

Plaidoyer pour l'optimisation technique et énergétique des stations d'épuration

■ R. PUJOL¹, P. ARNAUD²

Mots-clés : traitement des eaux usées, boues activées, optimisation, consommation électrique

Keywords: wastewater treatment plant, activated sludge, electric consumption, design-operation

Introduction

L'effort consenti par les collectivités pour répondre aux exigences de la directive européenne sur les eaux usées (mai 1991) s'est traduit par la construction, la réhabilitation, l'extension de très nombreuses stations d'épuration au cours des 20 dernières années.

Ces efforts de rajeunissement du parc et de mise en œuvre de technologies plus performantes permettent une meilleure protection des milieux récepteurs et une meilleure acceptation sociale de ces installations en zone urbaine.

Ces stations d'épuration sont souvent intégrées dans un tissu urbain, très sensible aux nuisances olfactives et sonores. Ces contraintes nouvelles génèrent des besoins énergétiques croissants avec la mise en place de solutions techniques efficaces mais plus coûteuses en exploitation (désodorisation, couverture des bassins...).

Ces nouvelles stations d'épuration sont en général largement dimensionnées par rapport aux évolutions démographiques pressenties, alors que globalement les charges reçues et traitées sont bien inférieures aux charges nominales, sur des périodes couvrant souvent plusieurs années.

En contrepartie, la consommation énergétique des stations d'épuration croît régulièrement et s'est amplifiée ces deux dernières années, malgré les innovations en matière de réduction de la consommation des équipements électriques (pompes, centrifugeuses...) et malgré la mise en service de nouveaux systèmes de régulation ou d'automatisation.

Le présent article s'adresse à tous les acteurs décisionnels (depuis la maîtrise d'ouvrage jusqu'à l'exploitation) qui dans un contexte de crise souhaitent maîtriser les besoins énergétiques de leur station d'épuration dans la durée.

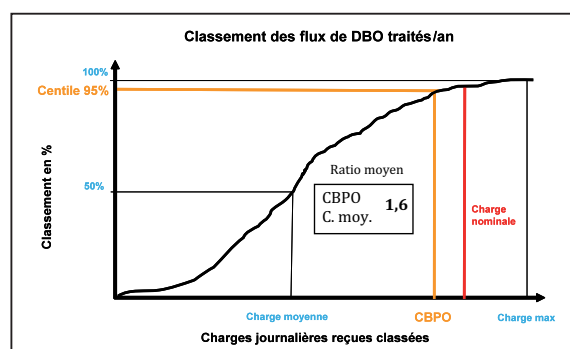
La méthode retenue est fondée sur une analyse globale des données recueillies dans le cadre de l'autosurveillance d'un échantillon de plus de 600 stations d'épuration de capacité supérieure à 2000 équivalent-habitant (EH) exploitées par Lyonnaise des Eaux. L'objectif recherché étant de trouver le meilleur compromis entre efficacité épuratoire et efficacité énergétique.

À partir du constat réalisé, des recommandations sont proposées :

- pour une conception répondant à l'évolution des charges à traiter ;
- pour un fonctionnement des stations d'épuration alliant performances techniques et énergétiques.

1. Évolution des charges polluantes à traiter

Il est bien évident que la charge polluante journalière traitée par une station d'épuration varie au cours du temps, en règle générale on s'approche du modèle indiqué dans la figure 1.



CBPO : charge nominale.

Figure 1. Fréquences cumulées en fonction de la demande biochimique en oxygène (DBO) reçue pour une station donnée

¹ Lyonnaise des Eaux – Direction technique – tour CB21 – Place de l'Iris – 92040 Paris La Défense. Courriel : roger.pujol@lyonnaise-des-eaux.fr

² Lyonnaise des Eaux – Centre technique assainissement usines – Tour CB21 – Place de l'Iris – 92040 Paris La Défense. Courriel : patrick.arnaud@lyonnaise-des-eaux.fr

Cette courbe illustre les fréquences cumulées en fonction des charges polluantes journalières reçues. Dans la pratique, le ratio entre la charge moyenne et la valeur du centile 95 est proche de 1,6.

Ce constat est tout à fait sécuritaire et les stations d'épuration sont dimensionnées pour couvrir cette gamme de charge.

Néanmoins, on voit qu'une station ne travaille que très rarement au voisinage de sa charge nominale (ou CBPO), et que son mode de fonctionnement doit être adapté à la charge moyenne reçue sur une période donnée. Dans le cas contraire, la surconsommation énergétique est inévitable. Le cas extrême correspond à la station d'épuration dont la consommation électrique reste la même, quelles que soient les conditions appliquées (été, hiver, variations de charge ou pas). Ces stations ne sont absolument pas optimisées du point de vue énergétique.

L'analyse des données étudiées montre que le taux de charge organique moyen (charge reçue/charge nominale) diminue régulièrement chaque année. Ce ratio représente en fait le taux de remplissage d'une station d'épuration par rapport à sa capacité nominale. En 5 ans, ce ratio est passé de 53 à 47 % (figure 2) accusant une baisse significative de plus de 6 points...

On constate par ailleurs que les stations d'épuration récentes sont nombreuses (40 % du parc étudié a moins de 10 ans), et fonctionnent souvent à des valeurs proches ou inférieures à 30 % de leur charge nominale de dimensionnement. Cette réalité induit des conséquences négatives sur le fonctionnement des

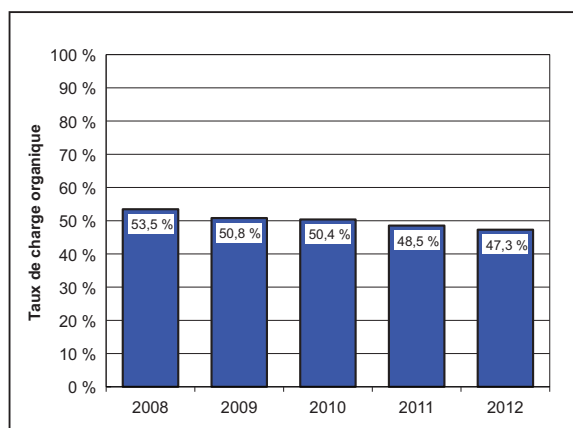


Figure 2. Évolution annuelle du taux de remplissage des stations étudiées (moyenne DBO reçue/DBO nominale)

filières eau et boues, le plus souvent non adaptées pour traiter des charges aussi faibles. Ces conditions de sous-charge fortes et permanentes pénalisent un peu plus la consommation énergétique et les coûts d'exploitation; elles ont aussi des conséquences techniques négatives sur des postes clés de la station d'épuration (voir exemples § 3).

Les origines de cet état de sous charge des installations sont diverses :

- évolution démographique en baisse ou inférieure aux prévisions ;
- retard dans les branchements au réseau d'assainissement ;
- surdimensionnement de certains ouvrages (prétraitements...);
- variations saisonnières liées à l'activité économique (zones touristiques, par exemple).

Il va de soi que les dispositions à prendre pour faire face à un état de sous-charge devront tenir compte du caractère permanent ou transitoire de cette sous-charge.

2. Évolution de la consommation énergétique des stations d'épuration

Pour l'échantillon de stations d'épuration étudié, le suivi de la consommation énergétique au cours des dernières années est représenté à la figure 3.

Une analyse rapide et sommaire de ces chiffres pourrait laisser penser que cette augmentation est logique, car plus la pollution à traiter augmente, plus la consommation électrique augmente. De plus, les nouvelles stations sont plus performantes et plus

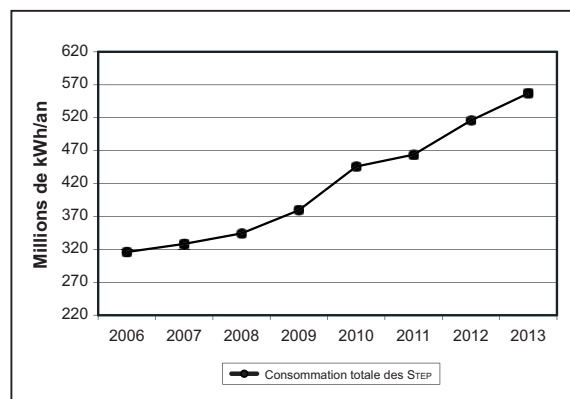


Figure 3. Évolution de la consommation d'électricité annuelle des stations d'épuration (STEP) étudiées

complexes (désodorisation, ventilation, ateliers boues...).

Mais cette logique trouve ses limites au regard de la pollution traitée par les stations d'épuration. Sur le périmètre représentatif et stable des stations d'épuration étudiées (plus de 600), on observe qu'au cours des 3 dernières années écoulées, la charge totale de pollution entrante globale ne varie pas.

La conséquence immédiate se fait sentir sur le ratio énergétique global et moyen de l'ensemble du parc. Fin 2012, le ratio dépasse désormais la barre symbolique des 3 kWh/kg de demande biochimique en oxygène (DBO) traitée, en augmentation de 11 % entre 2011 et 2012.

La principale raison réside dans le fait que beaucoup de stations d'épuration sont récentes, largement dimensionnées et fonctionnent très largement en sous-charge pendant de très longues périodes.

Cet état de fait a des conséquences multiples souvent négatives tant sur le plan technique qu'économique.

3. Conséquences d'un fonctionnement prolongé en sous-charge importante : exemple des boues activées

Les conséquences sont fort nombreuses et nous nous limiterons dans le cadre de cette présentation à quelques exemples concrets et courants touchant aussi bien la conception que l'exploitation.

Lors de l'élaboration d'un projet de station d'épuration, l'appel d'offres fixe les données de base du dimensionnement de la station d'épuration et les modèles de dimensionnement aujourd'hui disponibles conduisent à des volumes de bassin sensiblement les mêmes. L'agencement des différentes zones constituant l'ensemble du traitement varie en fonction des conditions locales et des constructeurs.

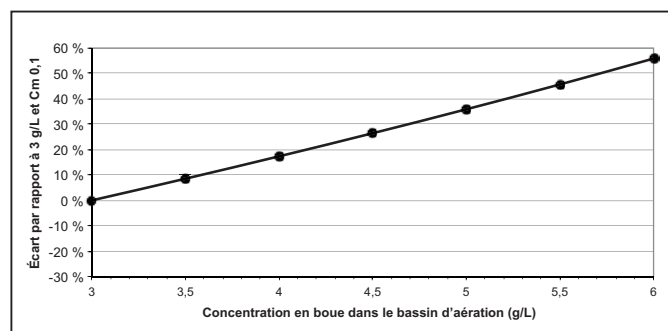
3.1. Fonctionnement d'une station sous-chargée

Un fonctionnement optimal de la boue activée implique de maintenir un poids de boue stable dans l'ensemble du système biologique, pour une charge massique de 0,1 kg de DBO/kg de MVS/jour. Ces données conduisent en général à un poids de boue dans les bassins de 4 à 5 g/L pour un taux de matières volatiles en suspension (MVS) courant de 75 %. Si le taux de remplissage de la station d'épuration est en

moyenne de 30 %, cela signifie que le poids de boue à respecter doit être de l'ordre 1,5 g/L. Si cette règle n'est pas appliquée ou applicable pour cause d'un élément de conception ou d'exploitation défaillant (impossibilité d'évacuer les boues en hiver, par exemple), alors le gaspillage énergétique est inévitable ; ce qui est malheureusement fréquent.

3.2. Incidence sur l'aération

Il a été démontré à plusieurs reprises [GERMAIN *et al.*, 2007] que le transfert de l'oxygène dans la boue est négativement affecté par l'augmentation de la concentration en boue dans le bassin d'aération. De surcroît, une augmentation du poids de boue induit une augmentation des besoins en oxygène liée à la respiration endogène des boues. Il en résulte un accroissement de la consommation électrique de l'aération des boues (figure 4).



Cm : charge massique en kg de demande biochimique (DBO)/kg de matières volatiles en suspension (MVS)/j.

Figure 4. Taux d'augmentation de la consommation électrique de l'aération en fonction de la concentration en boue dans le bassin d'aération (g/L)

Pour ce type de station d'épuration, l'aération représente le poste principal de consommation énergétique (de l'ordre de 60 %), et le non-respect de la consigne calée sur la charge moyenne reçue induit une augmentation d'environ 10 % de l'énergie consacrée à l'aération, pour chaque gramme de boue excédentaire.

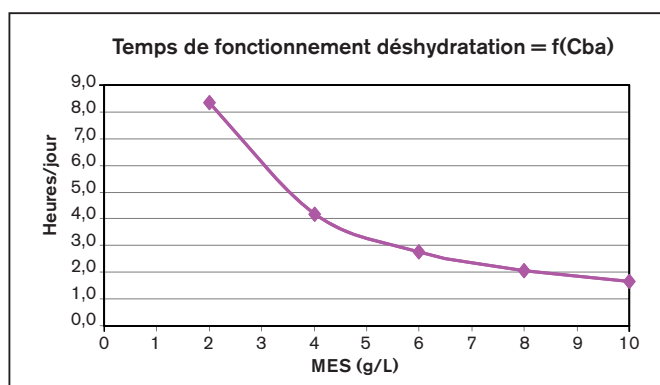
3.3. Incidence sur la déshydratation

Si l'on reprend l'exemple de la station chargée à 30 % de sa capacité nominale, avec une nécessaire et suffisante concentration en boue dans le bassin de 1,5 g/L, conçue avec une seule file de traitement et sans équipement d'épaississement (ce qui est notam-

ment le cas des unités de taille < 20 kEH), il devient impossible de la faire fonctionner correctement et sans surcoût.

La pratique montre que les bassins d'aération sont alors utilisés comme variable d'ajustement du poids de boue afin que l'unité de déshydratation puisse fonctionner correctement.

En effet, le temps de fonctionnement de l'atelier déshydratation diminue avec l'augmentation des matières en suspension (MES) en entrée machine (figure 5 – calé sur les limites hydrauliques de la machine). La pratique en exploitation est de réduire les temps de fonctionnement machine, ce qui est légitime pour réduire les coûts.



Cba : concentration des boues du bassin d'aération.

Figure 5. Temps de fonctionnement machine en fonction de la concentration en matières en suspension (MES) en entrée machine

3.4. Incidence sur la biologie et la clarification

Il est courant d'observer sur la station d'épuration en « surpoids de boue » des phénomènes de moussage liés à des développements de bactéries filamenteuses (Nocardioformes, Microthrix...) qui nécessitent des traitements particuliers et coûteux : chloration, évacuation des flottants, déshydratation plus difficile et coûteuse...

Tout excès de boues a une incidence négative sur le fonctionnement des clarificateurs avec des risques de pertes de boue plus ou moins graves en période de temps de pluie et donc une dégradation de la qualité du rejet.

Les conséquences de la sous-charge sont donc nombreuses et la liste ci-dessus n'est pas exhaustive (cos phi des équipements...).

3.5. Incidence du taux de charge appliqué sur l'efficacité énergétique d'une station d'épuration

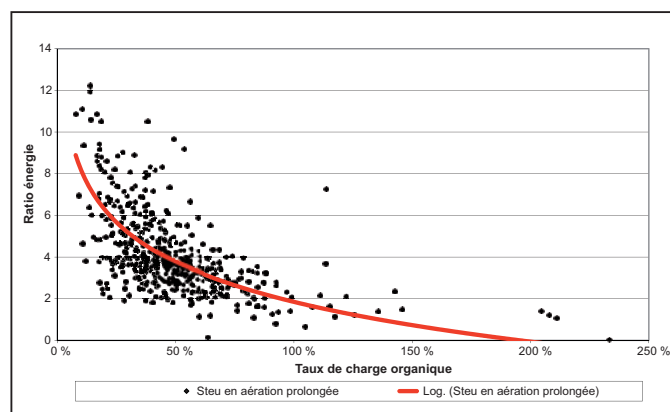
Sur la base des seules boues activées en aération prolongée, le graphe de la figure 6 illustre l'impact du taux de charge appliqué par rapport à l'efficacité énergétique d'une station d'épuration. La variabilité des situations explique la dispersion des points, néanmoins il est clair que le taux de remplissage de la station d'épuration influe directement sur l'efficacité énergétique. On retiendra le ratio spécifique de 4 kWh/kg DBO/j pour une station d'épuration ne recevant que 50 % de sa charge de dimensionnement. La figure 6 confirme bien que plus la sous-charge est forte, plus l'efficacité énergétique de la station diminue. Comment faire face à la diminution pérenne du taux de remplissage de la station d'épuration ? Comment réduire les surcoûts générés par cet état de sous-charge tout en conservant une efficacité de haut niveau dans le respect de la réglementation en vigueur ?

L'expérience acquise dans l'exploitation des stations d'épuration permet de dresser une liste de bonnes pratiques/recommandations à appliquer :

- dès la conception et à la réalisation d'un projet ;
- pendant la phase d'exploitation courante et lors des renouvellements ou de travaux.

4. Bonnes pratiques pour la conception

La conception d'une station d'épuration est très dépendante du cahier des charges auquel le constructeur doit répondre. Si des éléments importants n'ont pas été pris en compte lors de son élaboration, il sera



Steu : station de traitement des eaux usées ; DBO : demande biochimique en oxygène.

Figure 6. Ratio énergétique (kWh/kgDBO) versus taux de remplissage moyen annuel (DBO reçue/DBO nominale)

plus difficile et plus coûteux de les intégrer une fois la station construite.

Il existe même des cas de figure où un constructeur remarque des anomalies ou des oublis dans un cahier des charges, mais ne peut pas les intégrer dans son offre s'il veut rester compétitif et respecter le cahier des charges.

D'une manière générale, les spécifications liées au fonctionnement d'une installation en sous-charge notable ne sont pas explicitées lors de l'élaboration d'un projet.

Cette situation doit évoluer si l'on souhaite avoir à terme des usines qui puissent fonctionner avec la meilleure efficacité technique et énergétique.

En préambule, la détermination du bon débit de référence de la station d'épuration (base réglementaire) passe par une bonne connaissance du réseau et des déversements au droit des principaux déversoirs d'orage. La lutte contre les eaux claires parasites est impérative quand elles sont facilement décelables.

Au niveau de la station, la première recommandation concerne l'élaboration du cahier des charges qui doit intégrer la possibilité de fonctionner en sous-charge notable prolongée « permanente » (< 50 %). Ce point est encore plus d'actualité lors d'un renouvellement de contrat d'exploitation, car l'on sait pertinemment quel est l'état réel de fonctionnement de la station d'épuration.

En second lieu, la sous-charge de l'usine va de pair avec modularité de la conception et maillage des ouvrages pour faire face à toutes les évolutions possibles. Bien souvent cet aspect est mal traité ou incomplet. De ce point de vue, certaines filières de traitement se prêtent plus facilement à cette contrainte que d'autres.

Parmi les autres dispositions importantes, il convient de demander/exiger :

- l'isolement hydraulique de tous les ouvrages, notamment des bassins de tête (anaérobie, anoxie...) qui pourront être by-passés en cas de nécessité. Cela implique aussi que les dispositifs de vidange rapides soient positionnés aux bons endroits ;
- la mise en place d'une étape d'épaississement des boues avant leur déshydratation, cette étape du traitement étant de plus en plus « oubliée » ;

- la mise en place d'équipements avec variateurs, et à basse consommation d'énergie (recirculation notamment) ;
- la mise en place d'outils de régulation de l'air ;
- des automates permettant la souplesse dans la gestion des temps de fonctionnement des équipements ;
- des taux de renouvellement de l'air adaptables pour la ventilation des postes à désodoriser, ce qui nécessite là aussi des équipements avec variateurs, ou plusieurs équipements en parallèle ;
- des consignes d'exploitation claires fournies par le constructeur pour fonctionner en sous-charge ;
- des compteurs divisionnaires pour les postes principaux avec télérelève afin de pouvoir suivre leurs consommations spécifiques ;
- la mise en place impérative des équipements nécessaires pour préparer la biomasse à la montée en charge des stations touristiques en hiver (bio-augmentation pour la nitrification, par exemple) ;
- l'archivage des données de la supervision permettant une exploitation historique des données.

5. Bonnes pratiques pour l'exploitation

L'exploitant d'une station d'épuration doit rechercher l'optimum technico-économique de l'unité dont il a la charge tout en respectant les obligations réglementaires qui lui sont assignées.

Lorsque la station est déjà en service depuis plusieurs années et que le constat de sous-charge a été identifié, on peut intervenir pour remédier aux anomalies, améliorer des dispositifs, lors de la rénovation des équipements ou en réalisant des travaux d'aménagements dans le cadre des contrats d'exploitation ou lors de leur renouvellement.

Les coûts afférents à ces travaux d'optimisation sont généralement couverts après quelques années d'exploitation, ce qui se vérifie à l'heure où la crise énergétique sévit et renchérit sans cesse les dépenses de ce poste.

Sans vouloir rechercher l'exhaustivité, les recommandations principales se résument à :

- adapter le nombre de files en service à la charge à traiter (quand la conception le permet : voir § précédent) ;
- adapter le nombre d'ouvrages en service à la charge à traiter, par exemple : by-pass de l'étape de traite-

ment primaire (partiel ou total). En ce qui concerne ce point important et fréquent, le fonctionnement en sous-charge d'un décanteur primaire induit des performances excellentes sur les MES et la DBO, mais a pour conséquence, à l'aval, un appauvrissement en carbone à l'entrée de l'étage biologique qui va nécessiter une complémentation par une source de carbone extérieur pour assurer correctement la dénitrification (apport de méthanol nécessaire) ;

- réduire le nombre de bassins en service (by-pass de la zone anoxique) ou diminution des hauteurs d'eau dans les bassins pour réduire les volumes réactionnels ;
- conserver dans tous les cas la sécurité hydraulique, c'est-à-dire garder la totalité des ouvrages de décantation secondaire en service pour faire face au temps de pluie (maillage de ces ouvrages et recirculations associées impératifs) ;
- travailler au taux de boue le plus bas possible dans les bassins d'aération pour minimiser la consommation électrique (2 g/L est souvent suffisant) ;
- utiliser correctement la fonction épaissement (durée stockage < 48 h) ou rajouter un dispositif d'épaississement quand celui-ci a été « oublié » ;
- moduler le fonctionnement des capacités des équipements les plus énergivores pour les postes aération, recirculation) par la mise en place de variateurs ;
- remplacement des roues de pompes, voire de la pompe elle-même quand elle est « surdimensionnée » par rapport aux besoins réels de la sous-charge ;
- réguler autant que faire se peut les apports en air et en réactifs (capteurs en ligne, automates...).

Perspectives et conclusion

Les stations d'épuration construites fonctionnent bien en deçà de leur capacité nominale, le taux

moyen de remplissage n'est que de 47 % pour l'échantillon analysé (plus de 600 stations), en baisse régulière avec l'arrivée de nouvelles stations d'épuration.

Dans le même temps, on voit un accroissement de la consommation électrique qui ne s'explique pas vraiment par une pollution traitée plus importante sur l'ensemble de ce parc.

Il va de soi que les nouvelles usines sont plus complexes et plus énergivores, mais cela n'explique pas tout.

Depuis l'élaboration du cahier des charges d'un projet, en passant par la conception et la réalisation de l'unité de traitement et jusqu'à l'exploitation, des efforts doivent être réalisés si l'on veut adapter les apports énergétiques aux besoins réels d'une station d'épuration en sous-charge.

Si rien n'est fait dans ces domaines, il faut s'attendre à voir les consommations énergétiques augmenter significativement dans les années prochaines.

Cette prise de conscience passe par la prise en compte de recommandations essentielles rappelées dans ce document, et qui pour la plupart relèvent des règles de l'art.

Les recommandations proposées concernent principalement les boues activées, rappelons notamment :

- importance du maillage des ouvrages ;
- adaptation du nombre de files de traitement ou d'ouvrages à la charge réelle à traiter ;
- importance de l'étape d'épaississement quand il faut travailler au poids de boue le plus bas...

Gageons que la prise en compte des principales recommandations édictées permettra aux stations d'épuration sous-chargées sur de longues périodes de fournir les meilleures performances, au meilleur coût.

Bibliographie

CANLER J.P., CAUCHI A., DUCHÈNE P., FERNANDES P., LARI-GAUDERIE A., LÉBOUCHER G., PUJOL R. (2002) : « L'épaississement des boues : les règles de bonne gestion ». *TSM* ; 4 : 27-37.

FND AE (1990) : *Guide sur le foisonnement des boues*. Guide technique n° 8.

GIS BIOSTEP (2009) : *Augmentation de la quantité de bio-*

masse autotrophe par ajout d'alcali. Téléchargeable sur : http://gisbiostep.irstea.fr/wp-content/uploads/2013/12/ajout_d_alcali.pdf

GERMAIN E., NELLESB F., DREWS A., PEARCE P., KRAUME M., REID E., *et al.* (2007) : « Biomass effects on oxygen transfer in membrane bioreactors ». *Water Research* ; 1038-1044.

Résumé

R. PUJOL, P. ARNAUD

Plaidoyer pour l'optimisation technique et énergétique des stations d'épuration

L'analyse de la consommation énergétique d'un échantillon de 600 stations d'épuration en regard de la pollution traitée fait apparaître une tendance haussière, principalement pour les stations les plus récentes.

Cette hausse est en partie liée au fait que les nouvelles usines sont plus complexes, plus performantes et plus énergivores que les anciennes stations.

On observe également que la pollution globale reçue n'augmente pas au cours de ces dernières années. En conséquence, le ratio énergétique des usines croît et renchérit la facture énergétique de ces nouvelles unités.

Cette hausse de la consommation est également à rapprocher de la diminution régulière du taux de

remplissage des stations (charge organique reçue/charge nominale), pénalisant le fonctionnement et l'exploitation des stations dont la sous-charge est quasi permanente.

Pour améliorer la situation et tendre vers le meilleur compromis technique et énergétique, des recommandations sont proposées, la plupart provenant de constatations de terrain.

Ces recommandations concernent la station d'épuration, depuis l'élaboration du projet jusqu'à l'exploitation. Elles sont pour la plupart applicables pour toutes les stations, mais plus particulièrement pour les procédés à boues activées dont le fonctionnement est souvent en considérable sous-charge organique, la plus grande partie de l'année.

Abstract

R. PUJOL, P. ARNAUD

Defense for technical and energetical optimisation of wastewater treatment plants

Electrical consumption from a sample of 600 wastewater treatment plants is increasing regularly for the last five years. New plants are more impacted by this evolution. These plants have been implemented in accordance with the European wastewater Directive (1991), new plants must comply with stringent standards mainly on nitrogen parameters and they are also more complex (odours treatment...). In the same time, total entering pollution rate is stable and therefore specific organic loading rate decreases, ie plant filling ratio.

More and more plants are under loaded during long periods so that, operating and functioning conditions

are more difficult, with technical and economical problems.

The main objective of this paper is to deliver guidelines, best practices in order to get the best compromise between technical and economical point of view. These best practices concern the bid, conception, and the plant operation.

The example of under loaded activated sludge is taken into account but most of the items are also useful for other plant configurations.

Keep in mind that the plant has to be adapted for functioning with "permanent" under loading rate condition; otherwise energy consumption will go on increasing.

Rejoignez le premier portail sur le savoir-faire Eau made in France



Un outil collectif pour :

- Accroître la visibilité de l'offre française à l'international
- Proposer des solutions innovantes à vos partenaires étrangers
- Promouvoir le savoir-faire et les innovations françaises de l'ensemble de la filière eau

Pour plus d'information et inscription : www.water-expertise-france.fr