

Eau hyperionisée : filtration, compatibilité des médias filtrants et explications physico-chimiques détaillées

L'eau hyperionisée présente un état hyperionique, c'est-à-dire un équilibre physico-chimique spécifique impliquant la répartition des ions dissous, leurs interactions électrostatiques, leur solvation (interaction ions-molécules d'eau) et des paramètres électrochimiques (potentiel redox/ORP, activités ioniques...).

Cet état peut être altéré lorsqu'on fait circuler l'eau dans des systèmes de filtration conçus pour une eau "classique", car certains médias filtrants ne se contentent pas de retenir des particules : ils adsorbent, échangent ou reconfigurent les ions à l'interface solide/eau. Dans ce cas, le filtre devient un acteur chimique susceptible de neutraliser l'état hyperionique.

Résumé grand public

Un filtre peut faire plus que "filtrer" : certains matériaux interagissent avec l'eau et peuvent faire disparaître progressivement ses propriétés.

1) Le principe clé : l'état hyperionique est sensible aux interfaces solides

1.1 L'eau n'est pas "la même" près d'une surface : la double couche électrique

Quand une eau est au contact d'un solide, il se forme une **double couche électrique** (EDL, Electric Double Layer) :

une couche d'ions "liés" à la surface (couche de Stern),

une couche diffuse où les ions sont distribués selon le potentiel électrique.

Cette organisation dépend de la force ionique de l'eau, définie par :

$$I = \frac{1}{2} \sum_i c_i z_i^2$$

où c_i est la concentration molaire de l'ion i et z_i sa valence.

La "taille" typique de la zone interfaciale électrostatique est la longueur de Debye :

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_r \epsilon_0 k_B T}{2 N_A e^2 I}}$$

ϵ_r : permittivité relative de l'eau

ϵ_0 : permittivité du vide

k_B : constante de Boltzmann

T: température (K)

N_A : constante d'Avogadro

e: charge élémentaire

I: force ionique

Interprétation : plus l'eau est ionisée (grand), plus λ_D est petite : les effets interfaciaux sont très localisés mais très intenses.

Résumé grand public

Au contact d'un matériau, l'eau se réorganise dans une fine couche "électrique". Plus l'eau contient d'ions (ex. eau de mer), plus ces effets sont importants.

1.2 Potentiel électrochimique : pourquoi l'équilibre ionique peut être "déplacé" par un média

Le comportement d'un ion dans l'eau est gouverné par son **potentiel électrochimique** :

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln a_i + z_i F \psi$$

μ_i : potentiel électrochimique

μ_i^0 : référence

R: constante des gaz parfaits

a_i : activité de l'ion i

F: constante de Faraday

ψ : potentiel électrique local

L'activité est :

$$a_i = \gamma_i c_i$$

(γ_i : coefficient d'activité, c_i : concentration)

Point crucial : près d'une surface, $\psi \neq 0$ et la distribution ionique change. Si un média filtre, adsorbe ou échange des ions, alors c_i , γ_i , et donc a_i , évoluent. Cela déplace l'équilibre qui supporte l'état hyperionique.

Résumé grand public

Certains matériaux "attirent" ou "capturent" des ions : cela change l'équilibre interne de l'eau, un peu comme si on retirait des ingrédients d'une recette.

2) Pourquoi les médias à base de silice (sable/verre/diatomite) sont incompatibles

2.1 Silice et verre : même chimie de surface (groupes silanols)

Le sable filtrant (quartz), les billes de verre filtrant, la diatomite et beaucoup de médias "minéraux" apparentés partagent des surfaces riches en **groupes silanols** :



Ces groupes s'ionisent selon le pH :



Quand la surface porte des $\equiv \text{SiO}^-$, elle devient négative et attire des cations :

monovalents : Na^+ , K^+

divalents : Ca^{2+} , Mg^{2+}

Cette attraction crée :

accumulation ionique à l'interface,

piégeage partiel ou adsorption spécifique,

modification des activités locales,

réorganisation de la couche d'eau interfaciale (liaisons hydrogène et solvatation).

Résumé grand public

Sable et verre ne sont pas neutres : leur surface porte des charges qui attirent les ions et modifient l'eau qui passe.

2.2 Effet "surface totale" : pourquoi un filtre à sable neutralise rapidement les eaux hyperioniques

Un lit filtrant (sable ou verre) cumule :

une **surface spécifique** importante (granulats),

un **temps de contact** élevé (lit profond),

des **passages répétés** (recirculation en piscine/spa).

Même si l'interaction "par cm^2 " est faible, l'effet total devient dominant, car la quantité de sites interfaciaux est énorme.

On peut représenter la capture interfaciale par une cinétique simplifiée de type adsorption (schématique) :

$$\frac{dq}{dt} = k_a C(1 - \theta) - k_d \theta$$

q : quantité adsorbée

C: concentration en solution

θ : fraction de sites occupés

k_a, k_d : constantes d'adsorption / désorption

Si la surface totale est grande, la capacité effective du filtre à "réorganiser/capter" augmente fortement.

Résumé grand public

Plus il y a de surface en contact (sable fin, gros filtre, circulation continue), plus l'eau est "reconditionnée" par le média... et plus ses propriétés diminuent.

2.3 Diatomite : cas aggravant

La diatomite (terre de diatomées) est une silice très **poreuse** à très **grande surface spécifique**. Donc :

davantage d'interfaces actives,
effets de capture/réorganisation accélérés.

Résumé grand public

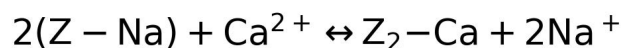
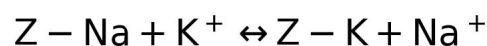
La diatomite, très poreuse, amplifie encore les interactions avec l'eau : elle est donc particulièrement défavorable.

3) Zéolites : échange ionique (média "chimique", pas seulement filtrant)

Les zéolites sont des aluminosilicates microporeux utilisés précisément pour **échanger des ions**.

3.1 Réactions typiques d'échange

Exemples schématiques :



Cela modifie directement :

la composition ionique (cations),

la force ionique]

les activités a_i ,

les équilibres associés à l'état hyperionique.

Résumé grand public

Une zéolite agit comme une "éponge à ions" : elle transforme la chimie de l'eau en échangeant des ions.

4) Charbon actif : adsorption massive + impacts électrochimiques (ORP)

4.1 Adsorption : pourquoi ça perturbe l'équilibre

Le charbon actif a une surface spécifique très élevée et adsorbe un grand nombre d'espèces dissoutes.

Deux modèles classiques :

Langmuir :

$$q = \frac{q_{\max}KC}{1 + KC}$$

Freundlich :

$$q = K_F C^{1/n}$$

q : masse adsorbée par masse de charbon

C : concentration en solution

K_F , n : constantes

L'adsorption retire des espèces dissoutes et déplace les équilibres de solution.

Pour un état hyperionique qui dépend d'un équilibre ionique / solvatation, c'est structurellement défavorable.

Résumé grand public

Le charbon actif est conçu pour "aspirer" ce qui est dissous. Or, pour préserver un état particulier de l'eau, il faut éviter un matériau qui retire en permanence des éléments.

4.2 ORP / redox : relation de Nernst

Le potentiel redox suit (pour un couple donné) :

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

E : potentiel mesuré

E^0 : potentiel standard

n : nombre d'électrons échangés

Q : quotient réactionnel

Des surfaces carbonées peuvent favoriser certaines réactions de surface (adsorption + transfert d'électrons), modifiant localement Q et donc E

Résumé grand public

Un média peut aussi influencer l'équilibre "oxydant/réducteur" de l'eau : cela peut contribuer à déstabiliser l'état recherché.

5) Règle d'or : "plus c'est chimiquement performant, plus c'est incompatible"

Un média filtrant "haute performance chimique" (adsorption, échange ionique, surface active, microporosité) n'est pas neutre. Or l'eau hyperionisée a besoin d'un environnement hydraulique et filtrant **qui filtre sans re-chimiser**.

Résumé grand public

Les filtres qui modifient le plus l'eau (charbon, zéolite, silice) sont précisément ceux qu'il faut éviter.

6) Médias compatibles : filtration mécanique neutre

6.1 Polymères PP/PE (polypropylène / polyéthylène)

Ces médias (cartouches, poches, éléments filtrants) sont privilégiés car :
surface relativement neutre,
pas d'échange ionique structurant,
pas d'adsorption massive,
filtration par interception/tamassage.

Résumé grand public

Les cartouches polymères retiennent les particules sans "capturer" les ions : elles préservent mieux l'eau.

6.2 Cellulose (coton/papier/fibres)

Médias de filtration mécanique :
efficaces sur particules,
interactions chimiques généralement faibles comparées aux médias minéraux actifs.

Résumé grand public

Les filtres en fibres agissent comme un "tamis fin" et respectent mieux l'équilibre de l'eau.

7) Recommandations pratiques (piscine, spa, thalasso, eau de mer)

Piscines / spas: privilégier cartouches PP/PE et/ou médias fibreux cellulosiques.

Eau de mer: attention accrue, car force ionique élevée → interactions interfaciales plus marquées.

Eau sanitaire / réseaux: viser stabilité + neutralité, éviter médias minéraux actifs.

Résumé grand public

Plus l'eau est chargée en sels (eau de mer), plus il faut une filtration "neutre".