

Note de contexte

Vers une plus grande autonomie énergétique des stations d'épuration ?

Différentes solutions techniques peuvent être mises en œuvre pour optimiser l'efficacité énergétique des stations d'épuration et valoriser l'énergie renouvelable issue du traitement des eaux usées.

Cette note fait un point sur leurs avantages et leurs limites et nous présente l'exemple de la station d'épuration de Seine Aval.

L'énergie électrique requise pour le transport et l'épuration des eaux usées dépend de nombreux facteurs : la nature et la longueur du réseau, la composition des eaux usées (présence d'eaux résiduelles industrielles, d'eaux claires parasites), la taille de l'agglomération, le niveau de traitement exigé, le devenir des boues produites, la valorisation éventuelle d'énergies renouvelables, la qualité de la conception et de l'exploitation, le taux de charge de la station d'épuration, etc.

La consommation énergétique est pratiquement nulle lorsque des systèmes extensifs tels que les filtres plantés de roseaux peuvent être mis en place pour les petites collectivités. Lorsque des systèmes plus intensifs sont implantés, l'énergie consommée est généralement d'autant plus importante que le système est compact, le niveau de traitement requis poussé et l'installation sous-chargée. De même, lorsque les boues produites peuvent être épanchées sous forme liquide ou être déshydratées sur des lits de séchage de boues plantés de roseaux, la consommation énergétique est limitée aux opérations de pompage. Au-delà de quelques centaines d'équivalents habitants et lorsque la destination des boues est l'épandage agricole, celles-ci sont déshydratées mécaniquement pour limiter le transport d'eau, de l'énergie électrique est donc requise. Lorsqu'un séchage des boues est mis en œuvre en vue d'une diminution drastique du volume à évacuer ou d'une incinération ultérieure, une production de chaleur est nécessaire, généralement associée avec une méthanisation des boues. L'exploitation du potentiel énergétique des eaux usées (production de biogaz par digestion des boues et des graisses, récupération de la chaleur, micro-turbinage des eaux traitées), complétée par l'apport d'autres énergies renouvelables (co-digestion avec des déchets agricoles, panneaux solaires, éoliennes), fait également partie des options à prendre en compte.

Il convient d'avoir à l'esprit que cette énergie est disponible sous différentes formes dont les potentiels de valorisation sont très variables. Ainsi, une part importante des besoins énergétiques pour l'épuration des eaux est constituée d'électricité, considérée comme une énergie à haute valeur, tout comme peut l'être le biogaz, mais une

part importante de l'énergie peut se retrouver sous forme thermique de basse température, et la valorisation de ces énergies est plus difficile. La performance énergétique doit prendre en compte tous ces aspects.

La minimisation des dépenses énergétiques représente un enjeu très important notamment au plan du bilan environnemental de l'épuration des eaux, mais ne doit en aucun cas remettre en cause la fonction première d'une station d'épuration qui est de délivrer une eau épurée conforme au niveau de rejet spécifié. Il s'agit donc d'une part, de *réaliser des économies d'énergie*, et d'autre part, de *valoriser les énergies renouvelables* autant que possible. Afin de disposer d'une base de données actualisée, Irstea a engagé, avec l'agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse, une étude relative au coût énergétique des principales filières de traitement des eaux usées.

La minimisation de la consommation énergétique

La filière d'épuration des eaux

Dans le cas des boues activées à très faible charge, le système d'aération consomme l'essentiel de l'énergie électrique requise pour l'épuration des eaux. Son choix, sa conception et sa gestion technique ont donc une importance majeure. La fourniture d'air doit pouvoir être adaptée à la demande en modulant la puissance d'aération (plusieurs machines en parallèle) ou en mettant en place des surpresseurs à vitesse variable. Cette possibilité d'adaptation de la fourniture d'air à la demande est particulièrement indispensable lorsque l'installation est sous-chargée. La mise en place de systèmes de régulation de la fourniture d'oxygène permettant de limiter la concentration d'oxygène dissous durant les séquences d'aération est donc de nature à entraîner des économies d'énergies substantielles. La maximisation de la dénitrification permet une récupération effective de l'oxygène des nitrates (présence d'agitateurs pour maximiser la vitesse de réaction). De même, une extraction de boues régulière visant au maintien de la concentration de boues minimale respectant la charge massique de 0,1 kg DBO/kg MVS/j maximise le coefficient de transfert d'oxygène.

1 Avantages et contraintes de la production de biogaz par méthanisation des boues.

Avantages	Contraintes
Réduction de la production de boues	Coût d'investissement
Stabilisation, hygiénisation des boues	Contraintes et coûts d'exploitation
Réduction des odeurs	Risques d'explosion (règles de sécurité)
Production d'énergie renouvelable et stockable	Diminution du % MV, du pouvoir calorifique
Réduction des émissions de CO ₂	Siccité requise pour l'auto-combustion en hausse dans le cas d'une incinération des boues digérées
Incitation financière vente électricité renouvelable	Emprise au sol supplémentaire
Réduction de la charge organique à traiter biologiquement (décantation primaire)	Retours d'azote ammoniacal en tête
	Carence de carbone pour dénitrification

Enfin, le stockage des eaux usées dans le réseau ou des ouvrages tampons durant les périodes de pointe EDF et leur traitement différé constituent un moyen de réduire la facture sans diminuer la consommation d'énergie électrique. Notons qu'un traitement anaérobie des eaux usées urbaines (très peu consommateur d'énergie) ne peut être envisagé en France compte tenu de leur dilution, des basses températures et d'une efficacité limitée (réduction de la DBO de 70-80 %) incompatible avec les niveaux de rejets réglementaires. Des économies d'énergie peuvent également être réalisées au niveau des pompages (installation de variateurs de fréquence) et de la gestion des recirculations. Les bassins d'anoxie en tête présentent peu d'intérêt et la dépense électrique associée y est d'autant plus élevée que les installations sont sous-chargées.

La filière de traitement des boues

Hormis les traitements thermiques particulièrement énergivores (en contrepartie d'une diminution drastique du volume de boues à évacuer), la consommation énergétique de certains postes d'épaississement/déshydratation des boues (flottation, centrifugation) doit faire l'objet d'une attention particulière. La mise en place d'un traitement spécifique de l'azote ammoniacal sur les retours en tête de certains traitements de boues (digestion, traitement thermique) est également recommandée.

La désodorisation, souvent indispensable, reste un poste important de consommation d'énergie.

Enfin, l'implication de l'ensemble du personnel d'exploitation dans la réduction des consommations énergétiques et l'évaluation périodique des stratégies mises en œuvre dans ce but sont nécessaires.

La production et la valorisation d'énergies renouvelables

Pour fixer un ordre de grandeur et en prenant l'exemple des boues activées à très faible charge (procédé le plus

répandu), en tablant sur une charge polluante par équivalent habitant de 60 g de DBO₅/jour, une consommation pour le traitement de 2,5 kWh/kg DBO₅ traitée et pour le transport de 10 % de la précédente, on aboutit à un ordre de grandeur de 60 kWh EH₆₀/an d'énergie électrique pour le transport et l'épuration des eaux usées à la charge nominale de la station d'épuration.

La production de biogaz par méthanisation des boues

La digestion anaérobie des boues produit du biogaz dont une estimation du potentiel énergétique conduit à une fourchette de 55 à 60 kWh EH₆₀/an. Un système de cogénération pourra donc produire (sous l'hypothèse d'un rendement global de 80 %) de l'ordre de 17 kWh EH₆₀/an d'énergie électrique (avec un rendement de 30 %) et de 30 kWh EH₆₀/an d'énergie calorifique (avec un rendement de 50 %) dont l'essentiel servira au chauffage/brassage du digesteur, la chaleur excédentaire produite pouvant être utilisée pour accroître la siccité des boues déshydratées en vue d'atteindre leur auto-combustibilité ou pour un séchage poussé (ou valorisée sur un réseau de chaleur urbain ou en chauffage de locaux). Une enquête récente a néanmoins montré que l'essentiel des gaz de digestion produit n'est pas valorisé mais était brûlé en torchère.

Le choix de la mise en place d'une digestion des boues et celui de la solution à adopter pour valoriser le biogaz (chaleur et électricité) résultent d'analyses technico-socio-économiques prenant en compte le contexte local. Aussi, plusieurs points sont notamment à prendre en considération (tableau 1).

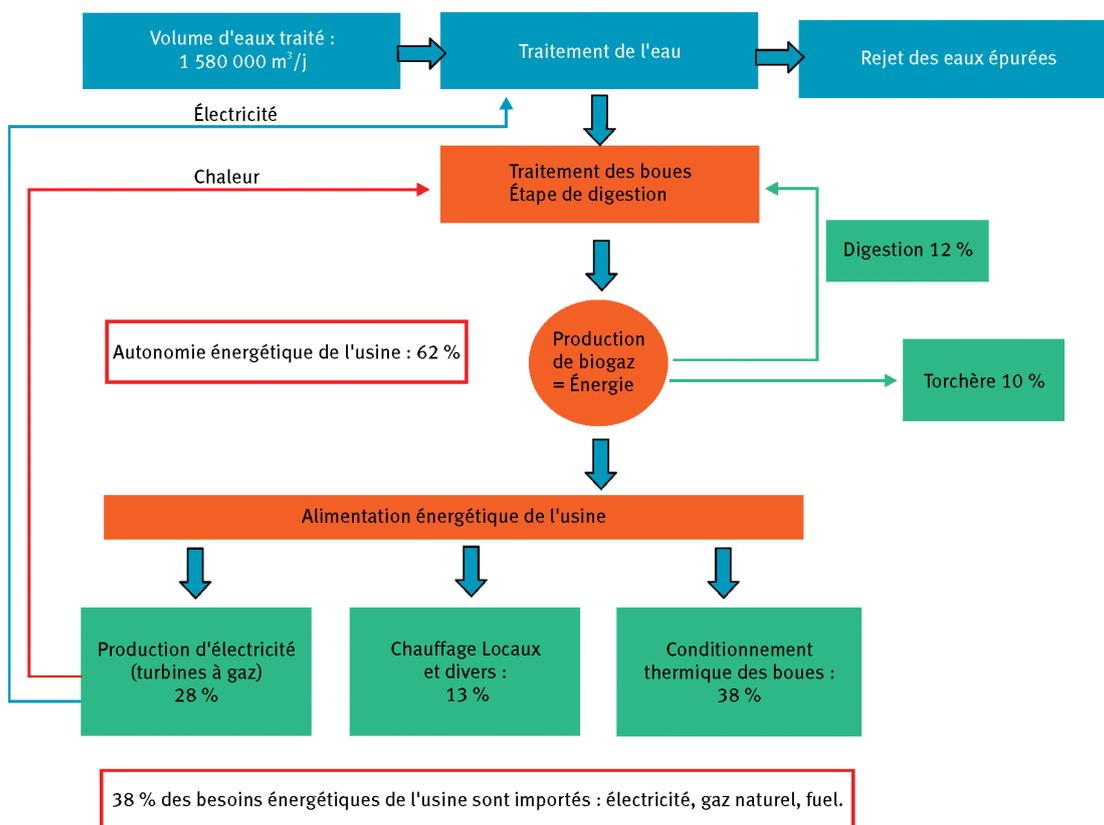
L'accroissement de la concentration des boues admises en digestion, leur prétraitement (ultrasons, thermolyse) améliorent le rendement de production de biogaz. L'adjonction régulière et contrôlée aux boues de déchets organiques exogènes (déchets agricoles, graisses) permet d'accroître la production de biogaz, et donc la part

① AUTONOMIE ÉNERGÉTIQUE : LE CAS DE SEINE AVAL

Conscient de ces enjeux environnementaux et économiques, le SIAAP (Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne) a développé de multiples initiatives pour limiter l'utilisation des ressources fossiles et réduire les émissions de gaz à effet de serre : en 2011, 62 % des besoins énergétiques de la station Seine aval sont assurés par des énergies renouvelables et propres, produites sur le site : biogaz et électricité (figure ①). Leur substitution aux produits d'origine fossile a ainsi permis de réaliser une économie de 12,5 millions d'euros.

Pour accroître son autonomie énergétique, *Seine aval* a augmenté la production de biogaz et optimisé l'isolation thermique des nouveaux bâtiments, la consommation des machines et des systèmes d'éclairage. Une turbine qui récupère l'énergie produite par la chute de l'eau épurée a aussi été installée. Si son bilan environnemental est favorable, son intérêt économique est moindre en raison du coût de sa maintenance.

① Autonomie énergétique : le cas de Seine Aval (situation 2011).



d'énergie renouvelable disponible. Certaines filières de traitement des boues incluant les étapes de méthanisation et de séchage (voire d'incinération) sont énergétiquement autonomes. La maximisation de la production de biogaz et l'optimisation de sa valorisation permettraient de couvrir 50 à 80 % de l'énergie nécessaire à certaines stations d'épuration, ce pourcentage étant d'autant plus faible que le niveau de traitement requis est poussé.

Les coûts d'investissement du digesteur et des équipements associés (canalisations, gazomètre, chaudières, moteurs de cogénération...) et les coûts d'exploitation correspondants doivent être mis en regard des gains réalisés, notamment sur les coûts d'évacuation des boues lorsque, par exemple, un séchage thermique ou solaire chauffé est mis en place à l'aval de la digestion. Les gains engendrés par la revente ou l'utilisation locale d'électricité renouvelable aux heures de pointe doivent également être comptabilisés.

La pyrolyse et la gazéification des boues séchées

La pyrolyse consiste à réaliser une dissociation thermique de la matière organique et de la matière minérale des boues séchées en l'absence d'oxygène sous l'action de la chaleur (400 à 800 °C). La fraction organique se décompose en gaz, huiles et résidus solides pouvant être valorisés.

La gazéification est un procédé de conversion totale de la matière organique en gaz par combustion partielle. L'oxydation se déroule entre 850 et 1 400 °C en présence d'une quantité limitée d'air. Il en résulte la formation de gaz (CH_4 , CO , CO_2 , H_2 , N_2) valorisable et de cendres.

Le bilan énergétique de ces filières reste à établir.

La production d'électricité renouvelable

Outre la production d'électricité à partir de biogaz ou de l'incinération des boues (récupération de chaleur pour

alimenter une turbine à vapeur + alternateur), différentes techniques telles que panneaux solaires, éoliennes ou turbines hydrauliques peuvent être mises en œuvre pour produire de l'énergie renouvelable :

- panneaux solaires. Les cellules photovoltaïques constituant ces panneaux génèrent, par effet photoélectrique, de l'électricité sous l'effet de la lumière ;
- éoliennes sur site. Celles-ci transforment l'énergie mécanique en énergie électrique, soit pour être injectée dans un réseau de distribution, soit pour les besoins propres de la station ;
- turbines hydrauliques. Cette technique peut être utilisée dès lors qu'il existe une chute d'eau d'une hauteur et d'un débit suffisants (soit de l'ordre de 1,5 kWh $E_{H_{150L}}$ /an).

Ces dernières techniques ne permettent pas la production d'une puissance significative au regard des besoins à couvrir.

La récupération d'énergie sur les réseaux d'assainissement

La température des effluents urbains varie classiquement entre 12 et 25 °C. La mise en place de pompes à chaleur permet de satisfaire à différents besoins en chauffage (locaux, digesteur de boues, plancher chauffant de serres solaires) et de climatisation. Une étude technico-économique permet d'optimiser les solutions. L'origine de l'énergie requise pour le fonctionnement des pompes à chaleur est à prendre en compte dans le bilan environnemental.

Conclusion

La consommation énergétique d'une station d'épuration dépend d'abord du type de filières de traitement des eaux usées et des boues mises en place, elles-mêmes fonction de la taille de l'agglomération, des niveaux de rejet exigés, de l'emplacement et de la surface disponible, de la destination des boues et de la valorisation possible des énergies renouvelables. Le taux de charge des installations, la conception et la gestion technique des ouvrages et des équipements et l'implication des exploitants constituent également des critères clés d'une limitation des dépenses énergétiques. ■

Les auteurs

Alain HÉDUIT

IRSTEA, centre d'Antony, UR HBAN,
Hydrosystèmes et bioprocédés,
1 rue Pierre-Gilles de Gennes
CS 10030, 92761 Antony Cedex
alain.heduit@irstea.fr

Jean-Pierre TABUCHI

SIAAP, Syndicat interdépartemental
pour l'assainissement de l'agglomération
parisienne, Direction Santé et Environnement,
2 rue Jules César, 75589 Paris Cedex 12
jean-pierre.tabuchi@siaap.fr

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- 📄 **BONNIER, S.**, 2008, État de la valorisation du biogaz sur site de station d'épuration en France et en Europe, Synthèse Technique AgroParisTech Lyonnaise des eaux, 17 p.
- 📄 **COMMUNAUTÉ URBAINE DE BORDEAUX (CUB)**, 2010, Énergies renouvelables des réseaux d'assainissement : le point au 30 septembre 2010, 15 p.
- 📄 **LIGNON, M.**, 2010, Efficacité énergétique des stations d'épuration. Projet de fin d'études, INSA-Lyon Département Génie énergétique et Environnement, 89 p.
- 📄 **LINDTNER, S, SCHAAR, H., KROISS, H.**, 2008, Benchmarking of large municipal wastewater treatment plants treating over 100,000 PE in Austria, *Water Science and Technology*, 57(10), p. 1487-93.
- 📄 **SVARDAL, K., KROISS, H.**, 2011, Energy requirements for waste water treatment, *Water Science and Technology*, 64(6), p. 1355-61.

► Consulter l'ensemble des références
sur le site de la revue www.set-revue.fr