

Phosphore des eaux usées : nouvelles données, conséquences pour l'épuration

Sources de phosphore dans les eaux usées

Le phosphore contenu dans les eaux résiduaires à dominante urbaines provient pour l'essentiel des rejets métaboliques (urines, fèces). Les autres apports de phosphore proviennent des détergents pour lave-vaisselle, des eaux de vaisselle, des détergents lessiviels ménagers et le cas échéant des produits de lavage dits «industriels» utilisés dans les laveries, restaurants, commerces, industries agro-alimentaires, L'ensemble des données bibliographiques synthétisées dans le tableau 1 indique que les rejets journaliers **domestiques** de phosphore **par individu** se situent dans une gamme comprise entre 1.2 et 2.1 g P/j, l'essentiel provenant de l'urine.

Origine P		Valeur retenue	Min.	Max.
Métabolisme humain	g P/(j.individu)	1.4	1.2	1.6
Détergents lessiviels ménagers	g P/(j.individu)	0.0	0.0	0.1
Détergents lave-vaisselle ménagers	g P/(j.individu)	0.2	0.0	0.4
Total rejets domestiques	g P/(j.individu)	1.6	1.2	2.1

Tableau 1 – Décomposition des rejets domestiques de phosphore par individu selon la bibliographie

La référence utilisée par la suite sera l'équivalent-habitant (EH) de la Directive ERU, fixé à 60 g DBO₅/j et notée EH₆₀. Cette notion réglementaire correspond à une unité forfaitaire de rejets totaux (domestiques et industriels associés) et surestime en général les rejets réels ramenés à l'habitant raccordé.

Données

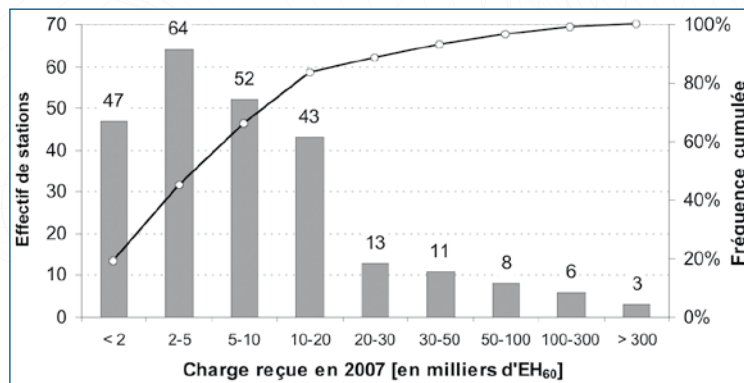
Des données analytiques de composition des eaux usées urbaines en 2007 ont été collectées auprès (i) du Syndicat Des Eaux et de l'Assainissement (SDEA) du Bas-Rhin, (ii) des Services d'Assistance Technique aux Exploitants de Stations d'Épuration (SATESE) de la Somme, de l'Isère et de la Savoie (iii) de sociétés privées d'exploitation de stations d'épuration et (iv) du Service de Navigation de la Seine (SNS). Après analyse des données (Gillot et Hauduc, 2010), des ratios de concentration ont été calculés puis analysés avec des méthodes statistiques descriptives et inférentielles. Les rejets de l'EH pour les paramètres autres que DBO₅ ont été estimés en multipliant les ratios DCO/DBO₅, MES/DBO₅, N/DBO₅ et P/DBO₅ par 60 g DBO₅/j.

Le tableau 2 présente l'origine des données utilisées ainsi que le nombre de stations représentées dans chaque jeu de données et la fréquence annuelle des mesures. Lors de l'exploitation des données, un poids égal a été donné à la moyenne annuelle de chaque station, pour ne pas sureprésenter les grosses stations, pour lesquelles la fréquence des mesures est la plus élevée.

Jeux de données	Nombre de stations	Fréquence annuelle des mesures par station
Somme	29	3 à 4
Bas Rhin	20	6 à 12
Isère	30	3 à 23
Savoie	19	3 à 23
Exploitants	143	1 à 365 (moyenne 23)
SN Seine	6	183 à 357 (moyenne 311)
Total	247	

Tableau 2 – Caractéristiques des jeux de données

Figure 1 – Distribution des stations de l'échantillon selon la charge reçue



La figure 1 présente la distribution des stations selon des classes de taille, calculée à partir de la charge en DBO₅ effectivement reçue. Les stations inférieures à 20 000 EH₆₀ représentent 83 % de l'échantillon.

Résultats

Charges spécifiques moyennes ramenées à l'Equivalent Habitant DERU

Les charges spécifiques moyennes ramenées à l'EH₆₀ pour chacun des jeux de données considérés et les valeurs par défaut proposées sont présentées dans le tableau 3. Il n'y a pas de différence significative entre les différents jeux de données (test non paramétrique de Kruskal-Wallis). Les données peuvent donc être fusionnées en une seule base sans distinction géographique.

Tableau 3 – Charges spécifiques par EH₆₀ (moyenne et intervalle de confiance à 95%)

Jeux de données	Nombre de stations	DCO / EH ₆₀ (IC95%)	MES / EH ₆₀ (IC95%)	N / EH ₆₀ (IC95%)	P / EH ₆₀ (IC95%)
Somme	29	151 (6)	65 (6)	13.8 (1.0)	2.28 (0.18)
Bas Rhin	20	141 (16)	84 (12)	14.0 (1.6)	2.08 (0.28)
Isère	30	147 (5)	73 (10)	16.1 (1.0)	2.11 (0.17)
Savoie	19	145 (10)	74 (13)	15.5 (1.7)	2.17 (0.27)
Exploitants	143	145 (4)	/	/	2.01 (0.10)
SN Seine	6	144 (4)	81 (10)	14.7 (1.4)	2.07 (0.17)
Total	247	145 (3)	74 (5)	14.9 (0.6)	2.08 (0.07)
Défaut proposé		145	75	15	2.1

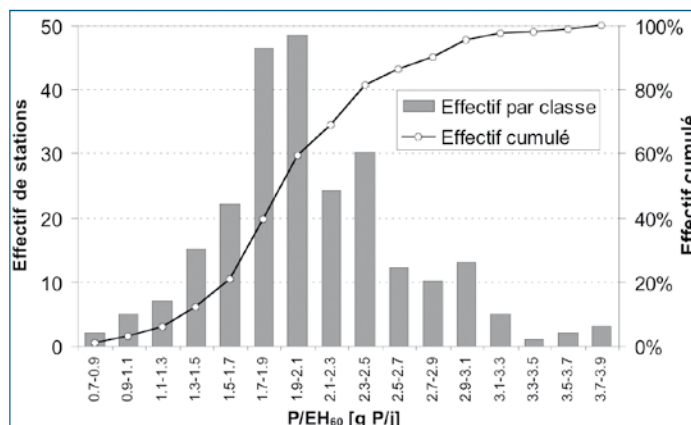
Pour le phosphore, la valeur moyenne obtenue est supérieure de 30 % à celle du rejet journalier domestique moyen par individu estimé au tableau 2. Cet écart s'explique par la surestimation de l'EH de la Directive ERU au regard de la charge en DBO₅ réelle ramenée à l'habitant raccordé, et/ou par la présence de rejets industriels pouvant apporter jusqu'à 0.5 g P/(j.habitant).

Variabilité des charges spécifiques moyennes en phosphore

Caractérisation de la variabilité

Les charges spécifiques en P ramenées à l'EH₆₀ regroupées par classes (Figure 2) suivent une distribution de type log-normale, avec une asymétrie vers les fortes valeurs, peu nombreuses mais étalées jusqu'à 3.9 g P/j. 90 % des valeurs se situent entre 1.3 et 3.1 g P/j., les valeurs les plus fréquentes se trouvant entre 1.7 et 2.1 g P/j.

Figure 2 – Distribution des charges spécifiques en phosphore



Alors que la variabilité intersites est élevée, aucune variation significative saisonnière ni inter-annuelle n'a été mise en évidence sur un même site lorsque des données pluriannuelles étaient disponibles.

Facteurs de variabilité

Un test de corrélation montre que la taille de la station est un facteur explicatif faible mais significatif de la variabilité : la charge spécifique en phosphore diminue lorsque la taille de la station augmente, puis se stabilise autour de 2.1 g P/EH₆₀ pour les tailles les plus importantes (Figure 3), valeur qui correspond à la moyenne globale (Tableau 3). Les rejets des petites collectivités (< 2 000 EH) peuvent être considérés comme représentatifs de rejets domestiques (absence d'industrie). La confrontation de leur charge spécifique mesurée (2.3 g P/(j.EH₆₀)) aux valeurs de la bibliographie (1.6 g P/(j.habitant)) permet alors d'estimer les rejets domestiques en DBO₅ aux environs de 40 g/(j.habitant) (1.6 x 60 / 2.3). La diminution de la charge spécifique de l'EH en phosphore pour des collectivités plus importantes peut être attribuable à la présence d'industries rejetant des effluents carencés en phosphore.

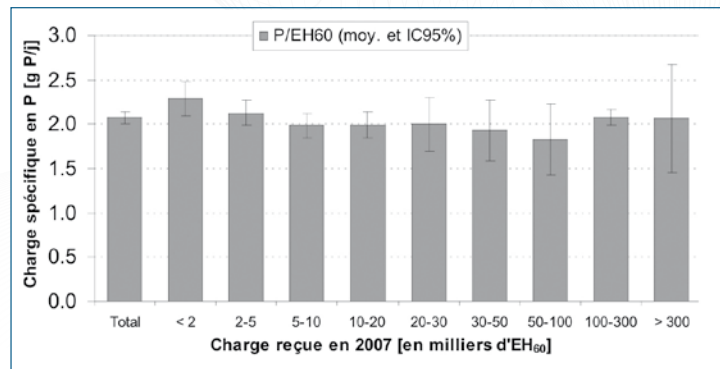


Figure 3 – Distribution des charges spécifiques en phosphore selon la taille de la station

Conséquences pour l'élimination du phosphore

Une partie du phosphore des eaux usées est éliminée par intégration dans les boues formées lors de l'épuration (assimilation). Une approche dérivée des concepts de modélisation des boues activées a été proposée pour prédire le rendement d'assimilation par le calcul en fonction de paramètres caractérisant l'eau usée et du fonctionnement de l'installation (Stricker *et al.*, 2010). Les deux paramètres les plus déterminants sont le rapport entre la charge en phosphore et la charge organique des eaux usées (qui peut être représentée par P/EH₆₀), et l'âge de boue. La figure 4 représente le rendement d'élimination du phosphore par assimilation calculé en fonction de ces deux paramètres.

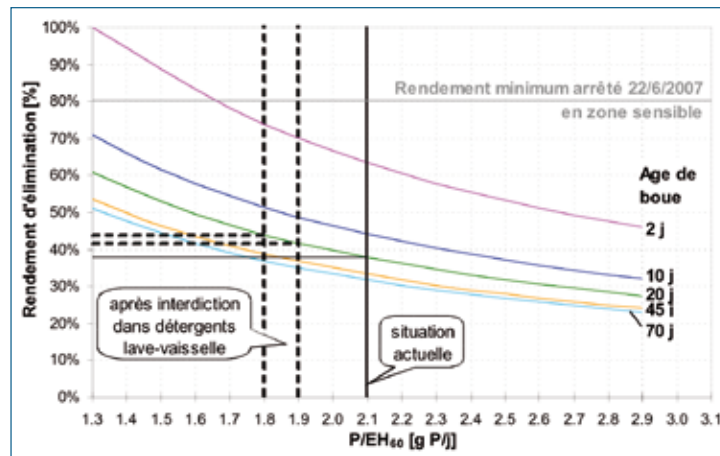


Figure 4 – Prédiction du rendement d'élimination du phosphore par assimilation seule en fonction de la charge spécifique en phosphore (P/EH₆₀) et de l'âge de boue

Pour un âge de boue de 15 à 20 jours, le rendement moyen d'élimination du phosphore par assimilation est de l'ordre de 40 % aujourd'hui. Notons qu'en pratique des rendements supérieurs sont parfois obtenus du fait de phénomènes de déphosphatation incontrôlés (précipitation naturelle, suraccumulation biologique involontaire). Pour garantir le seuil minimum de 80 % requis en zones sensibles, une déphosphatation complémentaire par voie physico-chimique et/ou biologique est nécessaire. La réduction des rejets domestiques en phosphore après suppression des phosphates dans les produits de lave-vaisselle ménagers, estimée à 0.2 g P/(j.individu), équivaldrait à une réduction des charges spécifiques de 0.2 à 0.3 g P/(j.EH₆₀) soit 10 % à 15 %. Cette réduction ne permettrait d'augmenter le rendement d'assimilation que de quelques points et une déphosphatation complémentaire resterait nécessaire pour garantir une élimination de l'ordre de 80 %. Cependant, la baisse du flux de phosphore restant à éliminer, par l'effet conjugué de la baisse des rejets et de l'augmentation de l'assimilation, pourrait permettre une économie de l'ordre de 20 % à 30 % des réactifs de précipitation.

Conclusions

- Les rejets moyens de phosphore d'origine purement domestique sont estimés à 1.6 g/j par habitant raccordé à partir des éléments de la bibliographie. Selon les données issues de 247 sites, les rejets moyens par Equivalent-Habitant réglementaire (fixé à 60 g DBO₅/j) sont estimés actuellement à 2.1 g P/j.
- Une variation inter-site importante a été observée. Les valeurs les plus fréquentes se situent entre 1.7 et 2.1 g P/(j.EH₆₀). Les rejets spécifiques ont tendance à diminuer lorsque la taille de la station augmente.
- Aucun effet saisonnier ou inter-annuel (2003-2007) n'a pu être mis en évidence à partir du jeu de données utilisé.
- Le rendement d'assimilation stricte du phosphore est estimé actuellement à 40 % pour une boue activée en aération prolongée. Une déphosphatation physico-chimique ou/et biologique complémentaire doit être mise en œuvre lorsqu'un rendement plus élevé est recherché.
- La réduction des rejets domestiques en phosphore après suppression des phosphates dans les produits de lave-vaisselle équivaldrait à une réduction des charges spécifiques de 0.2 à 0.3 g P/(j.EH₆₀). Celle-ci aurait un effet limité sur le rendement d'assimilation mais pourrait permettre une économie de l'ordre de 20 % à 30 % des réactifs de précipitation.

Références

- Gillot S. et Hauduc H. (2010). Méthodologie d'analyse systématique des données d'auto-surveillance des stations d'épuration. Rapport final d'action ONEMA 31-1, 20 p
- Stricker A.E., Héduit A., Takács I., Comeau Y. (2010). Quantifying Nutrient Assimilation in Activated Sludge. 83rd Annual Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference (WEFTEC.10), New Orleans, Louisiana, USA, 2-6 October 2010.

Remerciements

Les auteurs remercient le Syndicat Des Eaux et de l'Assainissement du Bas-Rhin, les Services d'Assistance Technique aux Exploitants de Stations d'Épuration de la Somme, de l'Isère et de la Savoie, le Service de Navigation de la Seine, La Lyonnaise des Eaux et Degrémont.

Contacts scientifiques et techniques

Anne-Emmanuelle STRICKER > anne-e.stricker@cemagref.fr
Cemagref, UR REBX, Cestas

Alain Héduit > alain.heduit@cemagref.fr
Cemagref, UR HBAN, Antony

Stéphane Garnaud > stephane.garnaud@onema.fr
Onema, Direction de l'Action Scientifique et Technique, Vincennes