

La mesure du potentiel Zêta pour comprendre, stabiliser et contrôler

Les enjeux de la mesure du potentiel Zêta

Le **potentiel zêta** représente la charge électrique qu'une particule acquiert grâce au nuage d'ions qui l'entourent quand elle est en **suspension** ou en **solution**.

En effet, lorsque celle-ci est en mouvement dans un liquide, elle s'entoure d'ions organisés en une « double couche électrique » :

- une partie des ions s'accroche à la particule formant ainsi une couche d'ions adhérents dite couche dense
- l'autre partie des ions forme une couche non liée dite diffuse.

Le « plan de cisaillement » délimite ces deux couches.

C'est la différence de potentiel entre le milieu de dispersion et le potentiel au plan de cisaillement qui définit le potentiel Zêta.

Ce potentiel représente la mesure de l'intensité de répulsion ou d'attraction électrostatique entre particules.

Sa mesure apporte donc une **compréhension des causes** de dispersion, d'agrégation ou de floculation et une **solution d'amélioration de la formulation** de dispersions, d'émulsions ou de suspensions.

La mesure du potentiel Zêta a des **applications** importantes pour une large variété d'industries : industrie pharmaceutique, industrie cosmétique, industrie agroalimentaire, industrie céramique, industrie électronique, industrie chimique et de spécialités chimiques, traitement des eaux, industrie des nanotechnologies ...

1. La mesure du potentiel Zêta pour améliorer la stabilité et la durée de stockage d'une formulation

Les micro et nanoparticules en suspension ont tendance à s'agglomérer lors du **stockage**.

La stabilisation d'une suspension est la clé pour maîtriser les performances d'une formule au long terme.

Lorsque le potentiel Zêta tend vers zéro, les forces inter-particulaires diminuent. Les forces attractives deviennent alors prépondérantes et les particules s'agrègent. Le système se **déstabilise** (mesurable par SMLS¹ avec la vitesse de sédimentation). Pour obtenir une suspension stable, l'objectif est donc d'obtenir le potentiel Zêta le plus élevé (en valeur absolue).

Le potentiel Zêta est affecté par le pH, la conductivité, la concentration ionique.

Mesurer le potentiel Zêta en fonction du **pH** du milieu, de sa concentration en **sel**, en **surfactant** ou en **électrolyte** et du **type d'additif** permet ainsi l'**optimisation** de la formule et sa **stabilisation** électrostatique.

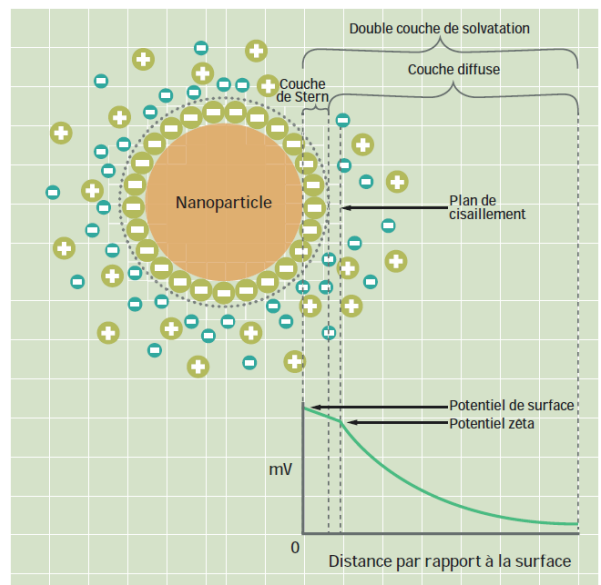


Fig. 1 : Schéma de la double couche et du potentiel Zêta¹

Lors de la formulation de systèmes complexes, les **interactions entre particules** peuvent être prédites grâce au potentiel Zêta et à la mesure du **point isoélectrique (PIE)**.

Celui-ci est obtenu par la mesure du **potentiel en fonction du pH** et correspond au point de potentiel Zêta nul.

Pour obtenir un **système stable avec deux types de particules**, il faut que leurs charges soient de même signe et suffisantes afin qu'elles se repoussent.

On cherchera donc la gamme de pH pour obtenir le potentiel Zêta maximum et de même signe pour les différentes particules présentes.

La **figure 2** montre par exemple que si l'on réalise une suspension cosmétique de deux filtres UV (TiO_2 et CePO_4), il faudra éviter un pH entre 7,5 et 10,5 pour lequel il y aura agrégation des deux filtres UV.

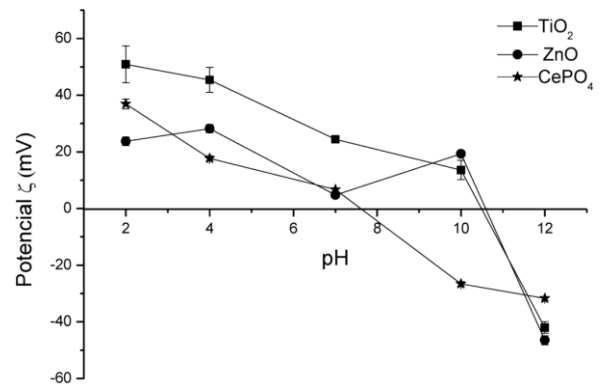


Fig. 2 : Valeurs de potentiel Zêta de filtres UV inorganiques en fonction du pH

La charge en surface de la particule influence la valeur du potentiel Zêta dans un milieu donné. La **fonctionnalisation de surface des particules** peut ainsi permettre de résoudre des problèmes d'instabilité et peut être étudiée par mesure du potentiel.

2. La mesure du potentiel Zêta pour contrôler les opérations de floculation et décantation

L'eau brute présente des impuretés sous forme de matières en suspension. Parmi celles-ci, les **suspensions colloïdales** sont pratiquement impossibles à décanter naturellement. Les particules colloïdales exercent en effet entre elles des forces de répulsion électrostatique, leur suspension est donc très stable.

Dans le cas du **traitement de l'eau**, il faut donc **déstabiliser** ces suspensions pour les faire coaguler puis floculer. Ceci est réalisé en diminuant les forces de répulsion inter-particulaires. Les particules colloïdales étant généralement chargées négativement, la neutralisation de cette charge de surface se fait par l'ajout d'un « **coagulant** » apportant des cations. Le potentiel Zêta augmente alors jusqu'à devenir négligeable.

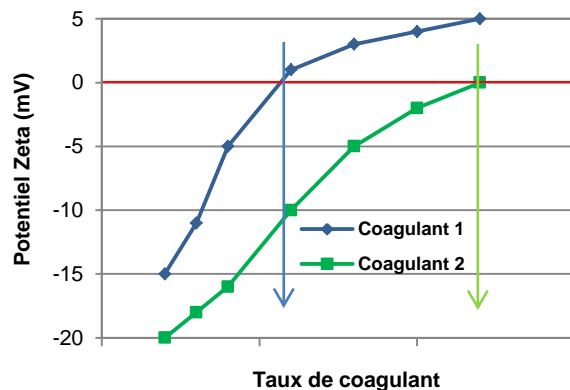


Fig. 3 : Potentiel Zêta des eaux traitées en fonction du taux et du type de coagulant

L'étude du potentiel Zêta en fonction du **taux de coagulant** permet ainsi de déterminer le **dosage optimal** : la dose optimale étant celle pour laquelle le potentiel Zêta devient nul (Fig. 3).

Le contrôle régulier du potentiel Zêta de l'effluent à traiter permettra d'adapter la dose de coagulant au cours du process et de **réduire le coût des additifs chimiques**.

Le choix du meilleur additif pourra se faire par mesure comparative avec plusieurs coagulants.

La **figure 3** démontre que le coagulant 1 est le plus **efficace** puisqu'il annule le potentiel Zêta avec une dose plus faible que le coagulant 2.

3. La mesure du potentiel Zêta pour évaluer les risques liés aux nanomatériaux et nanoparticules

La norme **ISO/TR 13014** donne les lignes directrices pour la **caractérisation physico-chimique** des nano-objets manufacturés et de leurs agrégats/agglomérats soumis à des **essais toxicologiques**. La **charge de surface** est une des propriétés physico-chimiques pertinentes pour déterminer la **toxicité** et le comportement des nano-poudres.

Le potentiel Zêta des nanoparticules est relativement facile à mesurer. Il permet d'obtenir nombre d'informations sur les propriétés et le comportement d'un nanomatériau dans différents milieux : essais in vitro, sols, eaux de surfaces... L'objectif est d'identifier les propriétés contrôlant le devenir et les effets du nanomatériau et à terme de pouvoir **prédire le comportement d'un nouveau nanomatériau en se basant sur le potentiel Zêta mesuré** ⁱⁱⁱ.

La mesure du potentiel Zêta a notamment été utilisée pour évaluer le **devenir de nanoparticules dans l'environnement** au cours de leur **cycle de vie** (par exemple le **relargage** du nano-TiO₂ lors de l'utilisation de crèmes solaires) et le comportement de nano-polluants dans les sols et rivières.

Le potentiel Zêta indique l'affinité et donc la **réention** des nanoparticules vis à vis des particules du sol mais aussi leur possible **agrégation** en fonction du milieu dans lequel elles sont transportées (Fig. 4 : en-dessous du point isoélectrique du TiO₂, les nanoparticules de TiO₂ s'associent à l'acide humique de charge opposée présent dans le sol).

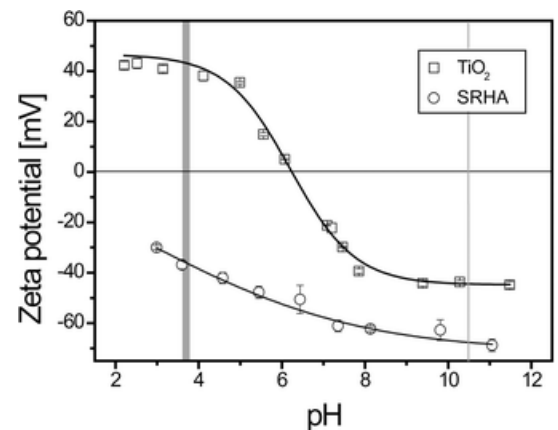


Fig. 4 : Valeurs de potentiel Zeta du dioxyde de titane et de l'acide humique en fonction du pH

Cela ouvre la voie à la formulation de nanomatériaux plus sûrs conçus par l'approche « **safer-by-design** ». Afin d'éviter le relargage de nanoparticules lors de l'utilisation d'un produit « nano », il est possible de fonctionnaliser la **surface des nanoparticules** ou de modifier la **matrice** qui les entoure afin d'augmenter l'interaction entre elles. Ceci peut être contrôlé par la mesure du potentiel Zêta.

4. La mesure du potentiel Zêta pour contrôler la qualité des matières premières

Différents grades ou différents lots d'une même matière première peuvent avoir des points isoélectriques différents selon la **source** de la matière, le **fournisseur**, le **procédé** de production et la **variabilité** de lot à lot puisqu'il est difficile de contrôler précisément la charge de surface lors de la production. La mesure du potentiel Zêta s'avère donc nécessaire afin de **maîtriser la qualité du produit fini**.

De plus, le **revêtement ou la fonctionnalisation de surface** de certaines matières premières est difficile à évaluer ou à quantifier, notamment par analyse chimique. Cependant, des variations peuvent avoir un impact énorme sur la processabilité de la matière et sur ses propriétés fonctionnelles. Le potentiel Zêta peut permettre de contrôler ces variations.

La mesure du potentiel Zêta à SDTech

Spécialiste de la caractérisation des poudres ultrafines, SDTech dispose aujourd'hui d'un laboratoire dédié et d'équipements de haute précision qu'elle ne cesse d'enrichir.

Un investissement qui permet à l'entreprise de proposer à ses clients un large panel d'analyses notamment dans le domaine de la caractérisation des nano poudres.

A ce titre, SDTech est équipée d'un **Malvern Zetasizer Nano ZS** qui permet la mesure de la taille et du potentiel Zêta de nanoparticules ceci en combinant 3 techniques différentes :

- **La diffusion dynamique de la lumière** pour mesurer la taille des particules et des molécules.
- **L'électrophorèse laser Doppler** pour mesurer le potentiel zêta.
- **La diffusion statique de la lumière** pour déterminer la masse molaire des protéines et des polymères.



Un tel équipement permet de mesurer des tailles de **0,3 nm à 10µm** (diamètre).

ⁱ SMLS : "static multiple light scattering", technologie de mesure de l'appareil Turbiscan de la société Formulacion

ⁱⁱ V. C. Seixas and O. A. Serra, Stability of Sunscreens containing CePO4: Proposal for a new inorganic UV Filter, *Molecules*, 2014

ⁱⁱⁱ G.V. Lowry, R.J. Hill, S. Harper, A.F. Rawle, C.O. Hendren, F.Klaessig, U. Nobbmann, P. Sayre and J. Rumble, Guidance to improve the scientific value of zeta-potential measurements in nanoEHS, *Environmental Science Nano*, 2016