

Filtration

Aspects généraux

par **Dominique LECLERC**

*Ingénieur de l'École nationale supérieure de chimie de Lille, Docteur ès sciences
Professeur à l'Université Henri-Poincaré de Nancy
Laboratoire des sciences du génie chimique CNRS - ENSIC
Institut national polytechnique de Lorraine*

et **Gérard BALUAIS**

*Docteur ès sciences
Ingénieur de recherche
Chef de groupe, unité Génie des procédés
Péchiney, Centre de recherches de Voreppe*

1. Techniques de filtration.....	J 3 499 – 2
2. Conditions opératoires.....	– 2
3. Auxiliaires de filtration	– 3
4. Lavage. Essorage. Pressage.....	– 3

Le but d'une opération de filtration est la **séparation d'une phase continue** (liquide ou gazeuse) **et d'une phase dispersée** (solide ou liquide), initialement mélangées.

Suivant les cas, on cherche à récupérer :

- soit la phase continue débarrassée au maximum de la phase dispersée (filtration de l'air ou de l'eau, d'une huile moteur, d'un liquide alimentaire, etc.);
- soit la phase dispersée (récupération d'un précipité cristallin, de poussières de métal précieux dans des fumées, etc.);
- soit l'une et l'autre phases si leur intérêt économique le justifie.

Les deux phases en présence peuvent être :

- un gaz et un solide (fumées);
- un gaz et un liquide (brouillard);
- un liquide et un solide (suspension);
- deux liquides immiscibles (émulsion).

On se limitera, dans ce qui suit, essentiellement à l'étude de la filtration des mélanges liquide-solide, bien que de nombreux principes généraux soient applicables aux autres types de filtration. Un tel mélange, ou suspension, est aussi appelé **préfilt**.

Au-delà du filtre, on récupère un liquide plus ou moins bien purifié, baptisé **filtrat** ou parfois **eaux mères**.

1. Techniques de filtration

Pour séparer au mieux les deux constituants du préfilt, deux techniques sont applicables : la **filtration sur support** et la **filtration en profondeur**.

■ Filtration sur support

On amène la suspension au-dessus d'un support (grille, toile, membrane, etc.) sur lequel les particules vont se déposer sous la forme d'un **gâteau** ou **tourteau** d'épaisseur croissante. Le **filtrat** sera plus ou moins pur suivant les dimensions des particules, la texture du support et le temps.

La filtration sur support est également appelée **filtration en surface, sur membrane**, ou à **gâteau** (cake filtration).

On l'utilise en général pour la filtration de suspensions assez fortement chargées en matières solides.

■ Filtration en profondeur

On fait s'écouler la suspension à travers une masse poreuse (couche de sable ou de graviers, particules agglomérées sous forme de disques, cylindres, bougies, etc.). Il existe, entre les grains, des pores tortueux, dont les dimensions sont en général très supérieures à celles des particules de la suspension. L'expérience prouve cependant que des particules de la suspension vont se loger dans les pores de la masse poreuse en se coinçant entre des grains ou en se déposant dans des anfractuosités, ou en se collant contre les surfaces des grains. Il s'ensuit un colmatage progressif de la masse poreuse. Le filtrat sortira plus ou moins pur suivant la texture de cette masse, la forme des particules à retenir et leur répartition granulométrique, les propriétés physico-chimiques des particules et du filtrat, l'épaisseur de la couche filtrante, le temps, le débit de suspension, etc.

Cette filtration, dite **dans la masse, sur lit de sable** ou en **profondeur** (deep filtration), est en général utilisée pour les suspensions relativement peu chargées en matières solides, celles-ci étant presque toujours des impuretés.

2. Conditions opératoires

2.1 Pression de filtration

Dans le cas de la filtration sur support comme dans celui de la filtration en profondeur, il est nécessaire de fournir une certaine énergie à la suspension pour arriver à lui faire traverser le filtre : lorsqu'un filtre dans la masse se colmate, sa résistance à l'écoulement croît et il en est de même quand l'épaisseur du gâteau augmente lors d'une filtration sur support.

Une pression n'étant pas autre chose que **l'énergie du fluide par unité de volume**, il faut donc qu'il existe une **différence de pression** (désormais, on parlera simplement de pression) positive entre l'amont et l'aval de l'élément filtrant.

Cette pression peut découler du simple **poinds** (par unité de surface) **de la suspension** au-dessus du filtre. Mais on peut aussi remplacer la gravité par la **force centrifuge**, mettant ainsi en jeu des énergies très supérieures (filtres et essoreuses centrifuges).

On peut également enfermer la suspension (et éventuellement le filtre) dans une enceinte étanche mise **sous pression gazeuse**, cas des « monte-jus ».

On peut accroître la pression à l'entrée du filtre en l'alimentant par une pompe (à piston plongeur, à membrane, centrifuge, etc.).

Enfin, on peut mettre la **sortie du filtre en dépression** par rapport à l'atmosphère (filtres sous vide).

Par ailleurs, la résistance à l'écoulement croissant avec le temps, on conçoit que, si le filtre est alimenté sous pression constante, le débit diminue dans le temps, tandis que, si l'on désire un débit constant, il est nécessaire d'accroître régulièrement la pression de filtration.

Schématiquement donc, on peut envisager des filtres fonctionnant sous pression constante, à débit constant, ou à débit et pression variables.

Les filtres sous vide travaillent généralement sous pression constante, cette pression étant l'écart entre la pression atmosphérique et le vide sensiblement constant fourni par une pompe à vide, un éjecteur, une jambe barométrique, etc.

Il en est souvent de même pour les « monte-jus », si la pression du gaz au-dessus de la suspension ne varie pas de façon notable au cours de la filtration.

Un filtre alimenté par gravité fonctionne soit sous pression variable, si la suspension est amenée sur le filtre en une fois et que sa hauteur diminue donc dans le temps, soit sous pression constante si un système de trop-plein, par exemple, maintient cette hauteur toujours à la même valeur au-dessus du filtre.

2.2 Modes d'alimentation des filtres

Si la suspension est amenée sur le filtre par **pompe**, plusieurs modes d'alimentation peuvent être envisagés. Si l'on utilise une **pompe volumétrique** (à piston plongeur ou à membrane par exemple, donc à vitesse relativement lente, en particulier lorsque la suspension a été floculée et contient donc des agglomérats relativement fragiles), l'alimentation sera faite, en principe, à débit moyen constant, deux cas pratiques sont cependant concevables, essentiellement dans le domaine de la filtration sur support :

- **si le gâteau formé est peu compressible**, l'alimentation à débit constant (donc à pression croissante) sera poursuivie jusqu'à ce que la pression atteigne la valeur maximale compatible avec la résistance mécanique du filtre. Au-delà, le système de sécurité de l'installation (soupape de décharge ou de retour, cloche à membrane, etc.) se met en action, et c'est alors la pression qui reste constante ;

- **si le gâteau formé est compressible**, on a intérêt à régler le système de sécurité à une pression assez basse pour que, très vite, l'alimentation se fasse à pression constante faible, afin de ne pas écraser le gâteau. En fin de filtration, lorsque le gâteau a atteint son épaisseur maximale, on repasse parfois à une alimentation à débit constant, jusqu'au maximum de pression admissible, ce qui se traduit par un tassement du gâteau donnant naissance à un tourteau moins humide qu'avant l'application de cette forte pression.

Les pompes volumétriques fournissant un débit relativement faible, les filtres de grosse capacité sont généralement alimentés par des **pompes centrifuges** et fonctionnent donc sous pression et débit variables, le point figuratif décrivant la courbe pression-débit fournie par le constructeur.

Il est évident que les lois de la filtration sont différentes suivant le mode d'alimentation ou la combinaison des modes d'alimentation adoptés.

3. Auxiliaires de filtration

■ Épaississeurs

Lorsque l'on doit **filtrer de gros volumes de suspensions très diluées**, ce qui nécessiterait l'installation d'un filtre de grosse capacité, il est souvent rentable de faire subir à la suspension un **épaississement préalable** (décanteur statique ou centrifuge, filtre épaississeur, hydro), afin de n'avoir à utiliser qu'un filtre de dimension raisonnable.

■ Floculants

Si les particules de la suspension sont très fines, donc difficilement filtrables, il peut être nécessaire de les faire **floculer avant filtration**. L'addition de floculants adaptés à la suspension donne en effet naissance à de gros flocons formés par l'agglomération des petites particules. Moyennant certaines précautions, on observe alors en général une nette amélioration de la filtrabilité du produit et de la clarté du filtrat.

Les floculants ont certainement apporté, lors de ces dernières années, les plus grands progrès dans les domaines de la séparation des constituants d'une suspension, que ce soit par décantation ou par filtration. Leur mode d'action est relativement complexe. De façon très schématique et simplifiée, on peut imaginer que certains de ces produits ont une action un peu mécanique, en créant des ponts entre les particules. D'autres produits agissent par modification des caractéristiques électriques superficielles des particules (neutralisation des charges de mêmes signes, qui tendent à faire se repousser les particules).

L'efficacité de ces produits dépend très souvent du pH de la suspension, et leur choix devient très délicat pour les pH extrêmes.

Leur dosage [quelques p. p. m. (10^{-6} en masse) ou quelques mg par litre] doit être soigné, leur efficacité passant souvent par un maximum pour une certaine concentration.

On trouve ainsi, dans le commerce, des polyélectrolytes, des hydrates de carbone, des polymères soit anioniques, soit cationiques, soit non ioniques, du type polysaccharides par exemple.

■ Adjuvants de filtration

Si la floculation des fines est impossible ou trop onéreuse et si la clarté du filtrat est le seul impératif recherché, il convient, pour la filtration sur support, d'utiliser des adjuvants de filtration, matériaux caractérisés par un grand pouvoir de rétention fine, joint à une grande perméabilité.

C'est ainsi que, **pour retenir de très petites particules**, au lieu d'utiliser un support de grande finesse qui freinerait considérablement l'écoulement, on filtre sur une précouche d'adjuvants déposée sur un support de finesse moyenne. C'est l'opération d'**enduisage**.

Si la précouche a tendance à être colmatée en surface par les particules de la suspension, on peut rajouter des adjuvants à la suspension et former ainsi un gâteau constitué d'un mélange de fines particules et d'adjuvants, dont la filtrabilité est très supérieure à celle d'un gâteau de particules seules. C'est l'opération de **nourrisage**. Toujours dans le même cas de tendance au colmatage de la précouche, on peut, si l'on utilise un filtre rotatif à tambour sous vide, former une précouche épaisse (de 5 à 10 cm), un couteau à avance micrométrique éliminant progressivement les couches superficielles colmatées.

Les principaux adjuvants sont les **kieselguhrs** et les **perlites**. Les fibres de cellulose ou d'amiante, la poudre de charbon, la sciure de bois sont également parfois utilisées.

● **Kieselguhrs** : ce sont des carapaces siliceuses de diatomées fossiles microscopiques dont les dépôts se sont formés il y a quelques milliers de siècles. Le produit brut, après simple broyage, est rarement utilisé comme adjuvant car il est formé de particules de dimensions très variées et contient encore des sels minéraux, du sable et quelques matières organiques (ce produit brut sera éventuellement utilisé comme calorifuge en vrac). Les diverses qualités de kiesel-guhrs rencontrées dans le commerce correspondent aux traitements plus ou moins poussés apportés à ce produit brut : calcination, lavage à l'acide, frittage en présence de fondant, tamisage ou élutriation. Leur porosité globale est de l'ordre de 70 à 85 %, une part importante correspondant à la porosité des débris de carapaces criblées de très fines perforations.

● **Perlites** : ce sont des roches vitreuses d'origine volcanique, de la même famille que les ponces et les obsidiennes. La roche est constituée de lamelles entre lesquelles s'interpose de l'eau interstitielle (de 3 à 4 %). Après broyage et tamisage, un chauffage brutal jusqu'aux environs de la température de ramollissement du produit (900 à 1 000 °C) vaporise cette eau et gonfle les grains. Après un nouveau broyage et de nouvelles séparations, on obtient des perlites de diverses perméabilités, dont les masses volumiques apparentes varient de 150 à 200 kg/m³ et sont donc, en moyenne, inférieures à celles des diatomées (300 à 350 kg/m³).

4. Lavage. Essorage. Pressage

Après la phase de filtration sur support proprement dite, le **gâteau** devra être **lavé** pour éliminer le plus possible de filtrat contenu dans ses pores, soit pour récupérer l'essentiel de ce filtrat, soit au contraire pour obtenir un gâteau qui en sera sensiblement exempt.

L'élimination des dernières traces de filtrat hors des interstices du gâteau exigeant le passage de volumes importants de liquide de lavage, il est parfois plus intéressant de refaire une ou plusieurs filtrations après avoir remis en suspension le gâteau dans du liquide de lavage.

Souvent, on cherche également à obtenir le gâteau le moins humide possible pour réduire les frais ultérieurs de transport, séchage, etc. On prévoit alors, après les opérations de filtration et de lavage éventuel, un **essorage** du gâteau, soit **mécanique** (écrasement du gâteau par un coussin gonflé à l'air comprimé ou par accroissement important de la pression de filtration), soit par **passage de vapeur d'eau ou d'air**.

Dans les opérations de lavage et dans les opérations d'essorage par passage d'un gaz, il est nécessaire de veiller à l'absence de craquelures ou fissures dans le gâteau, à travers lesquelles se produirait un écoulement important de fluide qui ne participerait sensiblement pas au lavage ou à l'essorage.

Signalons que les étapes ultérieures à la filtration, appelées **post-traitements**, font l'objet d'un article séparé car la propreté et la siccité du gâteau de filtration sont des spécifications requises pour de très nombreuses applications (produits minéraux et organiques : carbonate, oxydes, acides...).

Seront décrits successivement les aspects théoriques :

- de la **filtration sur support** [J 3 501] ;
- des **post-traitements à la filtration** [J 3 502] ;
- de la **filtration en profondeur** [J 3 503].

L'article [J 3 510] « **Filtration. Technologie** » traitera du choix et de la description des filtres usuels utilisés dans l'industrie.