

# FILTRATION

## I/ FILTRATION

### 1/ Les différents procédés de filtration:

Le but de la filtration est de séparer les constituants d'un mélange liquide - solide par passage à travers un milieu filtrant. Cette opération est beaucoup plus rapide que la sédimentation: elle est donc plus utilisée.

On récupère après filtration soit le solide (après une cristallisation), soit le liquide (récupération d'eaux usées avant traitement et après sédimentation), soit le liquide et le solide (opération de recristallisation).

On distingue:

- **la filtration par gravité:** le mélange est soumis uniquement à la pression atmosphérique. Le liquide passe à travers le support filtrant, qui peut être du sable par exemple, tandis que le solide est récupéré sur le support filtrant.
- **la filtration par surpression:** la suspension arrive sous pression dans le filtre.
- **la filtration sous pression réduite:** le mélange est soumis d'un côté du filtre à la pression atmosphérique, et de l'autre côté, où sort le filtrat, à une dépression réalisée grâce à une pompe à vide.

Lors du passage d'une suspension à travers un milieu filtrant, le fluide circule à travers les ouvertures tandis que les particules sont arrêtées. En s'enchevêtrant, ces dernières finissent par former un second milieu filtrant pour les autres particules qui se déposent d'une manière continue sous forme de gâteau dont l'épaisseur va en croissant au fur et à mesure de l'écoulement de la suspension.

La différence de pression entre l'amont et l'aval (perte de charge) a une grosse importance car elle règle la vitesse de filtration. On peut concevoir deux types de filtration:

- **filtration à pression constante:** on régule la différence de pression amont-aval à une valeur constante. L'épaisseur du gâteau augmentant au cours du temps, la vitesse de filtration va donc diminuer sous l'effet de l'augmentation de la perte de charge. C'est la filtration la plus utilisée dans l'industrie.
- **filtration à débit constant :** on augmente au cours du temps la différence de pression amont-aval pour garder un débit constant malgré l'augmentation de perte de charge.

## 2/ Pratique de la filtration:

Le choix des milieux filtrants est vaste. Il dépend de plusieurs facteurs: le débit et la concentration de la suspension, les caractéristiques physiques et chimiques des liquides et des solides. On peut citer:

- les tissus filtrants: textiles naturels (coton, jute), toiles métalliques (fer, laiton, inox), tissus en matière plastique (nylon, PVC, polyester, téflon)
- les milieux filtrants pulvérulents: sable, charbon, diatomite
- les matières poreuses: porcelaine, verre, charbon, silice, métaux

Il faut éviter le colmatage qui peut avoir lieu avec des particules aux formes particulières (bâtonnet par exemple) pouvant pénétrer dans les ouvertures sans les traverser. Il vaut donc mieux choisir des ouvertures plus larges qui laissent passer ces particules et reprendre la fraction de filtrat les comprenant pour une nouvelle filtration avec un gâteau déjà constitué qui les arrête.

Pour arrêter les petites particules, on a intérêt à procéder à la floculation de ces particules pour l'obtention de particules plus grosses et donc plus faciles à filtrer (application des flocculants dans le traitement des eaux). On peut aussi agglomérer les particules par adsorption sur des coagulants (chaux, sulfate ferreux, magnésie).

La meilleure technique consiste à faire appel aux adjuvants de filtration qui sont des produits destinés à faciliter la formation du gâteau et le nettoyage du filtre. Les principaux adjuvants sont la diatomite (Kieselguhr) et la cellulose. Ces composés ne peuvent être employés que si le liquide seul est à récupérer.

La filtration est souvent suivie d'un lavage par un solvant miscible au filtrat afin d'éliminer les eaux-mères du gâteau qui contiennent des impuretés.

## 3/ Appareillage:

Le procédé de filtration peut être continu ou discontinu.

**filtre discontinu:** dans les filtres discontinus, l'opération a lieu par charge, c'est-à-dire que l'alimentation de la suspension et le chargement du solide se font par intermittence. La filtration est arrêtée quand la capacité au-dessus de la surface filtrante est remplie ou que le colmatage du filtre atteint une valeur limite.

filtre presse: c'est le plus répandu. Les éléments du filtre (plateaux et cadres) sont serrés avec une presse. Les toiles filtrantes séparent les plateaux et les cadres. Le filtre fonctionne sous pression (quelques bars). Le gâteau se dépose entre les toiles; on peut alors procéder au lavage du gâteau en faisant circuler le liquide de lavage dans le filtre. Ces filtres sont simples et bon marché; par contre ils nécessitent beaucoup de main d'œuvre.

filtre de Nütsche: ce filtre fonctionnant sous vide est l'équivalent industriel du büchner de laboratoire.

**filtre continu**: dans les filtres continus, la surface filtrante fermée sur elle-même se déplace lentement devant l'alimentation; le gâteau atteint une certaine épaisseur et dès qu'il sort de la partie filtrante il est détaché par un système raclant. Un cycle de lavage puis d'essorage est souvent adjoint. Ces filtres constituent un investissement plus important mais ils ont un coût de fonctionnement moindre: ils conviennent donc aux productions importantes.

On trouve principalement des appareils fonctionnant sous vide: on peut citer les filtres rotatifs à tambour et les filtres à bande. Ils ont les mêmes applications mais les filtres à bande traitent des bouillies plus épaisses (jusqu'à 50 % de solide).

filtre rotatif à tambour: il est constitué par deux tambours cylindriques coaxiaux; le tambour extérieur supporte une toile filtrante. Il est divisé en plusieurs zones:

- zone de filtration: le liquide est aspiré et le gâteau se dépose sur le filtre.
- zone de lavage: le gâteau est lavé grâce à un arrosage par de l'eau.
- zone d'essorage du gâteau.
- zone de séchage et décollage: l'air comprimé est introduit par les canalisations; le gâteau est donc séché et décollé du filtre puis détaché à l'aide d'un racloir.

filtre à bande sans fin: une bande sans fin horizontale en caoutchouc synthétique tourne sur deux tambours dont l'un est moteur. La bande de caoutchouc est perforée à intervalles réguliers d'orifices allongés qui passent au fur et à mesure du déroulement devant des chambres sous dépression. Elle est revêtue d'une toile de filtration adaptée au mélange liquide-solide à séparer. On retrouve les zones de filtration, lavage et séchage. Le gâteau est parfois détaché à l'aide d'un racloir.

#### **4/ Étude théorique de la filtration à pression constante $\Delta P$ :**

Il est intéressant de connaître le volume filtré pendant un temps. Pour une filtration à pression constante,  $\Delta P$  constitue en fait la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre soit la perte de charge subie par le liquide à la traversée du filtre et du gâteau.

On admettra que le gâteau est incompressible ce qui n'est pas vrai du tout si les particules présentent une certaine plasticité ou si ce sont des agglomérats pouvant se briser sous l'action de la pression. De toute manière, tous les gâteaux sont plus ou moins tassables.

Le raisonnement doit prendre en compte que dans les premiers instants de la filtration la perte de charge est provoquée par la résistance de la membrane de filtration et par la résistance des premières couches de gâteau qui ont une structure particulière et obstruent en partie les pores de la membrane. On définit donc  $e_G$  l'épaisseur du gâteau et  $e_S$  l'épaisseur de gâteau qui offrirait une résistance équivalente à celle du support et des premières couches.

## 4

On exprime d'abord la perte de charge à travers l'ensemble (support + gâteau) qui est assimilé à un lit de particules. L'expression est tirée de la loi de Darcy.

$$\Delta P = \frac{u \cdot (e_G + e_S) \cdot \mu}{\text{perméabilité}} \quad (1)$$

où  $\mu$  est la viscosité dynamique du liquide et  $u$  la vitesse du fluide définie comme étant le rapport du débit volumique de filtrat sur la section totale de gâteau  $S$  à traverser. Le débit volumique du filtrat est le rapport  $\frac{dV}{dt}$  où  $V$  est le volume de filtrat obtenu donc:

$$u = \frac{\frac{dV}{dt}}{S} \quad (2)$$

La perméabilité caractérise le gâteau. Elle dépend du diamètre des particules, de leur forme et de la porosité (fraction de vide) du gâteau  $\varepsilon$ . Les relations (1) et (2) permettent de constater que si la perte de charge  $\Delta P$  est constante, une augmentation de l'épaisseur du gâteau au cours du temps va entraîner une diminution de  $u$  et donc du débit de filtration.

En remplaçant  $u$  par sa définition, on en tire la relation suivante:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{S \cdot \Delta P \cdot \text{perméabilité}}{(e_G + e_S) \cdot \mu} \quad \text{ou} \quad \frac{dt}{dV} = \frac{(e_G + e_S) \cdot \mu}{S \cdot \Delta P \cdot \text{perméabilité}} \quad (3)$$

Si on appelle  $W$  la masse de gâteau déposée en kg par  $m^3$  de filtrat, on peut écrire un bilan matière en gâteau déposé en égalant les deux expressions suivantes (les premières couches de gâteau comprises dans  $e_S$  constituent une masse négligeable):

$$W \cdot V = \rho_s \cdot (1 - \varepsilon) \cdot S \cdot e_G \quad (4)$$

où  $\rho_s$  est la masse volumique du solide. On remplace  $e_G$  dans l'expression de  $\frac{dt}{dV}$  par sa valeur dans l'expression précédente, ce qui permet d'écrire:

$$\frac{dt}{dV} = \frac{1}{\text{perméabilité} \cdot \rho_s \cdot (1 - \varepsilon)} \cdot \frac{\mu \cdot W}{S^2 \cdot \Delta P} \cdot V + \frac{e_S}{\text{perméabilité}} \cdot \frac{\mu}{S \cdot \Delta P} \quad (5)$$

L'intégration de cette relation entre l'instant initial ( $t=0$  avec  $V=0$ ) de la filtration et l'instant  $t$  d'obtention d'un volume  $V$  de filtrat permet d'écrire:

$$\frac{t}{V} = \frac{1}{\text{perméabilité} \cdot \rho_s \cdot (1 - \varepsilon)} \cdot \frac{\mu \cdot W}{2 \cdot S^2 \cdot \Delta P} \cdot V + \frac{e_s \cdot \mu}{\text{perméabilité} \cdot S \cdot \Delta P} \quad (6)$$

Le terme  $\frac{e_s}{\text{perméabilité}}$  est nommé la résistance spécifique du support et le terme  $\frac{1}{\text{perméabilité} \cdot \rho_s \cdot (1 - \varepsilon)}$  constitue la résistance due au gâteau.

De l'étude précédente il en ressort des informations qualitatives sur le débit de filtration:

- il augmente quand l'épaisseur du gâteau diminue. Il faut donc disposer d'un gâteau le plus étalé possible sans avoir de fissures qui causerait une rupture de la différence de pression de part et d'autre du filtre.
- il augmente quand la surface filtrante augmente.
- il augmente quand la viscosité diminue: une augmentation de la température limitée peut être intéressante mais cette possibilité perd de son intérêt en cas de filtration sous vide à cause de l'augmentation de la tension de vapeur.

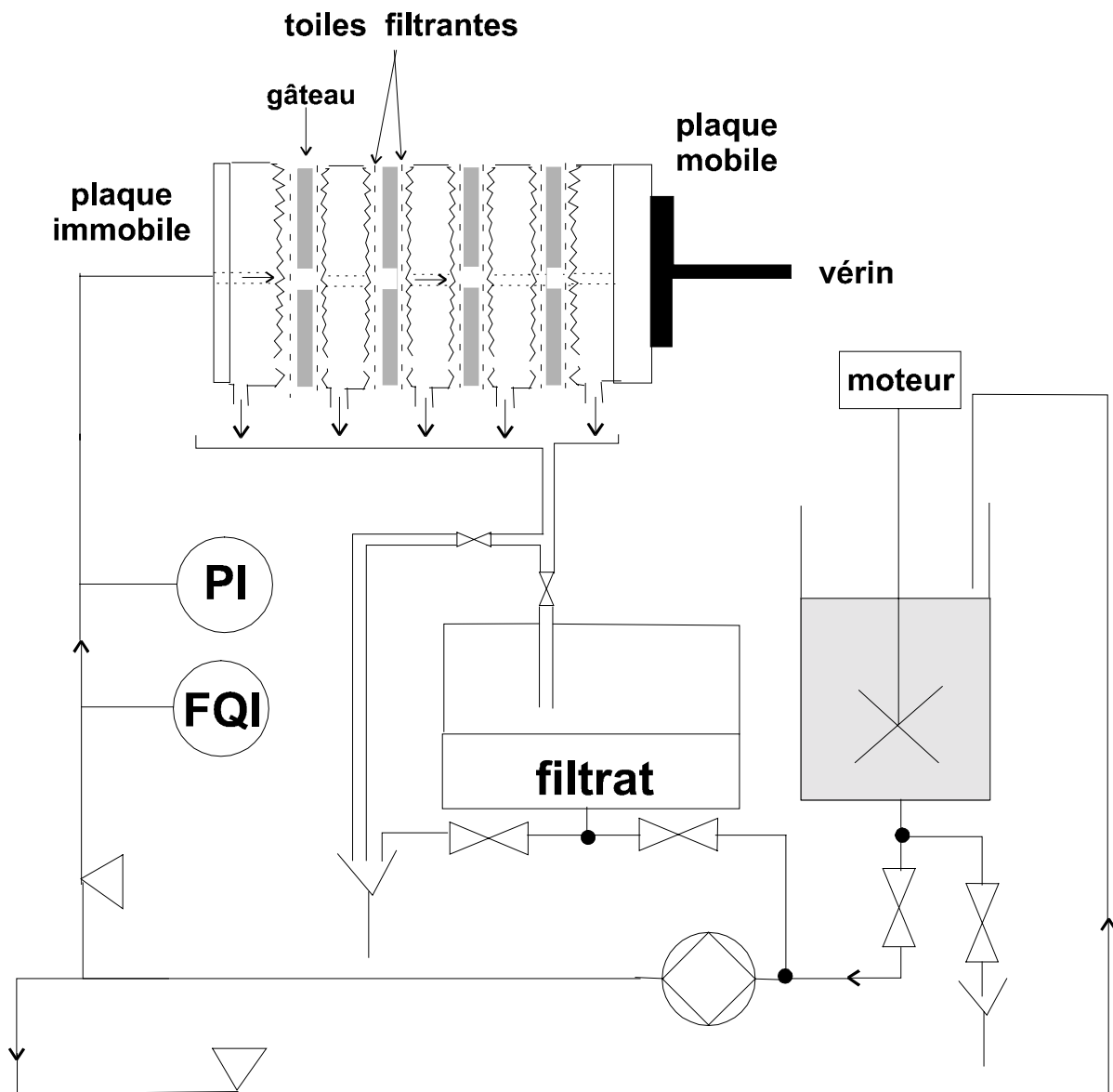
#### BIBLIOGRAPHIE

- *Technologie Génie Chimique (ANGLARET - KAZMIERCZAK) Tomes 1 (schémas de filtre notamment) et 3*
- *Techniques de l'ingénieur: articles relatifs à la filtration*

## TRAVAUX PRATIQUES DE GÉNIE CHIMIQUE

### ÉTUDE D'UNE FILTRATION AVEC UN FILTRE PRESSE

#### I- DESCRIPTION DU FILTRE PRESSE



Les éléments du filtre sont des plaques carrées en matière plastique portant des cannelures sur chacune de leurs deux faces. Ces faces supportent des toiles filtrantes en matière plastique. Les plaques montrent une ouverture au centre pour le passage de la suspension. L'ensemble formé par les plaques est serré entre deux

plaques en acier (une fixe, l'autre mobile) à l'aide d'un vérin hydraulique pour comprimer l'ensemble et réaliser une bonne étanchéité. Les deux plaques de filtration des extrémités ne comportent pas de surface filtrante du côté des plaques en acier.

Une pompe volumétrique est utilisée pour alimenter le filtre à partir d'un bac contenant la suspension. Un agitateur permet l'homogénéisation de la suspension dans le bac. La suspension pénètre dans le filtre par le centre des plaques. Le gâteau se dépose entre les toiles pendant la filtration et on recueille le filtrat par les orifices des plaques.

## II- MODE OPERATOIRE

### 1- Détermination de la masse volumique du Kieselguhr :

Dans une fiole jaugée de 500 mL préalablement tarée, peser précisément environ 10 g de solide. Ajouter de l'eau pour compléter au trait de jauge. Peser à nouveau.

### 2- Préparation de la suspension:

En début d'expérience, la cuve contient déjà un certain volume de suspension à environ  $15 \text{ g. L}^{-1}$ .

Mettre en route l'agitation .

Préparer un complément de suspension à  $15 \text{ g. L}^{-1}$  de façon à atteindre l'indication 80 sur la règle (2 cm correspondent à un volume de 5,1 L ).

Prélever deux échantillons et les analyser à la balance à dessiccation (couper l'agitation lors du prélèvement).

### 3- Mise en place du filtre:

Le filtre est mis en place avec 5 plaques de filtration. Placer les toiles filtrantes entre les plaques de compression en acier.

Serrer l'ensemble à l'aide du piston de la pompe hydraulique et imposer une pression de serrage de 200 bars. Bloquer la course du piston et décompresser l'ensemble de la pompe hydraulique.

### 4- Filtration sous pression constante:

Fermer la vanne de la plaque de compression.

Manipuler les vannes de façon à alimenter le filtre presse avec la suspension (vanne d'alimentation du filtre ouverte entièrement).

On met en route l'agitation dans le bac puis on démarre la pompe en mode filtration pour alimenter le filtre.

Noter le volume  $V_1$  affiché au compteur.

Attendre que la pression de filtration atteigne 0,15 bar (cette pression est à maintenir constante pendant toute la manipulation en jouant sur les vannes: vanne d'alimentation du filtre et vanne de recyclage dans la cuve). Cette pression relative lue sur le manomètre correspond en fait à la perte de charge du liquide à la traversée du filtre.

Quand la pression atteint 0,15 bar déclencher le chronomètre (temps  $t = 0$ ) et relever le volume  $V_0$  de liquide affiché sur le compteur.

A partir de cet instant, noter à intervalles de temps réguliers :

- le temps écoulé depuis le temps  $t = 0$ .
- le volume  $V$  affiché au compteur.

On arrête la manipulation quand l'écoulement du filtrat devient négligeable: le filtre est alors pratiquement colmaté.

Arrêter alors la pompe et fermer la vanne de vidange de la cuve.

#### 5- Aspiration et débatissage:

Ouvrir la vanne de la plaque de compression.

Manipuler les vannes de façon à aspirer le liquide contenu dans le gâteau et le refouler dans le bac de suspension .

Mettre la pompe en mode débatissage jusqu'à ce que le maximum de liquide soit aspiré.

Desserrer l'ensemble du filtre presse.

A l'aide d'une spatule non métallique, récupérer le gâteau de filtration.

Le peser et prélever deux échantillons pour les analyser avec la balance à dessiccation.

#### 6- Nettoyage de l'installation:

Le filtrat obtenu permet de rincer les canalisations et le corps de la pompe en mode filtration.

Rincer également sous l'eau les toiles filtrantes.

### **III- EXPLOITATION DES RÉSULTATS**



### 1- la détermination de la masse volumique du Kieselguhr :

Déterminer  $\rho_s$  la masse volumique du Kieselguhr, à partir des mesures effectuées avec la fiole jaugée.

### 2- la détermination de la teneur en solide de la suspension:

Indiquer, à partir des mesures effectuées sur l'échantillon de la suspension, la concentration massique en solide (Kieselguhr) de la suspension préparée. On assimilera la masse volumique de la suspension à la masse volumique de l'eau.

### 3- la détermination de la résistance du support et de la résistance spécifique du gâteau :

Déterminer au préalable certaines caractéristiques de la filtration (donner s'il y a lieu les unités):

- le rapport d'humidité dans le gâteau  $h$  à partir des mesures effectuées sur le gâteau

$$h = \frac{\text{masse totale de gâteau}}{\text{masse de solide dans le gâteau}}$$

- la porosité du gâteau  $\varepsilon$  à partir de la formule donnée en annexe qui doit être redémontrée

$$\varepsilon = \frac{\text{volume de liquide}}{\text{volume total}}$$

- la masse de gâteau déposée au cours de la filtration par unité de volume de filtrat ( $W$ ) à partir des résultats expérimentaux

$$W = \frac{\text{masse de solide dans le gâteau}}{\text{volume de filtrat}}$$

En effectuant une analyse des unités, déterminer les unités de  $R_s$  et de  $R_G$ .

Tracer la courbe  $\frac{t_f}{V} = f(V)$

Remarque : en approximation, faire l'hypothèse que  $V$  (volume de filtrat donc de liquide seul) est égal au volume de suspension traversant le filtre. Vérifier cette hypothèse à partir de la composition initiale de la cuve.

Tracer la courbe d'évolution de  $Q_v$  (débit de filtrat) en fonction du temps et commenter la.

A partir du graphe obtenu, déterminer la valeur de  $R_s$  et la valeur de  $R_G$  en utilisant la partie de courbe qui vous semble judicieuse.

### 4- le bilan massique en Kieselguhr:

Réaliser un bilan massique en Kieselguhr en considérant que le filtrat est uniquement constitué d'eau pure. Vous comparerez la masse de Kieselguhr ayant alimenté le filtre à partir de la teneur initiale mesurée et la masse de Kieselguhr issue du gâteau.

#### IV- ANNEXE

- Dimensions d'une toile filtrante : carré de 25 cm de coté.
- Relation entre h et  $\varepsilon$ :

$$h = 1 + \frac{\varepsilon \cdot \rho_l}{(1 - \varepsilon) \cdot \rho_s}$$

avec  $\rho_s$  et  $\rho_l$  les masses volumiques du solide et de la suspension.