

PROBLEME DU PHOSPHORE DANS LES EFFLUENTS URBAINS

La présence du phosphore dans les effluents urbains est due à l'utilisation de lessives. En théorie (arrêté du 20 novembre 2001), on considère que le rejet en phosphore par équivalent habitant (EH) est de 4 g de phosphore total par jour. En rapportant cette quantité au volume journalier de rejet par EH, on obtient une concentration d'environ 25 mg/l pour le phosphore total (Pt).

La présence de phosphore dans les cours d'eau et les lacs est responsable de leur eutrophisation, provoquant la prolifération anarchique d'algues et une surconsommation de l'oxygène dissous dans l'eau. Celui-ci est alors moins disponible pour les autres espèces vivantes, et notamment pour les poissons.

Il est donc nécessaire de limiter l'apport de phosphore dans les eaux, et les stations d'épuration sont donc concernées au premier chef, car les effluents urbains contribuent à hauteur de 50-70% de l'apport total, le solde étant d'origine agricole.

REGLEMENTATION

Les concentrations de phosphore maximales admissibles dans les rejets des stations d'épuration urbaines sont réglementées par l'arrêté du 22 décembre 1994 dans le cas de capacités supérieures à 10 000 EH.

Le tableau 1 récapitule les exigences qui sont exprimées en concentration limite ou en rendement d'élimination. Pour des capacités inférieures à 600 kg/j de DBO5, il faut se référer aux arrêtés préfectoraux.

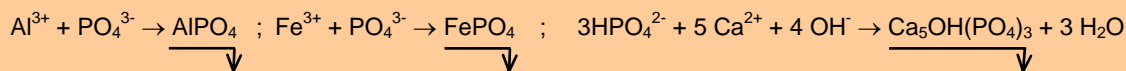
CHARGE BRUTE DE POLLUTION ORGANIQUE REÇUE (KG/J)	CONCENTRATION MAXIMALE
600 à 6 000	2 mg/l
> 6 000	1 mg/l
CHARGE BRUTE DE POLLUTION ORGANIQUE REÇUE (KG/J)	RENDEMENT MINIMUM
≥ 600	80 %

Tableau 1

DIFFERENTES FILIERES D'ELIMINATION DU PHOSPHORE

La déphosphatation chimique : adaptée aux petites installations, mais pas aux grandes

C'est la voie d'élimination du phosphore la plus pratiquée en France ; elle est en effet utilisée dans 86 % des cas. Il s'agit d'une précipitation des phosphates par des sels de fer ou d'aluminium, ou encore par de la chaux ; on obtient alors des précipités insolubles de phosphates métalliques, comme le montrent les réactions chimiques suivantes :



Ces réactions permettent de déterminer stoechiométriquement les quantités de réactifs nécessaires pour la précipitation chimique, mais il faut tenir compte de « réactions parasites », car les produits utilisés réagissent aussi avec d'autres composés chimiques et matières colloïdales présents dans l'eau. Ainsi, au lieu de considérer des rapports molaires Al/Pa précipiter ou Fe/Pa précipiter de 1, comme décrit dans les équations ci-dessus, il est préférable de considérer, au départ, un rapport de 1,5. Le dosage optimal est ensuite affiné en fonction des conditions d'exploitation de la station, afin d'atteindre le rendement d'élimination visé.

La précipitation chimique est réalisée le plus souvent au niveau du bassin biologique, en co-précipitation : il est alors aisé d'atteindre une concentration finale en phosphore voisine de 2 mg/l, voire légèrement inférieure. Les pré et post-précipitations sont très peu employées de nos jours car ces procédés entraînent une surconsommation de réactifs (réactions parasites pour la pré-précipitation et surdosage de réactif pour la post-précipitation) et, de fait, une surproduction de boues en excès.

Pour un abattement plus poussé, il est souvent nécessaire de recourir à un traitement tertiaire de coagulation-floculation-décantation : l'élimination du phosphore se fait par simple séparation liquide-solide au niveau d'une étape de décantation supplémentaire après conditionnement chimique. Cette étape de traitement permet l'abattement supplémentaire des matières en suspension (MES) et, de fait, la diminution notable de la concentration en phosphore particulaire du rejet. La concentration finale en phosphore peut alors atteindre des valeurs inférieures à 1 mg/l (la clarification secondaire classique employée seule ne peut pas abattre de façon suffisamment poussée les MES, et donc la concentration en phosphore particulaire).

En terme d'exploitation, la précipitation chimique possède l'avantage de ne pas dépendre d'un processus biologique particulier. A ce titre, elle constitue un procédé simple à mettre en œuvre, insensible à la température et ajustable en fonction des fluctuations occasionnelles de la charge en phosphore. Par contre, elle représente une surproduction en boues évaluée à 0,3 kg MS par kg Fe³⁺ utilisé, dans le cas d'une précipitation avec du chlorure ferrique. Cette surproduction de boues n'est en général pas économiquement envisageable pour des stations d'épuration de grande capacité.

L'élimination biologique : adaptée aux grandes installations, mais pas aux petites

1 Bactérie en conditions anaérobies (STRESS)

2 Bactérie en conditions aérobies



Figure 1

Le métabolisme des bactéries fait intervenir le phosphore au niveau des phénomènes régissant le stockage ou l'utilisation de l'énergie (figure 1) : schématiquement, le stockage d'énergie par une bactérie se traduit par un appauvrissement du milieu en phosphore.

A contrario, l'utilisation d'énergie entraîne une augmentation de la concentration en phosphore dans le milieu. Parallèlement à ces phénomènes, il a été mis en évidence une surassimilation du phosphore suite à un stress de la biomasse : exposée à une alternance de conditions aérobies et anaérobies, la biomasse

assimile du phosphore plus qu'elle n'en consomme. Il suffit alors de soutirer de la biomasse pour éliminer du phosphore.

Remarque : il est à noter qu'en dehors de tout phénomène de suraccumulation du phosphore, on considère en général que la biomasse utilise, pour son développement (synthèse cellulaire), une quantité de phosphore équivalente à environ 1% de la DBO₅ éliminée.

Exemple de filière de déphosphatation biologique (figure 2)

Il s'agit ici du procédé A/O qui utilise plusieurs compartiments en anaérobie et aérobie ; cela confère au procédé une plus grande flexibilité en cas de variation de la charge entrante en phosphore.

Les points clé de la déphosphatation biologique

La biomasse déphosphatante : les bactéries identifiées

comme étant les « spécialistes » de la déphosphatation biologique sont principalement *Acinetobacter*. L'alternance des conditions anaérobies/aérobies en modifie l'équilibre enzymatique, et induit des phases de suraccumulation de phosphore.

Le substrat : le rapport optimum DBO₅/P à maintenir doit être supérieur à 30/1. Il est à noter que la déphosphatation est en général placée en début de filière afin qu'il n'y ait pas de substrat à apporter, l'effluent en contenant suffisamment.

L'apport en oxygène : afin d'homogénéiser la zone anaérobie, il est nécessaire de procéder à un mélange ; celui-ci doit être contrôlé dans la mesure où un apport trop important d'oxygène dans cette zone limite le rendement d'élimination du phosphore. Par contre, l'aération du bassin aérobie doit apporter suffisamment d'oxygène pour garantir la surassimilation du phosphore ; il est préconisé de maintenir une concentration d'au moins 2 mg O₂/l.

La concentration en nitrates : les nitrates, NO₃⁻, peuvent avoir une action inhibitrice sur la biomasse : présents en trop forte concentration, la dénitrification est favorisée aux dépens de la déphosphatation. Il est donc nécessaire de procéder à une dénitrification poussée lorsque l'on réalise le traitement de l'azote. Il est à noter la possibilité de coupler les deux traitements, notamment par intégration d'un bassin anoxie* en amont du bassin anaérobie. La provenance des nitrates peut être de deux ordres : apport direct par les eaux usées, ou bien via la recirculation des boues dans le cas de stations nitrifiantes.

Le temps de séjour dans la zone anaérobie : il dépend des caractéristiques de l'effluent, notamment de sa DCO, du taux d'oxygène dissous et de sa biodégradabilité. Il ne doit pas être trop long car l'apport en oxygène doit être limité ; il ne doit pas être trop court non plus, car on limiterait alors le rendement du procédé. En général, on considère des durées comprises entre 4 et 6 h (temps calculé sur le débit moyen).

La production de boues : ce procédé n'entraîne pas de surproduction de boues biologiques.

Le phénomène de relargage du phosphore lors du traitement des boues : une fois le phosphore absorbé dans la phase aérobie, son élimination se fait par soutirage d'une partie de la biomasse déphosphatante. La concentration moyenne en phosphore de ces boues est d'environ 5 %. Cette phase du procédé est particulièrement délicate car il convient d'éviter tout phénomène de relargage du phosphore par exposition de la biomasse à des conditions anaérobies : un traitement rapide et aérobie de ces boues permet donc de réduire ce phénomène. Dans ces conditions, on privilégiera un soutirage réalisé directement dans le réacteur biologique plutôt que sur la boucle de recirculation des boues. De la même façon, on évitera de placer un bassin tampon après le bassin biologique.

Pour ce qui est du traitement des boues, le phosphore pose un problème au niveau de l'épaississement. En effet, dans des conditions particulières d'exploitation de l'ouvrage de traitement des boues (anaérobiose), celles-ci relarguent leur phosphore, ce qui implique une perte de valeur agronomique (dans le cas de l'épandage), et à terme une baisse du rendement de la déphosphatation. Deux solutions sont alors envisageables et ont montré de bons résultats : la flottation à air dissous, ou l'utilisation de chaux qui permet de précipiter le phosphore ayant été relargué.

Finalement, les rendements obtenus avec un procédé biologique sont de l'ordre de 50 à 60%. Ceci est loin d'être suffisant pour satisfaire aux normes, et il est souvent nécessaire de coupler la déphosphatation biologique à une précipitation chimique permettant d'éliminer le phosphore restant. La déphosphatation biologique est un procédé particulièrement délicat à mettre en œuvre. Son efficacité dépend d'un suivi régulier et rigoureux qui peut être assuré seulement dans de grandes installations, du fait de la présence permanente d'agents d'exploitation.

CONCLUSION

La réduction des apports phosphorés des eaux usées est considérée comme le facteur clé de la lutte contre l'eutrophisation des rivières, des lacs et des retenues. La réglementation française a traduit cela par des normes de rejet strictes en terme de concentration en phosphore. Deux types de procédés sont utilisables afin de satisfaire cette norme. Les procédés physico-chimiques de précipitation du phosphore utilisent les sels de fer ou d'aluminium, ou encore de la chaux. Facilement mise en œuvre et ne nécessitant pas de surveillance particulière, cette technique est fiable et les rendements obtenus sont supérieurs à 80 %. La déphosphatation biologique est plus délicate à mettre en œuvre, et les rendements obtenus ne sont pas aussi fiables en raison des fluctuations de la charge en phosphore. En outre, les rendements envisageables ne sont que de l'ordre de 50 à 60 %, ce qui implique en général un procédé mixte de déphosphatation, procédé biologique + précipitation chimique. Quant aux coûts, on estime que la déphosphatation biologique représente 1 à 2 % des coûts totaux d'exploitation, alors qu'une précipitation en représente 15 %. L'utilisation d'un procédé mixte permet de réduire cette part à 7,5 %.

On pourra également se reporter à l'article que nous avons fait paraître dans la revue « l'Eau, l'Industrie, les Nuisances » n° 274 de Septembre 2004, concernant cette problématique.

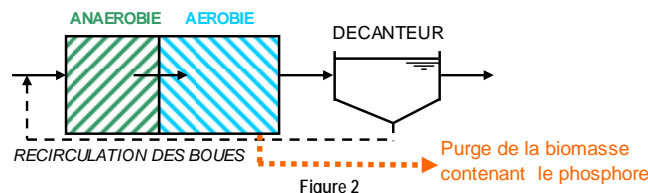


Figure 2

* **aérobie** : utilisation de l'O₂ pour la respiration de la biomasse * **anaérobie** : utilisation de l'oxygène des sulfates SO₄²⁻, puis de celui de l'eau, pour la respiration de la biomasse * **anoxie** : utilisation de l'oxygène des nitrates NO₃⁻ pour la respiration de la biomasse