

Etat des lieux et perspectives énergétiques des STEP vaudoises

Résumé

Basé sur le rapport réalisé par Bluewatt SA sur mandat du Canton de Vaud



Table des matières

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Introduction | 3 |
| 1.1 | Contexte | 3 |
| 1.2 | Rappel du cadre réglementaire et des programmes d'accompagnement..... | 3 |
| 2 | Description de la situation actuelle et de l'évolution prévue | 5 |
| 2.1 | Description des STEP vaudoises et de la planification cantonale de l'épuration | 5 |
| 2.2 | Résultats pour la situation actuelle | 6 |
| 3 | Situation après régionalisation | 8 |
| 3.1 | Description de la situation après régionalisation..... | 8 |
| 3.2 | Méthodologie | 8 |
| 3.3 | Résultats pour les pôles micropolluants..... | 10 |
| 3.4 | Résumé de la situation après la régionalisation..... | 10 |
| 4 | Enjeux et perspectives | 15 |
| 4.1 | Enjeux principaux | 15 |
| 4.2 | Perspectives | 16 |

1 Introduction

1.1 Contexte

De par l'électricité nécessaire pour atteindre des performances d'épuration toujours plus élevées et considérant le potentiel de production, l'énergie est une thématique grandissante dans le domaine du traitement de l'eau. Dans le Canton de Vaud, la consommation annuelle d'électricité liée à l'épuration des eaux s'élève à 39 GWh par année, soit l'équivalent d'environ 11'000 ménages. Le parc des 163 stations d'épuration (STEP) en fonction en 2016 se caractérise par un grand nombre d'installations de petites tailles, avec une consommation spécifique relativement élevée. Les stations d'épuration recèlent un fort potentiel de valorisation énergétique des boues d'épuration et des eaux épurées. Ces potentiels d'économie d'énergie et de production d'énergie renouvelable s'inscrivent dans la stratégie énergétique 2050 de la Confédération. A cet égard, les communes et les collectivités publiques ont un rôle d'exemplarité à jouer ; les stations d'épuration comptant parmi les installations communales les plus gourmandes en énergie.

Les STEP vaudoises sont actuellement en pleine mutation afin de pouvoir répondre aux nouvelles exigences fédérales sur le traitement des micropolluants. Pour implémenter ce traitement, les plus grandes STEP du Canton devront être totalement réaménagées d'ici 2035. Selon la planification cantonale de l'épuration vaudoise établie en 2016¹, ces STEP régionales traiteront près de 90% des eaux usées du Canton à cet horizon. Près de la moitié des STEP actuelles seront raccordées sur ces installations, alors qu'une huitantaine de STEP seront maintenues. Plusieurs projets importants de réaménagement étant déjà en cours, les STEP vaudoises sont actuellement à un tournant énergétique.

Dans le contexte de réaménagement des grandes STEP vaudoises, le Canton a décidé d'élaborer un rapport sur l'état des lieux énergétique et les perspectives énergétiques des STEP vaudoises. Le périmètre d'étude comprend toutes les STEP vaudoises mais il n'inclut pas les réseaux d'eaux usées, qui représentent également un potentiel d'économie d'énergie – principalement pour les pompages – et de récupération de chaleur non négligeable. Ce rapport est focalisé sur les futurs pôles de traitement des micropolluants et sur les STEP maintenues, dans la perspective de la régionalisation prévue. Il servira de base à l'établissement d'une stratégie cantonale pour l'optimisation énergétique des stations d'épuration.

1.2 Rappel du cadre réglementaire et des programmes d'accompagnement

Les mesures de mise en œuvre pour l'amélioration de l'efficacité électrique et pour la production d'énergie renouvelable dans les STEP sont fortement encouragées par les conditions-cadres actuelles au niveau fédéral et cantonal.

Au niveau fédéral, le programme d'encouragement « STEP efficaces en énergie »², actuellement proposé par l'association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA) et l'association InfraWatt, soutient les STEP pour l'évaluation de leurs potentiels d'économie d'électricité et pour la mise en œuvre des mesures préconisées. L'exploitation des potentiels de production d'énergie des STEP est fortement encouragée par la législation fédérale sur l'énergie et sur le CO₂. Les dispositions de la législation fédérale prévoient notamment la rétribution du courant injecté à prix coûtant, garantissant aux producteurs d'électricité renouvelable un prix calé sur les coûts de production. Les possibilités d'économiser sur les coûts d'approvisionnement en combustibles et en électricité ont également un effet incitatif.

¹ Direction générale de l'environnement, Etat de Vaud, «Traitement des micropolluants dans les stations d'épuration vaudoises», 2016.

² <http://www.infrawatt.ch/fr/node/668>

Au niveau cantonal, une quinzaine de STEP sont concernées par les dispositions légales cantonales visant les grands consommateurs d'énergie, c'est-à-dire les sites avec une consommation annuelle de plus de 0.5 GWh électrique ou de plus de 5 GWh thermique. Ces STEP doivent s'engager à prendre des mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique, notamment par le biais d'un audit énergétique. Des subventions cantonales sont disponibles pour réaliser ces audits³. Le Canton de Vaud a également mis en place un programme d'accompagnement pour les moyens consommateurs⁴, soit les sites avec une consommation électrique annuelle entre 0.1 GWh et 0.5 GWh. Concernant les mesures d'amélioration d'efficacité énergétique, le Canton de Vaud a lancé en 2016 et 2017 un appel à projet visant à rétribuer les économies d'énergie, quelle que soit la consommation du site⁵. Par ailleurs, des subventions cantonales peuvent être obtenues pour des études de faisabilité ou des projets pilotes.

³ <https://www.vd.ch/themes/environnement/energie/subventions/conditions-doctroi-grands-consommateurs/>

⁴ <https://www.vd.ch/themes/environnement/energie/actions-specifiques/programme-des-audits-energetiques/moyens-consommateurs/>

⁵ <https://www.vd.ch/themes/environnement/energie/subventions/appe-a-projets-visant-a-stimuler-lefficacite-energetique-au-sein-des-entreprises-vaudoises/>

2 Description de la situation actuelle et de l'évolution prévue

2.1 Description des STEP vaudoises et de la planification cantonale de l'épuration

Le parc des STEP vaudoises compte actuellement 163 STEP, pour lesquelles la planification cantonale 2016 prévoit l'évolution suivante :

- 13 STEP qui vont devenir des pôles de traitement des micropolluants
- 80 STEP qui vont être maintenues sans modification importantes⁶
- 70 STEP qui vont être raccordées aux pôles micropolluants

Leur répartition en termes de population totale équivalente est illustrée à la Figure 1.

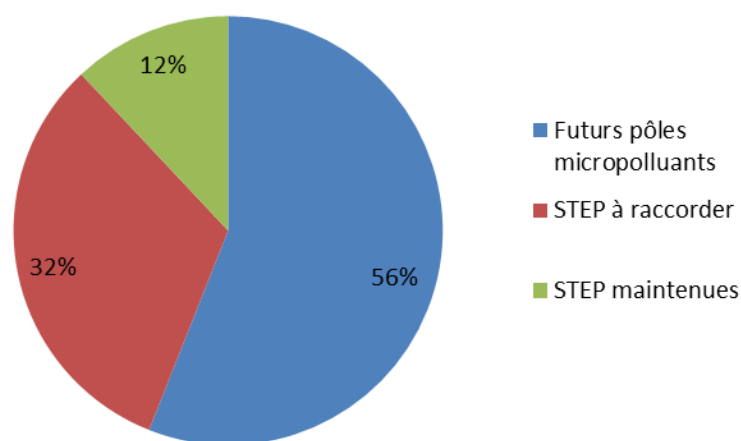


Figure 1. Répartition des STEP vaudoises en termes de population totale équivalente selon leur évolution prévue par la planification cantonale

En supplément des 13 pôles micropolluants prévus sur des sites existants, la planification cantonale prévoit 3 nouveaux sites traitant également les micropolluants (STEP SIGE, STEP Gland et Nyon, STEP Région Aubonne), ce qui résulte en 16 pôles micropolluants. Il est à noter que le 88% de la population totale équivalente (équivalent-habitants) actuelle est raccordée à des réseaux qui vont alimenter les pôles micropolluants. Cela veut dire que des actions d'optimisation énergétique à destination des 16 pôles de traitement de micropolluants projetés vont toucher le 88% des EH, alors que les 80 STEP maintenues ne représentent que le 12% des EH.

Le parc des STEP vaudoises actuel est principalement constitué de très petites STEP, avec moins de 1'000 habitants raccordés. Seule une petite partie de ces STEP dispose d'une filière de digestion des boues (27 parmi 163). La STEP de Lausanne est la seule qui dispose d'une installation d'incinération des boues et la planification cantonale de la gestion des déchets⁷ ne prévoit pas d'autre site d'incinération sur le canton.

Les données disponibles pour l'analyse de l'état des lieux énergétique sont les suivantes :

- Electricité : consommation totale d'électricité, électricité produite par la cogénération et électricité produite par turbinage.
- Production de boues : quantité produite en tMS et sites vers lesquels elles sont acheminées pour la digestion, si tel est le cas.

⁶ Il est supposé dans ce rapport que les STEP « maintenues ou à statut non défini » sont maintenues

⁷ Direction générale de l'environnement, Etat de Vaud, «Plan de gestion des déchets 2016»

2.2 Résultats pour la situation actuelle

2.2.1 Consommation électrique

Les STEP vaudoises ont consommé au total 38.9 GWh d'électricité en 2015, ce qui représente une consommation spécifique moyenne de 41 kWh/EH/an ou de 410 Wh/an par m³ d'eau traitée. Ces valeurs sont nettement supérieures aux valeurs de référence données par le guide publié par VSA⁸ pour une STEP modèle. Néanmoins, le parc vaudois des STEP est relativement ancien, alors que ces valeurs de référence sont atteignables pour des infrastructures récentes.

| | <i>Consommation annuelle [GWh/an]</i> | <i>Population totale équivalente [%]</i> | <i>Consommation annuelle spécifique [kWh/EH/an]</i> |
|---------------------------|---|--|---|
| Pôles micropolluants (13) | 20.4 | 56 | 38 |
| STEP à raccorder (70) | 12.6 | 32 | 42 |
| STEP maintenues (80) | 5.9 | 12 | 47 |
| Total | 38.9 | 100 | - |

L'ensemble des STEP qui vont devenir des pôles micropolluants et les STEP qui vont s'y raccorder ont été responsables en 2015 de 85% de la consommation électrique des STEP vaudoises. La consommation spécifique des futurs pôles micropolluants est de 38 kWh/EH/an, ce qui est significativement plus faible que les STEP à raccorder et les STEP maintenues, de plus petites taille. Par ailleurs, une nette augmentation de la consommation spécifique est observée pour les STEP de moins de 1'000 EH. La régionalisation tend ainsi à favoriser un traitement de l'eau énergétiquement plus efficace. Il semble donc pertinent, dans les phases suivantes de ce rapport, d'accorder une attention particulière aux pôles micropolluants. Un dimensionnement adéquat ainsi que la mise en place d'équipements énergétiquement efficaces, selon l'état de la technique, et de stratégies d'opération performantes seront des éléments clés au regard des consommations électriques et des performances d'épurations sur toute la durée de vie de ces installations.

Seulement 15% de la consommation électrique est due aux STEP qui vont être maintenues sans modifications importantes. Parmi les STEP maintenues, la grande majorité utilise un système de traitement de boues activées. La consommation liée aux autres technologies de traitement correspond à moins de 2% de la consommation électrique totale. A noter que ces autres technologies sont soit obsolètes (lit bactérien), soit plus énergivores (lit fluidisé, biofiltres). Dans le chapitre 3, le potentiel d'optimisation sera donc évalué pour les STEP qui utilisent des boues activées, sachant que leur consommation spécifique moyenne actuelle est nettement plus élevée que les valeurs de référence données par le VSA.

L'autonomie électrique des STEP ayant une installation de digestion, en considérant la production électrique issue de la cogénération, est calculée dans la version complète du rapport (annexe 3). Les valeurs calculées, situées entre 0% pour les STEP ne disposant pas d'installation de cogénération et 93%, montrent que l'autonomie électrique varie beaucoup d'une STEP à l'autre. A noter que certaines STEP digèrent les boues acheminées depuis d'autres STEP en supplément des boues produites sur place, ce qui augmente l'autonomie électrique de la STEP.

2.2.2 Valorisations énergétiques et potentiels non exploités

La valorisation énergétique la plus importante se fait par la digestion des boues, conduisant à la production de biogaz, notamment dans les plus grandes STEP qui vont devenir les pôles micropolluants et également dans les STEP qui vont être raccordées. La production totale de boues de l'ensemble des STEP vaudoises a représenté

⁸ VSA et Suisse Energie, «Energie dans les stations d'épuration», 2008

environ 21'000 tMS. A noter que les quantités totales de boues diffèrent légèrement des bilans d'épuration 2015, car les valeurs sont estimées avant l'étape de digestion, alors que les bilans d'épuration indiquent les valeurs après digestion pour la plupart des STEP pratiquant la digestion.

| | <i>Production de boues [tMS]</i> | <i>Boues acheminées vers une installation de digestion [tMS]</i> | <i>Potentiel additionnel pour la digestion [tMS]</i> | <i>Potentiel additionnel pour la digestion [%]</i> |
|----------------------|----------------------------------|--|--|--|
| Pôles micropolluants | 12'558 | 5'560 | 6'998 | 73 |
| STEP maintenues | 2'286 | 1'042 | 1'244 | 13 |
| STEP à raccorder | 6'096 | 4'698 | 1'398 | 14 |
| Total | 20'940 | 11'300 | 9'640 | 100 |

Les 27 installations de digestion des boues présentes sur le canton ont permis de valoriser 11'300 tMS en biogaz. La production de biogaz par installation de digestion des boues n'est actuellement pas renseignée dans les bilans d'épuration. Néanmoins, à partir de la production d'électricité générée par cogénération et à partir de la quantité de biogaz injectée dans le réseau, la quantité de biogaz produite par les STEP vaudoises a été estimée à environ 5.1 Mio Nm³ en 2015. Cela représente un potentiel de 33 GWh thermique.

D'un point de vue du potentiel, près de 10'000 tMS additionnelles pourraient théoriquement être transformées en environ 4.6 Mio Nm³ de biogaz, ce qui reviendrait à doubler la production de l'année 2015.

Parmi les 27 STEP possédant une installation de digestion, 21 valorisent le biogaz produit par cogénération et ont ainsi généré 6.9 GWh d'électricité en 2015.

| | <i>Génération annuelle [GWh/an]</i> | <i>Pourcentage du total [%]</i> |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Pôles micropolluants (9/13) | 4.4 | 64 |
| STEP maintenues (6/80) | 0.5 | 7 |
| STEP à raccorder (6/70) | 2.0 | 30 |
| Total | 6.9 | 100 |

Les STEP de Penthaz et Roche ont des installations de digestion avec une injection du gaz dans le réseau. Elles ont produit 1.7 Mio m³ de biogaz en 2015. La STEP de Penthaz fait partie des pôles micropolluants. En revanche, la STEP de Roche sera raccordée à la nouvelle STEP de Villeneuve.

Les STEP de Commugny et Nyon ont produit au total 0.9 GWh/an électriques par turbinage. La STEP de Commugny fait partie des pôles micropolluants et sera donc maintenue. Quant à la STEP de Nyon, elle sera remplacée par le pôle régional Nyon-Gland, qui selon toute vraisemblance devrait aussi disposer d'un système de turbinage.

Concernant l'incinération des boues, la planification cantonale des déchets 2016 définit un seul site d'importance sur le canton de Vaud, à la STEP de Lausanne, où les boues déshydratées à 30% de siccité sont mono-incinérées (voir section 2.1). Environ 60% des boues d'épuration issues des STEP vaudoises y sont incinérées. Une très faible quantité de boues est co-incinérée à la cimenterie d'Eclépens, séchées à une siccité de 90% au préalable. La récupération de chaleur sur l'étape d'incinération est implémentée à la STEP de Lausanne. Cette chaleur, soit 18 GWh/an, est injectée dans le réseau de chauffage à distance de la Ville de Lausanne.

Actuellement, les rejets de chaleur via les eaux usées traitées en sortie de STEP sont très peu valorisés. Une récupération de chaleur a lieu sur les STEP de Vevey et d'Yverdon. Néanmoins, plusieurs projets ou études visant à une telle valorisation sont en cours, notamment à la STEP de Morges.

3 Situation après régionalisation

3.1 Description de la situation après régionalisation

La régionalisation devrait être achevée en 2035, qui est l'ultime délai pour l'implémentation du traitement des micropolluants selon la loi fédérale sur la protection des eaux. Selon la planification cantonale 2016, le parc des STEP vaudoises devrait consister suite à la régionalisation en environ 80 STEP qui sont maintenues sans modifications substantielles et 16 STEP représentant les pôles de traitement des micropolluants. Sur ces 16 STEP, 13 vont être agrandies ou modifiées et 3 seront nouvelles (STEP SIGE, STEP Gland et Nyon, STEP Région Aubonne). Les pôles micropolluants seront en charge du traitement des eaux du 88% du total d'habitants raccordés.

L'analyse de la situation actuelle réalisée au chapitre précédent a mis en évidence que les principaux enjeux d'optimisation énergétique se situent dans les pôles micropolluants. La Figure 2 montre les 18 STEP les plus importantes dans le futur, en charge du traitement de l'eau du 90% de la population vaudoise. Il s'agit des 16 pôles micropolluants, ainsi que des STEP de Lutry et de Bex. La plupart des projets de réaménagement ou de construction des 16 pôles micropolluants ne sont à ce jour pas complètement définis⁹. Concernant les STEP maintenues, celles-ci sont supposées maintenues dans leur état technologique actuel jusqu'en 2035.

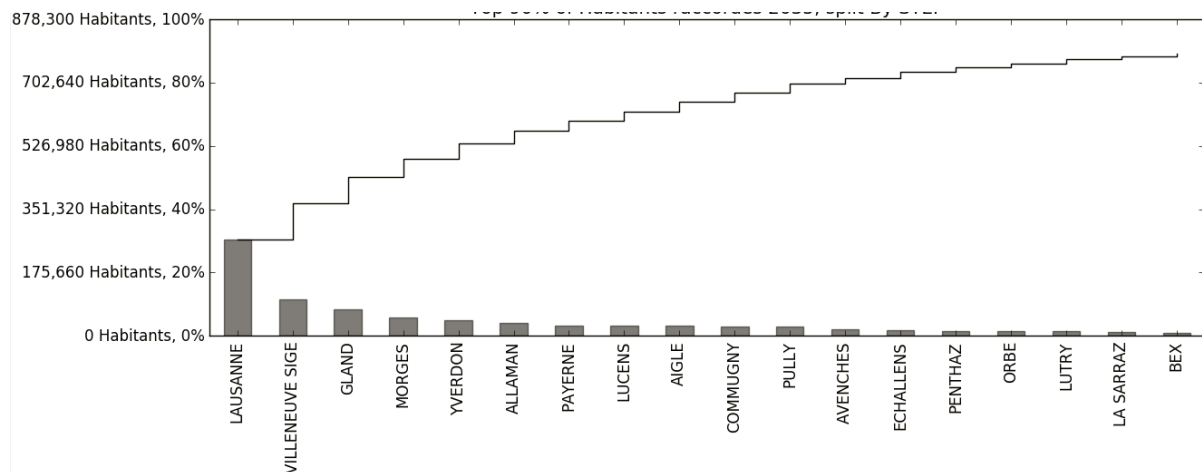


Figure 2. Les 18 STEP responsables du traitement de l'eau du 90% de la population raccordée

3.2 Méthodologie

Afin d'évaluer la consommation à l'horizon 2035 et le potentiel de production d'énergie de façon systématique, un cadre de réflexion commun pour toutes les STEP a été établi. Les hypothèses prises sont basées sur :

- Les données disponibles concernant la situation actuelle des STEP maintenues
- Les projets de réaménagement des futurs pôles micropolluants existants à ce jour
- La littérature technique du domaine (guide du VSA [3])

Pour le calcul des consommations et des potentiels le schéma de la Figure 3 est considéré. Pour des raisons de simplification, les autres infrastructures présentes sur le site de la STEP (bâtiments, pompage, ventilation) ne sont pas considérées. La consommation liée à ces infrastructures est néanmoins estimée à la section 3.4. Les hypothèses de calcul figurent dans la version complète du rapport à la section 3.2.2.

⁹ Voir leur état d'avancement dans les Bilans 2016 de l'épuration vaudoise

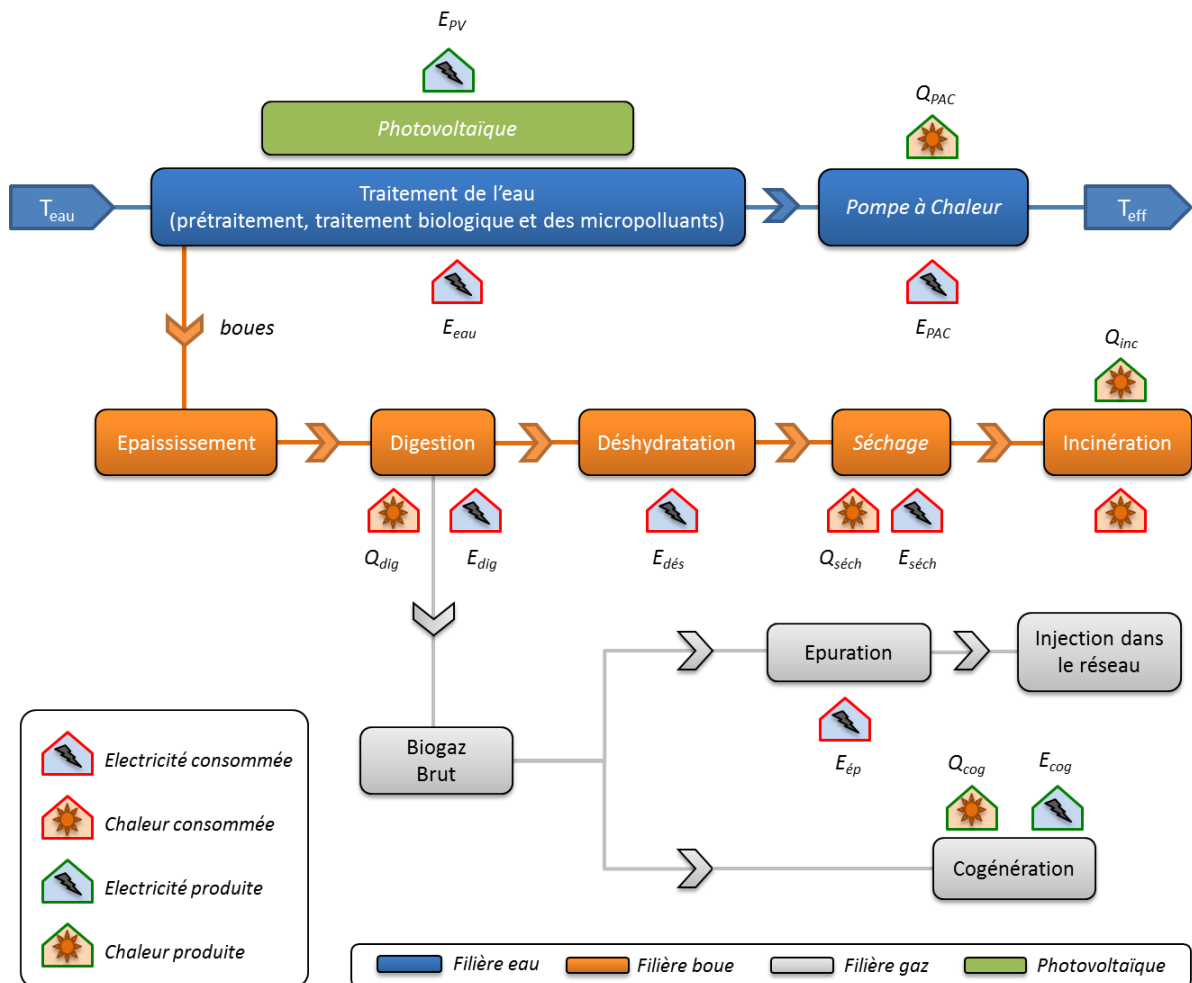


Figure 3. Cadre de réflexion pour le calcul des consommations et des potentiels de production d'énergie

Selon ce schéma, les quantités suivantes sont calculées pour toutes les STEP, indépendamment des choix qui puissent être faits pour la valorisation des potentiels de production d'énergie :

- Electricité consommée dans la filière eau (E_{eau}) ;
- Production de boues (quantité non représentée car seuls les flux d'énergie sont représentés): pour des raisons de simplification, il n'y a pas de distinction entre les boues primaires, issues de la décantation, et les boues secondaires, issues du traitement biologique.

Le schéma montre également les installations ou étapes complémentaires qui peuvent être présentes sur une STEP, pour la filière eau, la filière boues et la filière biogaz. Les valorisations énergétiques possibles dans une STEP proviennent principalement de trois sources :

- Du biogaz produit par la digestion des boues ;
- Des rejets de chaleur dans les eaux épurées ;
- De l'électricité produite par des panneaux photovoltaïques.

A noter que les différentes étapes sur la filière boues, soit l'épaississement, la digestion, la déshydratation, le séchage ainsi que d'incinération des boues, nécessitent également de l'énergie. L'énergie associée à l'épaississement, de moindre ordre de grandeur, n'est pas considérée par la suite. Quant à l'énergie associée à l'étape d'incinération, même si elle est importante, elle n'est pas calculée car elle dépend fortement du procédé utilisé.

3.3 Résultats pour les pôles micropolluants

Les estimations de consommation et de production à la fois thermiques et électriques pour les 16 futurs pôles micropolluants agrégés sont affichées sur le Tableau 1. Les résultats par STEP peuvent être consultés dans l'annexe 7 de la version complète du rapport.

| | Conso. Elec. [GWh/an] | Conso. Therm. [GWh/an] | Prod. Elec. [GWh/an] | Prod. Therm. [GWh/an] | Prod. Biogaz [M m ³ /an] |
|--|--------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--|
| Traitement de l'eau (390'000 m ³ /j) | 35 | - | - | - | - |
| Valorisation des eaux épurées (PAC) | 139 | - | - | 557 | - |
| Digestion des boues (23'000 tMS/an) | 1 | 14 | - | - | 9 |
| Déshydratation et incinération des boues | | | | | |
| 1. Boues à 30% de siccité | <1 | - | - | 20 | - |
| 2. Boues à 90% de siccité | 2 | 27 | - | 45 | - |
| Utilisation du biogaz | | | | | |
| 1. Valorisation par cogénération | - | - | 18 | 32 | - |
| 2. Epuration du biogaz et valorisation thermique | 3 | - | - | 59 | - |
| Production photovoltaïque | | | | | |
| 1. Couverture "conservatrice" | - | - | 4 | - | - |
| 2. Couverture "ambitieuse" | - | - | 16 | - | - |

Tableau 1 : Estimations des consommations et des potentiels de production d'énergie pour les pôles micropolluants agrégés (par année). Les valeurs en italique indiquent valorisations énergétiques complémentaires. A noter que les options de valorisation énergétique (1. et 2.) ne peuvent pas être additionnées.

La consommation électrique pour l'ensemble des pôles micropolluants à l'horizon 2035 est estimée à 35 GWh/an pour la filière eau, y compris le traitement des micropolluants. La consommation électrique spécifique moyenne par m³ d'eau traitée est estimée à 247 Wh/m³/an, et à 205 Wh/m³/an sans compter le traitement des micropolluants, en comparaison avec la valeur de référence donnée par le VSA pour la STEP modèle qui est de 170 Wh/m³/an.

La quantité de boues d'épuration issue des pôles micropolluants est estimée à 23'000 tMS/an. Leur digestion requiert 14 GWh/an de chaleur et produit environ 9 Mio Nm³/an de biogaz. Tous les projets de pôles micropolluants prévoient des installations de digestion pour produire du biogaz.

3.4 Résumé de la situation après la régionalisation

Suite à la régionalisation, les pôles micropolluants représenteront la majeure partie de la consommation d'énergie liée au traitement des eaux du Canton et la majeure partie des potentiels énergétiques des STEP cantonales. Les 80 STEP maintenues ou à statut non défini, même si elles présentent une optimisation énergétique possible, représenteront une faible part de la consommation et des potentiels énergétiques cantonaux liés aux STEP.

Traitement de l'eau

Selon les hypothèses prises, la consommation d'électricité pour le traitement de l'eau à l'horizon 2035 est estimée à 42 GWh pour l'ensemble des STEP vaudoises à cet horizon, dont 35 GWh pour les pôles micropolluants (voir le tableau ci-dessous). Ces estimations sont à prendre avec précautions, car les hypothèses peuvent varier, en particulier pour le traitement des micropolluants qui peut représenter entre 12% et 40% de la consommation associée au traitement de l'eau selon les technologies envisagées. Concernant le traitement biologique, les estimations des futurs pôles micropolluants se basent sur les valeurs de référence du VSA pour une STEP modèle, correspondant à l'état de la technique et à des conditions d'exploitation optimales. Il se peut néanmoins que les consommations réelles soient supérieures à ces valeurs, de l'ordre de 15%, selon les conditions d'exploitation de la STEP. Les valeurs indiquées sont à prendre comme des valeurs cibles à atteindre, tout en étant réalistes pour une STEP nouvelle ou réaménagée.

| | <i>Estimation de la consommation d'électricité pour le pré-traitement et traitement biologique [GWh/an]</i> | <i>Estimation de la consommation d'électricité pour le traitement des micropolluants [GWh/an]</i> | <i>Estimation de la consommation d'électricité pour le traitement de l'eau [GWh/an]</i> | <i>Estimation de la part d'eaux usées traitée [%]</i> |
|----------------------|---|---|---|---|
| Pôles micropolluants | 25 | 10 | 35 | 90 |
| STEP maintenues | 7 | 0 | 7 | 10 |
| Total | 32 | 10 | 42 | 100 |

Selon les hypothèses prises dans ce rapport, la consommation liée au traitement des micropolluants est estimée à 10 GWh/an, soit environ le tiers de la consommation liée au pré-traitement et au traitement biologique. En considérant uniquement le pré-traitement et le traitement biologique, la consommation spécifique moyenne des STEP vaudoises est estimée à 205 Wh par m³ d'eau traitée à l'horizon 2035. Cette valeur est supérieure à la valeur donnée par le VSA pour une STEP modèle, qui est de 170 Wh par m³ d'eau traitée. La différence s'explique, d'une part, par le fait que les STEP maintenues ont une consommation spécifique supérieure à la valeur de référence, et d'autre part, par le fait que certaines STEP (notamment Lausanne) auront des traitements biologiques qui requièrent une consommation d'électricité supérieure à la STEP modèle. En considérant que 82% de la consommation d'électricité est dédiée au traitement de l'eau selon la STEP modèle, la consommation spécifique en 2015 est de 315 Wh par m³ d'eau traitée. Par conséquent, un net gain d'efficacité énergétique est attendu pour le pré-traitement et le traitement biologique dans la situation après régionalisation.

La mise en place de technologies énergétiquement efficaces pour les différents traitements nécessaires dans les projets de pôles micropolluants ainsi que des systèmes de pilotage performants (voir également la description de systèmes de contrôle variables dans la version complète du rapport) jouera un rôle clé pour la consommation d'énergie future des STEP vaudoises. Concernant les STEP maintenues, des optimisations énergétiques sont possibles par des réglages ou par le remplacement de certains équipements, en particulier pour les STEP qui présentent une surconsommation d'énergie importante par rapport aux valeurs de référence. Ces optimisations doivent se faire tout en maintenant, voire en améliorant, les performances d'épuration.

Digestion des boues d'épuration

Au niveau des potentiels de production d'énergie, tous les futurs pôles micropolluants posséderont une installation de digestion des boues, ce qui augmentera considérablement la part de boues digérées sur le Canton, à 89% au minimum. La production de boues à l'horizon 2035 est estimée à 26'000 tMS/an, et le potentiel de production de biogaz à 10.4 Mio Nm³/an (tableau ci-dessous). Parmi les STEP maintenues, seules une dizaine ont une taille suffisante pour envisager l'installation d'un système de digestion. Les autres STEP, qui ne représentent qu'une faible quantité du potentiel de production de biogaz à l'échelle du Canton, pourront acheminer leurs boues vers ces installations ou celles des pôles micropolluants.

| | <i>Estimation de la production de boues d'épuration [tMS/an × 10³]</i> | <i>Estimation du potentiel de production de biogaz [Nm³/an × 10⁶]</i> |
|----------------------|---|---|
| Pôles micropolluants | 23 | 9.2 |
| STEP maintenues | 3 | 1.2 |
| Total | 26 | 10.4 |

Il est également possible d'optimiser le processus de digestion, par exemple par un pré-traitement (désintégration) des boues, un post-traitement, ou l'ajout de co-substrats. Les buts recherchés sont la minimisation des volumes de boues en post-digestion et l'optimisation de génération de biogaz.

Incinération des boues d'épuration

L'incinération des boues d'épuration représente un potentiel de récupération de chaleur important, estimé à 21 GWh/an pour les boues issues des STEP vaudoises à l'horizon 2035 en considérant une incinération des boues déshydratées. En supposant que la planification cantonale des déchets reste stable, avec 60% des boues vaudoises incinérées à la STEP de Lausanne en 2035, le potentiel de récupération de chaleur sur l'incinération à la STEP de Lausanne est estimé à 13 GWh/an. Cette valeur est inférieure à la chaleur actuellement récupérée, car la mise en place d'une filière de digestion conduira à une quantité de boues moindre. Néanmoins, le potentiel calorifique du biogaz produit donne un bilan énergétique positif.

Le séchage des boues afin d'obtenir une siccité de 90% permet d'augmenter leur pouvoir calorifique. Ce processus requérant une importante consommation thermique, il est indiqué lorsque des sources de chaleur excédentaires sont présentes, comme les rejets de chaleur d'une cimenterie, ou qu'un séchage solaire est possible. Selon le procédé utilisé, le séchage demande une certaine maîtrise technique, notamment pour la gestion des odeurs. Le marché des boues sèches peut ouvrir des possibilités commerciales, telles que la vente des pellets de boues sèches aux industries du ciment. En revanche, l'exigence à venir concernant la récupération du phosphore dans les eaux usées tend à favoriser l'incinération des boues dans des fours dédiés plutôt qu'une co-incinération en cimenterie. Dans le cas où une STEP vaudoise envisage d'implémenter le séchage des boues, une coordination avec la planification cantonale de la gestion des déchets est nécessaire.

Utilisation du biogaz issu des boues d'épuration

Le biogaz issu de la digestion des boues d'épuration peut être utilisé sur le site de la STEP dans un système de cogénération, comme cela est le cas pour la plupart des STEP vaudoises possédant une installation de digestion, ou subir une étape d'épuration afin d'être injecté dans le réseau de gaz. Selon les estimations faites dans ce rapport, l'utilisation du biogaz dans un système de cogénération conduit à une production électrique correspondant à la moitié de la consommation électrique de la STEP et une production de chaleur qui correspond à deux fois les besoins thermiques des digesteurs. La cogénération permet donc de couvrir une part importante des besoins en énergie d'une STEP. Dans le cas où le biogaz est épuré et injecté dans le réseau de gaz naturel, le potentiel thermique total est estimé à 66 GWh/an (PCI). Afin d'obtenir un rendement énergétique optimal, le biogaz injecté dans le réseau devrait ensuite être utilisé dans des systèmes de cogénération. Les deux possibilités d'utilisation du biogaz, soit la cogénération sur le site de la STEP ou l'injection dans le réseau, sont à évaluer au cas par cas, en fonction notamment des critères économiques, des possibilités de valorisation de la chaleur en tenant compte des autres ressources à proximité et de la présence d'un réseau de gaz. Dans le contexte actuel où la sortie du nucléaire ainsi que la société à 2000 watts en Suisse pourraient être une réalité dans un futur proche, la place du biogaz pourrait devenir très importante. Les enjeux économiques dans ce contexte pourraient rendre possible des investissements qui à l'heure actuelle sont difficiles à obtenir.

| | <i>Potentiel électrique issu de la cogénération [GWh/an]</i> | <i>Potentiel thermique issu de la cogénération [GWh/an]</i> | <i>Potentiel thermique après épuration [GWh/an]</i> |
|----------------------|--|---|---|
| Pôles micropolluants | 19 | 32 | 59 |
| STEP maintenues | 2 | 4 | 7 |
| Total | 21 | 36 | 66 |

Consommation électrique totale

La consommation électrique totale comprend les consommations électriques liées aux étapes de traitement de l'eau, de digestion et de déshydratation, ainsi que la consommation électriques liées aux infrastructures. Cette dernière est estimée à 7% de la consommation liée au traitement de l'eau pour une STEP modèle ([3], chapitre 1.5), sans compter l'énergie nécessaire pour le traitement des micropolluants. Ces consommations sont estimées dans le tableau ci-dessous pour l'ensemble des STEP vaudoises à l'horizon 2035.

| <i>Postes de consommation électrique</i> | <i>Consommation électrique [GWh/an]</i> |
|--|---|
| Traitement de l'eau | 41.9 |
| Digestion | 1.1 |
| Déshydratation | 0.5 |
| Infrastructures | 2.4 |
| Total | 45.9 |

La consommation électrique totale des STEP vaudoises est estimée à environ 46 GWh à l'horizon 2035, selon les hypothèses prises dans ce rapport. A noter que la consommation réelle pourrait être légèrement supérieure, jusqu'à environ 15%, selon les conditions d'exploitation des STEP et les spécificités locales (pompages par exemple). La consommation électrique totale va donc augmenter par rapport à la situation en 2015, où la consommation électrique totale est de 39 GWh. Cependant les estimations tiennent compte d'une part de l'augmentation démographique à l'horizon 2035 (+25%), et d'autre part de l'implémentation du traitement des micropolluants dont la consommation est estimée à environ 10 GWh. Ainsi, comme relevé dans l'état des lieux, la régionalisation des STEP vaudoises favorise une consommation rationnelle de l'énergie, avec de grandes STEP qui vont être reconstruites ou réaménagées, disposant de systèmes énergétiquement plus performants, pour un traitement de l'eau amélioré.

Il est intéressant de constater que le potentiel énergétique de la cogénération, alimentée par le biogaz issu des boues d'épuration, peut couvrir près de la moitié de cette consommation. Le potentiel du solaire photovoltaïque peut compléter le potentiel de cogénération, néanmoins dans une moindre mesure.

Afin de pouvoir suivre l'évolution de la consommation électrique des STEP vaudoises, la collecte des données énergétiques des STEP devrait être standardisée. Il s'agira notamment de définir les postes de consommation pris en compte, selon les recommandations publiées par le VSA dans l'annexe au guide sur l'énergie dans les STEP ¹⁰.

¹⁰ VSA, Annexe «Données énergétiques dans les STEP», 2010

Valorisation de la chaleur des eaux épurées

La chaleur des eaux en sortie de STEP peut être valorisée à l'aide de pompes à chaleur, via un réseau de chauffage à distance ou un réseau basse température. Il est recommandé de valoriser en priorité la chaleur des eaux en sortie des STEP, qui présentent des débits importants, de façon à ne pas perturber le processus de traitement des eaux. La chaleur peut être utilisée de différentes manières : pour les besoins du digesteur pour les STEP qui injectent le biogaz dans le réseau ; pour le chauffage et/ou le refroidissement des bâtiments aux alentours de la STEP. Le potentiel estimé dans cette étude est très élevé, mais requiert une consommation électrique importante pour le fonctionnement des pompes à chaleur. Ces estimations présentent un maximum théorique, car cette chaleur pourra être valorisée seulement sur les STEP vaudoises ayant des preneurs de chaleur à proximité. En revanche, la régionalisation des STEP vaudoises conduit à des débits plus importants sur les pôles micropolluants, ce qui rend d'autant plus intéressant la mise en place de systèmes permettant la récupération de chaleur sur ces STEP.

| | <i>Estimation du potentiel de chaleur des eaux épurées [GWh/an]</i> | <i>Estimation de la consommation électrique [GWh/an]</i> |
|----------------------|---|--|
| Pôles micropolluants | 557 | 140 |
| STEP maintenues | 53 | 13 |
| Total | 610 | 153 |

Afin d'envisager la valorisation de la chaleur des eaux épurées, une réflexion globale de planification énergétique à l'échelle de la commune est nécessaire. Cette chaleur est considérée comme renouvelable et permet de remplacer des systèmes de production d'énergie basés sur des énergies fossiles. D'autre part, la valorisation de cette chaleur est particulièrement intéressante pour les STEP qui rejettent dans un milieu faiblement dilué, car elle permet de diminuer l'impact thermique sur le milieu récepteur et ses incidences écologiques, physiques et limnologiques.

Potentiel solaire photovoltaïque

Le potentiel photovoltaïque de l'ensemble des STEP vaudoises est estimé à 6 GWh en couvrant une surface équivalente à 5% des parcelles (hypothèse conservatrice) et à 25 GWh en couvrant une surface équivalente à 20% des parcelles (hypothèse ambitieuse). Cette génération électrique sur le site de la STEP permet de compléter la production électrique issue de la cogénération, afin de garantir une certaine part d'autonomie. Les STEP faisant partie des grands consommateurs d'énergie au sens de la loi vaudoise sur l'énergie, sont également encouragées à maximiser leur autonomie énergétique.

| | <i>Potentiel photovoltaïque conservateur [GWh/an]</i> | <i>Potentiel photovoltaïque ambitieux [GWh/an]</i> |
|----------------------|---|--|
| Pôles micropolluants | 5 | 17 |
| STEP maintenues | 1 | 5 |
| Total | 6 | 22 |

Une autre possibilité évoquée dans ce rapport est l'utilisation des STEP comme système de stockage pour l'électricité. En tant qu'important consommateur électrique, les STEP pourraient absorber dans une certaine mesure les excédents énergétique produits par les énergies renouvelables, par exemple en stockant de l'air comprimé, ou en produisant de l'ozone sur place pour le traitement des micropolluants. De tels systèmes doivent être testés au préalable dans le cadre de projets pilotes.

4 Enjeux et perspectives

4.1 Enjeux principaux

Suite aux résultats des chapitres 0 et 3 de ce rapport, les principaux enjeux énergétiques pour la régionalisation des STEP vaudoises peuvent être résumés comme suit :

1. Améliorer l'acquisition des données énergétiques dans les STEP vaudoises, afin de connaître plus précisément les principaux postes de consommation et de production d'énergie. L'acquisition de ces données consiste à mettre en place un système de mesurage, selon les recommandations de l'annexe au guide du VSA [13]. L'installation d'un tel système est fortement encouragée lors du réaménagement des STEP amenées à traiter les micropolluants.
2. Viser à la maîtrise de la consommation électrique pour le traitement de l'eau. Cette maîtrise passe premièrement par un audit énergétique des STEP vaudoises, soit une analyse détaillée des différents postes de consommation avec l'identification des actions d'optimisation énergétique. Un audit est notamment obligatoire pour les STEP vaudoises faisant partie des grands consommateurs. Il est également fortement recommandé pour les STEP qui présentent une surconsommation d'énergie importante par rapport aux valeurs de référence. Il s'agit suite à l'audit de réaliser les actions d'optimisation énergétique identifiées au préalable. Le programme « STEP efficace en énergie », mis en place au niveau fédéral, soutient cette démarche.
3. Augmenter la part de boues digérées et le biogaz produit. La part des boues digérées augmentera fortement principalement suite à la mise en place d'une installation de digestion sur la STEP de Lausanne, ainsi que sur toutes les STEP traitant les micropolluants. Une dizaine de STEP maintenues pourraient également envisager une installation de digestion. Par ailleurs, il est possible d'optimiser les systèmes de digestion, par exemple par un pré-traitement (désintégration) ou un post-traitement des boues, ou l'ajout de co-substrats afin de maximiser la génération de biogaz.
4. Valoriser le biogaz issu des boues d'épuration avec la meilleure efficacité énergétique possible. L'utilisation dans un système de cogénération permet un bon rendement énergétique, pour autant que la chaleur produite par la cogénération soit valorisée. L'épuration du biogaz pour injection dans le réseau peut être une option intéressante de par les possibilités de stockage, sous condition que le biogaz injecté soit par la suite utilisé avec un rendement optimal. Ces réflexions doivent être menées au cas par cas, par exemple par une étude de planification énergétique du site. Une évaluation de la faisabilité technique et de la rentabilité économique de ces deux variantes figure dans l'analyse des potentiels et conditions-cadres pour une augmentation de l'utilisation des ressources présentes sur le site d'une STEP, publiée par le VSA ¹¹.
5. Valoriser la chaleur contenue dans les eaux épurées. Cette chaleur, qui serait dissipée dans l'atmosphère ou l'eau autrement, présente un fort potentiel aujourd'hui peu exploité. Pour autant que des preneurs de chaleur se situent à proximité (bâtiments de la STEP, logements, industries), elle peut être valorisée par la mise en place d'un réseau de chauffage à distance, ou d'un réseau basse température, et de pompes à chaleur. Cela permet également de diminuer l'impact thermique et ses incidences sur le milieu récepteur, en particulier pour les STEP rejetant dans un milieu faiblement dilué. Une réflexion globale de planification énergétique est nécessaire afin d'envisager un tel réseau, au niveau de la STEP ou à l'échelle communale, selon l'ampleur du réseau. Des considérations pratiques pour la valorisation de la chaleur des eaux épurées figurent dans l'analyse des potentiels et conditions-

¹¹ VSA, Efficacité des ressources dans les STEP, 2015

cadres pour une augmentation de l'utilisation des ressources présentes sur le site d'une STEP publiée par le VSA.

6. Valoriser le potentiel photovoltaïque du site. La production photovoltaïque possible sur le site des STEP, même si elle ne présente qu'une faible part de leur consommation électrique, contribue à une plus grande autonomie. Il s'agit d'une mesure rapidement rentable, qui peut être imposée pour les grands consommateurs.
7. Favoriser les échanges d'expériences et renforcer, par la formation continue notamment, les compétences en relation avec les enjeux énergétiques dans les STEP à la fois des exploitants et des autres professionnels de la branche. Pour les exploitants de STEP, des journées techniques sont dispensées par l'association VSA et des cours de formation sont donnés par le Groupe romand pour la formation des exploitants de STEP (FES), dans lesquels l'énergie est abordée et coordonnée avec la formation du VSA.

La planification cantonale de l'épuration est une opportunité pour intégrer ces éléments, en priorité dans les projets de pôles micropolluants.

4.2 Perspectives

La planification cantonale de l'épuration va probablement évoluer, en particulier au niveau des STEP maintenues ou à statut non défini. Toutefois, les conclusions de ce rapport ont montré que les enjeux énergétiques sont concentrés sur les futurs pôles micropolluants, qui sont définis par la planification cantonale. Les conclusions de ce rapport ne devraient donc pas être remises en question suite à l'évolution de planification énergétique cantonale.

L'épuration des eaux va probablement considérablement évoluer au cours des prochaines décennies, avec le développement de technologies plus efficaces énergétiquement et une valorisation plus poussée, à la fois au niveau de l'énergie et d'autres sous-produits, dans une perspective d'économie circulaire. Le rôle des exploitants de STEP va sans doute se complexifier, requérant des compétences à la fois pour le traitement de l'eau et pour la gestion de la production d'énergie ainsi que des sous-produits. Le développement des technologies en Suisse présente un fort dynamisme, notamment au niveau du traitement des micropolluants. Néanmoins, ces nouvelles technologies nécessitent encore de faire leur preuve dans le cadre de projets pilotes, qui doivent être encouragés.