

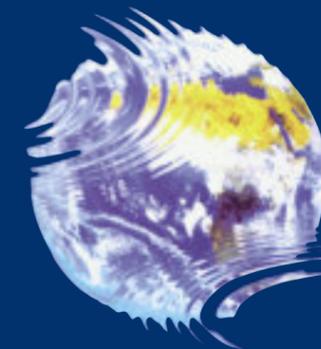
*TRAITEMENTS
PHYSICO-
CHIMIQUES*



SNF FLOERGER
ZAC de Milieux
42163 Andrézieux Cedex - FRANCE
Tel: + 33 (0)4 77 36 86 00
Fax: + 33 (0)4 77 36 86 96
floerger@snf.fr

SNF FLOERGER®

GUTENBERG ON LINE REGIONS - Tél. 04 77 42 35 00 / 01 - 2003



SNF FLOERGER®

L'information présentée dans cette brochure est donnée de bonne foi. En l'état de nos connaissances actuelles, elle reflète la vérité.
Il est de la responsabilité de l'utilisateur de faire un bon usage des produits mentionnés à l'intérieur de cette brochure.

SOMMAIRE

Il existe aujourd'hui de nombreux procédés pour traiter les eaux résiduaires. Le plus fréquemment employé dans le monde utilise des coagulants et des flocculants : il s'agit du **procédé physico-chimique**.

1	Généralités sur la coagulation et la floculation :	4
1.1.	La coagulation :	4
1.1.1.	Les principes de base de la coagulation :	4
1.1.2.	Les particules colloïdales :	5
1.1.3.	Les mécanismes de la coagulation :	5
1.1.4.	Les coagulants :	5
1.2.	La floculation :	7
1.2.1.	Les principes de base de la floculation :	7
1.2.2.	Les particules déstabilisées :	8
1.2.3.	Les mécanismes de la floculation :	8
1.2.4.	Les flocculants :	8
2	Procédés de traitement des eaux par voie physico-chimique :	10
2.1.	Le schéma général d'un procédé physico-chimique :	10
2.2.	Les matériels de traitement des eaux :	11
2.2.1.	Le bassin de coagulation et de floculation :	11
2.2.2.	Les décanteurs :	11
2.2.3.	Les flottateurs :	13
2.2.4.	Les filtres :	13
2.3.	Les paramètres à considérer dans le choix des produits :	14
2.3.1.	Les caractéristiques de l'effluent :	14
2.3.2.	Les conditions de travail :	14
2.3.3.	Les résultats souhaités :	14
3	Essais laboratoires :	15
3.1.	L'échantillonnage :	15
3.1.1.	De la solution à traiter :	15
3.1.2.	Des polymères :	15
3.2.	Le matériel de laboratoire :	16
3.3.	Les procédures de tests :	16
3.4.	Les paramètres à surveiller et l'exploitation des résultats :	17
4	Essais industriels :	18
4.1.	La mise en place d'un essai :	18
4.2.	Les paramètres à surveiller et l'exploitation des résultats :	18
5	Conseils en cas de problèmes :	19
5.1.	A l'échelle laboratoire :	19
5.2.	A l'échelle industrielle :	19

1 Généralités sur la coagulation et la floculation

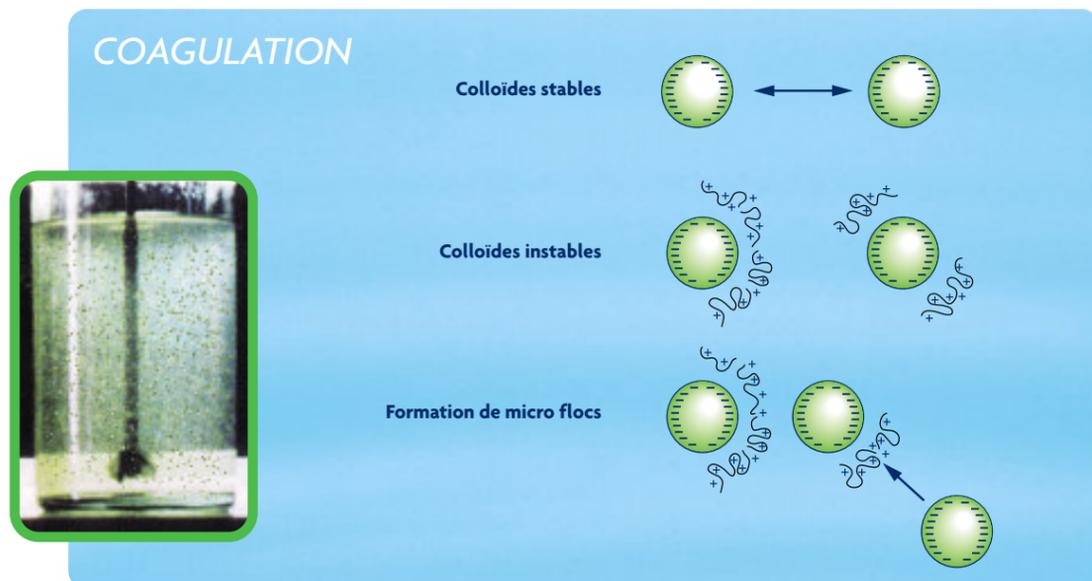
La coagulation et la floculation sont deux phases bien distinctes dans un traitement physico-chimique.

1.1. La coagulation :

La coagulation représente l'étape du traitement où les particules colloïdales (assimilables à des sphères de taille inférieure à 1 micromètre) d'une eau donnée sont déstabilisées.

1.1.1. Les principes de base de la coagulation :

Le mot coagulation est issu du latin " coagulare " qui signifie agglomérer. En tant que processus unitaire du traitement de l'eau, la coagulation résulte de l'addition de réactifs chimiques dans des suspensions aqueuses, afin d'assembler en agrégats plus gros (flocs ou microflocs), les particules colloïdales dispersées.



La coagulation est une étape intermédiaire mais primordiale pour la réussite des procédés physico-chimiques de traitement des eaux. Elle implique l'élimination des particules colloïdales. Cette phase est la première étape de la déstabilisation qui consiste essentiellement à neutraliser ou diminuer la charge électrique et à favoriser ainsi le rapprochement des colloïdes.

1.1.2. Les particules colloïdales :

Les colloïdes sont des particules en suspension dans l'eau dont la taille, inférieure à 1 μm , leur confère une grande stabilité. Elles peuvent être d'origines diverses :

- **minérales** : limons, argiles colloïdales, silices, hydroxydes et sels métalliques.
- **organiques** : acides humiques et fulviques, colorants, tensio-actifs,...

Remarque : Des **micro-organismes** tels que les bactéries, le plancton, les algues, les virus font aussi partie des colloïdes et peuvent de ce fait être éliminés par coagulation.

1.1.3. Les mécanismes de la coagulation :

La stabilité et donc l'instabilité des particules en suspension dépendent de différentes forces répulsives et attractives :

- Les forces de Van der Waals,
- Les forces de répulsions électrostatiques,
- La gravité,
- Le mouvement brownien.

La coagulation est à la fois un procédé chimique et physique qui grâce aux réactions entre les particules et les coagulants permet la formation et l'éventuelle sédimentation des agrégats formés.

Les **coagulants** qui sont toujours **cationiques**, **neutralisent** les charges négatives des colloïdes et forment ainsi une masse spongieuse appelée **microfloc**.

Le mécanisme de la coagulation peut se résumer en 2 étapes :

1 - La neutralisation des charges : qui correspond à une diminution des forces électriques répulsives.

2 - L'agrégation des particules.

1.1.4. Les coagulants :

Deux grandes familles de coagulants sont actuellement utilisées :

1 - Les coagulants minéraux :

Principalement à base de **sels de Fer** (FeCl_3 , $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$,...) ou d'**Aluminium** (PAC, sulfate d'alumine,...), ce sont les produits les plus répandus.

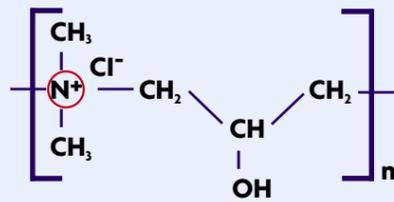
La charge cationique est apportée par les ions Fe^{3+} ou Al^{3+} qui vont former au contact de l'eau des hydroxydes de fer : $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ou d'aluminium : $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Les principaux avantages de ces coagulants sont une **universalité d'application** et un **faible prix** d'achat.

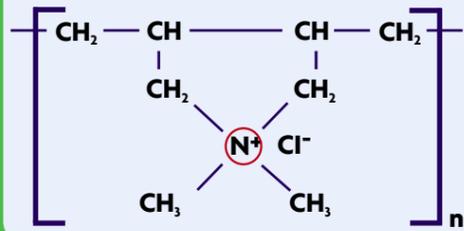
2 - Les coagulants organiques :

La charge cationique est apportée par une fonction ammonium quaternaire fixée sur une longue chaîne polymérique.

EXEMPLE DES POLYAMINES



EXEMPLE DES POLYDADMAC



Quatre principales familles de coagulants organiques existent :

- Les **polyamines** (Floquat FL 17, Floquat FL 28 P2, ...)
- Les **polyDADMAC** (Floquat FL 45 C, Floquat FL 45 CLV, ...)
- Les **résines dicyandiamides** (Floquat DEC 50...)
- Les **résines mélamine-formaldéhyde** (Floquat FL 42, Floquat FL 61)

Les avantages sont un **faible dosage** et une **quantité de boue produite plus faible** qu'avec un coagulant minéral (pas de production d'hydroxydes). De plus ces coagulants n'affectent pas le pH ni le Titre Alcalimétrique Complet (TAC).

3 - Les mélanges coagulant minéral/coagulant organique :

Ces mélanges permettent de rassembler avec un seul réactif les avantages des coagulants minéraux et ceux des coagulants organiques (Série Floquat FLB).

Le coagulant minéral utilisé pour réaliser ces mélanges est souvent un sel d'aluminium : le PAC.

1.2. La floculation :

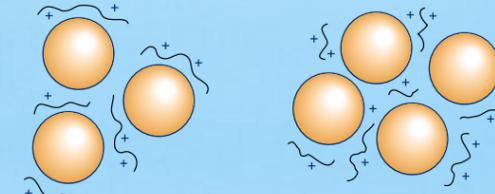
La floculation représente l'étape où les particules déstabilisées sont rassemblées en agrégats.

1.2.1. Les principes de base de la floculation :

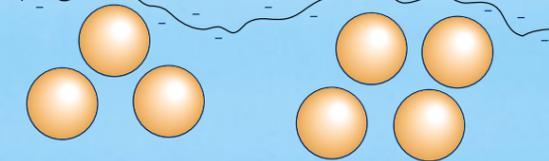
L'étape de floculation ne peut être envisagée que sur une eau contenant des **particules déjà déstabilisées**. Elle est donc la suite logique de l'étape de coagulation.

FLOCULATION

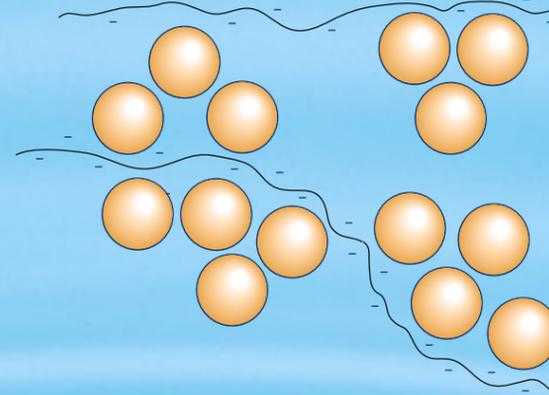
Colloïdes instables



"Pontage"



Formation de flocs



1.2.2. Les particules déstabilisées :

L'origine des particules déstabilisées est très variée et dépend essentiellement de la provenance de l'eau à traiter. Elles peuvent être issues d'une étape de coagulation préliminaire.

La **charge** (+ ou -) apportée par le floculant sera sélectionnée en fonction du type de particules déstabilisées présentes dans l'eau. D'une manière générale, elle peut être :

- Plus ou moins **anionique** (-) pour les particules **minérales**.
- Plus ou moins **cationique** (+) pour les particules **organiques**.

1.2.3. Les mécanismes de la floculation :

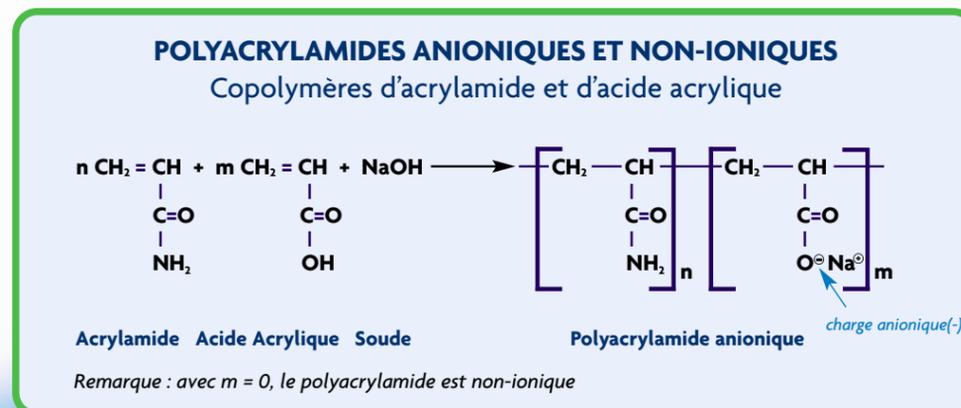
Les floculants, de par leur très haut poids moléculaire (longue chaîne de monomères) et leur pourcentage de charge (de 0 à 100%), fixent les particules déstabilisées et les rassemblent sur leur chaîne. Il va s'en suivre **un grossissement de la taille des particules** présentes dans la phase aqueuse **au cours de l'étape de floculation** avec la formation de **flocs**.

Les types de liaison, entre les particules déstabilisées et le floculant, sont principalement des **liaisons ioniques et des liaisons hydrogènes**.

1.2.4. Les floculants :

Parmi plus de 800 floculants différents (gamme FLOPAM), nous pouvons distinguer deux grandes catégories de floculants :

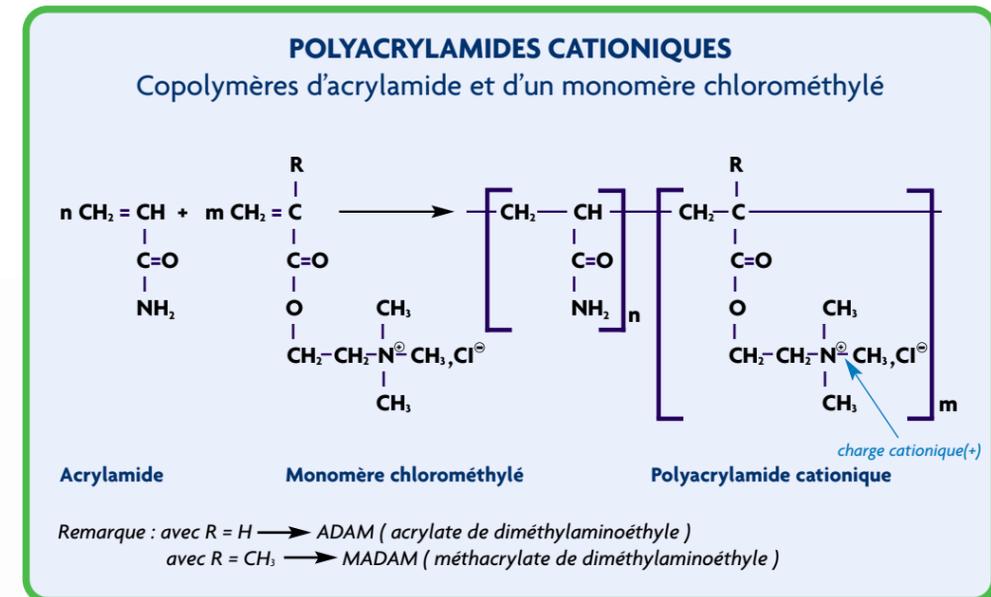
1 - Les floculants anioniques et non-ioniques : qui apportent dans le milieu des charges (-)



Différentes formes commerciales existent :

- sous forme solide (Série Flopam AN 900, Flopam AN 900 SH, ...)
- sous forme liquide (Série Flopam EM -3-)

2 - Les floculants cationiques : qui apportent dans le milieu des charges (+)



De même, différentes formes commerciales existent :

- sous forme solide (Série Flopam FO 4000, Flopam FO 4000 SH, ...)
- sous forme liquide (Série Flopam EM -4- L, Flopam EM -4- CT, ...)

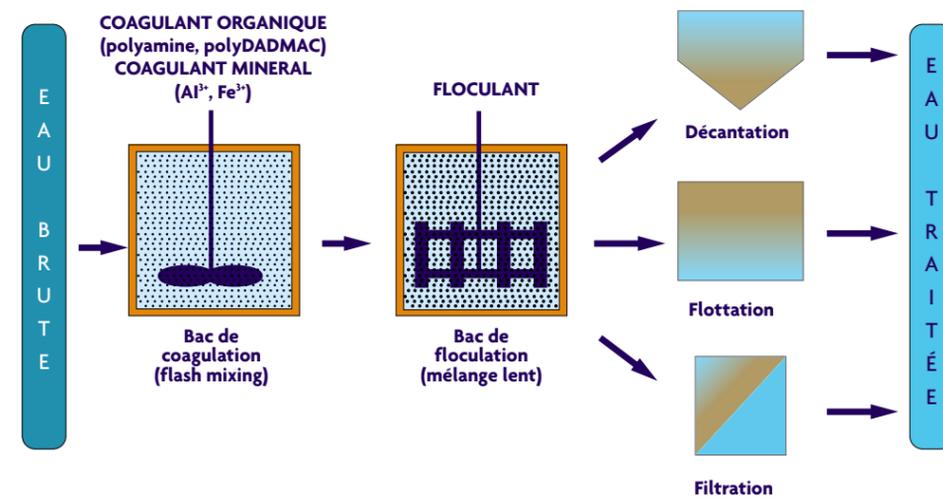


2 Procédés de traitement des eaux par voie physico-chimique

Ces procédés sont caractérisés par :

- une **séparation des solides de la phase liquide** (⇄ physico-). Trois procédés sont le plus souvent utilisés pour cette séparation : la décantation, la flottation et la filtration.
- l'**emploi de réactifs** (⇄ chimiques) pour la déstabilisation et l'augmentation de taille des particules constituant la pollution.

2.1. Le schéma général d'un procédé physico-chimique :



Les réactifs les plus souvent utilisés sont : des coagulants minéraux et/ou organiques, des adjuvants de floculation (silice activée, talc, charbon actif, ...), des floculants anioniques ou cationiques et des réactifs de régulation de pH tels que les acides et les bases. Des chélatants de métaux lourds peuvent aussi être injectés au niveau de l'étape de coagulation.

2.2. Les matériels de traitement des eaux :

2.2.1. Le bassin de coagulation et de floculation :

L'étape de réaction des colloïdes et/ou des particules déstabilisées avec les différents réactifs mis en œuvre a lieu dans des bassins de formes très variées. Ces derniers sont parfois inclus dans le décanteur (Décanteur-floculateur).

Quelques règles doivent être cependant respectées :

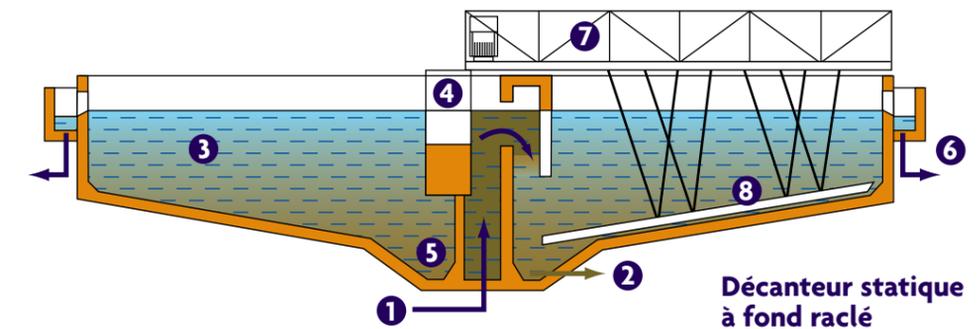
- Le **volume** de ces bassins sera fonction des charges appliquées.
- Les **points d'injection** de chaque réactif seront déterminés en fonction de leur spécificité. Par exemple, un coagulant sera toujours injecté avant un floculant.
- Les **agitateurs** (vitesse et taille) seront aussi sélectionnés en fonction des réactifs utilisés. L'agitation doit être rapide pour l'étape de coagulation (procédé de flash mixing avec un gradient de vitesse conseillé de 1000 s^{-1}) et lente pour la floculation (gradient de vitesse de l'ordre de 100 s^{-1}).

2.2.2. Les décanteurs :

Différents types de décanteurs existent. Ils doivent permettre la séparation des solides de la phase liquide par **décantation** et sont donc dimensionnés à partir d'une **vitesse de sédimentation de particule**.

Les plus courants sont :

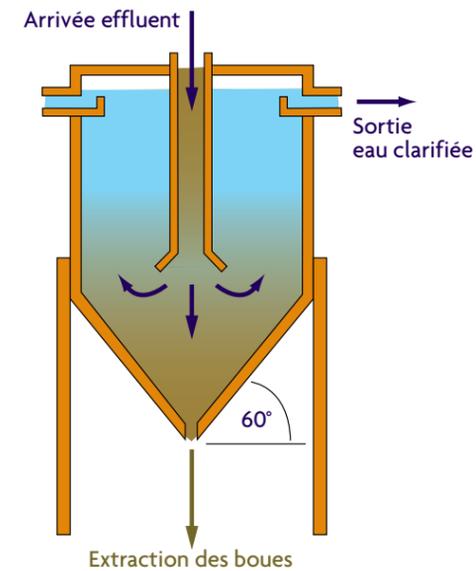
- Les **décanteurs raclés** : Ils sont alimentés par le centre et l'évacuation gravitaire de l'eau traitée s'effectue sur toute la périphérie vers une goulotte. Un système de raclage évite un talutage des boues sur les parois du décanteur et permet un regroupement de ces dernières dans une zone destinée à leur soutirage.



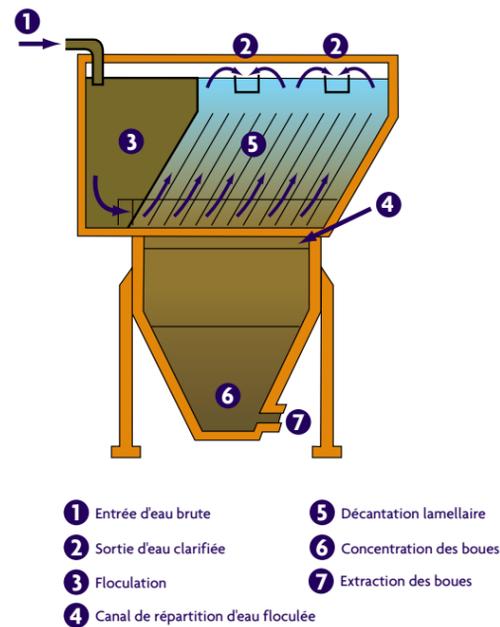
- | | |
|--|---|
| 1 Tuyauterie d'amenée de l'effluent | 5 Fosse à boues |
| 2 Tuyauterie d'évacuation des boues | 6 Goulotte de réception des eaux clarifiées |
| 3 Zone de décantation | 7 Pont tournant |
| 4 Ouvrage d'amenée et de répartition de l'effluent | 8 Raclateur de boues |

● Les **décanteurs cylindro-coniques** (à flux vertical) : A la différence des décanteurs raclés, ils ne possèdent pas de système de raclage et c'est l'inclinaison du cône qui oriente les boues vers leur point d'évacuation. Ils sont alimentés par le centre du cylindre et l'évacuation gravitaire de l'eau traitée s'effectue sur toute la périphérie vers une goulotte.

Décanteur cylindro-conique



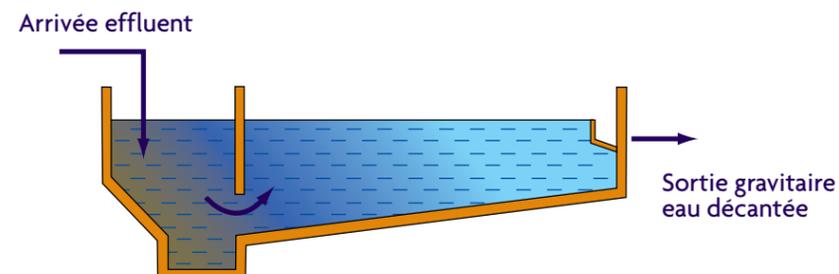
Décanteur lamellaire



● Les **décanteurs lamellaires** : Ils sont composés d'un empilage de décanteurs élémentaires dont les surfaces projetées horizontalement vont s'additionner. Une inclinaison du faisceau d'éléments permet aux boues de glisser vers le bas sous l'effet de la pesanteur.

● Les **décanteurs à flux horizontal** : Encore appelés décanteurs longitudinaux, ils se caractérisent par leur flux d'eau horizontal.

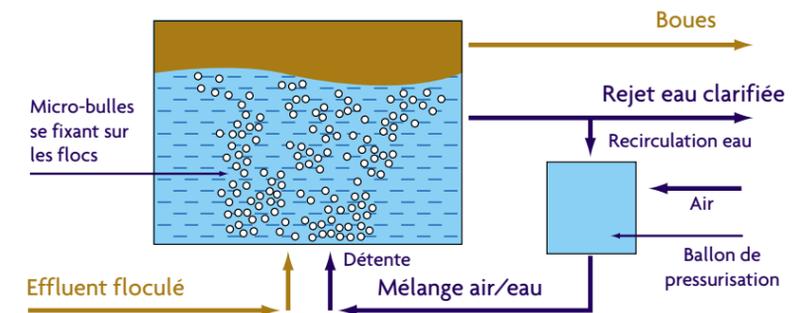
Décanteur à flux horizontal



2.2.3. Les Flottateurs :

A l'inverse des décanteurs, la **séparation solide/liquide se fait par flottation**. Cette flottation peut être naturelle (densité des particules inférieure à 1) ou provoquée (fixation de micro-bulles sur les solides). L'élimination des boues se fera donc dans la partie supérieure des équipements.

Flottateur



Pour une flottation provoquée, l'obtention de micro-bulles est réalisée par pressurisation soit de l'eau à traiter : c'est la **flottation directe**, soit par mélange d'une eau auxiliaire préalablement saturée d'air sous une pression de quelques bars : la **flottation** est alors dite **indirecte**.

2.2.4. Les Filtres :

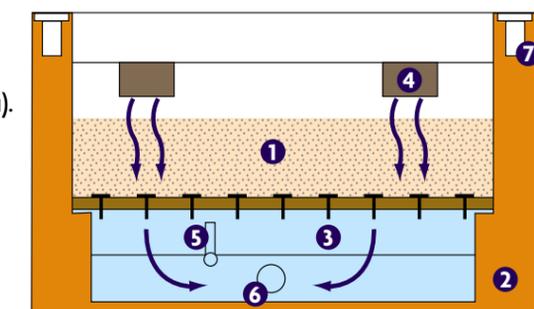
La **filtration est un procédé utilisant le passage d'un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux, pour retenir les solides et laisser passer les liquides**.

Les filtres sont une technologie adaptée aux effluents peu chargés ou en traitement de finition.

Simplement, nous distinguerons :

- Les filtres à sable.
- Les filtres à toile ou à poches.
- Les filtres à déroulement papier.
- Les filtres sous vide (à disques ou à plateau).
- L'ultrafiltration sur membranes.

Filtre à sable



- 1) Sable
- 2) Plancher béton
- 3) Buselures
- 4) Entrée de l'effluent
- 5) Collecteur de soufflerie
- 6) Entrée eau de lavage et sortie eau filtrée
- 7) Goulotte d'évacuation des boues

2.3. Les paramètres à considérer dans le choix des produits :

Plusieurs paramètres devront être pris en compte pour la pré-sélection laboratoire des coagulants et des floculants à tester mais aussi dans le choix final du coagulant et/ou du floculant. Nous devons prendre en considération :

2.3.1. Les caractéristiques de l'effluent :

- Le pH
- La concentration en matière sèche
- La demande ionique
- Le ratio minéral/organique
-

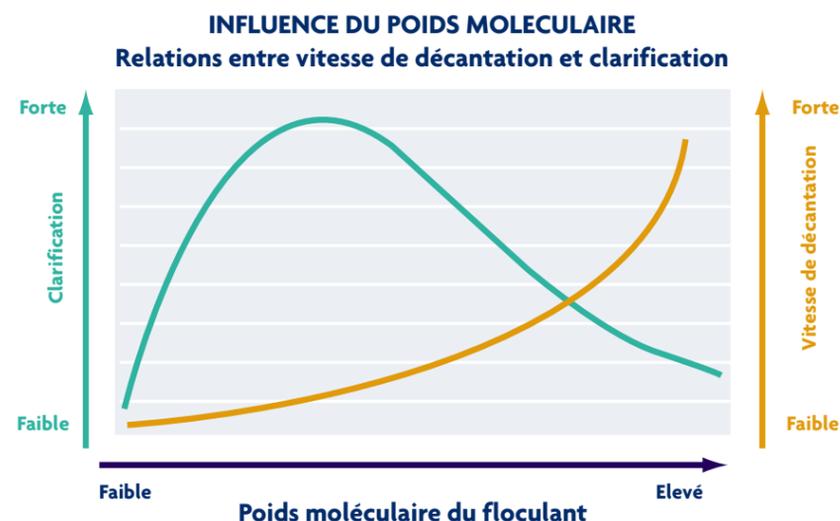
2.3.2. Les conditions de travail :

- La présence d'un Flash mixing ou non
- Les points d'injection
- Les conditions de mélange
- Le temps de contact
- Le temps de décantation
-

2.3.3. Les résultats souhaités : (en terme d'abattement)

- MES
- Turbidité
- Couleur
- DCO

Mais aussi la vitesse de décantation souhaitée :



3 Essais laboratoires

Les essais laboratoires sont indispensables. Au vu de la large gamme de coagulants et de floculants (plus de 1000 produits), les essais laboratoires doivent permettre :

- De **sélectionner le ou les produits les plus adaptés** qui seront testés à l'échelle industrielle.
- D'avoir une idée sur les performances des produits sélectionnés : abattement MES, DCO, turbidité,...
- De déterminer les plages de dosages des produits sélectionnés (ordre de grandeur).
- D'optimiser les conditions de mise en œuvre à l'échelle industrielle (points d'injection, agitation,...).

Remarque : Il faut toutefois se garder d'extrapoler les résultats laboratoires à l'échelle industrielle.

3.1. L'échantillonnage :

3.1.1. De la solution à traiter :

Avant tout essai laboratoire, un **échantillonnage représentatif** de l'effluent devra être réalisé. Pour ce faire, **une connaissance du process et/ou de la filière** est obligatoire :

- Qualité des eaux (pH, MES, MS, couleur, turbidité, DCO,...).
- Débit horaire et débit de pointe.
- Variation possible de la qualité.
- Equipement actuel et/ou envisagé.

3.1.2. Des polymères :

Pour les coagulants et les floculants, il n'est pas nécessaire dans un premier temps de tester tous les produits disponibles :

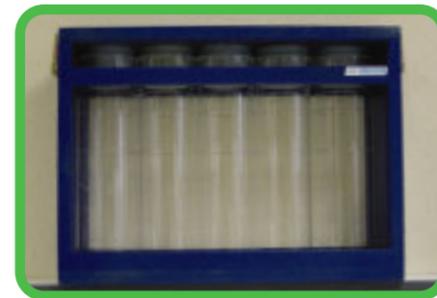
- **Pour les coagulants**, se limiter aux principales familles. Par exemple : une polyamine (Floquat FL 17), un polyDADMAC (Floquat FL 45 C), une résine dicyandiamide (Floquat DEC 50) et un sel métallique (PAC).
- **Pour les floculants**, commencer par sélectionner la charge à apporter en testant les produits issus d'une gamme possédant le même poids moléculaire. Par exemple : la série Flopam AN 900 SH pour les floculants anioniques poudres et la série Flopam FO 4000 SH pour les floculants cationiques poudres.

3.2. Le matériel de laboratoire :

L'équipement le plus utilisé pour réaliser des tests sur un procédé physico-chimique est le **jar-test**. Il permet, en effet, d'appliquer la même agitation dans plusieurs béchers (généralement 6) et ainsi de comparer directement plusieurs réactifs ou des dosages croissants du même réactif. Il faut aussi prévoir de quoi doser les réactifs : seringues, pipettes,...ainsi qu'un chronomètre pour contrôler les temps d'agitation.



Jar-test automatique



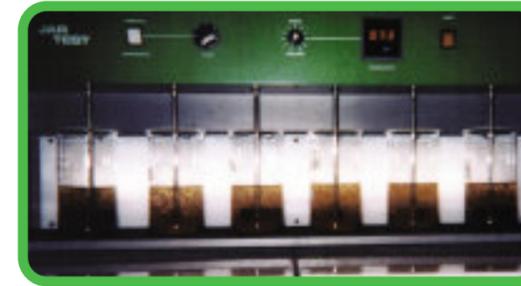
Jar-test manuel

Remarque : Se référer à la brochure **Préparation des Polymères Organiques** pour les méthodes de dissolution des coagulants et des floculants.

3.3. Les procédures de tests :

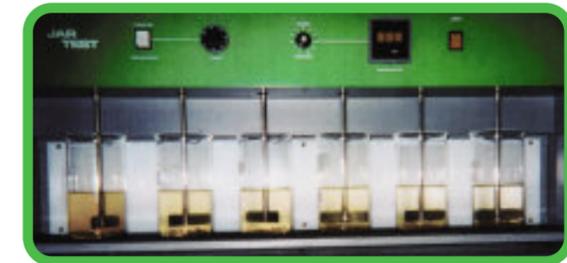
Le but de ce paragraphe n'est pas d'imposer une procédure de test mais de **décrire les phases essentielles** et communes aux différentes procédures existantes. En effet, chaque test réalisé doit être adapté aux conditions industrielles et être fonction des volontés de l'exploitant. Sur ces critères, chaque test sera spécifique.

● **L'injection des réactifs** : après avoir préparé les différentes solutions de réactifs à tester, leur injection doit avoir lieu simultanément et à des doses prédéfinies.



● **Le mélange des réactifs à l'effluent** : suite à l'injection, une phase d'agitation est indispensable pour répartir correctement les réactifs dans l'effluent. Ces phases d'agitation peuvent varier en intensité et en temps. Nous pouvons citer en exemple :
Pour un coagulant : 250 rpm pendant 2 minutes puis 40 rpm pendant 15 minutes.
Pour un floculant : 250 rpm pendant 10 secondes puis 40 rpm pendant 5 minutes.

● **La décantation des floccs** : une fois les floccs formés, une phase de décantation débute avec par exemple des temps de 20 minutes pour les coagulants et 10 minutes pour les floculants.

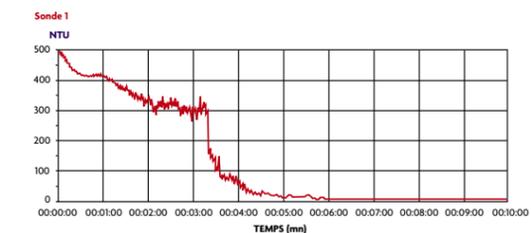


3.4. Les paramètres à surveiller et l'exploitation des résultats :

Les principaux paramètres à contrôler durant ces essais laboratoires sont :

- le temps de réaction
- la taille des floccs
- la vitesse de décantation
- la clarification
- le mélange
- la résistance des floccs

Ces paramètres peuvent être contrôlés visuellement ou à l'aide d'équipement tel que le turbidimètre à 6 sondes développé par SNF Floerger qui permet une mesure de la turbidité en continu.



1 2 3

Etape 1 : Injection du coagulant et agitation rapide (Désstabilisation des colloïdes)
Etape 2 : Agitation lente (Augmentation de la taille des floccs)
Etape 3 : Décantation

Toutes ces données seront recueillies dans un tableau pour permettre l'analyse des résultats suivant les paramètres primordiaux retenus.

4 Essais industriels

Les essais industriels doivent permettre de confirmer les résultats obtenus à l'échelle laboratoire.

4.1. La mise en place d'un essai :

Durant la période d'essai, les effluents doivent être représentatifs et proches des conditions habituelles.

La mise en œuvre des réactifs devra être optimale.

(Voir brochure [Préparation des Polymères Organiques](#)).

La concentration des réactifs, les points d'injection, ... devront être sélectionnés à partir des résultats laboratoires.

4.2. Les paramètres à surveiller et l'exploitation des résultats :

Les principaux paramètres à surveiller sont fonction des résultats à obtenir.

Les plus courants sont :

- Débit des réactifs (l/h, kg/h,...)
- Débit de l'effluent (m³/h)
- Concentration de l'effluent (g/l)
- Point d'injection
- Clarification
- Epaissement

Pour l'exploitation des résultats, il est intéressant de rassembler toutes ces données dans un tableau dans le but de calculer la consommation des réactifs par m³ d'eau traitée ou par kg de Matières Sèches (M.S.) traitées.

5 Conseils en cas de problèmes

5.1. A l'échelle laboratoire :

A l'échelle laboratoire, de mauvais résultats peuvent apparaître suite à :

- Une mauvaise incorporation du produit : la viscosité des flocculants organiques peut entraîner quelques difficultés de mélange.
- Un surdosage : à un certain dosage, les charges (+) ou (-) apportées en trop grande quantité dans l'effluent vont contribuer à la répulsion des particules entre elles.

5.2. A l'échelle industrielle :

En cas de problème dans le dosage des réactifs (coagulant, flocculant,...), il est important de procéder par étape pour vérifier tous les points. Le schéma suivant nous indique la démarche à suivre :

LE DOSAGE DANS LE TRAITEMENT DES EAUX

