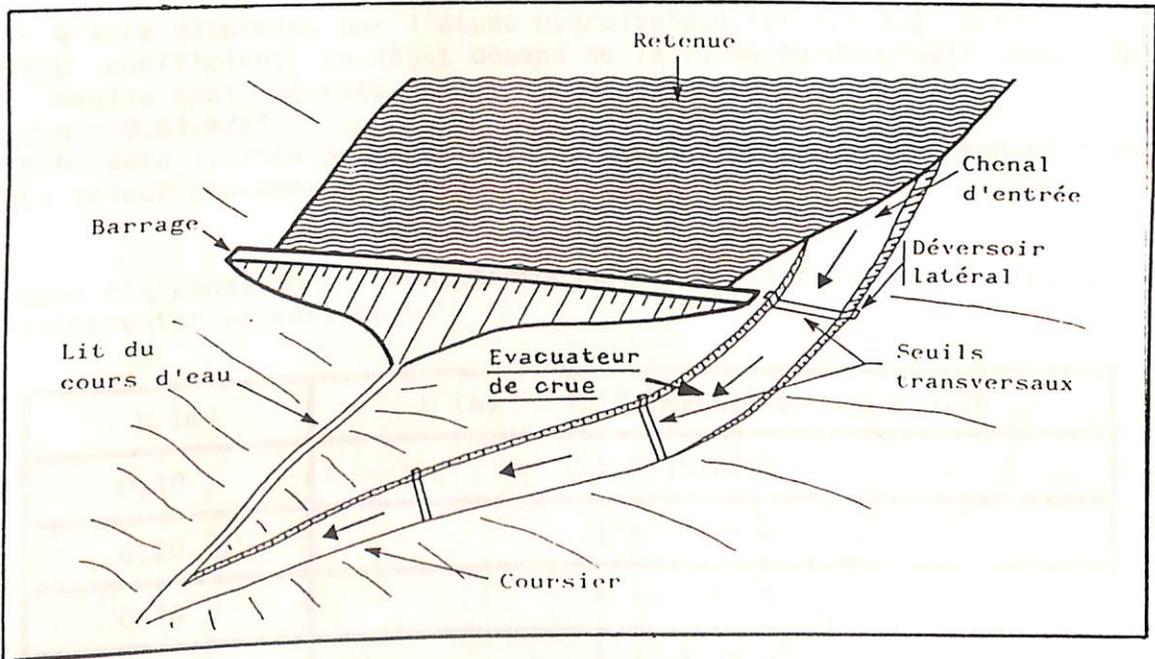


## 2.1.2. - Etude des différentes parties d'un barrage

### 2.1.2.1. - L'évacuateur de crue

Un barrage, quelle que soit son importance, n'est rarement destiné à arrêter toute l'eau qui s'écoule dans la vallée. Une fois remplie, la cuvette de retenue doit déverser les apports excédentaires sans que le barrage ne soit endommagé.

Un ouvrage spécifique permet le déversement sans risque : c'est l'évacuateur de crue. C'est un ouvrage de sécurité indispensable, qui a pour rôle d'empêcher la crête de la digue d'être submergée par les eaux de crue lorsque la retenue est pleine.



Dimensionner l'évacuateur de crue consiste à déterminer la longueur du déversoir. Pour cela, il convient de connaître le débit de crue maximum contre lequel on désire protéger le barrage. Pour les micro-barrages étudiés dans ce manuel, nous utiliserons la crue décennale.

Il convient aussi de définir l'épaisseur de la lame d'eau déversante. Celle-ci ne doit pas être trop importante pour ne pas remettre en question la sécurité de l'ouvrage.

La longueur du déversoir sera calculée par la formule du débit d'un déversoir :

$$Q = \mu \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

- avec :
- Q : débit du déversoir en m<sup>3</sup>/s
  - $\mu$  : coefficient de débit (0,36)
  - L : longueur du déversoir en m
  - g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s<sup>2</sup>)
  - h : hauteur maximale autorisée sur le déversoir.

D'où L longueur déversante : (longueur de déversoir)

$$L = \frac{Q}{\mu \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}}$$

- Q sera déterminé par l'étude hydrologique (cf 1.1.3.2. p.6)
- $\mu$  coefficient de débit dépend de la forme du déversoir pour les seuils épais décrits ici ;  $\mu$  vaudra sensiblement 0,36
- g = 9,81 m/s<sup>2</sup>
- h sera limitée pour les déversoirs considérés dans ce manuel à 1m. La valeur couramment adoptée sera 0,50 m

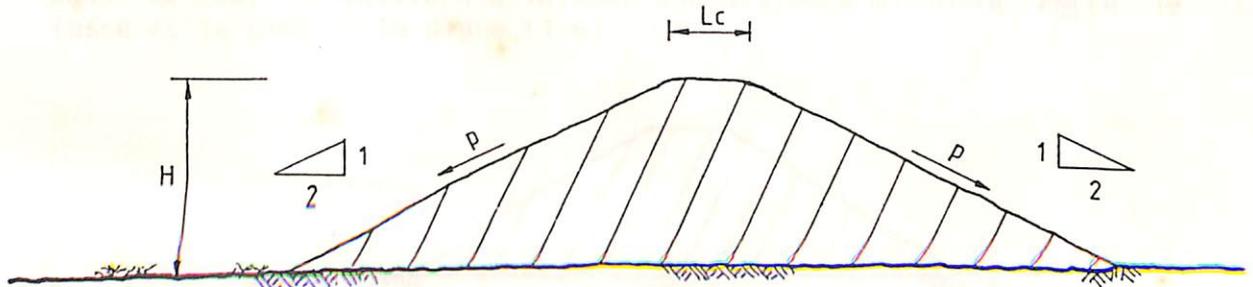
Dans ces conditions, nous donnons ci-après la relation L = f(Q) pour différentes valeurs de h.

h (m)	L (m) = f [Q (m <sup>3</sup> /s)] pour $\mu = 0,36$
0,10	L = 19,83 Q
0,20	L = 7,01 Q
0,30	L = 3,82 Q
0,40	L = 2,49 Q
<b>0,50</b>	<b>L = 1,77 Q</b>
0,60	L = 1,35 Q
0,70	L = 1,07 Q
0,80	L = 0,88 Q
0,90	L = 0,73 Q
<b>1,00</b>	<b>L = 0,63 Q</b>

Remarque : nous avons L (m) = Q (m<sup>3</sup>/s) pour h ≈ 0,73 m

### 2.1.2.2. - La Digue

- \* Profil : Pour les micro-barrages, la digue aura une forme très simple, aux caractéristiques suivantes :

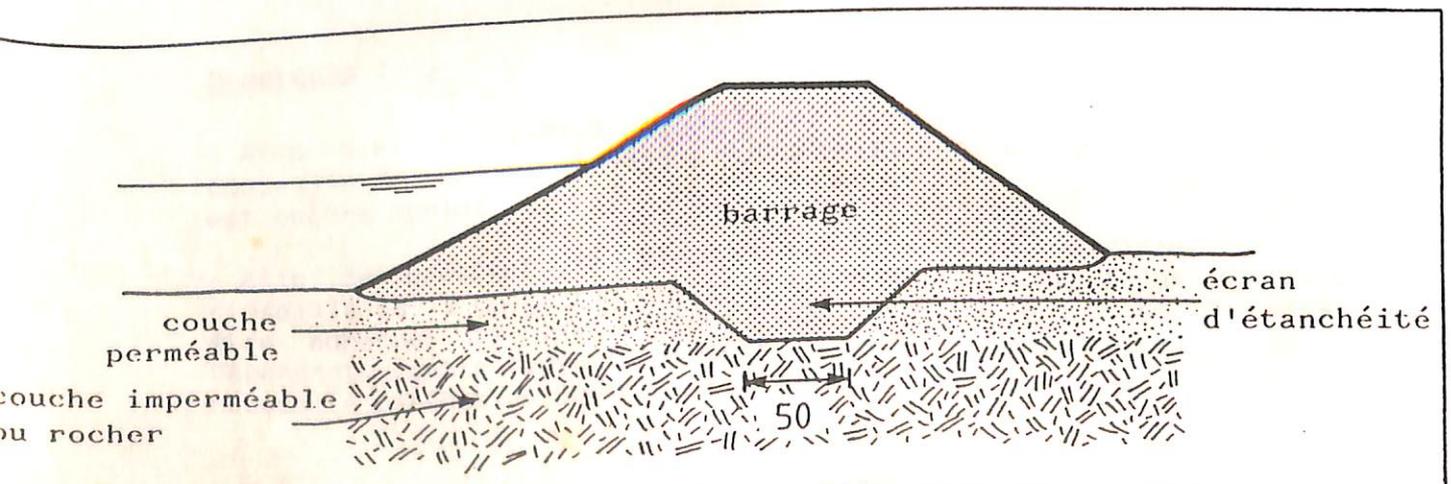


H : Hauteur : La digue ne doit jamais être submergée lors des crues. On calera donc la crête de la digue à un niveau correspondant à la montée maximale des eaux sur le déversoir augmenté d'une revanche de sécurité (50 cm minimum conseillés, 20 cm adoptés bien souvent).

Lc : Largeur en crête : Elle est normalement liée à la hauteur de la digue. Certains auteurs proposent la relation  $Lc = 1,65 \sqrt{H}$ . Bien souvent, elle est limitée à 50 cm pour réduire les terrassements.

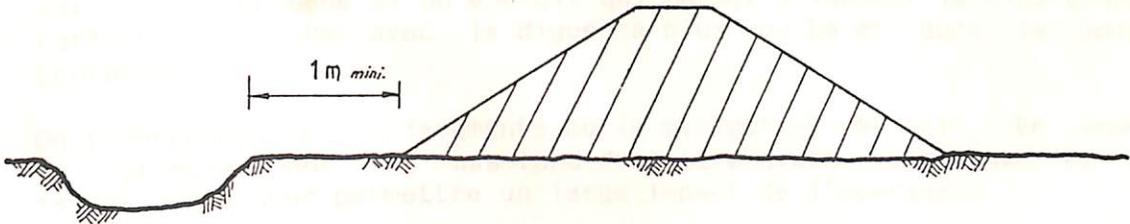
p : Pente des talus : Elle doit garantir leur stabilité au glissement. On pourra adopter à l'aval comme à l'amont une valeur de 1/2.

- \* Fondations : Dans le cas où la couche support est assez perméable, on creuse une tranchée pour atteindre un horizon imperméable dans le sous-sol. La largeur de la tranchée dite d'étanchéité sera fonction de la taille du barrage (en général 50 cm peuvent suffire).



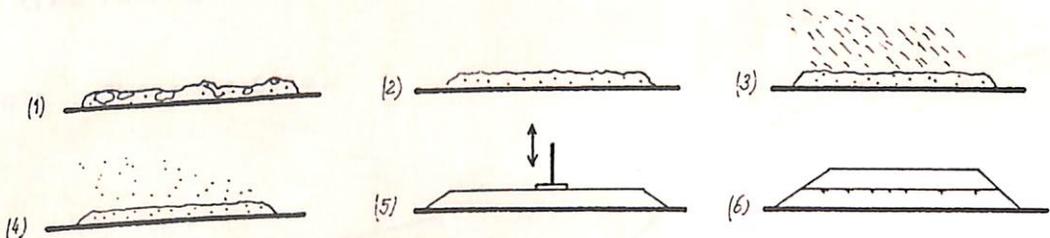
### \* Réalisation

La digue est réalisée en terre argileuse compactée.  
Cette terre sera prise à proximité du site, dans la cuvette par exemple, ou si cela est possible dans un fossé creusé à l'aval de la digue afin de limiter la pénibilité des terrassements manuels.  
Dans ce cas, on veillera à laisser une distance minimale entre le fossé et le pied de la digue (1 m)



La digue est montée par couches humides compactées ; mode opératoire :

- Etaler en vrac la terre de remblai
- Casser les mottes et homogénéiser le régalage
- Humidifier au besoin la couche obtenue
- Eventuellement, répandre une pellicule de sol sec sur cette couche afin d'éviter que la terre ne colle aux outils de compactage.
- Compacter la couche (dame manuelle)
- Scarifier entre chaque couche.



### Remarques :

- Afin d'éviter de devoir apporter l'eau pour le compactage, il est conseillé de réaliser la digue juste après l'hivernage, quand le sol est encore humide.
- Afin de protéger la digue contre l'érosion pluviale, il est conseillé de la couvrir d'un perré gravillonné. Les talus pourront être enherbés si les pierres sont rares à proximité du site. Cette couverture herbacée peut attirer le bétail, d'où la nécessité parfois de couvrir la digue d'épines.

### 2.1.3. - Choix du site

Le site correspondra à un bas-fond que les villageois veulent aménager.

Nous n'aborderons pas les aspects socio-économiques du projet, ce fascicule étant avant tout un outil technique ; il bien sûr entendu que ceux-ci devront être abordés lors de la démarche d'identification et de conception de l'aménagement menée avec les populations.

A un niveau strictement technique, le meilleur site pour un micro-barrage est en général un endroit qui permet d'inonder la plus grande surface de terre avec la digue la plus courte et donc la moins coûteuse.

On recherchera les emplacements où le marigot se rétrécit. En amont du rétrécissement, le bas-fond doit être évasé, argileux, et de faible pente pour permettre un large impact de l'ouvrage.

On pourra mettre en évidence certains ratio du type :

$$R1 = \frac{\text{Vol. Stocké}}{\text{Vol. Digue}}$$

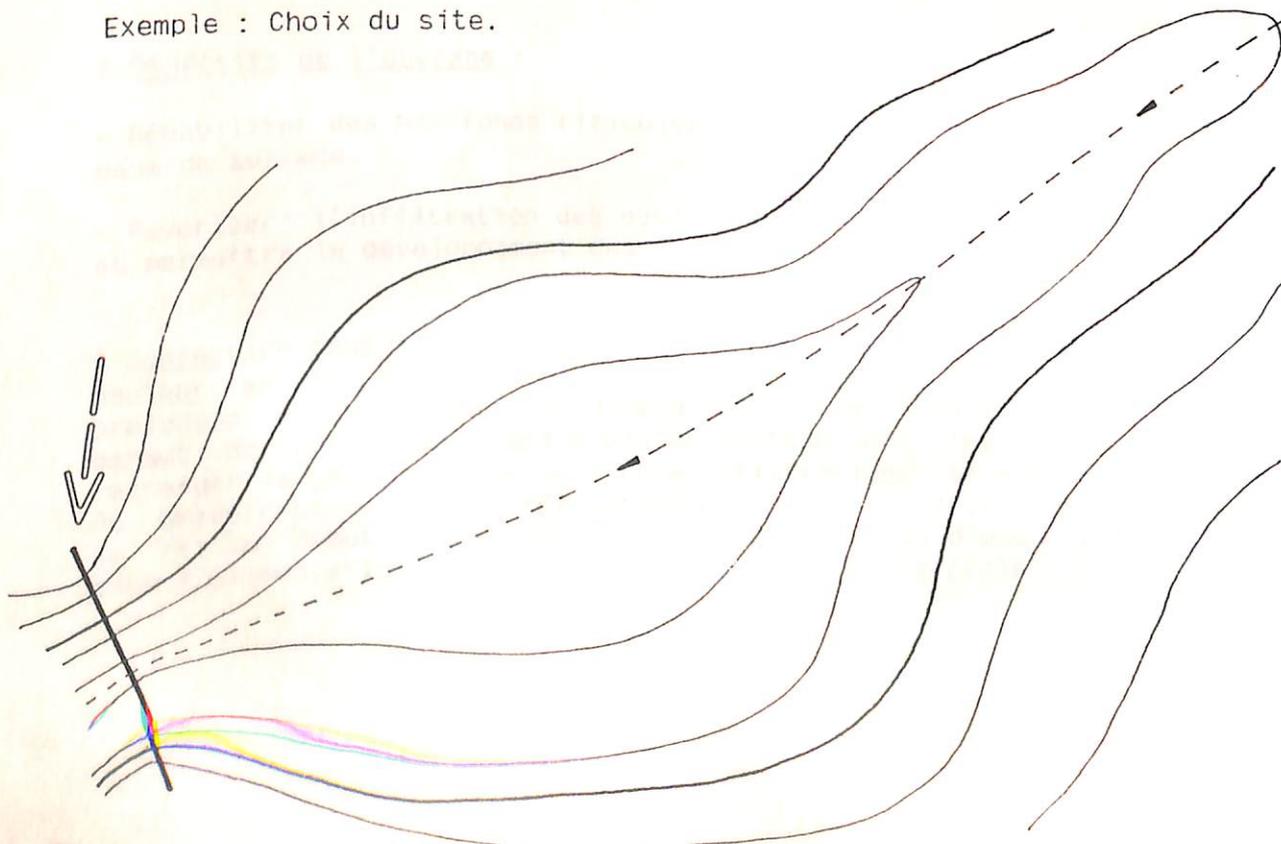
$$R2 = \frac{\text{Surface irriguée} \times 100 \text{ (ha)}}{\text{Longueur barrage} \text{ (m)}}$$

Pour les micro-barrages à cultures "aval", on fera intervenir le ratio R1.

Pour les micro-barrages à cultures "amont", on fera intervenir le ratio R2.

Dans ce dernier cas, à titre indicatif pour la région de Kolda, on cherchera les sites pour lesquels  $R2 > 2$  ;  $R2 = 7$  correspond à un site très favorable.

Exemple : Choix du site.



#### 2.1.4. - Données concernant les micro-barrages en béton cyclopéen

##### 2.1.4.1. - Simplicité des ouvrages en béton cyclopéen

Les déversoirs des micro-barrages peuvent être réalisés avec des matériaux divers, pourvu qu'ils puissent résister aux passages de l'eau ; citons les principaux : béton cyclopéen, béton armé, gabions.

Béton armé et gabions sont des techniques dont la mise en oeuvre est assez délicate :

béton armé ==> ferrailage, coffrage, coulage  
gabions ==> tressage des cages, mise en place, remplissage.

Ces deux matériaux sont souvent plus coûteux que le béton cyclopéen, mélange de béton et de pierres (50 %), simple à réaliser et n'exigeant pas une main d'oeuvre spécialisée.

Les micro-barrages en béton cyclopéen sont assez bien adaptés aux bas-fonds de la région de Kolda ; ils apparaissent tout à fait maîtrisables à l'échelle d'un terroir villageois, ils ne font pas appel à une technologie complexe et peuvent être entièrement réalisés par la main d'oeuvre du village. Cette simplicité de mise en oeuvre en fait un ouvrage promis à une large diffusion.

##### 2.1.4.2. - Principe - Conception de l'ouvrage

###### \* Objectifs de l'ouvrage :

- Réhabiliter des bas-fonds rizicoles pour une meilleure maîtrise des eaux de surface.

- Favoriser l'infiltration des eaux de crue pour recharger la nappe et permettre le développement des cultures de contre-saison.

\* Conception générale : Réalisation d'une digue déversoir de faible hauteur, en béton cyclopéen à l'aval des terres rizicultivables, prolongée éventuellement d'une digue en terre insubmersible. Elle permet de retenir une lame d'eau en surface dans les rizières et recharger la nappe par une meilleure infiltration. Il est nécessaire de prévoir un ouvrage de régulation qui permettra d'éviter de noyer le riz en début de cycle et de conserver une lame d'eau suffisante pour l'alimentation des rizières, surtout en fin de cycle.

### 2.1.4.3. - Fiche technique de l'ouvrage

A F V P  
BP 1010 - Dakar  
S E N E G A L

#####  
#  
# MICRO - BARRAGE #  
#  
#####

HYDRAULIQUE  
# FICHE TECHNIQUE N° 6  
# auteur : Xavier BOULENGER  
# date : Fevrier 1990  
#  
HYDRAULIQUE

#### Domaine d'utilisation , principe

Afin de sécuriser la maîtrise des eaux de ruissellement dans un bas-fond on pourra construire un micro-barrage. Ce dernier est composé d'un déversoir en béton cyclopéen muni d'un système de régulation du plan d'eau par batardaux, d'une digue de raccordement en terre permettant la fermeture transversale de la vallée. Ce barrage, de faible hauteur, permet de retenir une certaine lame d'eau utilisable pour la riziculture. Après l'hivernage, l'humidification de la cuvette offre la possibilité de pratiquer le maraichage de décrue.

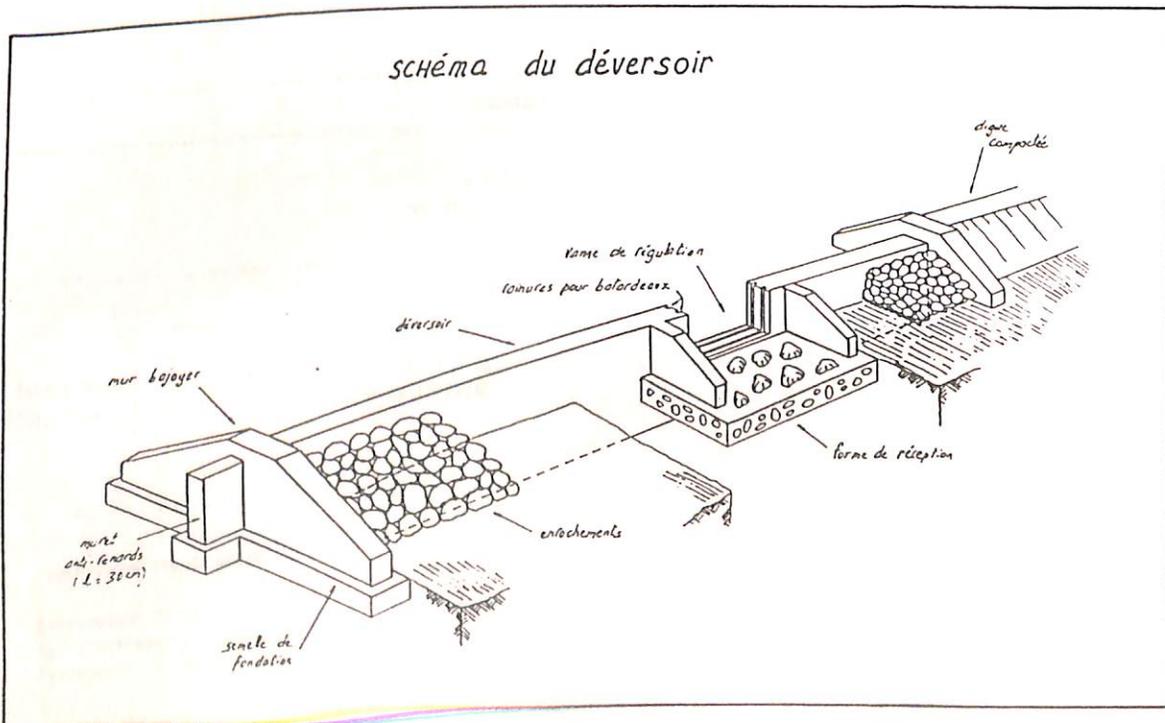
#### Caractéristiques techniques

**DEVERSOIR :** longueur fonction de la crue de projet, hauteur inférieure à 1m, épaisseur 40 à 50cm.  
ancrage de fondation équivalent à la hauteur libre ( 30 à 100cm, possibilité de fouilles en escaliers )  
constitué de 50% d'enrochements et 50% de béton dosé à 350 kg/m<sup>3</sup>  
système de régulation par batardaux en bois rouge maintenus dans des rainures en IPN  
recharge aval constituée d'enrochements reposant sur un lit de graviers

**DIGUE DE RACCORDEMENT :** longueur fonction de la largeur de la vallée  
hauteur fonction de la charge maximale d'eau sur le déversoir et de la hauteur de ce dernier.  
adopter des pentes mini 1/2 pour une bonne stabilité de la digue  
prévoir une tranchée d'ancrage en terrain sableux.

#### Croquis

schéma du déversoir



## Fiche technique de l'ouvrage (suite)

### Contraintes techniques

DIGUE : Trouver à proximité une terre d'emprunt de qualité ( argileuse ), éventuellement par fossé aval  
Pour faciliter le compactage , il est conseillé de travailler le plus tôt possible après l'hivernage

DEVERSOIR : Le volume important des enrochements rend souvent nécessaire la location d'un camion  
Respect de l'horizontalité du déversoir

### Matériel nécessaire à la réalisation

Équipement de maçon :

tamis , niveau , mètre , cordeau

petit matériel de chantier :

dames , seaux , pelles , pics , brouettes , fûts  
bois de coffrage : planches de 4m  $\approx$  15 m<sup>2</sup> , chevrons 8x8  $\approx$  15 ml

### Matériaux constitutifs et quantités

pour un ouvrage déversoir de 50m de longueur , de 50 cm d'épaisseur , de hauteur totale moyenne 1.80m :

- enrochements	: 50m <sup>3</sup>
- graviers	: 25m <sup>3</sup>
- sable	: 10m <sup>3</sup>
- briques	: 1400
- ciment	: 7t
- bois rouge	: 2,7m <sup>2</sup>
- IPN	: 9ml

### Coût estimatif

$\approx$  125.000 FCFA / 10ml de mur  
non comptée la participation villageoise

### References localisation

Pakour Maoundé (89) , Sambacounda (90) , Madina Jambéré (90) Département de VELINGARA  
MATE (88) , Diawara (89) Département de KAFFRINE

voir documents de projets :

- \* Aménagement du bas-fond rizicole de Pakour Maoundé \* Antoine VILLARD / AFVP / Janv90
- \* Micro-barrage de Madina Jambéré \* Xavier BOULENGER / AFVP / Déc 89
- \* Aménagement du bas-fond de Sambacounda \* Xavier BOULENGER / AFVP / Fev 90

## 2.2. - LES DIGUES FILTRANTES

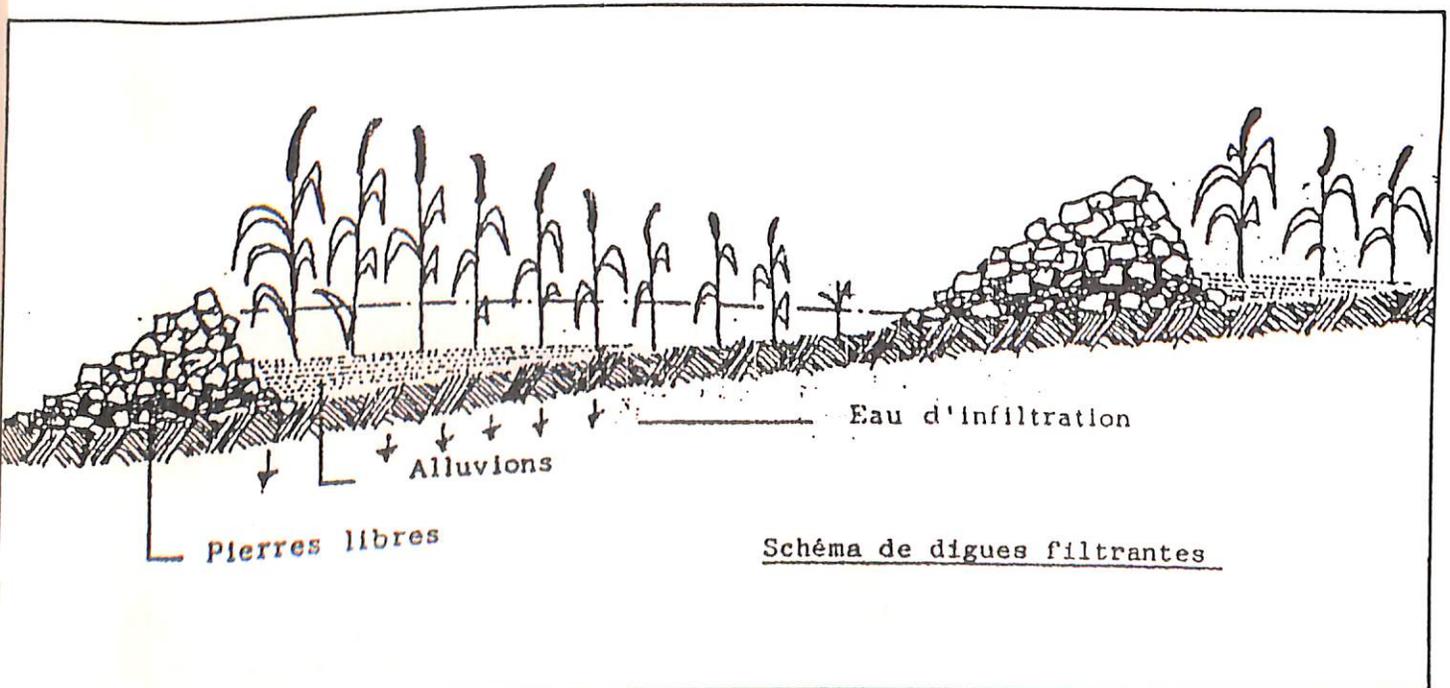
### 2.2.1. - Principe et fonctionnement

Les digues filtrantes sont constituées uniquement de blocs de latérite que le villageois rassemble en brousse. Ce sont des ouvrages rectilignes en pierres libres, construits en succession, perpendiculairement aux thalwegs, situés sur des passages d'eau intermittents.

Le principe de ces successions de digues filtrantes est basé sur le ralentissement des eaux de la pluie par filtration à travers les pierres, ce qui entraîne la formation d'une retenue d'eau s'étalant sur des grandes surfaces en amont des ouvrages.

La filtration et le ralentissement de l'eau apportent de nombreux effets bénéfiques :

- tout d'abord un dépôt d'alluvions et de matières organiques, qui permettent une fertilisation importante des sols.
- ensuite une inondation temporaire des cultures, qui entraîne une augmentation des rendements et dans certains cas la possibilité de cultiver du riz.
- enfin, une meilleure infiltration des eaux pluviales, qui permet une augmentation de la rétention en eau du sol et une réalimentation de la nappe phréatique.



## 2.2.2. - Caractéristiques techniques

### 2.2.2.1. - Dimensions de la digue

#### \* Hauteur :

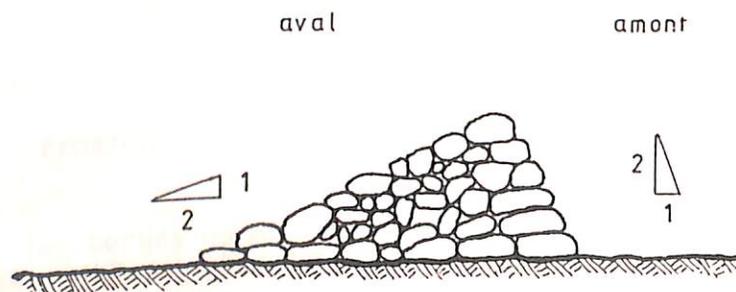
Elle varie selon les sites entre 0,5 m et 2 m

La digue filtrante ne doit en aucun cas traverser de grosses ravines (supérieures à 1 m de profondeur)

#### \* Forme :

- La digue filtrante doit être parfaitement horizontale, pour éviter tout passage préférentiel d'eau provoquant des ruptures. La crête de la digue sera matérialisée préalablement par une série de piquets dont la hauteur correspondra à celle de la digue. Ceci sera fait grâce au niveau à eau.

- La pente amont devant seulement permettre la stabilité des pierres, elle peut être de 2/1 (cf. figure). Par contre, la pente aval doit éviter que l'eau n'arrache des pierres et que l'épaisseur de filtration ne soit trop faible. Elle devra être au moins de 1/2 (cf. figure).



#### \* Longueur en crête

Les digues filtrantes sont des ouvrages à crête horizontale dont la longueur est fonction des pentes latérales du bas-fond et de la hauteur de la crête. On pourra estimer la longueur de la digue, en l'assimilant à un déversoir en pierres calculé pour assurer une lame déversante inférieure à 20 cm (avec l'hypothèse à terme que la digue est colmatée et que toute l'eau de crue déverse sur l'ouvrage). La longueur des digues variera en général de 50 m à 300 m.

### 2.2.2.2. - Ecartement entre les digues

Les digues filtrantes sont espacées les unes des autres de manière à inonder un maximum de terrain. Généralement, le pied de la digue amont est au même niveau que le sommet de la digue aval. L'espacement entre les digues est donc variable suivant la pente longitudinale du marigot et la hauteur des digues, il est habituellement compris entre 100 et 1.000 m.

L'écartement  $e$  entre digues pourra être calculée par la formule :

$$e = \frac{h \times 100}{P} \quad (m)$$

où  $h$  = hauteur maximale en crête de la digue aval (au niveau du thalweg)

$p$  = Pente longitudinale en %

### 2.2.2.3. - Construction

La zone de contact digue-fondation doit être correctement apprêtée :

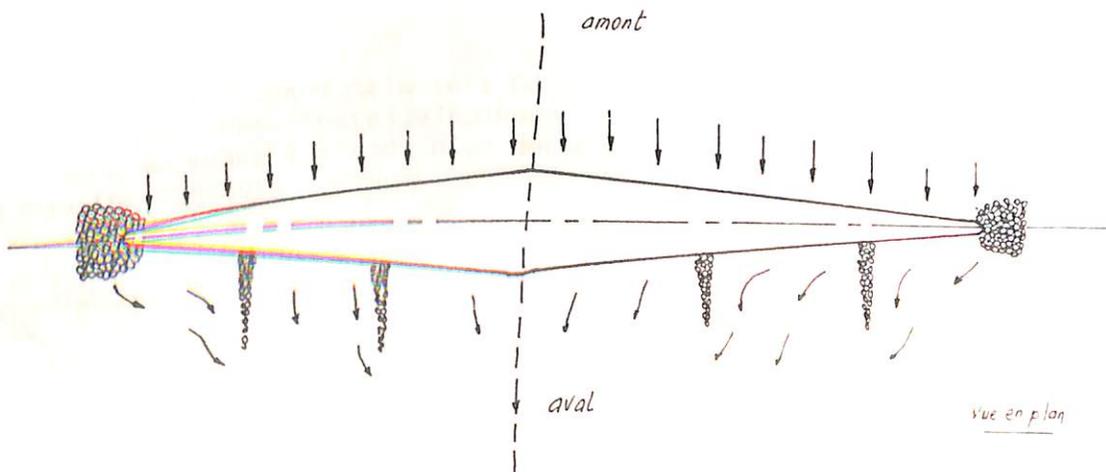
- décapage de la couche superficielle
- confection d'un tapis drainant en gravier dans le cas d'une assise très sableuse.

Les pierres sont ensuite rangées à la main, en posant les plus grosses sur la pente aval ou sur la crête ; les plus petites pierres seront placées dans le corps de la digue. On pourra choisir la taille des pierres en fonction du débit de filtration souhaité pour l'inondation des cultures (riz : petites pierres ; maïs, sorgho : pierres plus grosses).

### 2.2.3. - Protection éventuelle des digues

Ces protections viseront :

- à éviter l'érosion à l'aval de la digue grâce à des diquettes d'épandage
- à protéger les berges du marigot à l'extrémité des digues (érosion due au passage de l'eau) grâce à un empierrement sous forme de perré.



### III. - RETENTION D'EAU POUR L'ABREUVEMENT DU BETAIL

Les eaux de surface présentent une grande importance pour l'alimentation du bétail. Elles sont directement à sa disposition sans intervention de l'homme. C'est donc à l'origine la première des ressources utilisées et ce n'est que lorsque celle-ci vient à manquer que le bétail a recours aux eaux souterraines.

Deux caractéristiques en font toutefois une ressource peu sûre :

D'une part, les eaux de surface sont rarement pérennes et en tous cas leur abondance est très variable, d'autre part la qualité en est irrégulière et ce de plus en plus à mesure que l'on avance dans la saison sèche.

L'eau de ruissellement accumulée dans les creux naturels du terrain forme des mares, des étangs ou des lacs selon leurs dimensions.

Nous nous intéresserons dans ce chapitre aux mares, petites dépressions naturelles, nombreuses dans la région de Kolda mais dont la durée d'utilisation est courte.

#### 3.1. - ETUDES RELATIVES AUX MARES

##### 3.1.1. - Estimation du volume d'une mare

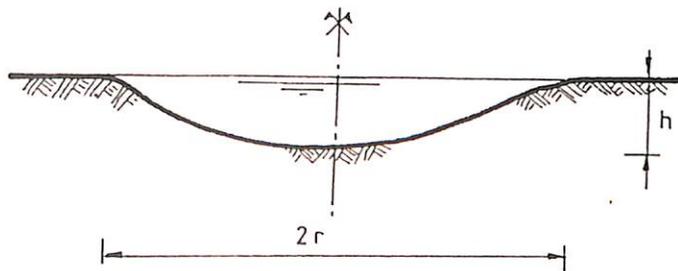
Il est important de pouvoir évaluer la capacité de stockage d'une dépression. La méthode décrite dans ce paragraphe pourra également s'appliquer aux cuvettes de retenue des barrages.

##### 3.1.1.1. - Estimation sommaire

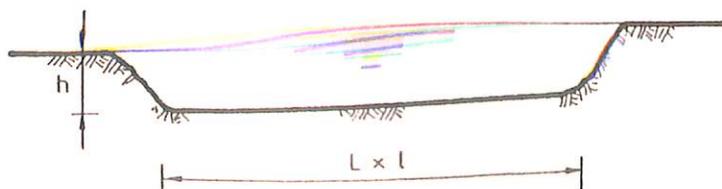
\* Pour des mares circulaires, de petites dimensions, le volume de remplissage,  $V_s$  sera calculé par la formule :

$$V_s = \frac{\pi h}{6} (3r^2 + h^2)$$

$r$  sera mesuré avec un décimètre,  $h$  sera mesurée au niveau à eau.



\* Dans d'autres cas, quand cela sera possible, on assimilera la mare à une forme géométrique donnée (parallélépipède le plus souvent) dont on évaluera les dimensions moyennes à l'aide d'un décimètre (longueur, largeur) et d'un niveau à eau (profondeur)



On aura donc ce cas :

$$V_s = L \times l \times h$$

### 3.1.1.2. - Estimation à partir des courbes de niveau

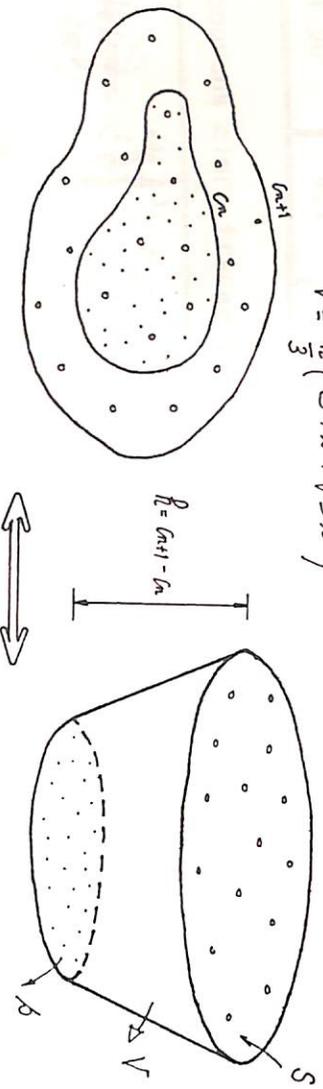
Le relevé topographique de la mare permettra d'estimer plus précisément sa capacité de stockage, à partir du plan en courbes de niveau.

- Principe :

On assimile chaque tranche d'eau, comprise entre 2 courbes de niveau successives, à un tronc de cône. Les surfaces supérieure et inférieure de la portion du cône correspondront aux superficies du plan d'eau pour les courbes de niveau considérées. Elles seront calculées par la méthode du calque quadrillé (cf p4 et 5).

La hauteur du tronc de cône correspondra à l'équidistance des courbes.

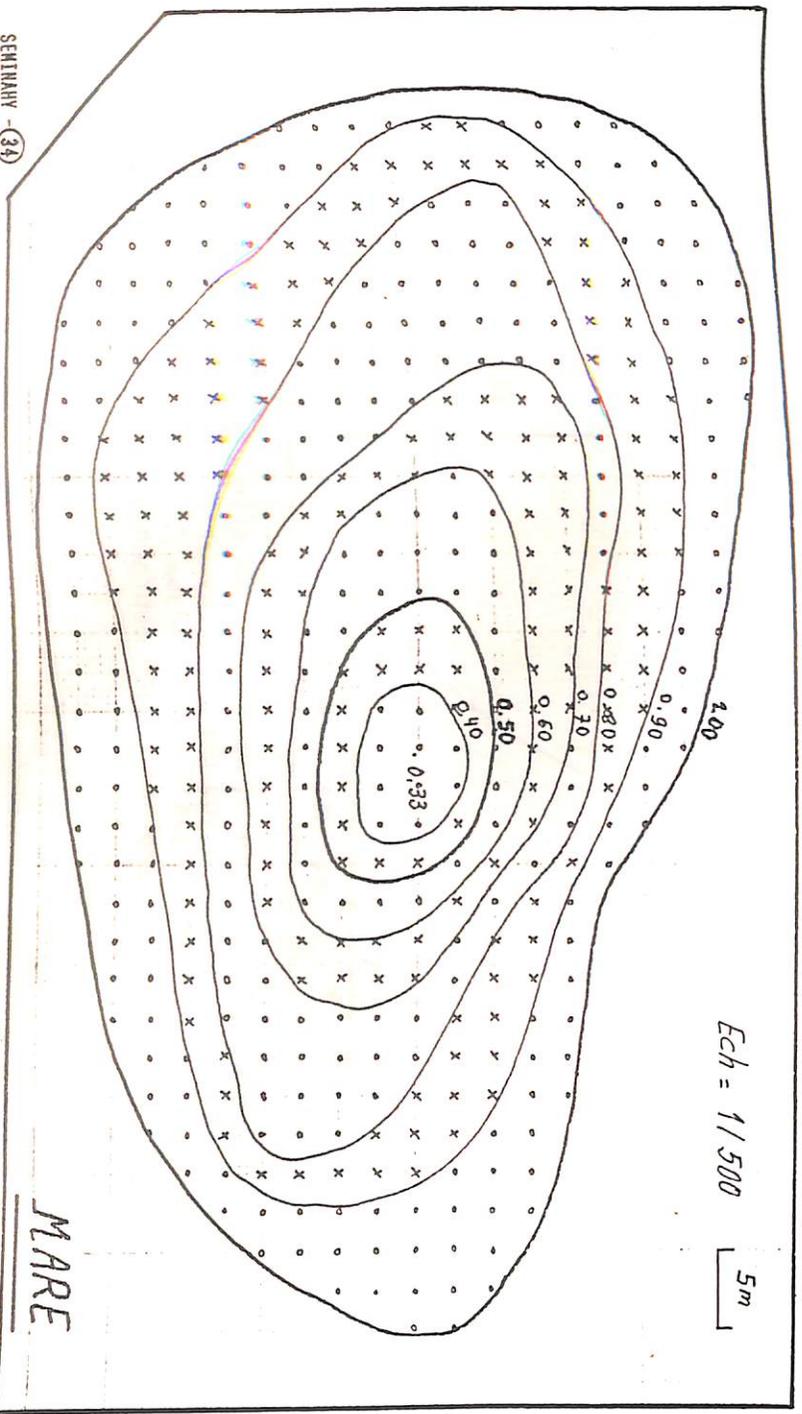
$$V = \frac{h}{3} (S + A + \sqrt{SA'})$$



On cumule ensuite les volumes calculés jusqu'à la côte maximale atteinte par l'eau. Il sera intéressant de tracer la courbe volume de la mare en fonction de la côte du plan d'eau.

### 3.1.1.3. - Exemple d'application

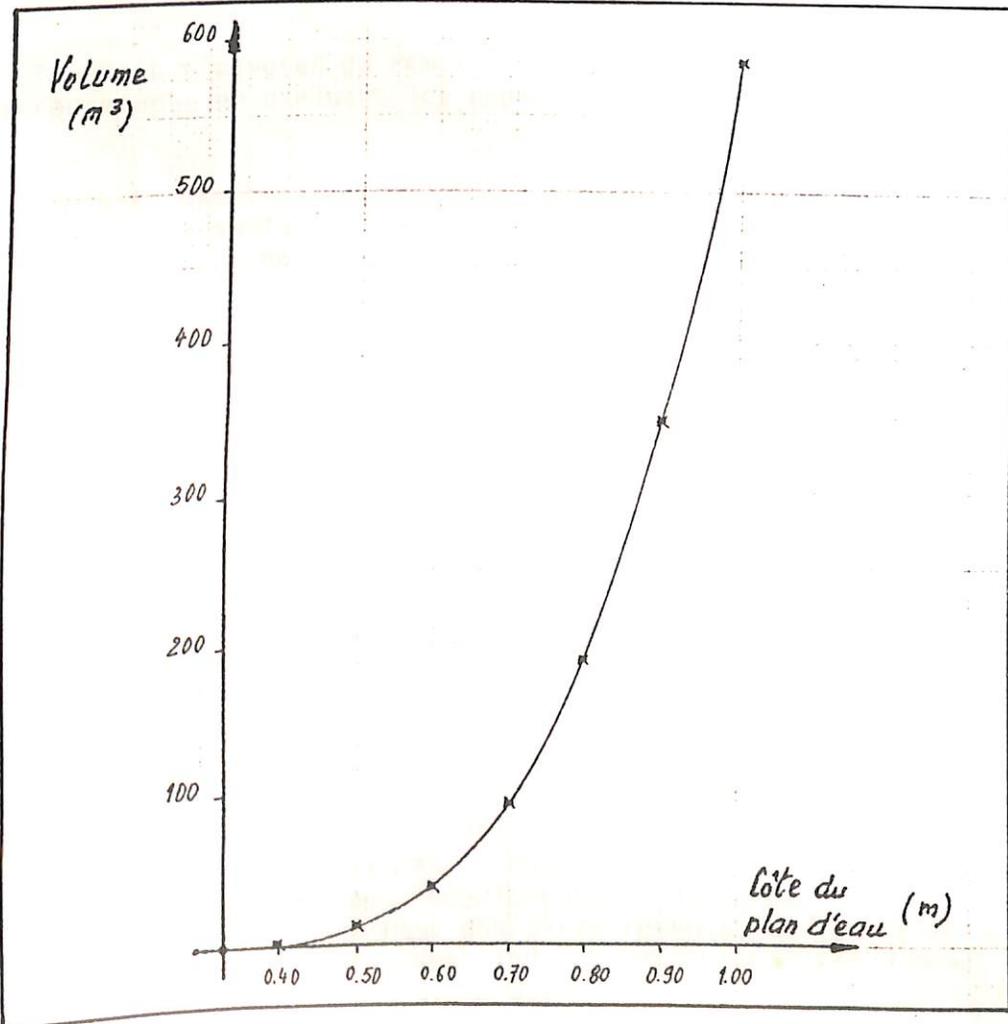
Soit le relevé topographique de notre mare d'étude.



Calculons les volumes

Côtes (m)	Surfaces		Volume unitaire ( m <sup>3</sup> )	Cumul volumes (m <sup>3</sup> )
	Points	S (m <sup>2</sup> )		
0,33	0	0	0	0
0,40	10	63	2	2
0,50	26	163	11	13
0,60	60	375	26	39
0,70	114	713	54	93
0,80	189	1238	96	189
0,90	312	1950	158	347
1,00	457	2856	239	586

Nous pouvons alors tracer la courbe :  $V_s = f(\text{côte})$



En plaçant une échelle de lecture au point bas de la mare, il sera possible de connaître le volume d'eau correspondant à la hauteur lue. On pourra en saison sèche suivre l'évolution de la mare et la comparer au schéma théorique obtenu par estimation des prélèvements et pertes.

### 3.1.2. - Nature de la cuvette

Des sondages à la tarière doivent être faits pour connaître l'épaisseur de la croûte imperméable et évaluer le coefficient de perméabilité du sol (cf p.18 et 19)

Cette étude est primordiale si l'on veut garantir l'étanchéité de la mare surcreusée.

L'étanchéification artificielle d'une mare est toujours une opération délicate et coûteuse.

### 3.1.3. - Apports en eau

Il faudrait s'assurer du remplissage de la mare dont on envisage le surcreusement, en évaluant les apports en eau.

Ceci n'est pas toujours possible, compte tenu de la difficulté d'apprécier la surface du bassin versant sur les cartes disponibles : les petites mares ne sont pas aisément localisables, et la faiblesse des pentes vers la cuvette ne permet pas une délimitation nette de la *ligne de crête* du bassin versant.

Toutefois si cela est possible, les apports en eau seront évalués par la formule  $A = K_r \times P_{an} \times S$

avec  $K_r$  = coefficient de ruissellement du BV (cf p 6)  
 $P_{an}$  = Précipitation moyenne annuelle (cf p 3), exprimée en m  
 $S$  = Superficie du BV, en  $m^2$

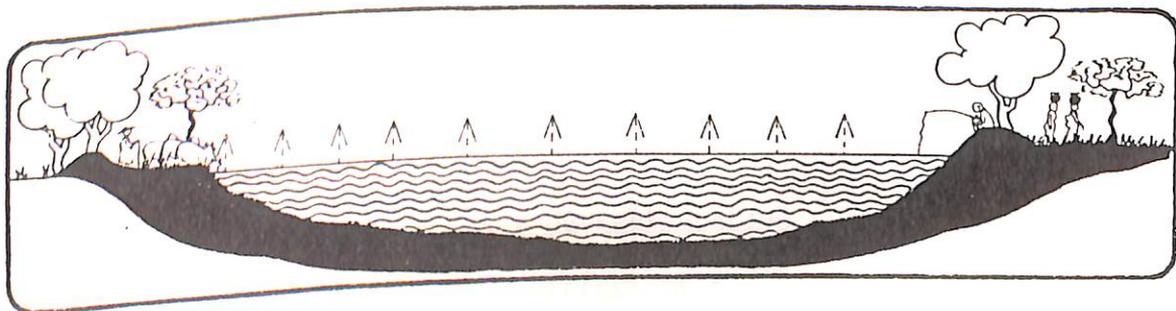
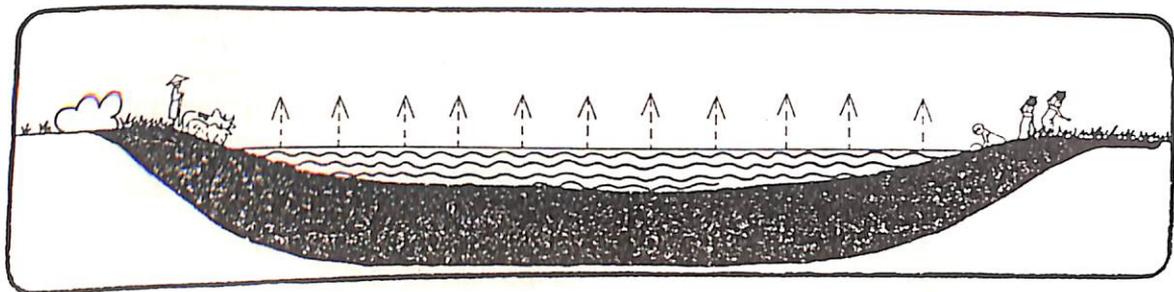
On vérifiera que ce volume A, exprimé en  $m^3$ , permet le remplissage de la *capacité envisagée*.

A défaut de pouvoir faire ce calcul, il faudra dans tous les cas n'intervenir que sur des mares déjà existantes (certitude d'une convergence naturelle des écoulements). Dans ce sens, l'examen préalable pendant l'hivernage des sites retenus, et les témoignages des paysans donneront des indications précieuses quant au fonctionnement hydrologique de la dépression considérée.

### 3.2. - RESTAURATION D'UNE MARE

Si l'on veut prolonger l'existence d'une mare, il faut agir sur plusieurs points :

- Augmenter le volume total d'eau stockée
- Diminuer la surface d'évaporation
- Réduire les causes d'évaporation
- Réduire l'infiltration dans le sol



### 3.2.1. - Dimensionnement de la mare

La mare est conçue pour satisfaire les besoins en eau du bétail durant une période donnée. Ces besoins seront évalués sur les bases suivantes :

Bovins : 30 L/tête/j  
Chevaux : 25 L/tête/j  
Moutons : 20 L/tête/j  
Cochons : 15 L/tête/j  
Volaille: 20 L/100 têtes/j

Ces besoins correspondent au volume utile de la mare.

Cependant, celle-ci aura une capacité supérieure à ce volume pour compenser les pertes qui sont constatées après l'implantation ;

ces pertes sont dues à :

- l'évaporation  $\approx 0,5$  cm/j pour la région
- l'infiltration de l'eau (cf test de perméabilité de l'eau P.19)
- le comblement de la retenue par les sédiments apportés par les eaux (fonction de l'érosion du BV)

#### Exemple de dimensionnement :

Quelle profondeur donner à une mare rectangulaire (25 x 80), pour qu'elle puisse abreuver durant 5 mois un troupeau de 400 bovins et 150 moutons ? (test de perméabilité :  $K = 3,5 \cdot 10^{-6}$  cm/s - érosion du BV négligé).

- Volume utile [(400 x 30) + (150 x 20)] x 5 x 30,5 = 2.287.500 l  $\approx$  2.288 m<sup>3</sup>

- Pertes :  $K = 3,5 \cdot 10^{-6}$  cm/s  $\approx 0,3$  cm/j  
=> Pertes = (0,005 + 0,003) x 25 x 80 x 5 x 30,5 = 2.440 m<sup>3</sup>

D'où le volume de la mare : 2.288 + 2.440 = 4.728 m<sup>3</sup>

Soit une profondeur :  $h = \frac{4.728}{25 \times 80} = 2,36$  m

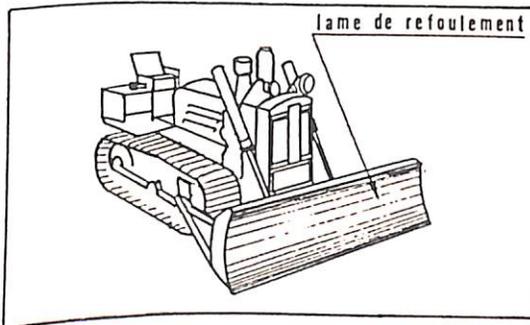
### 3.2.2. - Travaux de restauration

#### 3.2.2.1 - Surcreusement

Compte tenu des volumes à déblayer, il ne sera généralement pas possible d'exécuter les travaux de terrassement manuellement.

Ceci reste pourtant envisageable pour la réalisation de petites mares (<1.500 m<sup>3</sup>) pour peu que les villageois soient suffisamment décidés et bien organisés. On peut estimer à 1.250 j-h, la durée d'un chantier de terrassement d'une mare de 1.000 m<sup>3</sup> en sol compact xx(base : 0,8 m<sup>3</sup>/h/j ; outillage : pelles, pioches). Soient encore 10 semaines de travail (5 j/semaine) pour une équipe de 25 hommes motivés.

L'utilisation d'engins mécaniques de terrassement conduit souvent à donner une forme rectangulaire à la mare. L'engin le plus approprié est le bulldozer. Il permet le défrichage du site, le foisonnement du sol et son refoulement à courtes distances.

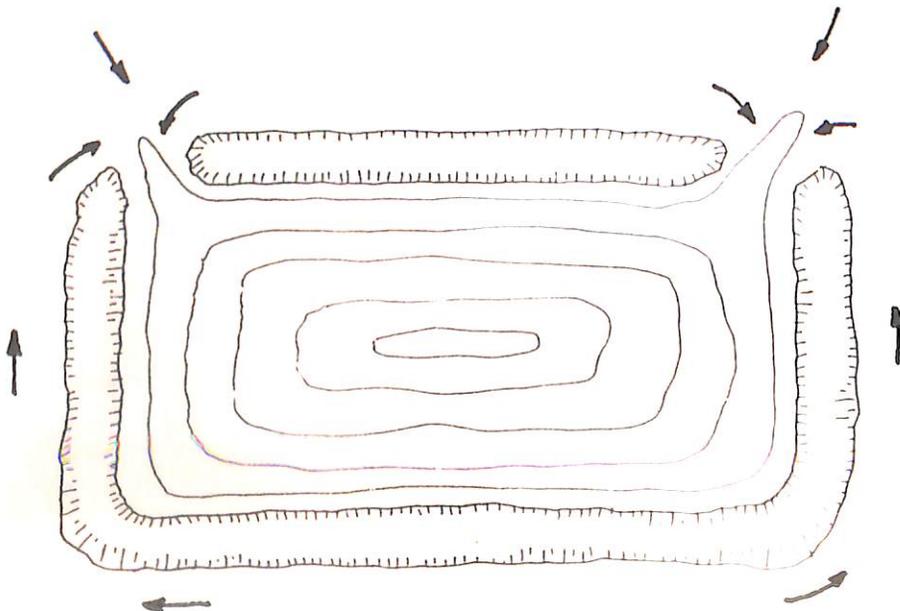


Il existe une large gamme d'engins avec des puissances variant de 40 à plus de 300 CV. Le bulldozer sur chenille est préférable au bulldozer à pneu très vulnérable aux souches. Il nécessite cependant un porte-char pour être transporté.

A titre indicatif, nous donnons ci-après le rendement du bull suivant sa puissance :

80 CV	=	60 m <sup>3</sup> /h	
120 CV	=	100 m <sup>3</sup> /h	(foisonnement et refoulement)
160 CV	=	150 m <sup>3</sup> /h	
235 CV	=	220 m <sup>3</sup> /h	

La terre refoulée permettra d'édifier une digue de ceinture (pente conseillée 1/2). On ménagera 2 entrées pour permettre l'arrivée de l'eau et le passage des animaux. Ces entrées seront placées aux débouchés des écoulements préférentiels (localisation par étude topographique ou grâce aux indications fournies par les paysans). Le bulldozer décapera en amont des 2 entrées et sur le pourtour extérieur de la mare afin de favoriser l'écoulement des eaux vers la dépression.

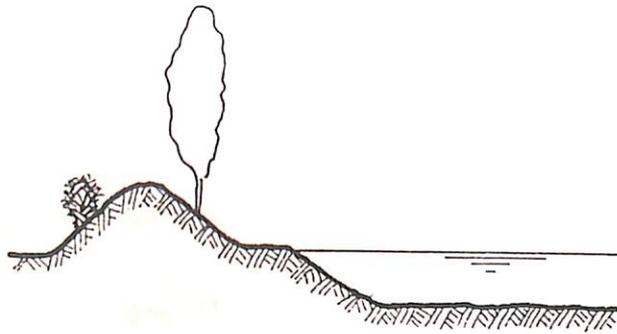


### 3.2.2.2. - Aménagements complémentaires

#### \* Digue de ceinture

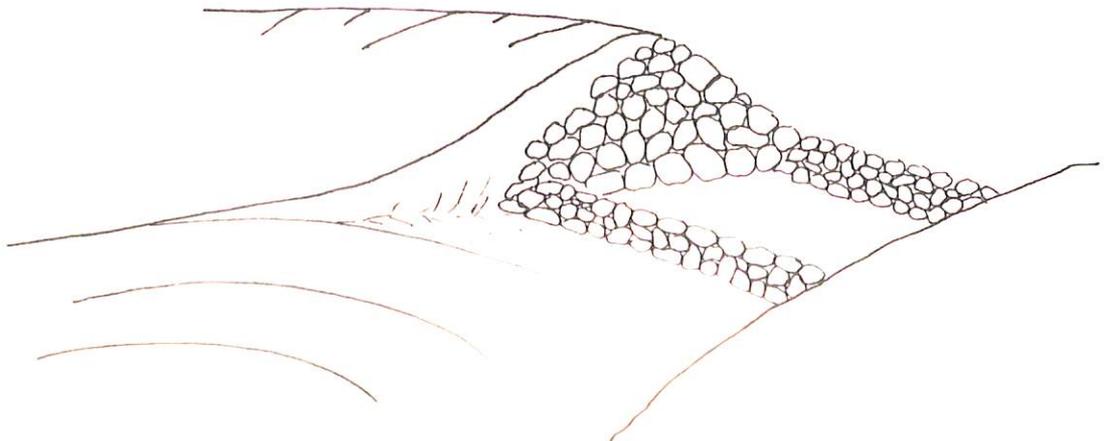
Des buissons épineux peuvent être plantés sur le flanc extérieur de la butte afin d'éviter le passage du bétail et de stabiliser le talus. Des arbres utiles seront plantés sur le flanc intérieur de la butte de façon à augmenter l'effet coupe-vent et créer de la fraîcheur au-dessus de l'eau. L'évaporation du plan d'eau sera ainsi diminuée.

Le rideau brise-vent pourra être constitué d'Eucalyptus, arbres hauts et à croissance rapide.



#### \* Canal d'entrée

On peut aménager les entrées de la mare en consolidant les berges par un empierrement. La première année de fonctionnement de la mare surcreusée, on ne cherchera pas à filtrer les dépôts solides charriés par les écoulements. Ils favoriseront le colmatage des éventuelles fissures du fond. Si l'étanchéité apparaît suffisante, on pourra alors envisager de mettre en place aux entrées, un dispositif de digues filtrantes destiné à calmer l'eau et à la décharger de ses alluvions. Ceci aura pour effet de limiter l'envasement de la mare et de préserver sa capacité de stockage initiale.



### \* Etanchéification artificielle

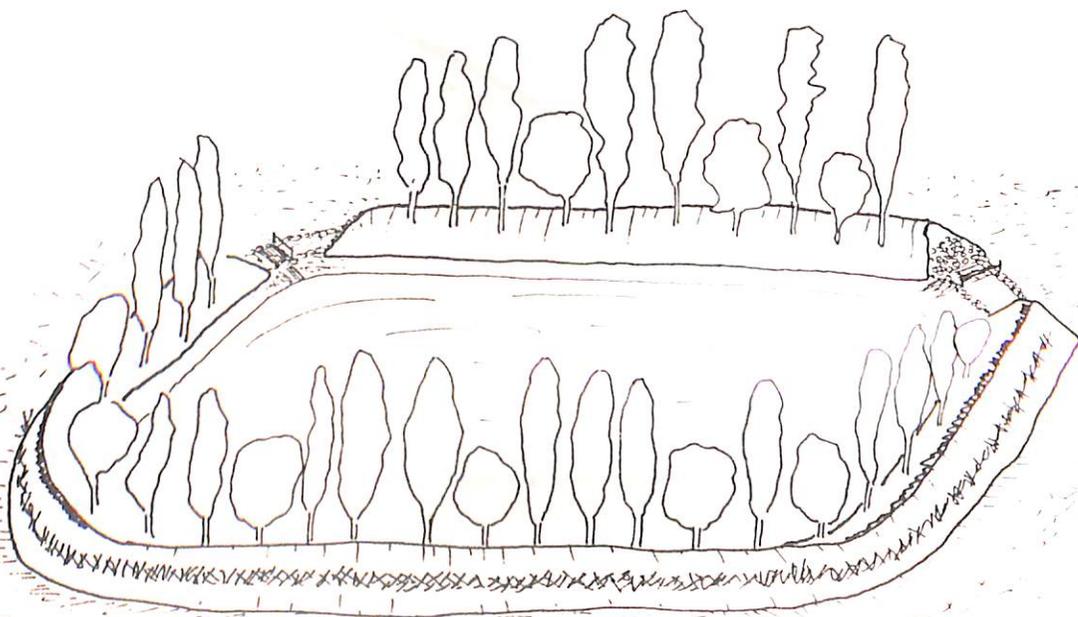
Si l'étanchéité de la mare n'est pas assurée après le premier hivernage, on pourra envisager de tapisser le fond en y apportant un remblai argileux. Une autre solution peut consister à répandre sur le plan d'eau une poudre (type COLMAGEL), à base de polymères qui permet l'obturation des fissures de fond. Ces procédés sont relativement coûteux ; d'où l'importance de s'assurer au préalable de l'imperméabilité du site.

### \* Abreuvement du bétail

Pour les mares aménagées, on conseille d'interdire l'accès des animaux dans la mare. L'abreuvement se fait alors par un puisard communiquant avec la mare par une conduite crépinée. Cette amélioration se justifie pour des raisons sanitaires et est indispensable lorsque la mare sert aussi à l'alimentation en eau potable des populations.

Pour les mares considérées ici, à destination uniquement pastorale, l'abreuvement se fera de façon traditionnelle, par l'accès du bétail dans la mare.

### 3.2.3. - Schéma d'ensemble d'une mare restaurée

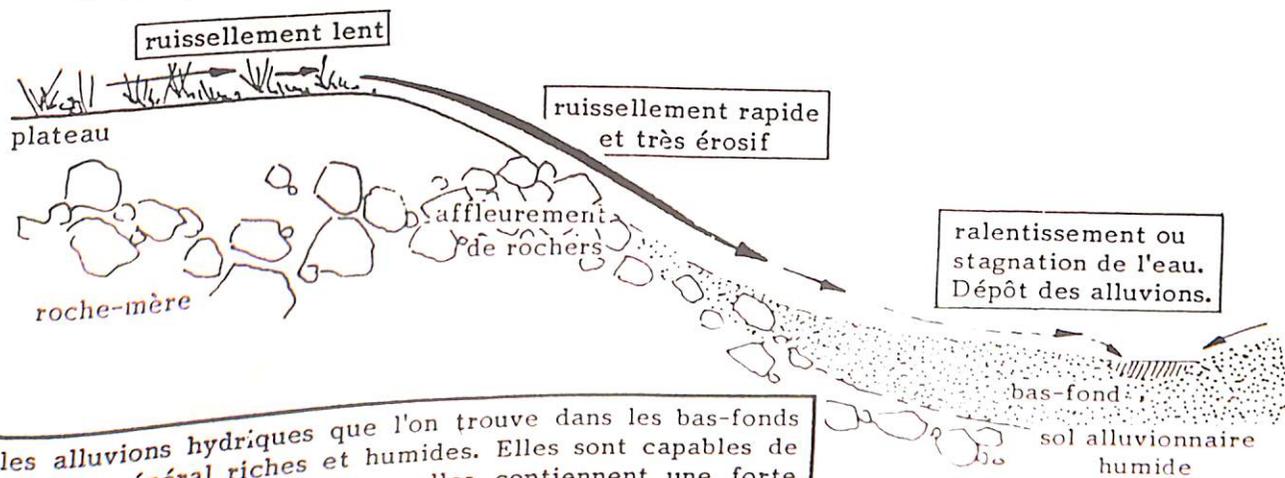


#### IV. - MAITRISE DE L'EAU CONTRE L'EROSION

##### 4.1. - MECANISMES DE L'EROSION HYDRIQUE

Les premières pluies de l'hivernage sont souvent très violentes. Des masses d'eau importantes tombent en quelques instants. Les gouttes frappent le sol de toute leur force, elles brisent les mottes et provoquent des éclaboussures qui retombent plus ou moins loin de l'endroit du choc. C'est ce qu'on appelle le splash. Les éclaboussures entraînent avec elles des grains de sable, de limon ou d'argile. Un léger mouvement de l'eau le long de la pente est suffisant pour les entraîner plus loin. Lorsque la pente augmente et que l'eau commence à se rassembler il se forme des rigoles. La vitesse de l'eau y augmente sensiblement. Celle-ci emporte des grains de plus en plus gros : c'est la naissance d'une ravine. Petit à petit, les rigoles se rejoignent et l'eau s'y écoule en abondance, à vitesse croissante. Elle arrache tout sur son passage : argile, limon, sable et cailloux. Ces matériaux seront déposés plus à l'aval, quand la vitesse de l'eau ralentira.

#### érosion par l'eau et dépôt d'alluvions hydriques



les alluvions hydriques que l'on trouve dans les bas-fonds sont en général riches et humides. Elles sont capables de retenir beaucoup d'eau, car elles contiennent une forte proportion d'argile.

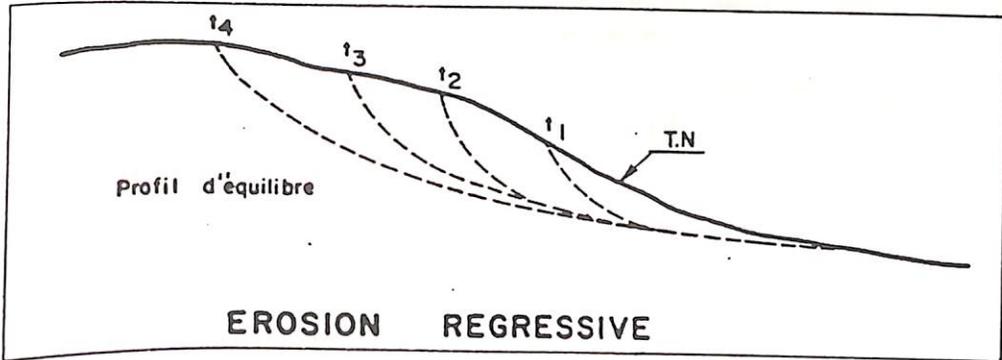
Pour préserver la terre, il faut briser l'énergie de l'eau par tous les moyens. Briser l'énergie de la pluie qui tombe brutalement sur le sol nu et briser l'énergie de l'eau qui s'écoule de plus en plus vite en nappe, puis en rigoles et en ravines.

Nous allons voir dans ce chapitre, quelques techniques pour lutter contre l'érosion hydrique.

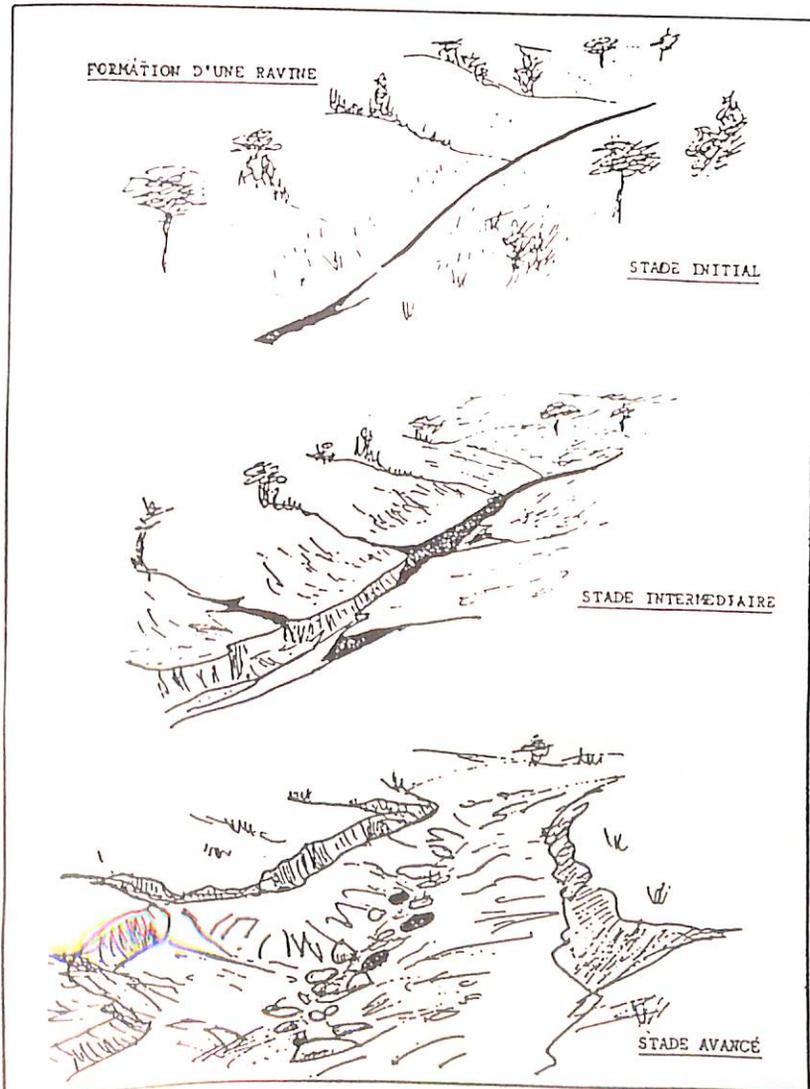
#### 4.2. - CORRECTION DE RAVINE

##### 4.2.1. - Principe de dégradation

Le principe de la dégradation d'un exutoire (passage dans lequel se concentrent les eaux de ruissellement) est appelé érosion régressive. Il peut être schématisé par la figure suivante.



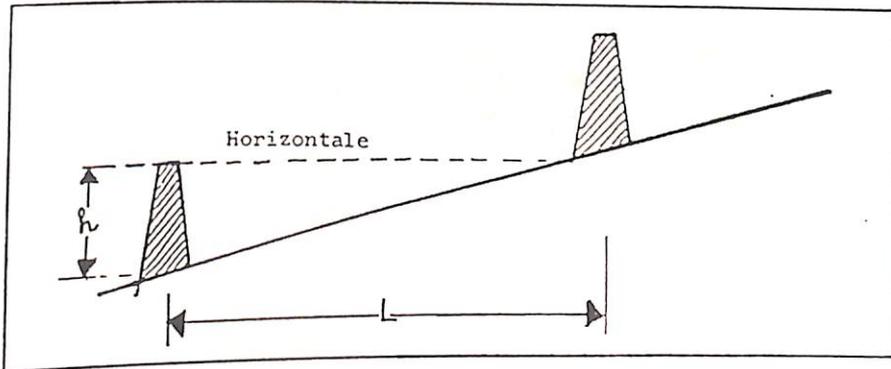
L'érosion régressive se propage de l'aval vers l'amont du BV ; ce processus tend à stabiliser le profil en long des écoulements vers un profil d'équilibre, c'est-à-dire une pente du lit pour laquelle il n'y a plus d'entraînement des matériaux du fond et donc pas de dégradation.



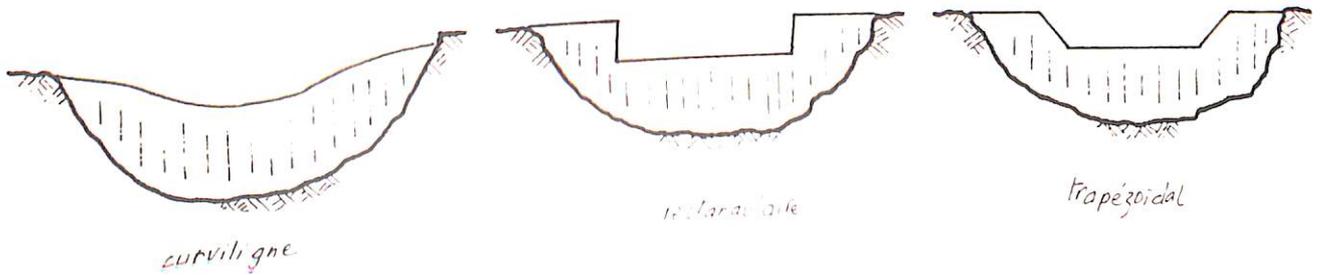
#### 4.2.2. - Aménagements des ravines

##### 4.2.2.1. - Les principes de l'aménagement

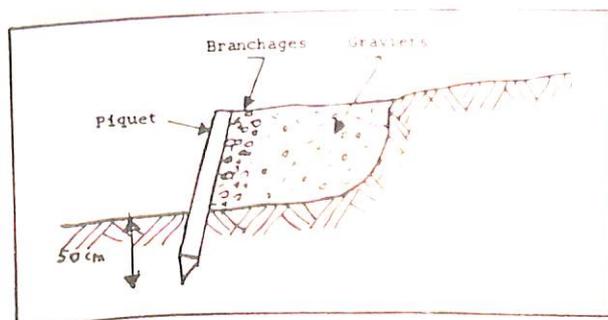
- On cherchera avant tout à réduire la vitesse de l'eau, en diminuant la pente et en créant des obstacles à l'écoulement (végétation, plantation, seuils artificiels). Les seuils seront implantés en série le long de l'exutoire, le sommet d'un seuil devant être au même niveau que la base du seuil qui le surplombe.



Les seuils doivent être perpendiculaires à l'axe de l'exutoire. La crête du seuil doit permettre une concentration des écoulements au centre de l'ouvrage dans l'axe de l'exutoire (profil curviligne, rectangulaire ou trapézoïdal).



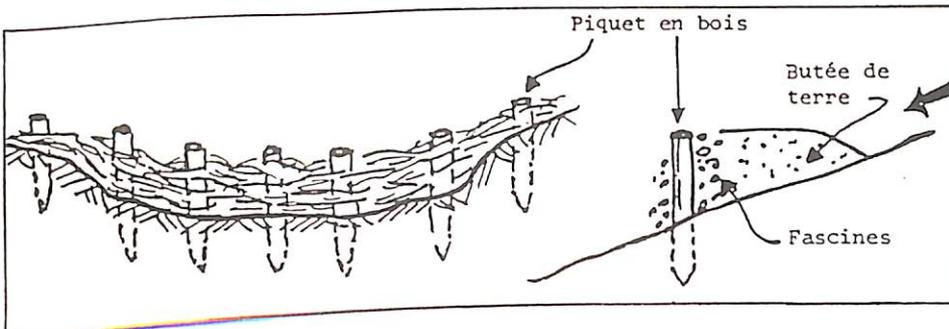
- On agira également au niveau de la tête de la ravine, afin d'arrêter le processus de l'érosion progressive en bloquant la progression du creusement de la ravine vers l'amont. Ceci se fera en comblant les têtes de ravines avec des matériaux non défilables dans l'eau et ne pouvant être entraînés (branchages, terre cuite, pierres...).



#### 4.2.2.2. - Exemples de seuils

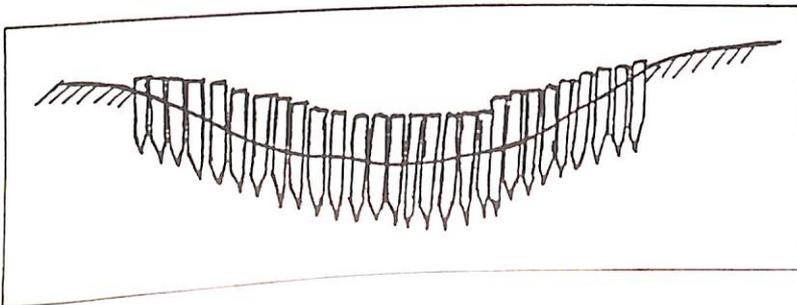
Les techniques décrites ci-après sont classées par ordre croissant de résistance et s'appliquent donc à des ravines de plus en plus grosses.

Fascines : enchevêtrement de branchages retenus par des piquets de bois



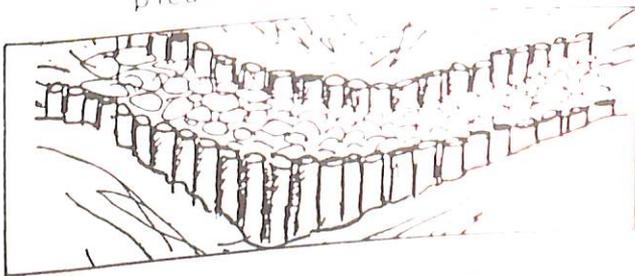
Piquets :  $\varnothing$  5 à 10 cm  
 Longueur  $\approx$  1,10 m  
 Fichage : 60 cm  
 Espacement : 50 cm

Pieux jointifs : assemblage de pieux fichés dans le sol côte à côte.



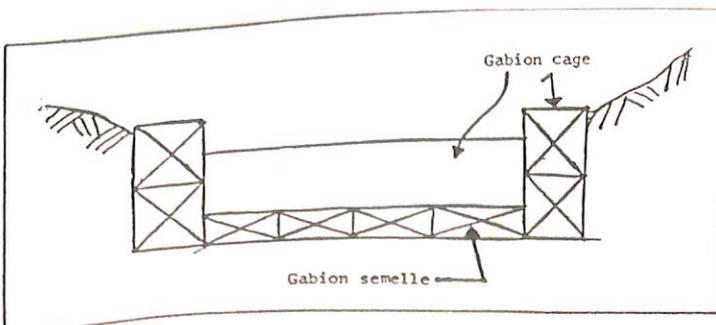
Pieux :  $\varnothing$  10 à 15 cm  
 Longueur : 1,20 à 1,50 m

Pieux de remplissage : remplissage de pierres entre 2 rangées de pieux jointifs



Espacement des pieux : 60 cm

Gabions : cages métalliques remplies de pierres



Dimensions : 1 x 1 x 4 m  
 0,5 x 1 x 4 m  
 Matériau par excellence pour  
 les ouvrages anti-érosifs  
 (résistance + souplesse...)

#### 4.3. - AUTRES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES EAUX ET DU SOL

##### 4.3.1. - Diguettes isohypses

###### 4.3.1.1. - Description - Intérêt

\* Une digue anti-érosive est une levée de terre damée ou une ligne de pierres dressées ou entassées (certains la désignent alors cordon pierreux). Cette diguette suit une courbe de niveau et son implantation se fait au niveau à eau.

Le sommet de la diguette doit être plan, pour éviter de créer des points bas qui concentrent les eaux de ruissellement.

La diguette en terre damée crée un obstacle imperméable ; celle en pierres laisse passer l'eau.

\* En dehors de leur action de conservation et de restauration des sols, ces dispositifs permettent de prolonger la durée de l'activité de production sur le terroir villageois et de l'intensifier avec un investissement monétaire quasiment nul.

L'amélioration des conditions hydriques au niveau de la parcelle se manifeste tout au long de l'hivernage ; au mois d'Octobre, le sol reste imbibé et la maturation des cultures est mieux assurée. La présence des diguettes peut être un atout pour la reforestation.

###### 4.3.1.2. - Caractéristiques techniques

- La longueur de la diguette dépendra de la surface à traiter, mais n'excédera pas 300 m (risques d'erreur dans le levé des courbes de niveau). On s'arrêtera aux limites d'un champ, au passage d'un chemin...

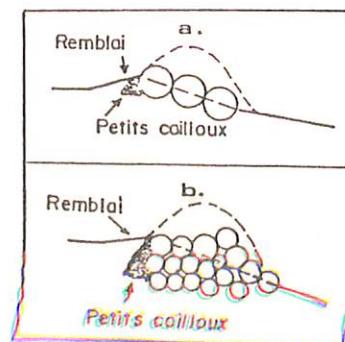
- La diguette sera faite en terre (10 à 40 cm)

- Les courbes de niveau seront indiquées par la hauteur de la diguette sachant que le sommet d'une diguette doit se trouver à la même hauteur que la base de la diguette précédente.  
La hauteur de la diguette sera indiquée à l'équidistance des courbes de niveau choisies.

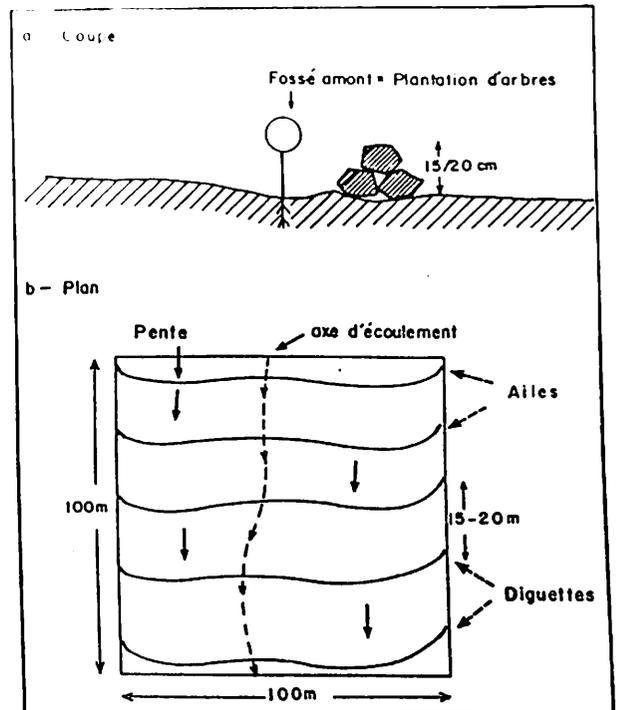
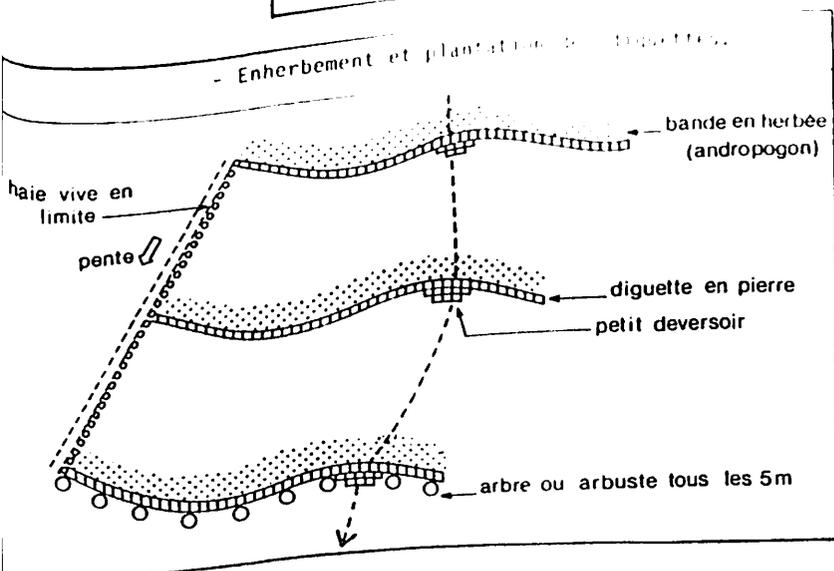
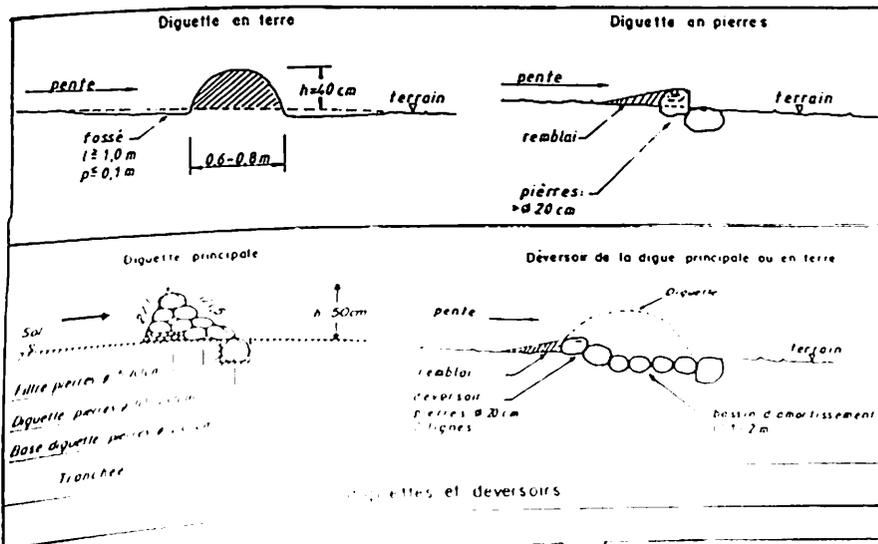
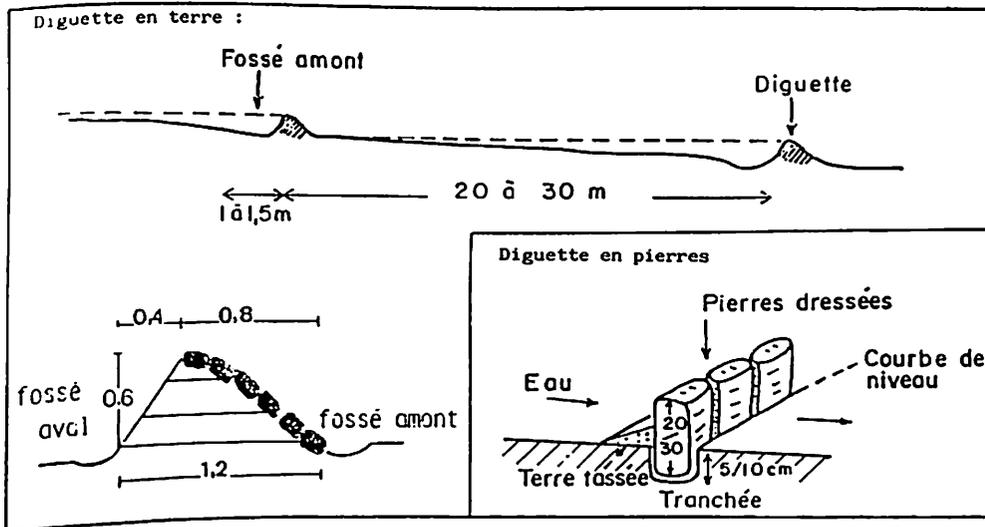
- Elle possède à l'amont ou à l'aval une fosse peu profonde qui a fourni la terre pour le bourrelet ou pour tasser le bas des pierres de la diguette.

- La diguette a des ailes d'au moins 2 m pour protéger ses extrémités des débordements.

- La diguette possède un déversoir en pierres, dont la fonction est d'évacuer les eaux de ruissellement excédentaires.



### 4.1.1.3. - Exemples d'aménagements

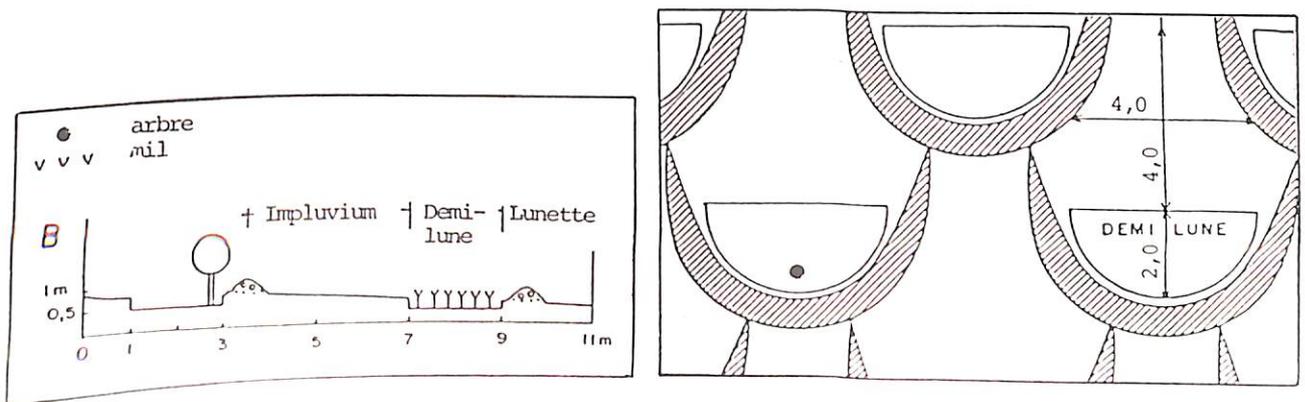


#### 4.3.2. - Demi-lunes

##### 4.3.2.1. - Description-principe

Sur une pente, un trou est creusé et ceinturé avec ses déblais disposés en arc de cercle ouvert à l'amont ; le creux récolte l'eau piégée par les bras de la demi-lune ; l'amont du creux sert d'impluvium, le creux est semé ou planté. Ces demi-lunes sont alignées sur les courbes de niveau et en quinconce vers l'aval.

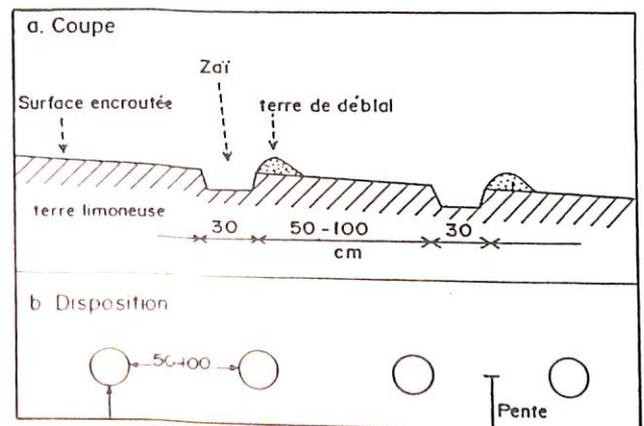
La demi-lune est une technique d'irrigation complémentaire d'hivernage ; elle est souvent réalisée sur des terres dégradées, indurées ou pierreuses.



##### 4.3.2.2. Variantes

- Demi-lune faite d'un simple cordon de pierres sur pente faible.
- Demi-lune en V en écaille de poisson : une tranchée en V, pointe à l'aval, est creusée à l'intérieur de l'arc de la demi-lune ; elle crée une zone d'infiltration préférentielle.
- Les poches d'eau (ou zaï) : trous de 10 à 20 cm de diamètre, sur 5 à 15 cm, distants de 0,5 à 1 m.

Le trou creusé en saison sèche reçoit du fumier qui est recouvert d'une mince couche de terre en attendant la pluie. Dès que les zaï ont reçu assez d'eau, ils sont ensemencés en mil ou en sorgho.



B I B L I O G R A P H I E

LA MAITRISE DES CRUES DANS LES BAS-FONDS  
Cossier n°12 - Le point sur - GRET

EAUX ET TERRES EN FUITE  
EMDA - L'harmattan

HYDRAULIQUE PASTORALE  
Le guide de l'hydraulicien en Afrique - Min. Coop. Française

LE SABLE EN AFRIQUE - LUTTE CONTRE LA DESERTIFICATION  
GIZ

CORRECTION DE LA TERRE  
aide memoire - fascicule n°4 - BIT

PETITS BARRAGES EN TERRE  
aide memoire - fascicule n°5 - BIT

PRINCIPES DIRECTEURS POUR L'EMPLOI DE LA TERRE CRUE  
BIT

LES DIGUES FILTRANTES  
CIEH

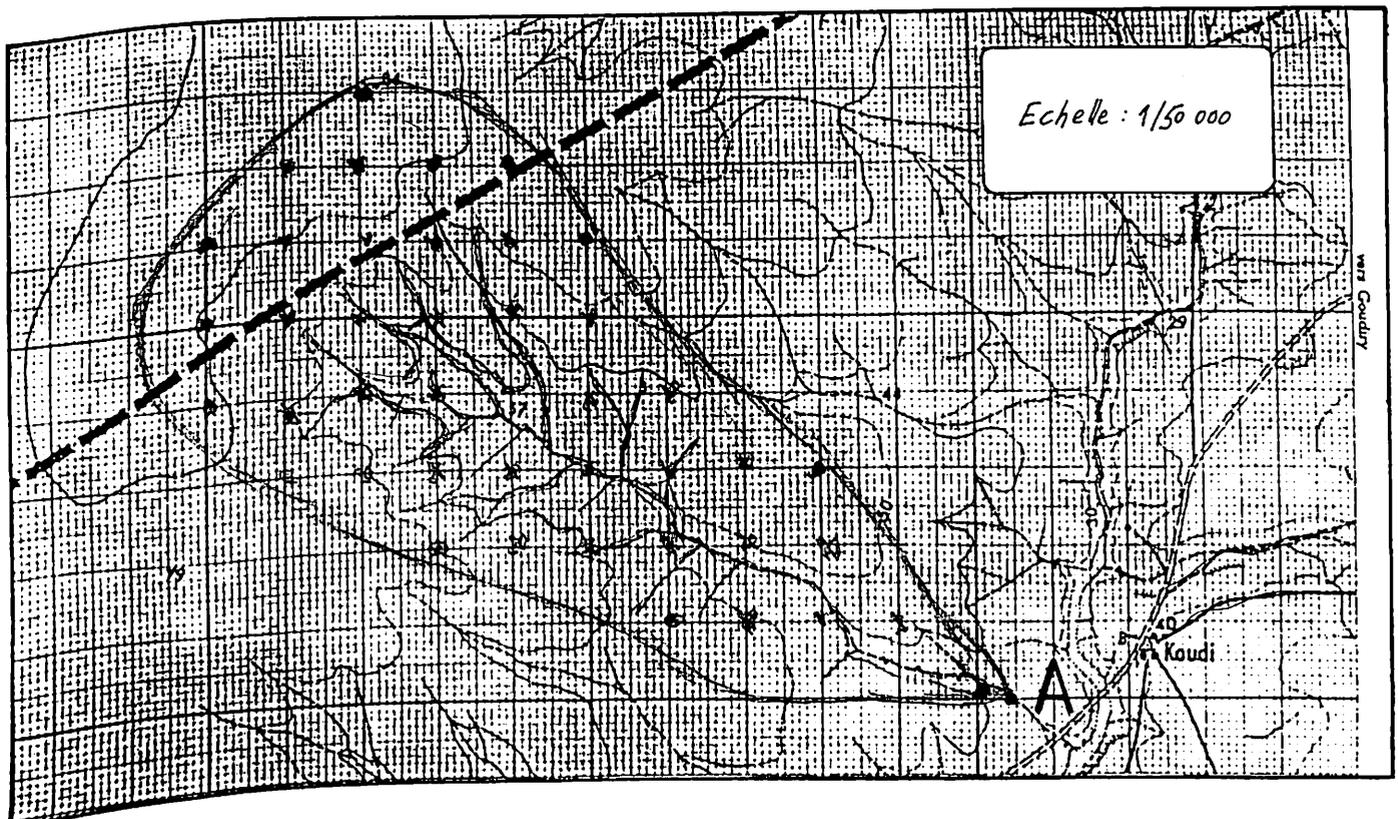
# A N N E X E

# 2

## EXERCICE 1

Délimiter le Bassin Versant correspondant au point A  
Calculer la surface de ce Bassin Versant.

*di = 200.000  
2.440.000 = 11.000  
= 1.100*

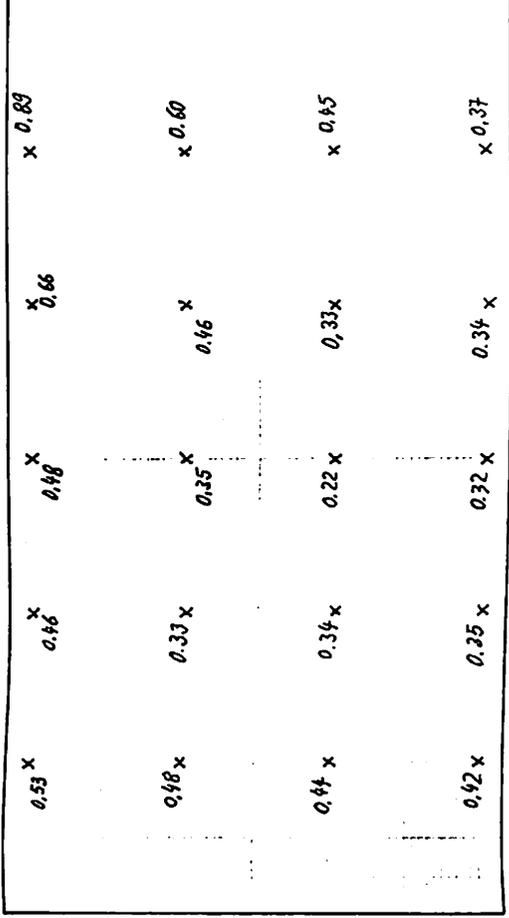


## EXERCICE 2

Calculer le débit décennal relatif au Bassin Versant de l'exercice 1,  
sachant que ce BV est classé R.P4. et que  $H_0 = 130 \text{ mm}$ .

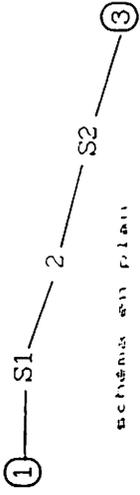
### E X E R C I C E 3

Tracer les courbes de niveau correspondant au maillage suivant :



### E X E R C I C E 4

- Tracer le profil en long 1-3 à partir des mesures topographiques données ci-après ( lectures faites au niveau de chantier ) :



217	158	228	188
195	135	211	164
173	112	194	140
1/S1	2/S1	2/S2	3/S2
		171	
		S2	

	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		3
	1		

**EXERCICE 5**

On effectue à la tarière un trou de diamètre 10cm et de profondeur 1.30m  
On remplit le trou d'eau et on mesure la hauteur d'eau : 1.07m  
Après 2 heures , on mesure à nouveau la hauteur d'eau : 0.89m  
Quelle est la perméabilité du sol ?

**EXERCICE 6**

Estimer le volume de la retenue suivante :

