

Chapitre IV- Coagulation-floculation

VI.1 Caractéristiques des matières en suspension (MES) et colloïdales

L'état dispersé contient un ensemble de particule gênant le passage de la lumière dans la phase liquide. Une **dispersion est retenue par les filtres**. Les M.E.S sont les particules solides de densité supérieure à celle de l'eau. Elles sont très divers tant par leur nature que par les dimensions. Elles proviennent, soit de la dégradation des végétaux et d'animaux soit de l'arrachement des sables ou des argiles causées par les eaux de ruissellement. Généralement, la proportion minérale est dominante dans les eaux de surface, surtout en période de crue. Parmi les M.E.S, on peut citer :

a) Les matières en suspensions décantables

Elles sont soumises aux lois de pesanteur et ont la propriété de sédimentation dans les milieux naturels ou décantation dans les ouvrages des stations de traitement (décanteurs et débourbeurs). Ces M.E.S décantent dès que l'eau n'est plus en mouvement ou faiblement agitée, **la loi de Stokes et alors applicable**. Cela concerne les particules de **dimension $\geq 1\mu\text{m}$** .

b) Les matières en suspension colloïdales

Un système colloïdal contient des particules constituées soit de particules élémentaires, soit de macromolécules. Ces particules portent une charge négative sur leur surface, dans l'eau naturelle, ces charges induisent des forces de répulsion entre les particules et sont un élément de stabilisation de l'état dispersé qui les empêche de s'agglomérer. Les colloïdes ne sont pas sédimentables, ils se déplacent sous l'action d'un champ électrique. Ce sont des M.E.S qui ont des **dimensions $< 1\mu\text{m}$** . La loi de Stokes est inapplicable.

VI.2 Théorie de la double couche ionique

Dans les eaux naturelles, la très grande majorité des particules colloïdales est chargée négativement (Figure 1).

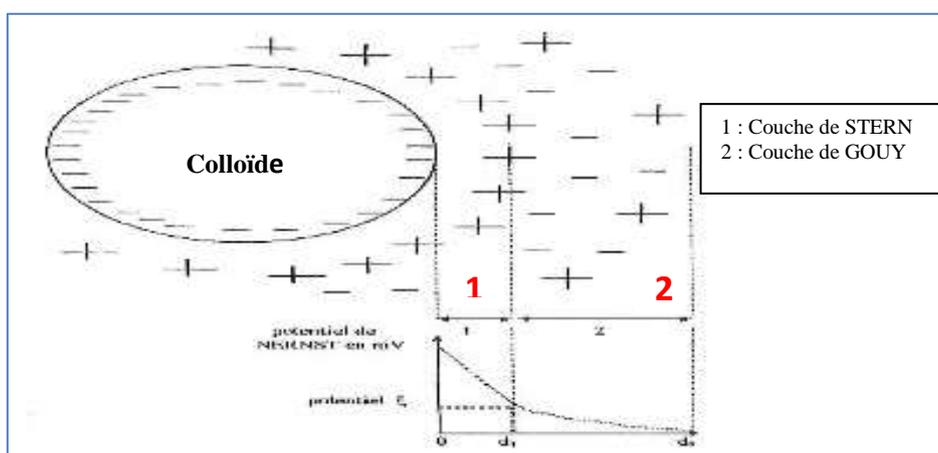


Figure 1: Distribution ionique autour d'une particule colloïdale (d'après le modèle de Gouy-Chapman-Stern)

➤ **Au centre** : l'ion colloïdal.

➤ **A l'extérieur** : les ions libres de charge électrique équivalente et de signe contraire à celle de l'ion colloïdal et formant deux couches :

- **Ions de parois** (couche dense de Helmholtz ou couche de Stern) indissolubles de l'ion colloïdal qui présentent une charge toujours inférieure à celle de l'ion colloïdal.

- **Ions complémentaires** (couche de Gouy-Chapman) formant une couche diffuse à une plus grande distance de l'ion colloïdal, en équilibre avec le solvant, présentant un appauvrissement progressif en ions de signe contraire à celui de l'ion colloïdal, accompagné d'un enrichissement correspondant en ions de l'autre signe.

IV.3 Définition de la coagulation et de la floculation

C'est un procédé physico-chimique qui a pour but de déstabiliser les matières colloïdales (particules qui ne s'agglomèrent pas naturellement).

L'eau reçoit un réactif destiné à provoquer l'agglomération de ces particules en suspension en agrégats floconneux, dont l'ensemble forme une masse qu'on appelle le "floc".

Les réactifs utilisés sont généralement des sels de fer ou d'aluminium. Chaque réactif coagulant n'étant actif que dans une certaine zone de pH, un ajustement du pH peut s'avérer nécessaire. Sous l'effet de son propre poids, le floc se dépose lentement.

IV.3.1 Coagulation

Dans les eaux naturelles, la très grande majorité des particules colloïdales est chargée négativement (Figure 1). La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquent, à les stabiliser dans la solution. Le but principal de la coagulation est de **déstabiliser** ces particules pour favoriser leur agglomération. Cette agglomération est, généralement, caractérisée par l'injection et la dispersion rapide de réactif chimique appelé **coagulant**.

On en déduit donc que l'élimination des colloïdes passe par l'annulation du potentiel zêta afin d'annuler les forces de répulsion.

Nature des réactifs coagulants

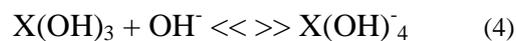
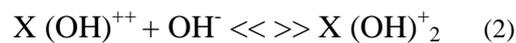
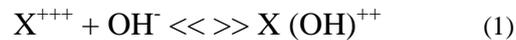
Les réactifs utilisés sont généralement des sels de fer ou d'aluminium comme :

- Le sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O}$.
- Le chlorure ferrique $\text{FeCl}_3, 6 \text{H}_2\text{O}$.
- Le polychlorosulfate basique d'aluminium (Aqualenc).
- Le polychlorure d'aluminium (WAC).

Les sels d'aluminium et de fer ferrique qui renferment des cations de nombre d'oxydation 3+ sont presque exclusivement utilisés dans la coagulation/floculation des eaux. Les ions Al^{3+} et Fe^{3+} neutralisent la force de répulsion entre les particules colloïdales et favorisent ainsi la coagulation.

Les sels d'aluminium et de fer présentent outre leur valence élevée, présentent l'intérêt de s'hydrolyser dans la gamme de pH habituelle des eaux naturelles, en donnant un hydroxyde insoluble qui précipite.

On sait cependant que ce n'est pas l'ion trivalent qui joue le rôle essentiel, mais les produits d'hydrolyse intermédiaires qui se forment. Les sels d'aluminium et de fer conduisent en effet, en solution diluée, aux hydroxo-complexes suivants :



Dans lesquelles OH^- = ions hydroxydes, X = Al ou Fe

Bien qu'il s'agisse d'équilibre, ces réactions sont pratiquement complètes aux pH habituels des eaux, et irréversibles au moins pour les trois premières.

La proportion relative de chacun de ces complexes dépend des conditions de milieu (pH, température, concentration) (Figure 2).

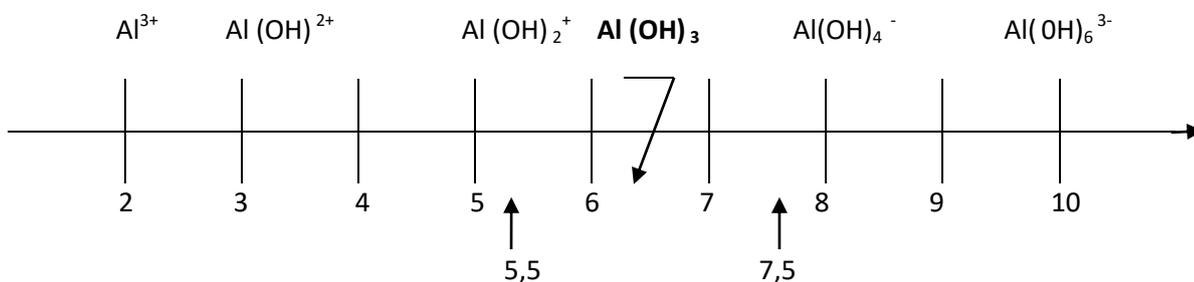


Figure 2: pH de formation des hydroxydes d'aluminium

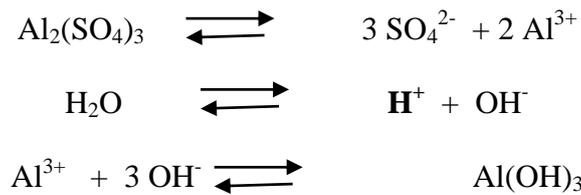
Rôle du TAC:

Une autre particularité de l'addition de coagulant dans l'eau est la **consommation d'alcalinité**. Cette perte de TAC est fonction de la nature et de la concentration du composé mis en jeu. Par exemple, pour le sulfate d'aluminium, on a :



La perte d'alcalinité (consommation de HCO_3^-) se traduit par une chute de pH.

La chute du pH est due également à la libération des ions H^+ après hydrolyse du sel d'aluminium.



IV.3.2 Flocculation

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers.

On obtient ce grossissement par la création d'une turbulence modérée favorisant la collision entre les particules de floc. Ces turbulences sont créées soit par le mouvement hydraulique de l'eau traversant des plaques perforées, des chicanes ou au moyen d'agitateur mécanique lent installés dans des bassins.

Afin d'augmenter la vitesse de sédimentation du floc et une meilleure capture des colloïdes, on utilise des **floculants** tels que des macromolécules organiques naturelles (alginate de sodium) ou des polymères organiques de synthèses (polycrylamide).

IV.4 Détermination de la dose optimale du coagulant

Afin de déterminer la dose du coagulant nécessaire pour le traitement de coagulation – flocculation on doit passer par l'essai de **Jar-test** au niveau du laboratoire en utilisant un flocculateur ([Figure 3](#) et [Figure 4](#)).

Les bases théoriques de la coagulation-flocculation ne permettent pas à elles seules de préciser les dosages optimaux de coagulation-flocculation d'une eau donnée. Afin de déterminer les doses nécessaires pour une bonne coagulation flocculation, il faut toujours avoir recours à l'expérience dite « Jar-test ».

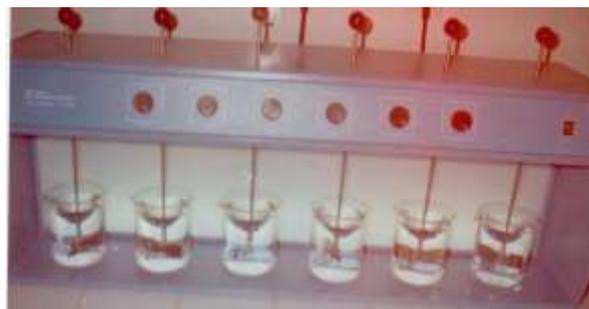


Figure 3: Flocculateur de laboratoire utilisé pour l'essai du Jar- Test

Les conditions hydrodynamiques de l'essai de jar-test standard :

- ▶ 3 minutes d'agitation rapide
- ▶ 17 minutes d'agitation lente
- ▶ Une demi heure de décantation

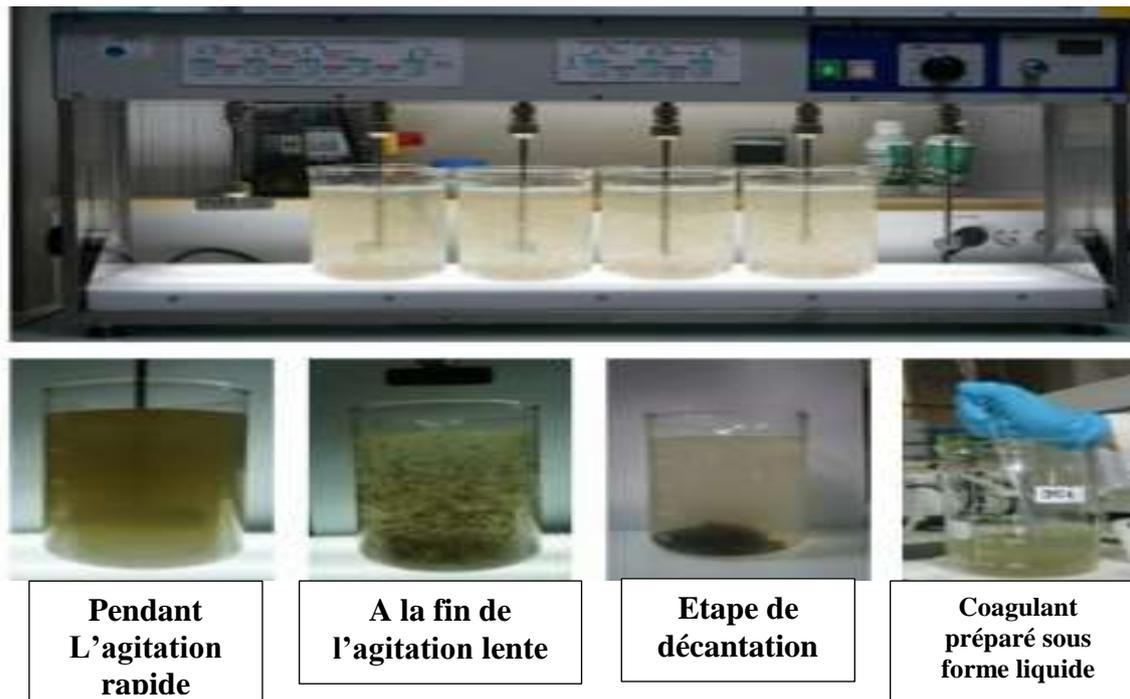


Figure 4: Forme des floes pendant les étapes de l'essai du Jar-Test en utilisant un Flocculateur de laboratoire