

TRAITEMENT DE POTABILISATION DES EAUX DE SURFACE

FILTRATION



HISTORIQUE DE LA FILTRATION

Les premiers écrits mentionnent la filtration 4000 ans avant J.C. en Inde (sable - gravier, charbon de bois).

1000 ans avant J.C. en Chine, on avait coutume d'ajouter du sable fin au fond des sources.

Jusqu'au 19ème siècle, la filtration n'avait comme objectif que d'améliorer l'aspect esthétique de l'eau.

Ensuite, on a montré que la filtration pouvait jouer un rôle sur la microbiologie : filtration lente.

Ensuite sont apparus les traitements combinés : physico-chimiques (1920).

Puis sont apparues les filtrations à effet biologique (1960).

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux.

Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent en surface et dans la masse filtrante.

Il faut donc nettoyer ce milieu de façon régulière.

Un filtre aura donc des cycles de filtration d'autant plus longs que les traitements préalables auront été efficaces.

UTILISATION DE LA FILTRATION

- Clarification après traitement de coagulation – floculation – séparation
- Déferrisation – démanganisation
- Décarbonatation
- Nitrification – dénitrification
- Pour l'adsorption de composés organiques ou minéraux (charbon actif – alumine activée)

Depuis quelques années sont apparus des traitements biologiques sur support :

- nitrification
- dénitrification
- biofloculation
- déferrisation
- démanganisation
- filtration aérée

AUTRES UTILISATIONS DE LA FILTRATION

Filtration sur un matériau qui réagit avec l'eau et se dissout dans l'eau.

- Marbre
- Carbonate de calcium
- Carbonate de calcium – magnésium (dolomie)
- Carbonate de calcium – oxyde de magnésium (magno)

Ces filtres sont utilisés pour la reminéralisation des eaux.

TYPES DE FILTRES

On peut classer les filtres suivant différents critères :

- Type de milieu poreux utilisé
- Mode de fonctionnement hydraulique
- Vitesse de filtration
- Mode de rétention
- Type de prétraitement de l'eau
- Suivant son homogénéité, sa taille, sa répartition dans le filtre

TYPES DE MILIEUX POREUX UTILISES

– Sable	}	Epaisseur
– Gravier		0,5 à 2 m
– Antracite		
– Terre de diatomée	} 5 à 10 cm	
– Membranes	}	0,1 à 1 mm

- Filtres monocouches
- Filtres bicouches
- Filtres multicouches

Pour les membranes suivant le pouvoir de coupure

- Hyperfiltration – Osmose inverse
- Nanofiltration
- Ultrafiltration
- Microfiltration

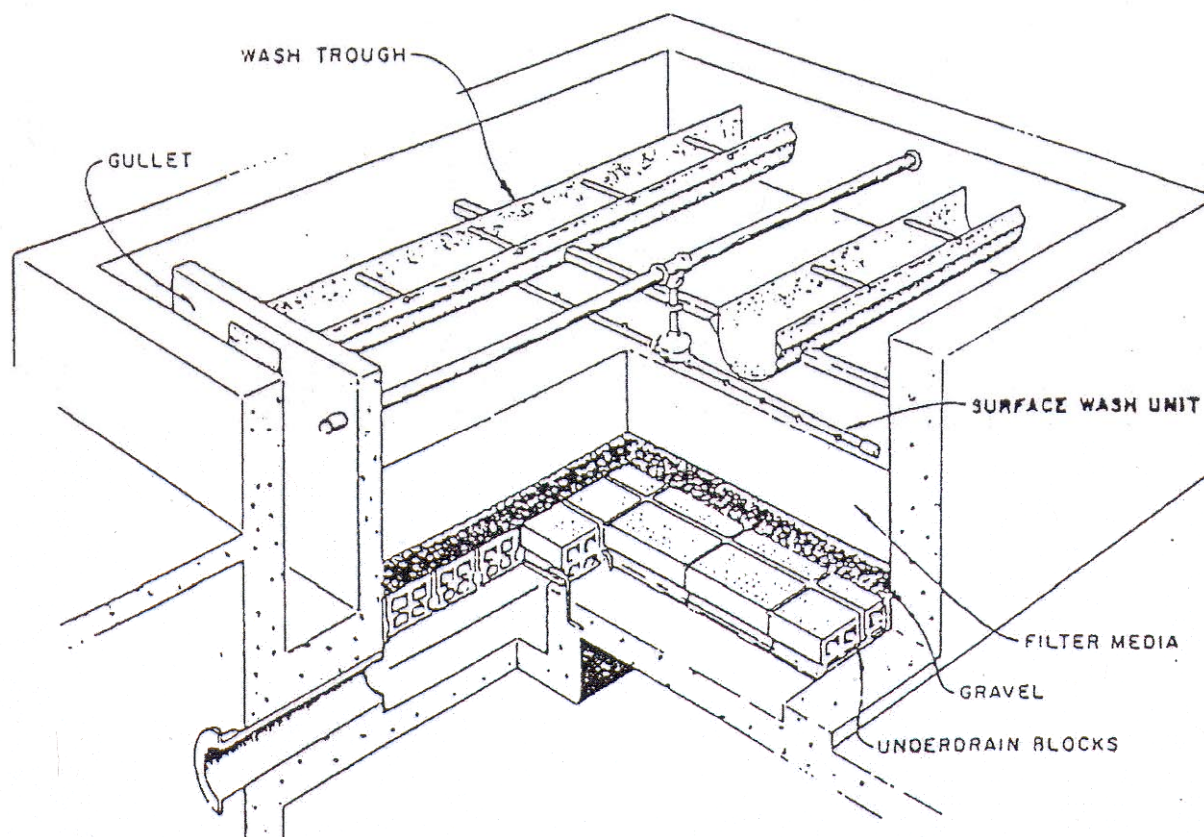
MODE DE FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE

- Filtres gravitaires
- Filtres en pression
- Filtres en mode ascendant
- Filtres en mode descendant
- Filtres horizontaux

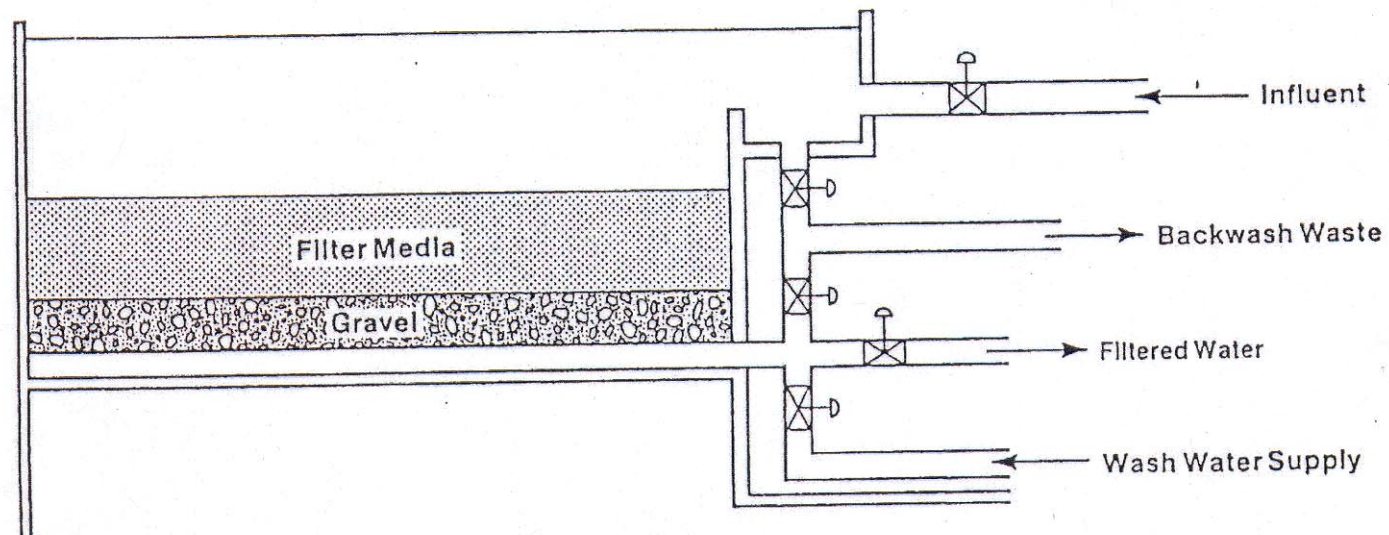
En général, les filtres gravitaires sont plutôt utilisés pour les grandes installations, permettent une bonne observation de l'eau.

Les filtres sous pression sont plutôt utilisés pour des petites installations, ils permettent des pertes de charge importantes.

FILTRE GRAVITAIRE TYPE

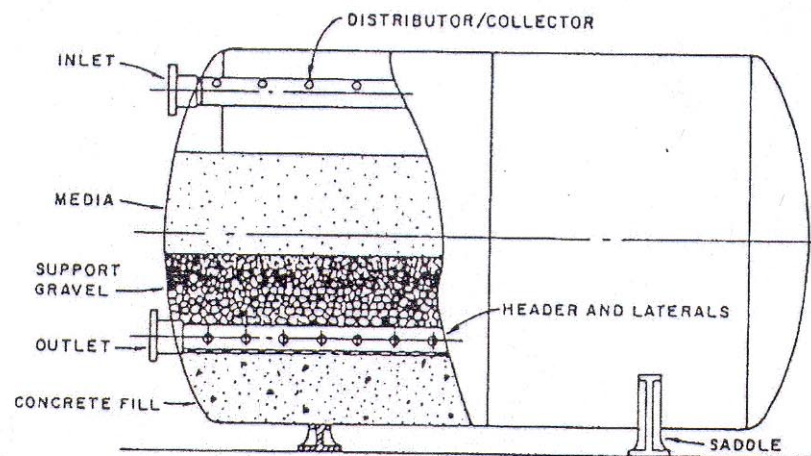
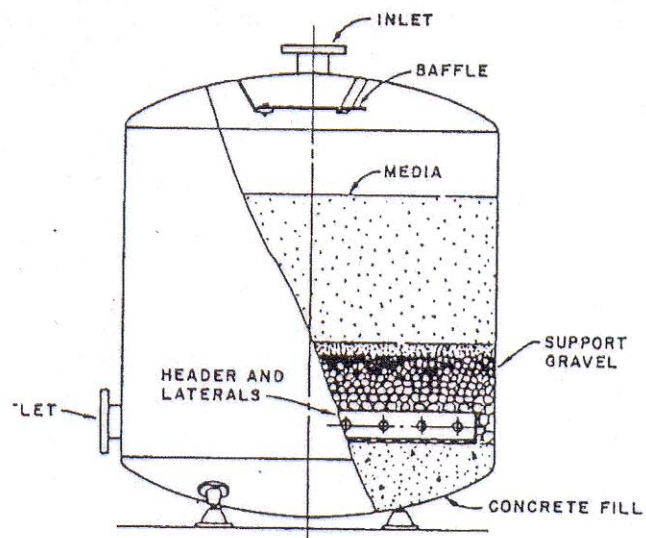


FILTRE GRAVITAIRE RAPIDE

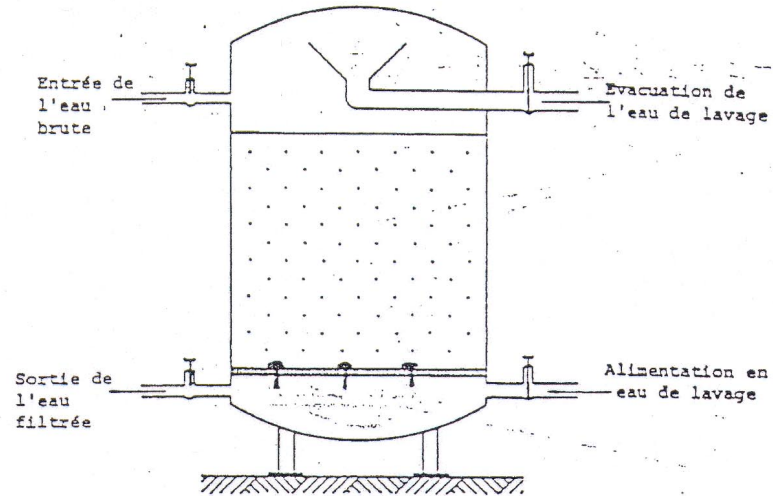


FILTRE SOUS PRESSION

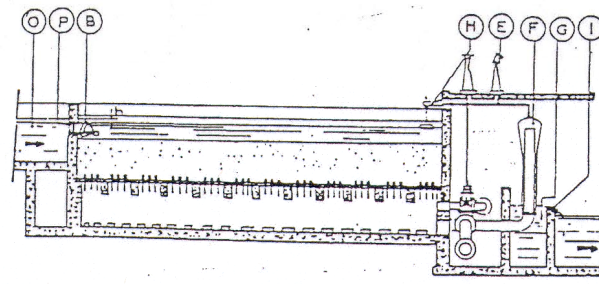
- A. Filtre horizontal
- B. Filtre vertical



CONCEPTION DES FILTRES



FILTRE FERME



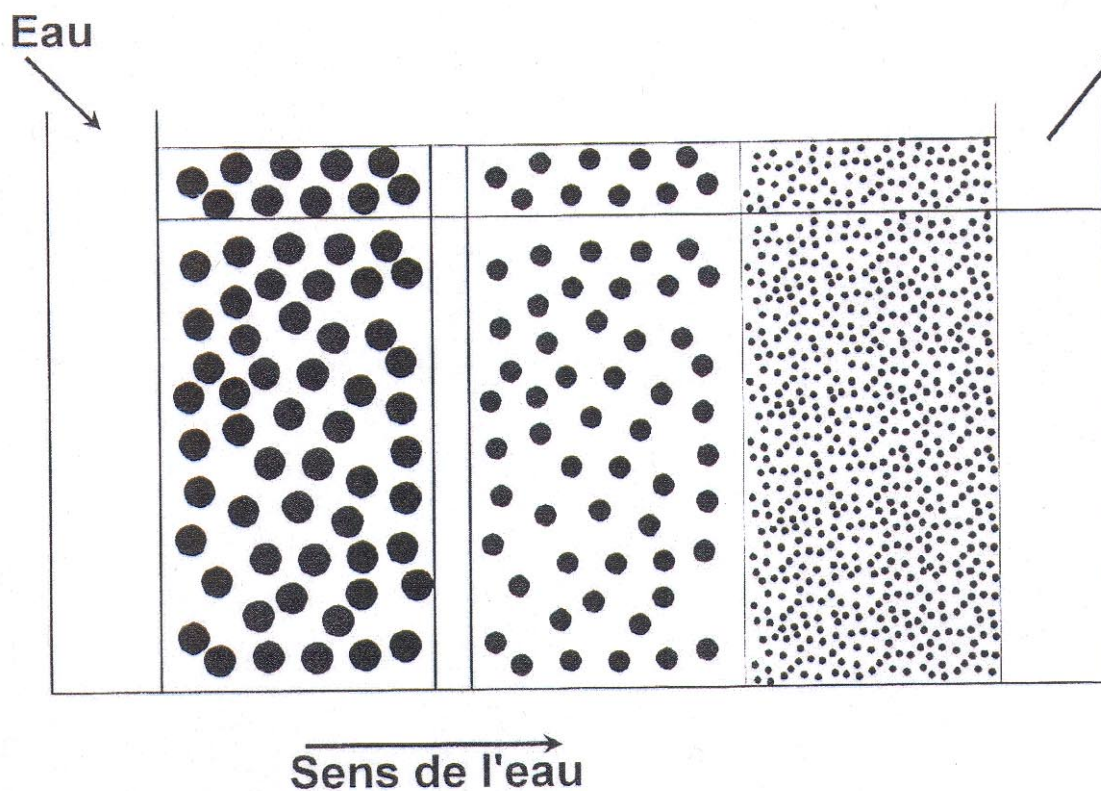
FILTRE OUVERT

REGULATION PAR L'AMONT

- B - Clapet d'entrée d'eau
- E - Indicateur de colmatage
- F - Siphon concentrique
- G - Vase de restitution

- H - Bolte de partialisation
- I - Déversoir de sortie d'eau filtrée
- O - Goutte d'eau décanée
- P - Orifice calibré

FILTRATION HORIZONTALE



VITESSE DE FILTRATION

- Filtres rapides (2 à 20 m/h)

- Filtres lents (0,5 à 15 m/j)

On peut coupler des caractéristiques

- Filtres rapides à sable

- Filtre lents à sable

SUIVANT LE TYPE DE PRETRAITEMENT DE L'EAU

- Filtration directe
- Filtration rapide
- Coagulation sur filtre (en surface)
- Coagulation de contact (en profondeur)

MODE DE RETENTION

- Filtres en profondeur (depth filtration)

- Filtres en surface (cake filtration)

MATERIAUX UTILISES POUR LE TRAITEMENT DES EAUX

- Sables
 - Silice
 - Quartz
- Gravier
- Argiles
- Argiles cuites
- Anthracite
- Charbon actif
- Ilménite
- Grenat
- Pierre ponce
- Pouzzolane
- Billes de polystyrène
- Billes de PE-PVC

DIAMETRE EFFECTIF COEFFICIENT D'UNIFORMITE

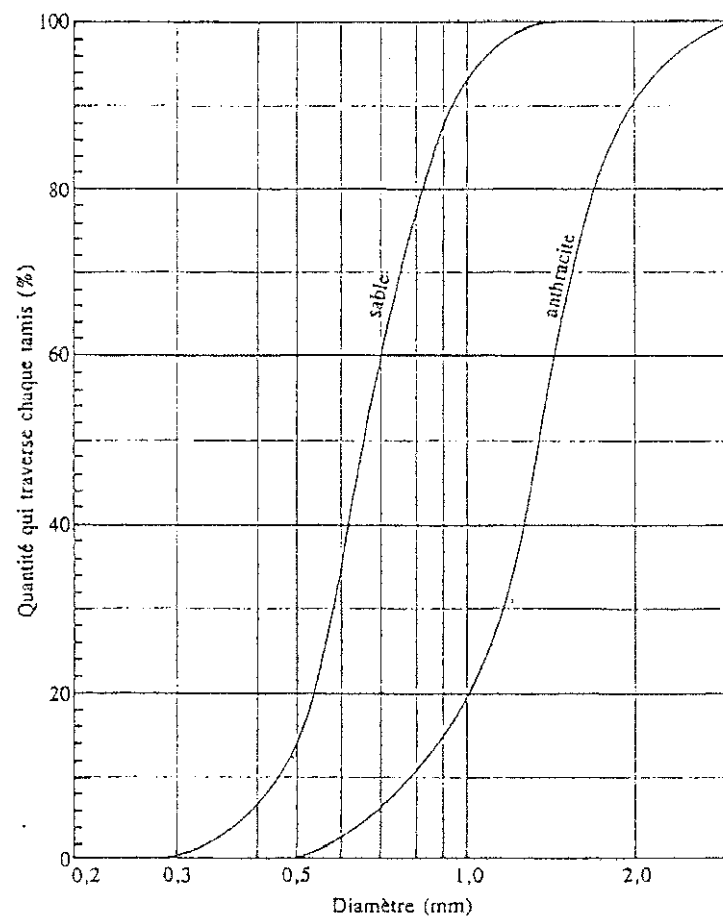
Le diamètre effectif (DE ou D₁₀) ou taille effective (TE) et le coefficient d'uniformité (CU) sont deux caractéristiques granulométriques importantes du matériau filtrant.

Le diamètre effectif correspond à la grosseur des mailles du tamis qui laissent passer 10 % de la masse de l'échantillon donc 90 % de la masse ont un diamètre supérieur à DE.

Le coefficient d'uniformité est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 60 % des particules et celui qui en laisse passer 10 % :

$$CU = D_{60} / D_{10}$$

COURBES GRANULOMETRIQUES D'UN SABLE ET D'UN ANTHRACITE (LOGARITHMIQUE)



CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE FILTRATION

- Diamètre effectif ou taille effective
- Coefficient d'uniformité
- Masse unitaire sèche (max – min)
- Porosité (max – min)
- Forme des grains
- Surface spécifique
- Friabilité, dureté
- Résistance à l'acide

CHOIX DE LA GRANULOMETRIE D'UNE COUCHE FILTRANTE

Ce choix se fait en liaison avec celui de l'épaisseur de la couche. Si on fixe une hauteur de couche, on peut définir des applications suivant les granulométries, le coefficient d'uniformité étant compris entre 1,2 et 1,6 voire 1,8 :

- TE 0,3 – 0,5 mm : filtration très rapide sous pression : 25 m/h voire 50 m/h. Le lavage s'effectue à l'eau seule (piscine, eaux peu chargées, coagulation sur filtre)
- TE 0,6 – 0,8 mm : filtration sans décantation préalable avec ou sans coagulation sur filtre : vitesse de 7 m/h, lavage à l'eau ou eau + air (eaux peu chargées)
- TE 0,9 – 1,35 mm : granulométrie couramment utilisée en Europe Continentale. Filtration directe de l'eau brute peu chargée, filtre à plancher lavable à eau + air, vitesse de 15 à 20 m/h
- TE 1,35 – 2,5 mm : dégrossissage des eaux industrielles, préfiltration avant la filtration lente – lavage eau + air
- TE 3 – 25 mm : utilisation en couche support ou dégrossisseur

D90

Dans certains pays, on a défini aussi D90. Cette valeur joue un rôle très important pour la détermination de la vitesse d'eau de lavage.

On peut déduire D90 à partir de D10 et de D60 :

$$D90 = D10^{(10^{1-67 \log CU})}$$

Il est regrettable que les normes ASTM ne précisent pas :

- le temps de tamisage
- la puissance d'agitation

En général, on fait 3 périodes d'agitation de 5 mn chacune. Pour les matériaux friables, on ne peut pas toujours avoir ces temps car il y aurait détérioration du matériau.

EPAISSEUR D'UNE COUCHE FILTRANTE UNIQUE

Quand on filtre sur un matériau de granulométrie donnée et qu'on augmente progressivement l'épaisseur de la couche filtrante, on constate, après maturation du filtre, que la turbidité du filtrat diminue jusqu'à atteindre une valeur stable, ne s'améliorant plus avec l'épaisseur du lit.

Cette épaisseur définit la hauteur minimale à mettre en œuvre.

En général, plus le sable est fin, plus l'épaisseur de couche est faible.

GRANULOMETRIE ET HAUTEURS DE FILTRES MULTICOUCHES

Les tailles effectives des matériaux des filtres multicouches doivent être dans un certain rapport lui-même étant fonction des particules à retenir, de la masse volumique du matériau et des caractéristiques de lavage.

Pour les filtres bicouches par exemple :

- TE sable : 0,4 – 0,8 mm fi 1/3 épaisseur
- TE 2ème milieu : 0,8 – 2,5 mm fi 2/3 épaisseur
moins dense
(anthracite)

PRINCIPAUX MECANISMES DE LA FILTRATION

3 principaux mécanismes :

➤ Le transport :

Les mécanismes de transport déplacent une particule dans un pore du filtre de sorte qu'elle se rapproche du grain

➤ La fixation :

Les mécanismes de fixation font que la particule adhère à la surface du grain

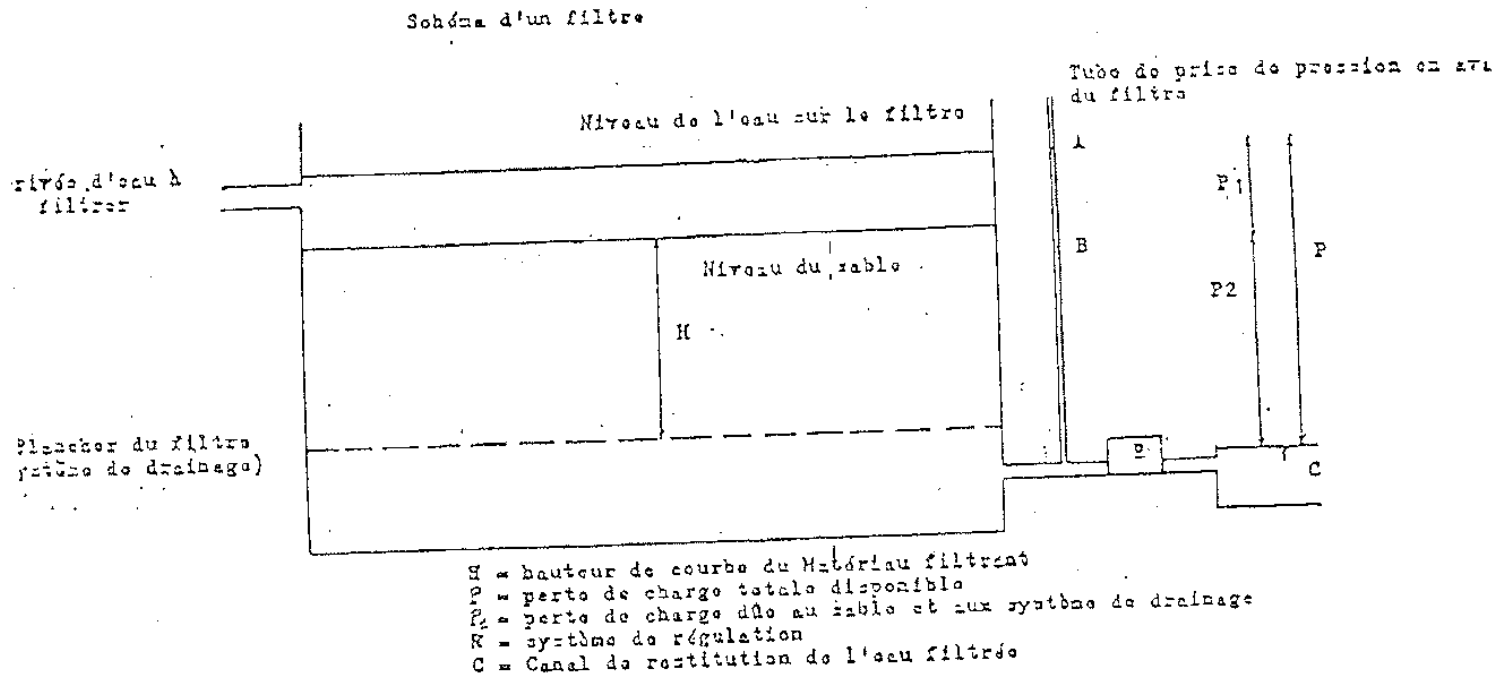
➤ Le détachement :

C'est le phénomène qui conduit à la crevaison du filtre

REVUE DES DIFFERENTS PHENOMENES MIS EN JEU

- Tamisage
- Interception
- Diffusion
- Inertie
- Décantation
- Hydrodynamisme

ETUDE D'UN CYCLE DE FILTRATION



FACTEURS INFLUENCANT LA PERTE DE CHARGE

La perte de charge augmente de façon linéaire avec l'épaisseur du matériau.

La perte de charge augmente de façon linéaire avec la vitesse moyenne jusqu'à ce que les effets d'inertie deviennent importants. A ce moment, la perte de charge augmente avec le carré de la vitesse.

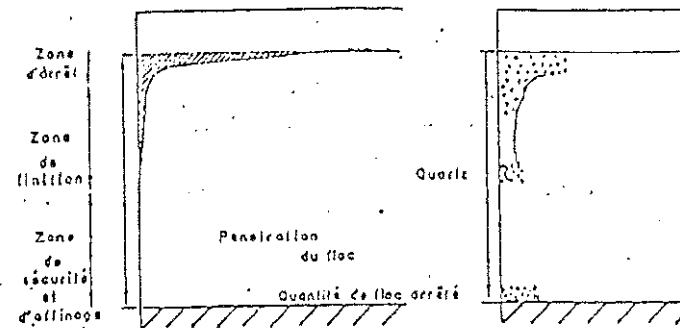
Dans le cas de flux laminaires, la perte de charge est inversement proportionnelle au carré de la taille du matériau.

Plus la taille du matériau est fine, meilleure est la rétention des particules, plus rapide est l'augmentation de la perte de charge.

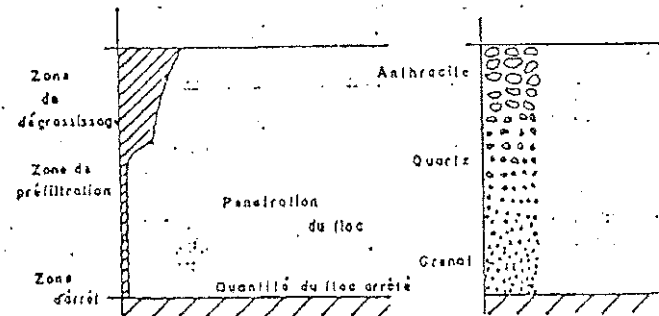
Il faut une taille optimum.

La perte de charge dépend de la température : elle augmente quand la viscosité de l'eau augmente.

COLMATAGE D'UN FILTRE


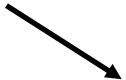


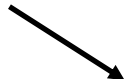
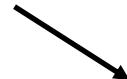







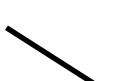
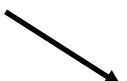


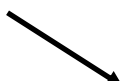


Filtre à granulométrie "homogène"

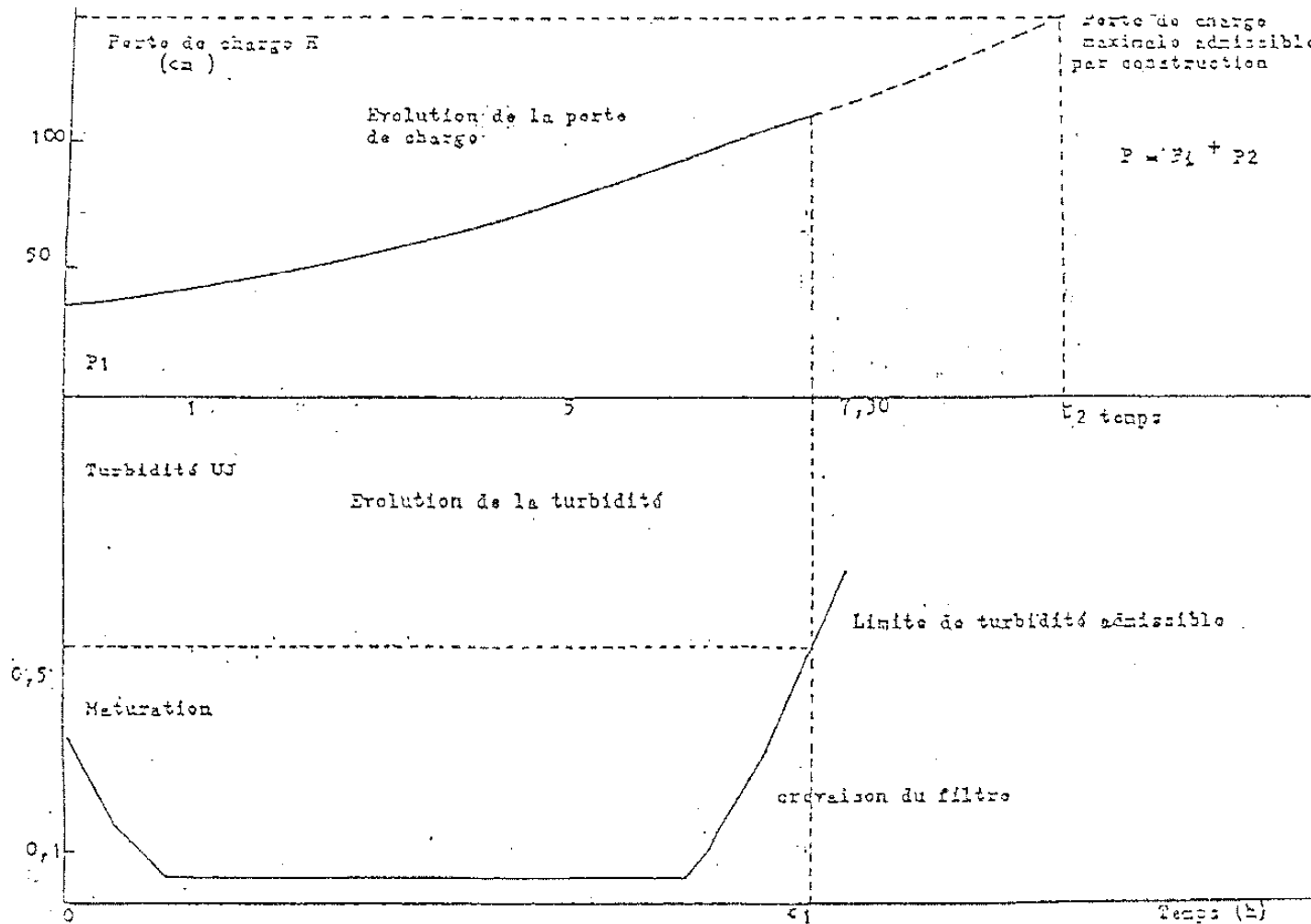


Filtre multicouche

PARAMETRES IMPORTANTS

		T1	T2
Granulométrie			
Vitesse de filtration			
Perte de charge admissible			
Hauteur de la couche filtrante			
Volume boues			
Coefficient de cohésion des boues			

EVOLUTION DE LA PERTE DE CHARGE ET DE LA TURBIDITE



ETABLISSEMENT DES COURBES DE PRESSION

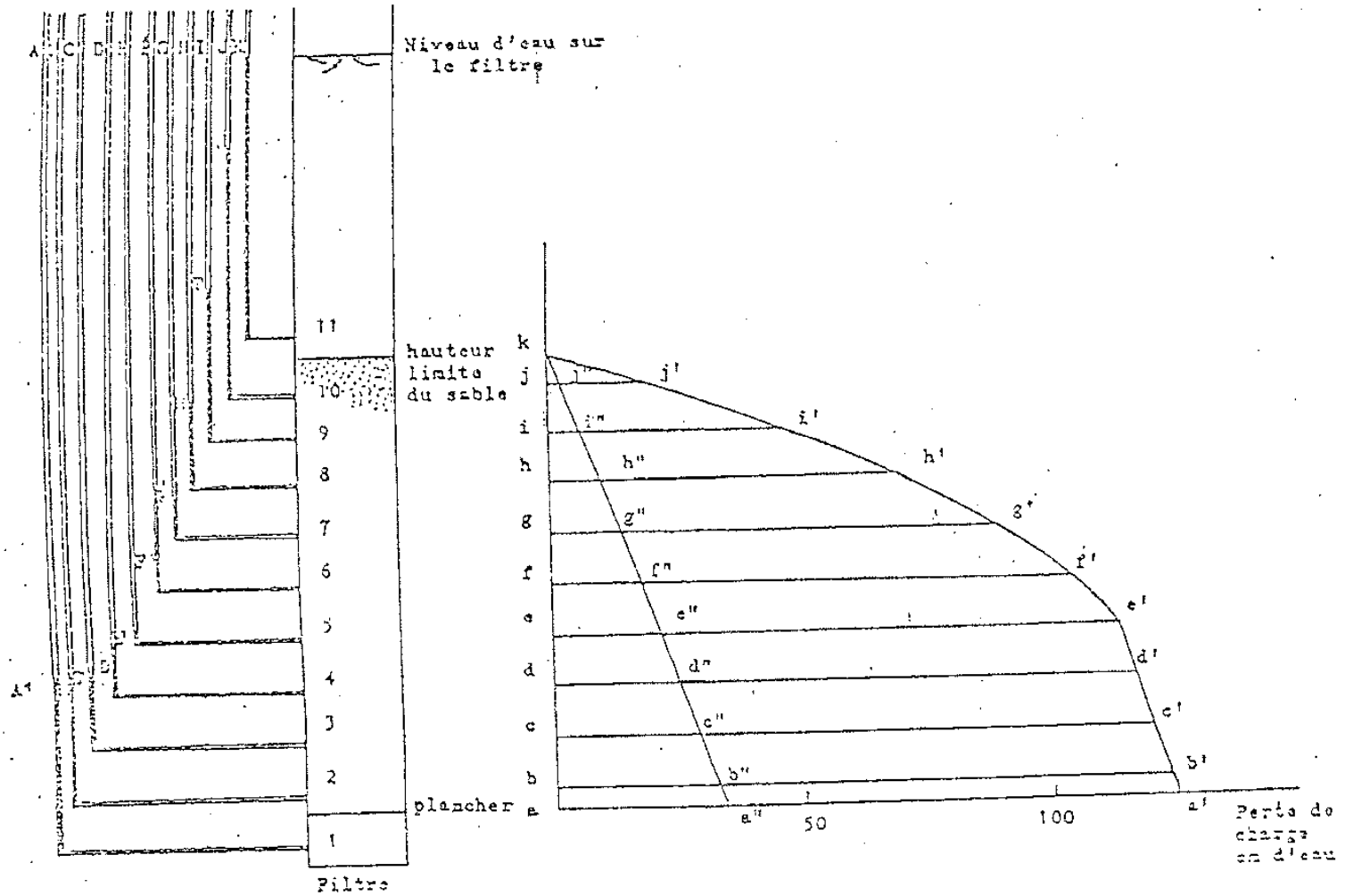
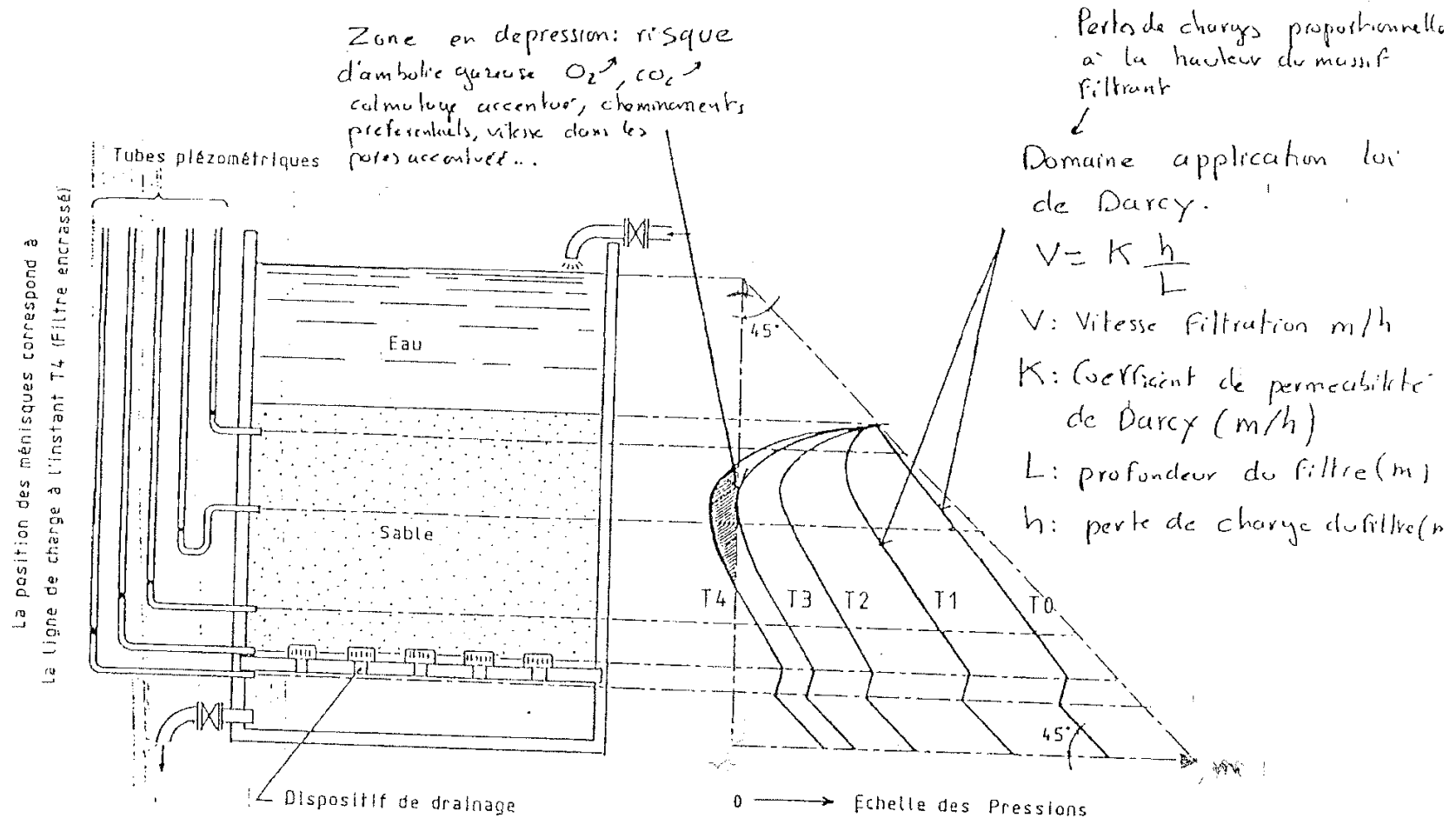
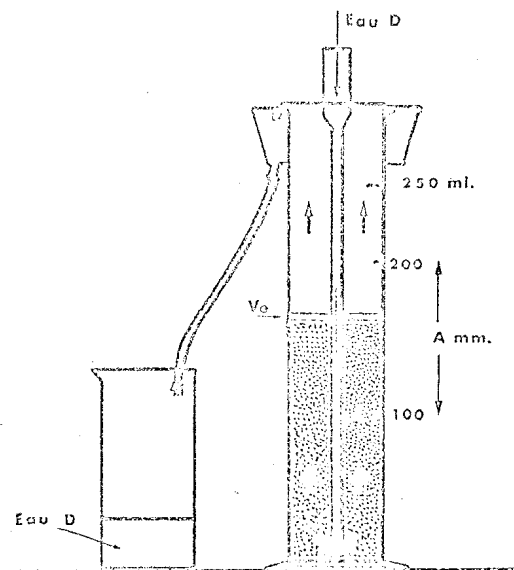


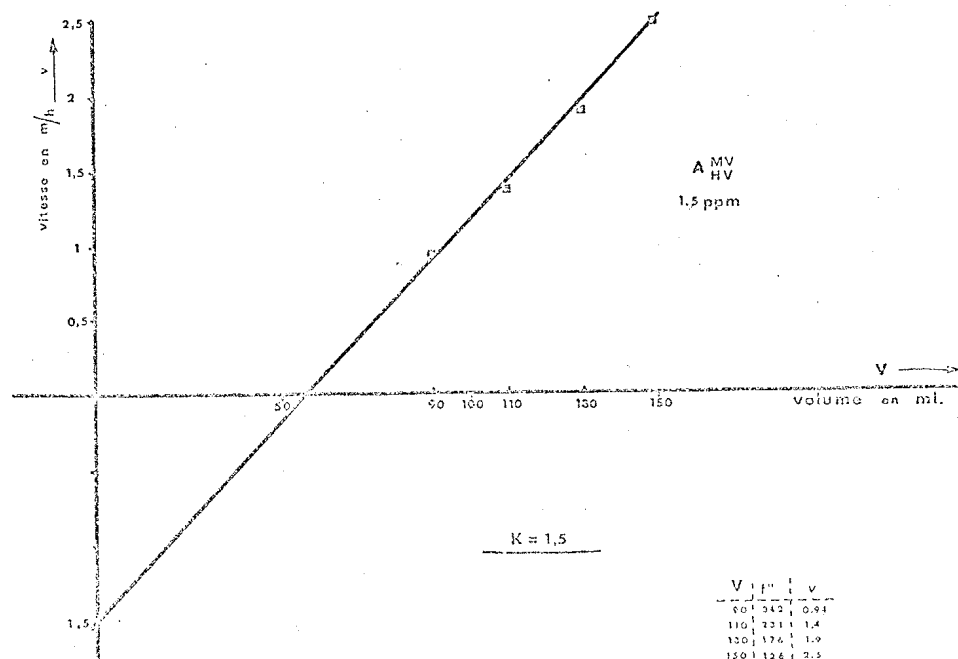
DIAGRAMME DES PRESSIONS

Renseigne sur la répartition des matières arrêtées dans le massif filtrant





Détermination graphique du coefficient de cohésion de boue



Cours Paris 7

FONDS DE FILTRES

On peut avoir des planchers poreux, le collecteur noyé dans une couche support ou des buselures à courte ou longue queue.

Comme les filtres se colmatent, il faut pouvoir les laver. Le lavage se fait à contre courant avec de l'air et de l'eau.

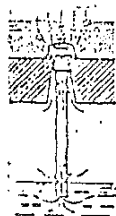
Filtres à buselures : Degrémont - TRAILIGAZ



Buselure D 50 métallique



Buselure D 50 métallique à longue queue



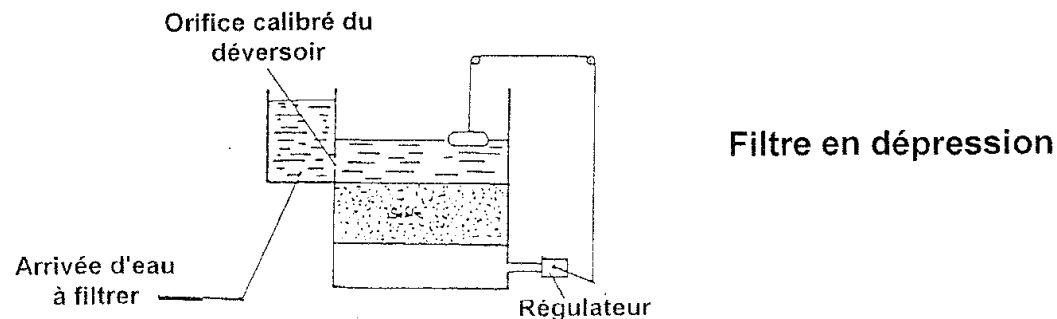
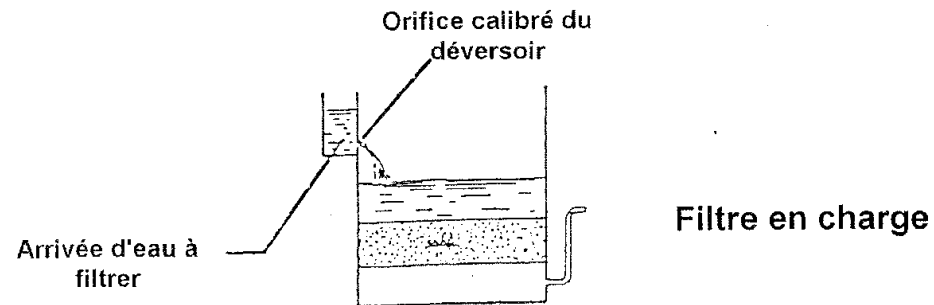
Buselure en période de lavage de filtre à l'air et à l'eau

REGULATION

Les variations brusques de débit provoquent des à coups dans la filtration et le détachement des particules.

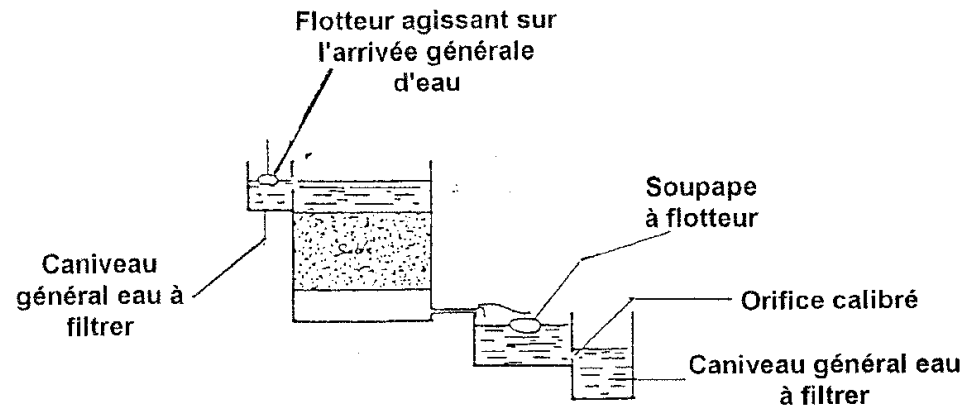
La régulation peut se faire par l'amont (canal d'eau décantée) ou par l'aval (canal d'eau filtrée) ou par les deux à la fois.

- Régulation amont

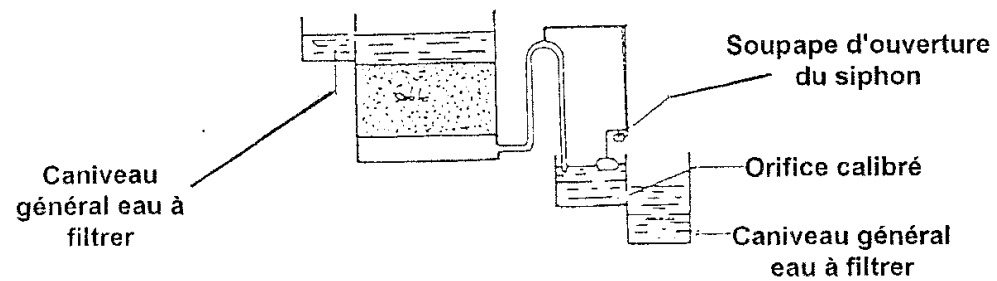


- Régulation aval

a) Avec soupape à flotteur (filtre en dépression)



b) avec siphon partialisé



FONCTIONNEMENT D 'UN FILTRE

Construction et opération d'un filtre rapide gravitaire

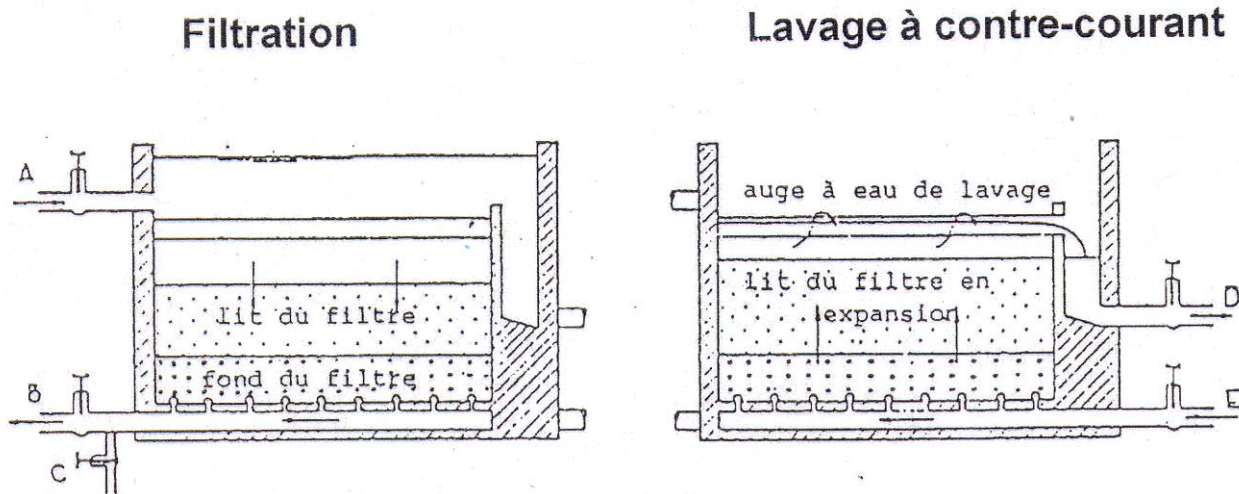
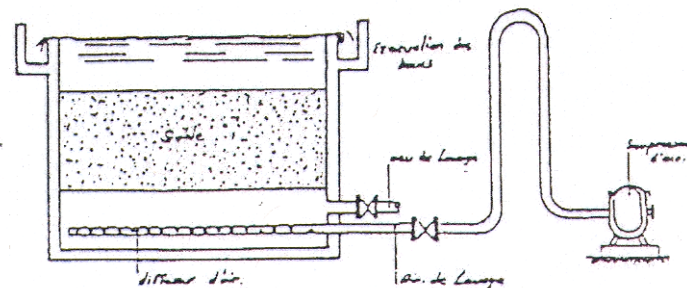


Schéma d'un filtre avec son dispositif de soufflerie d'air



LAVAGES

Soit

air + eau
puis eau seule

Soit

air seul air + eau
eau seule

Phase air :

pour briser le feutrage de surface
phase brève (30 s)

Phase air + eau :

pour mieux agiter les grains permet d'éviter l'expansion totale
débit eau : 5 à 10 m/h (3 à 5 mn)

Phase eau seule :

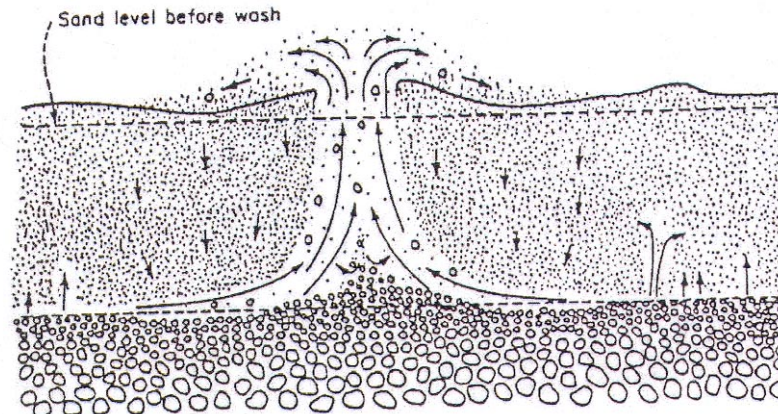
pour mettre en expansion le filtre ou pour affiner le lavage
après air + eau
(20 à 40 m/h) (5 à 12 mn)

Au débit de 40 à 60 m³/m²/h (p = 0,3 à 0,4 bars)

LAVAGE DES FILTRES

Si l'eau de lavage est injectée trop brusquement dans le filtre, on a des risques de déplacement des graviers support.

Exemple de jets lors du lavage d'un filtre

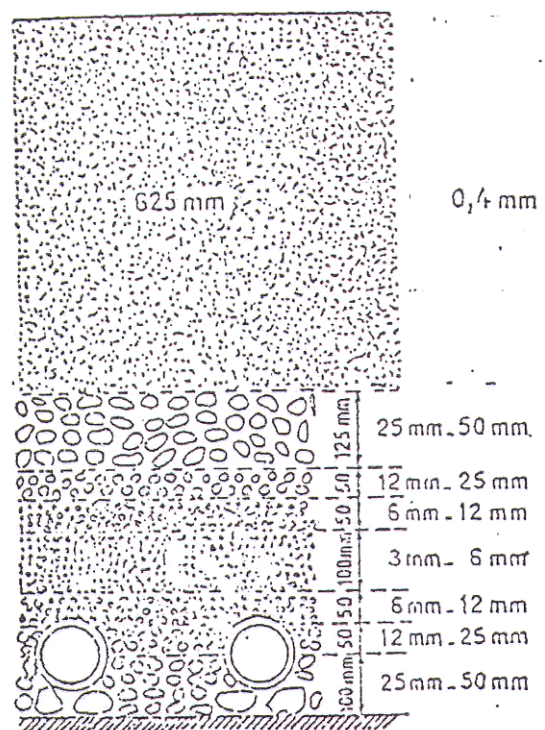


LES FILTRES

➤ Filtres type américain

➤ Filtres type européen

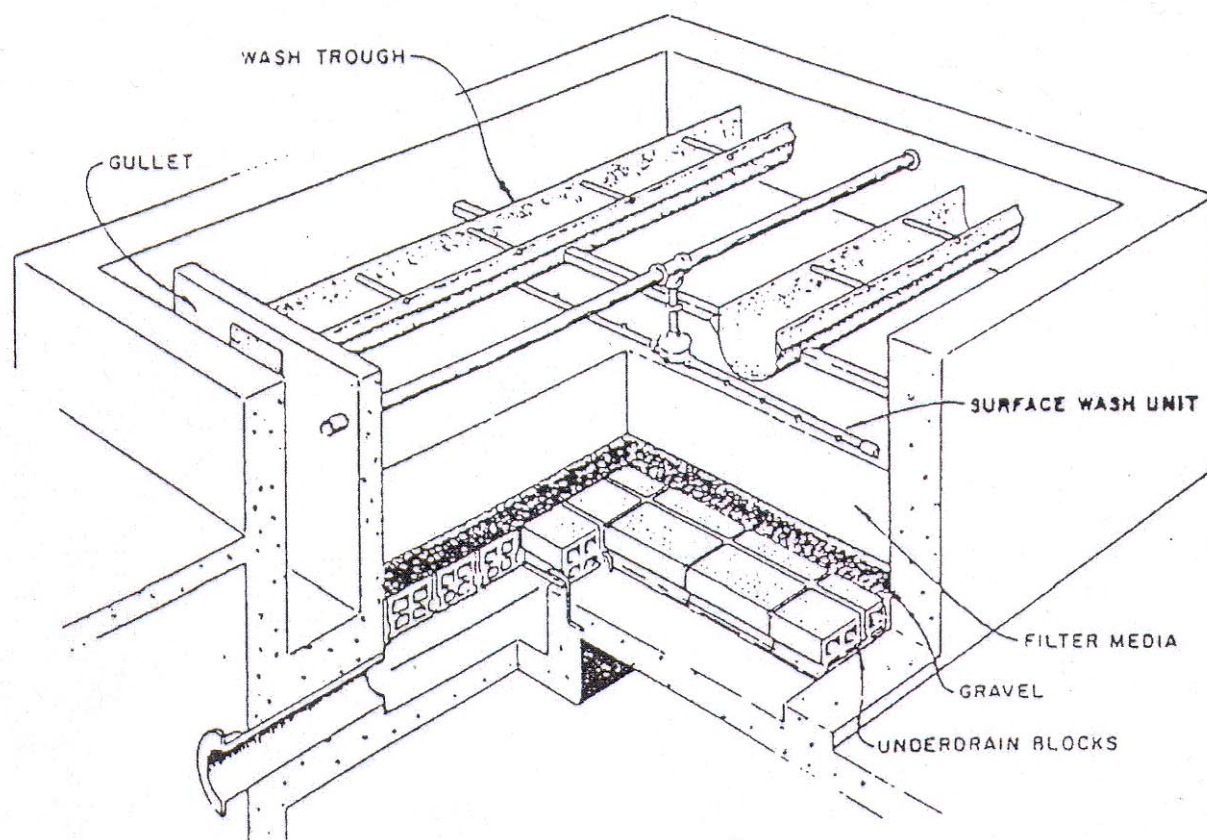
Filtre type américain



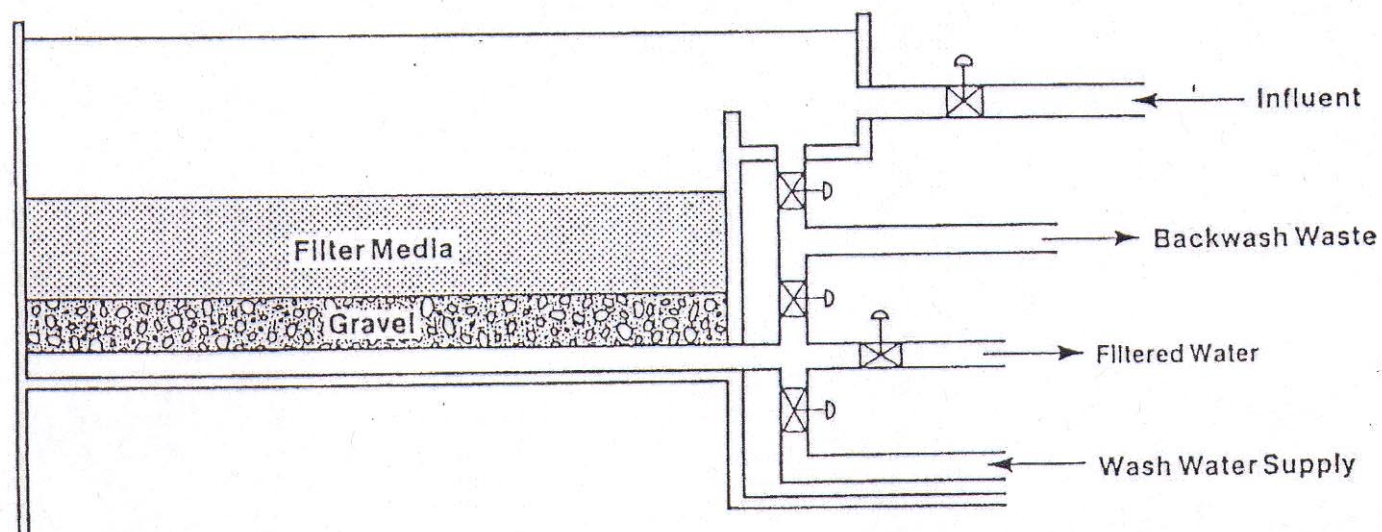
Différences entre les filtres européens et les filtres américains

Caractéristiques	Type européen	Type américain
Sable	Homogène (faible CU)	Hétérogène (CU élevé)
Granulométrie (TE)	0,9 – 1,0	0,5 – 0,6
Lavage	1ère phase : air + eau 2ème phase : eau	Une seule phase : eau
Durée du lavage	10 à 20 mn	5 mn
Rinçage en surface	0	+
Hauteur de sable	0,80 à 1,00 m	0,60 m
Mud balls	0	+
Volume d'eau de lavage/m ² de surface	3 à 4	4 à 6

FILTRE GRAVITAIRE TYPE

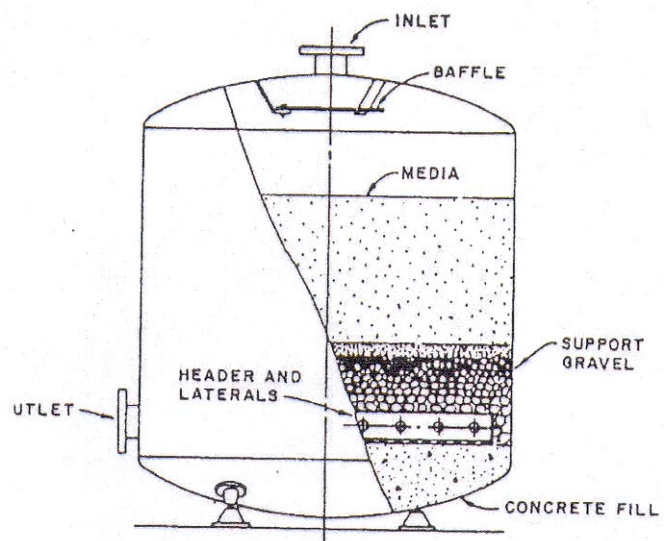


FILTRE GRAVITAIRE RAPIDE

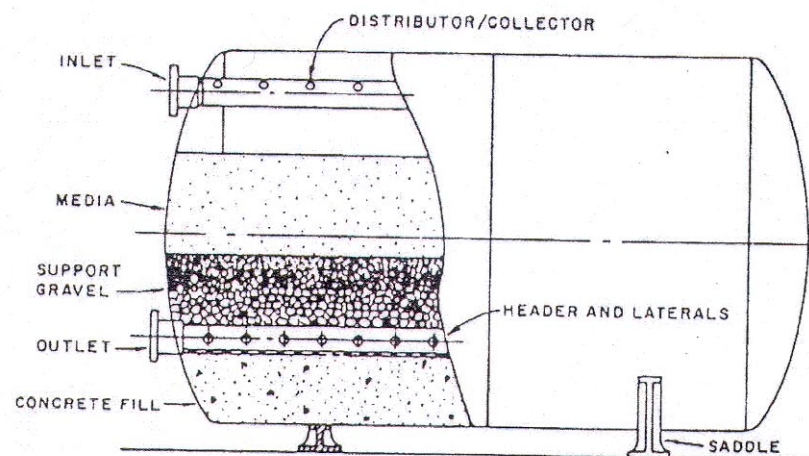


FILTRE SOUS PRESSION

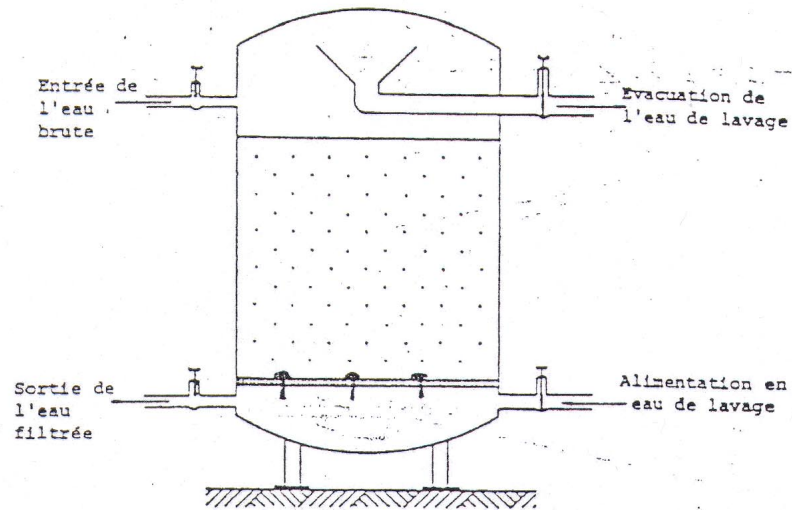
A. Filtre horizontal



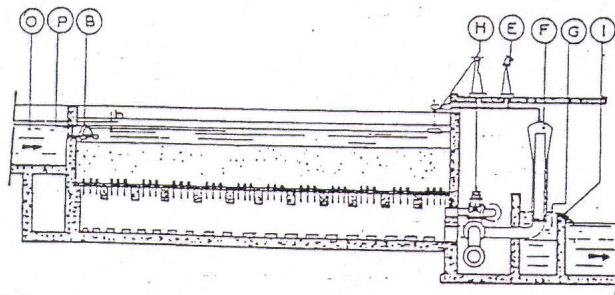
B. Filtre vertical



CONCEPTION DES FILTRES



FILTRE FERME



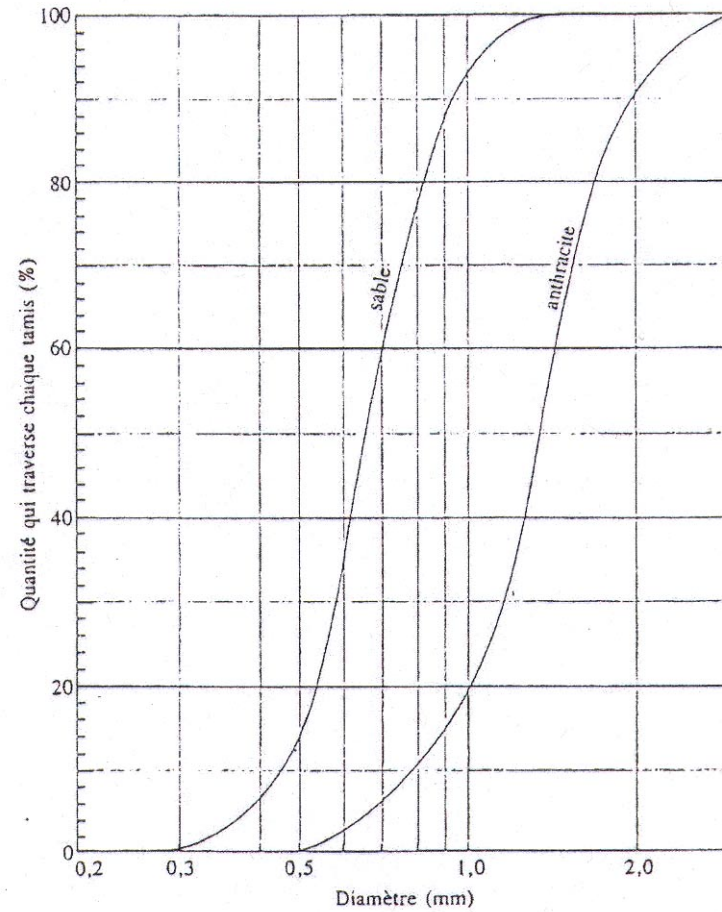
FILTRE OUVERT

REGULATION PAR L'AMONT

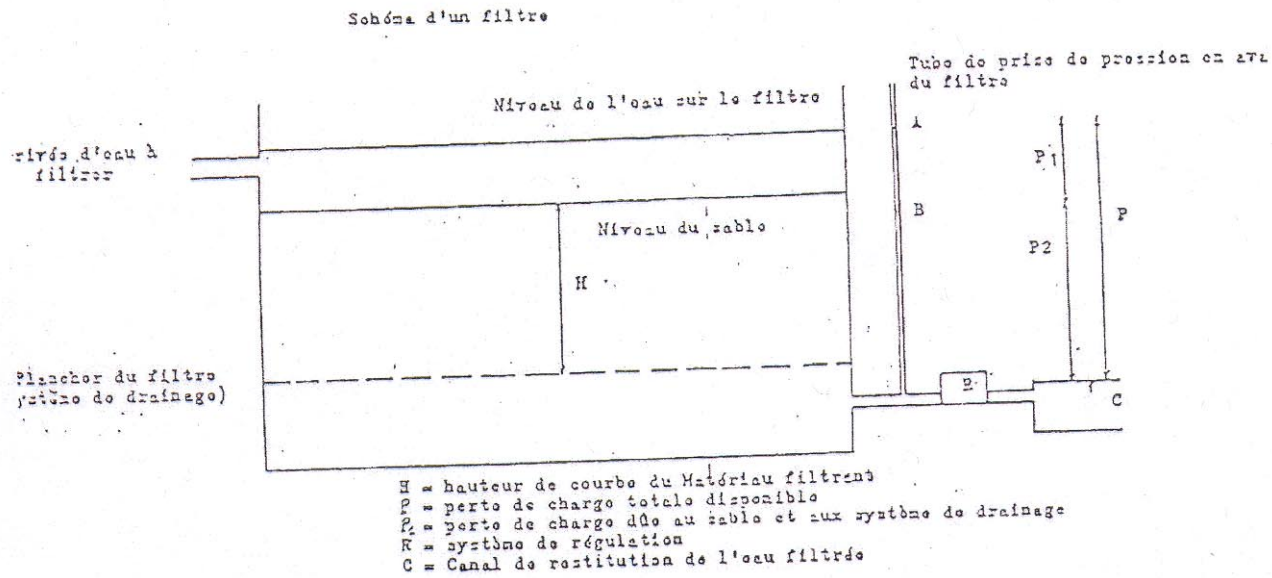
- B - Clapet d'entrée d'eau
- E - Indicateur de colmatage
- F - Siphon concentrique
- G - Vasque de restitution

- H - Boîte de partialisation
- I - Déversoir de sortie d'eau filtrée
- O - Goulotte d'eau décaantée
- P - Orifice calibré

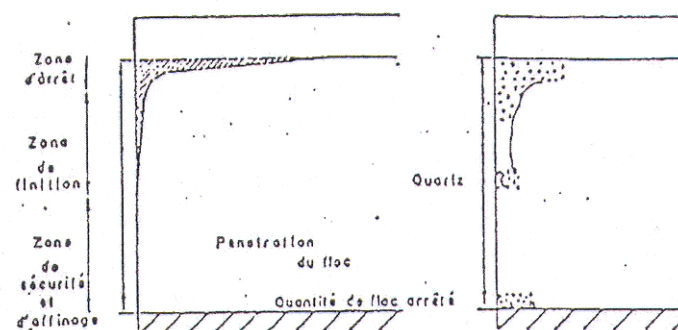
COURBES GRANULOMETRIQUES D'UN SABLE ET D'UN ANTHRACITE (LOGARITHMIQUE)



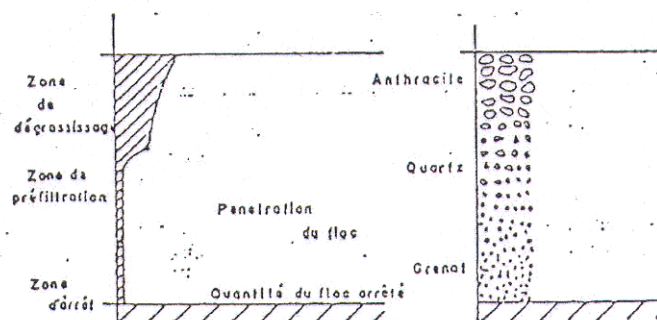
ETUDE D'UN CYCLE DE FILTRATION



COLMATAGE D'UN FILTRE

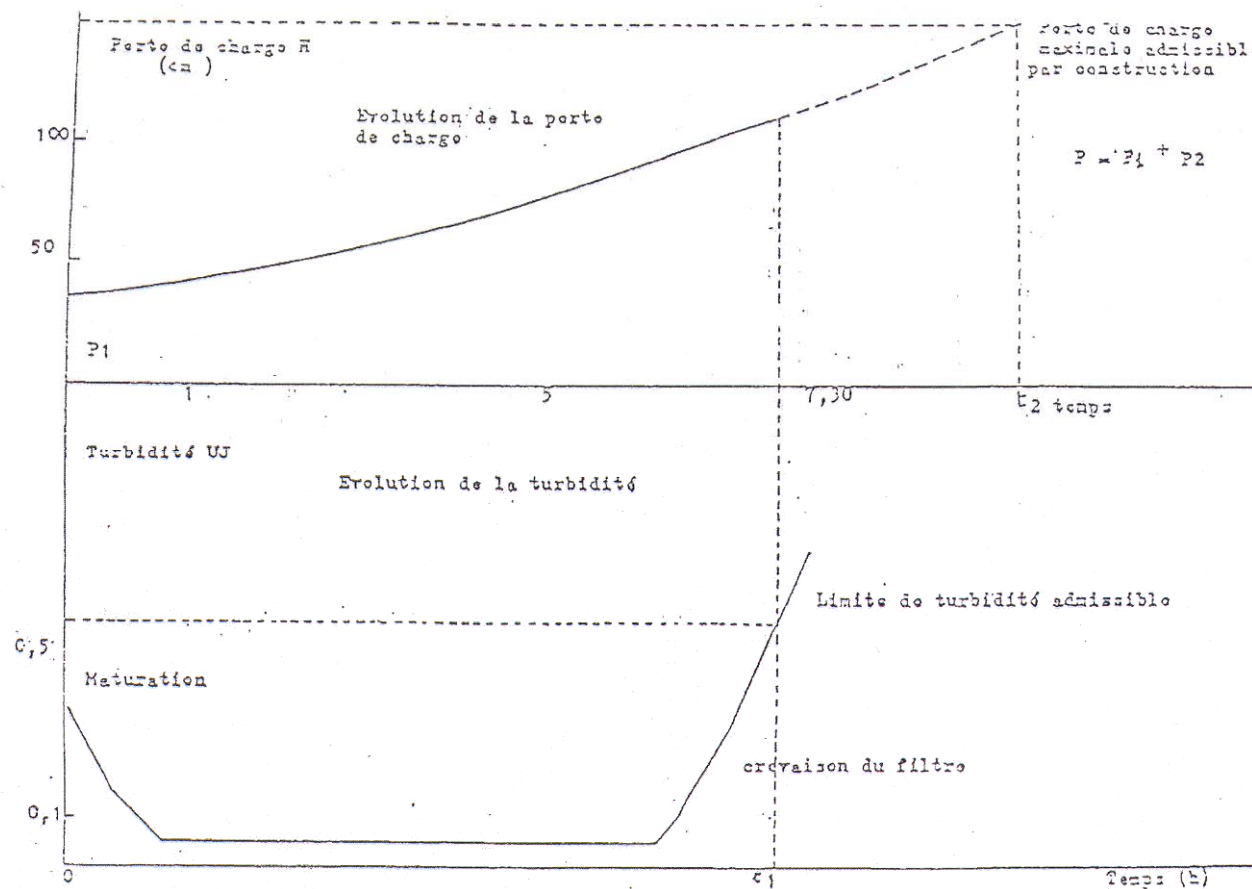


Filtre à granulométrie "homogène"



Filtre multicouche

EVOLUTION DE LA PERTE DE CHARGE ET DE LA TURBIDITE



ETABLISSEMENT DES COURBES DE PRESSION

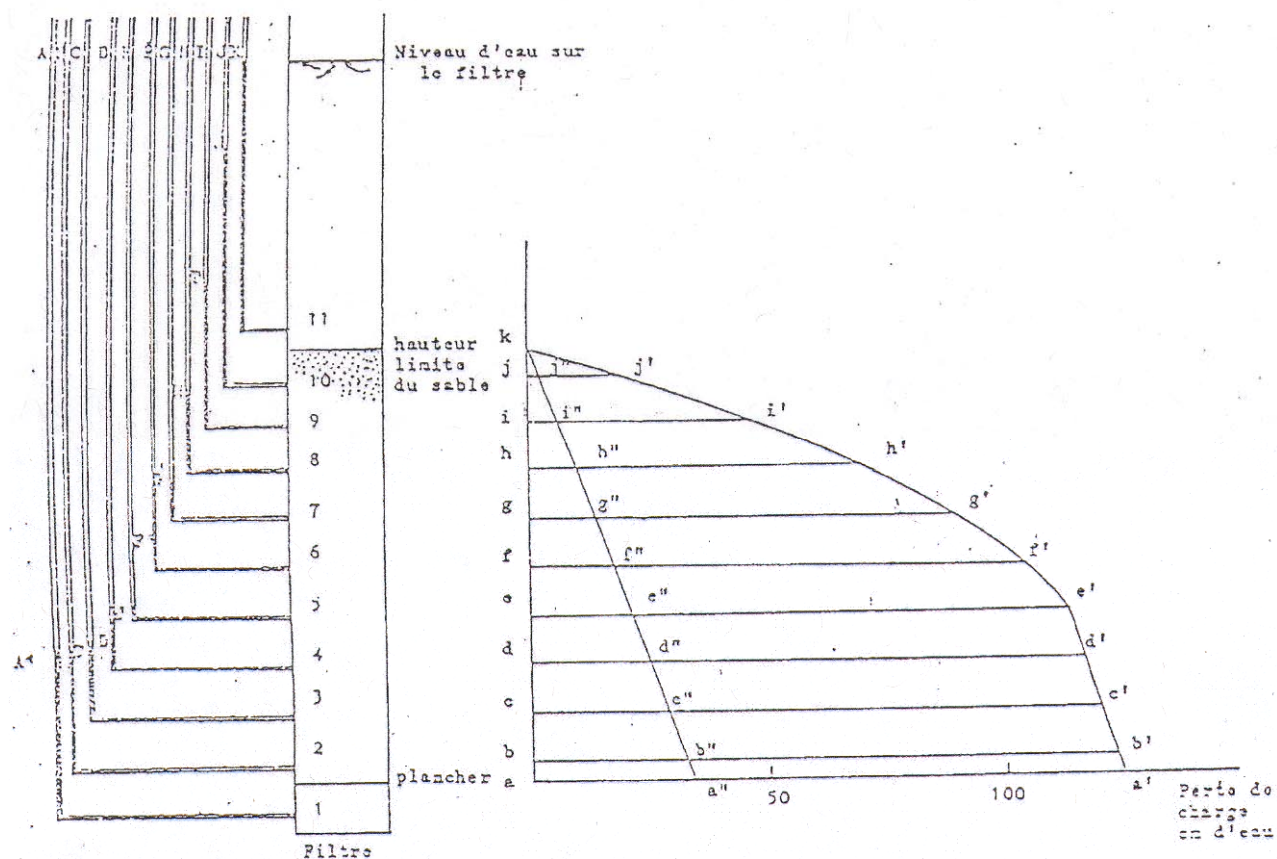
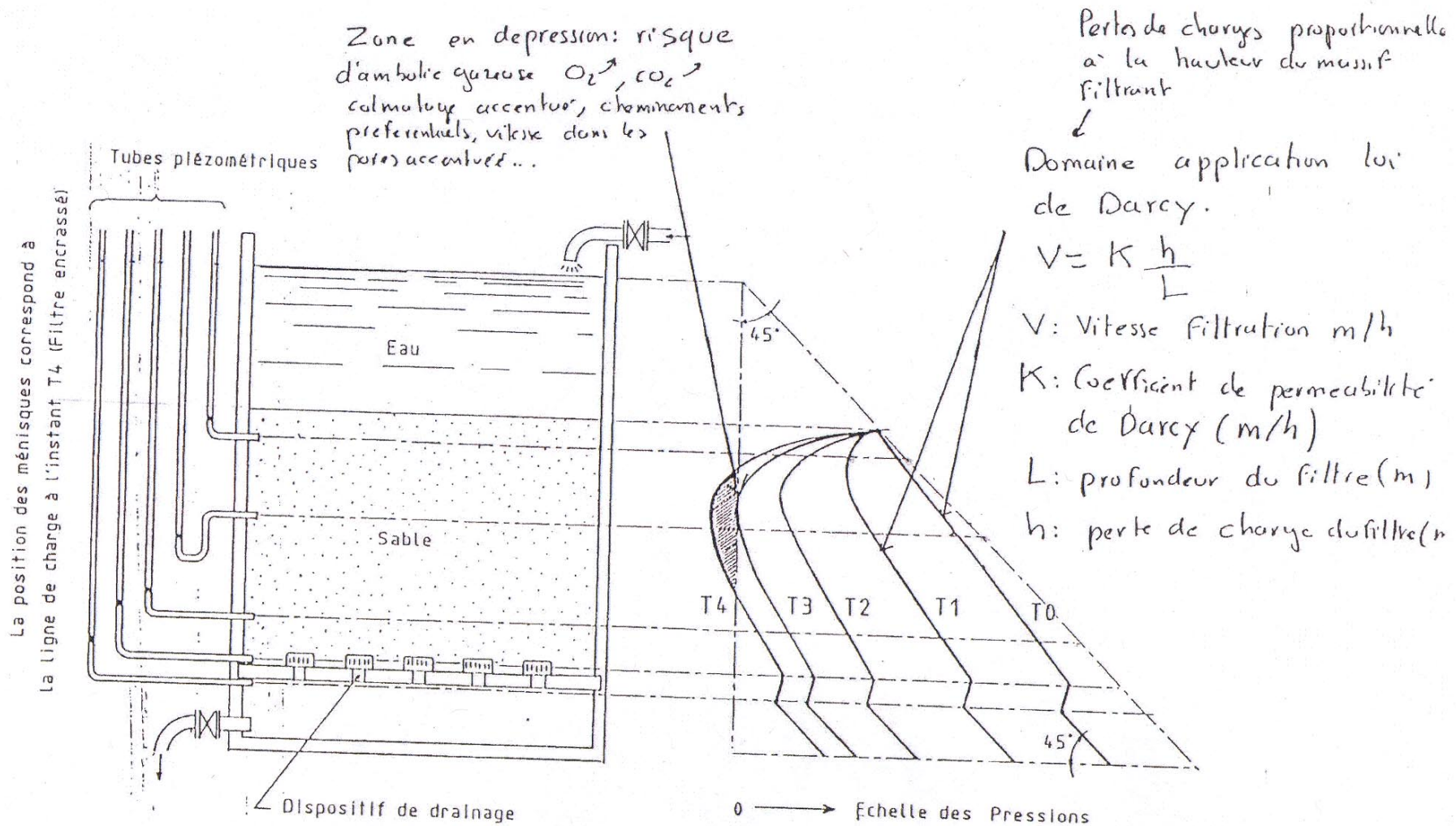
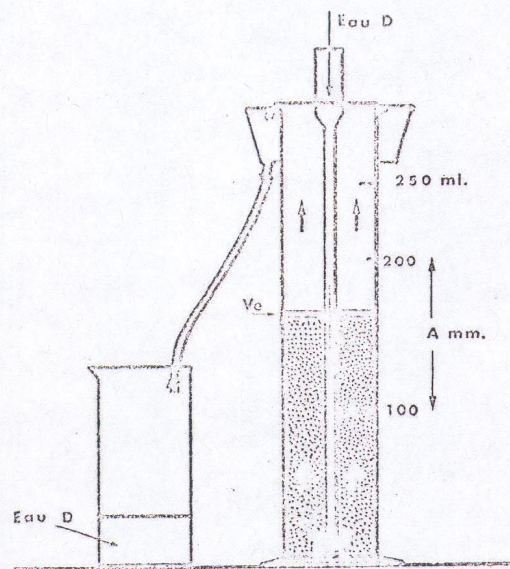


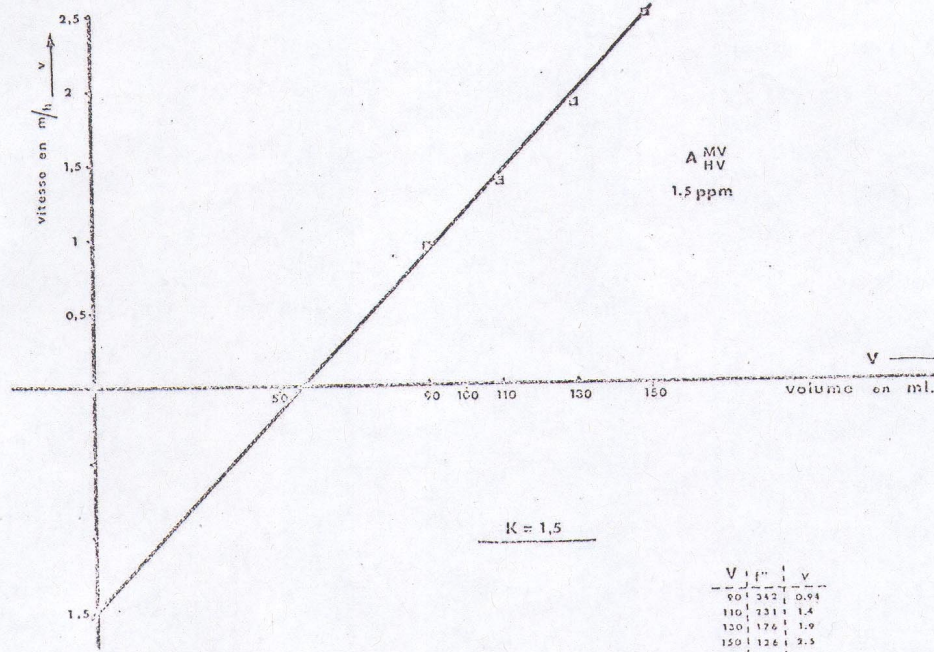
DIAGRAMME DES PRESSIONS

Renseigne sur la répartition des matières arrêtées dans le massif filtrant





Détermination graphique du coefficient de cohésion de boue



FONDS DE FILTRES

On peut avoir des planchers poreux, le collecteur noyé dans une couche support ou des buselures à courte ou longue queue.

Comme les filtres se colmatent, il faut pouvoir les laver. Le lavage se fait à contre courant avec de l'air et de l'eau.

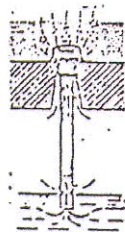
Filtres à buselures : Degrémont - TRAILIGAZ



Buselure D 50 métallique



Buselure D 50 métallique à longue queue



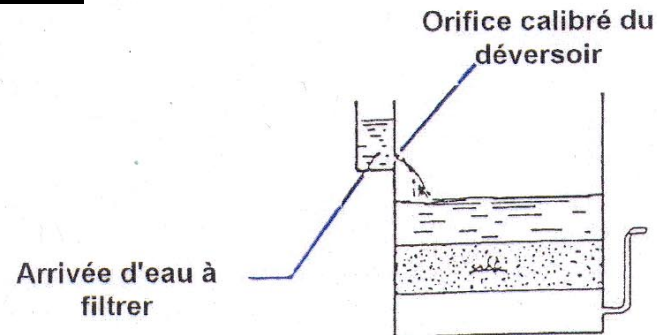
Buselure en période de lavage de filtre à l'air et à l'eau

REGULATION

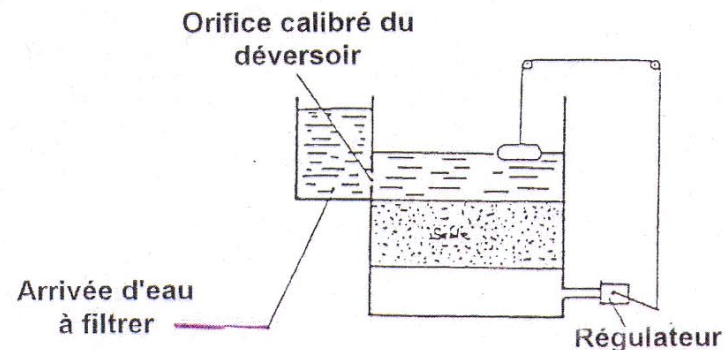
Les variations brusques de débit provoquent des à coups dans la filtration et le détachement des particules.

La régulation peut se faire par l'amont (canal d'eau décantée) ou par aval (canal d'eau filtrée) ou par les deux à la fois.

•Régulation amont



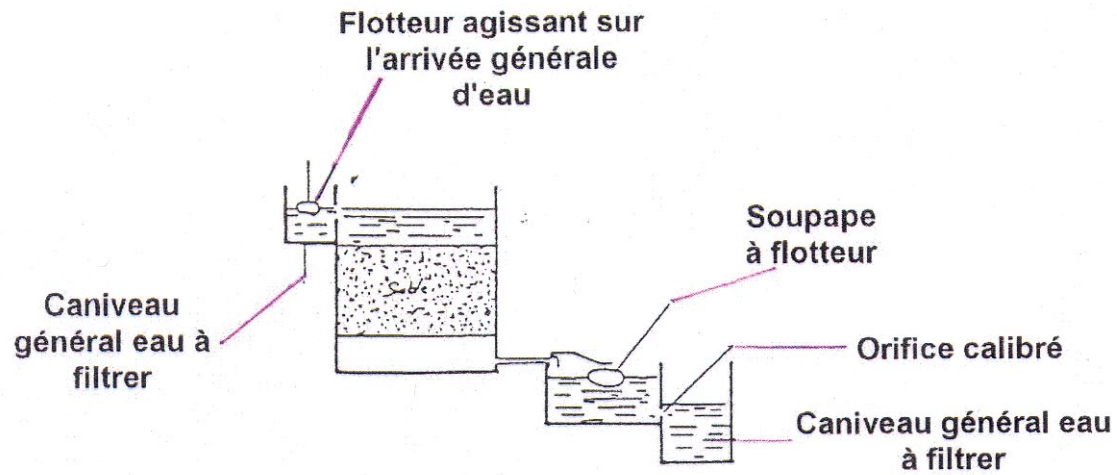
Filtre en charge



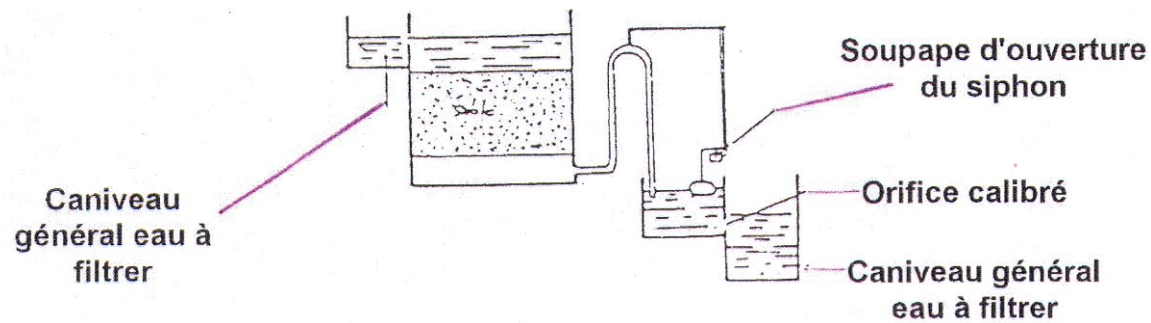
Filtre en dépression

•Régulation aval

a) avec soupape à flotteur (filtre en dépression)



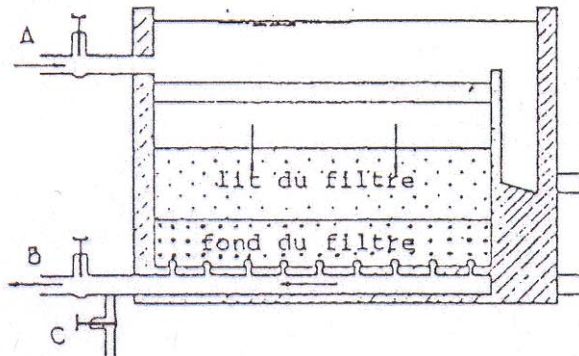
b) avec siphon partialisé



FONCTIONNEMENT D'UN FILTRE

Construction et opération d'un filtre rapide gravitaire

Filtration



Lavage à contre-courant

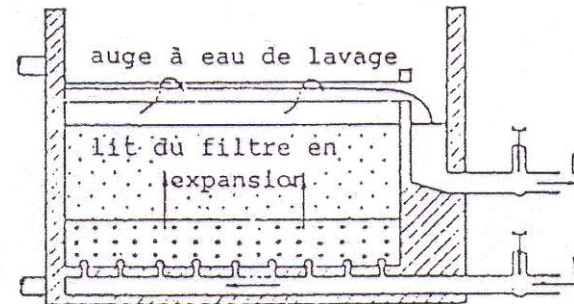
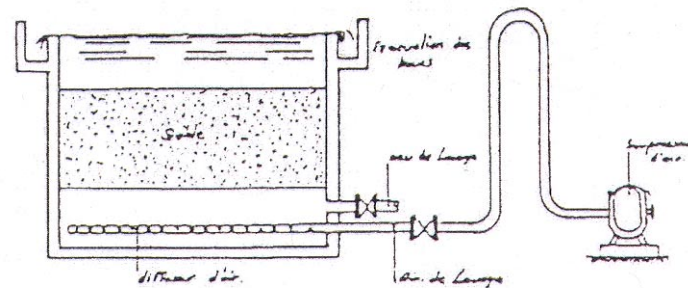


Schéma d'un filtre avec son dispositif de soufflerie d'air



LAVAGE DES FILTRES

Si l'eau de lavage est injectée trop brusquement dans le filtre, on a des risques de déplacement des graviers support.

Exemple de jets lors du lavage d'un filtre

