

Etat des lieux et perspectives énergétiques des STEP vaudoises

Rapport complet

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



Mars 2018

Remerciements

Le présent document est rédigé par la Direction générale de l'environnement sur la base du rapport réalisé par le bureau BlueWatt SA (actuellement PSE). Un groupe consultatif a été mis en place dans le cadre de l'élaboration des mesures devant être mise en place afin d'améliorer la performance énergétique des STEP vaudoises.

Le groupe consultatif était composé des personnes ci-dessous, que la Direction de l'énergie remercie vivement pour leurs apports et disponibilités: M. Ackermann (VSA et Infracatt), M. Thonney (SIGE), M. Pürro (STEP d'Yverdon-les-Bains), M. Reverchon (ERM), M. Mauer (Epora SA), M. Raemy (Holdigaz).

Table des matières

| | | |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Introduction | 6 |
| 1.1 | Contexte | 6 |
| 1.2 | Rappel du cadre réglementaire et des programmes d'accompagnement..... | 6 |
| 1.3 | Hypothèses de base et sources des données | 7 |
| 1.4 | Méthodologie | 7 |
| 2 | Description de la situation actuelle et de l'évolution prévue | 10 |
| 2.1 | Description des STEP vaudoises et de la planification cantonale de l'épuration | 10 |
| 2.2 | Etat des lieux des futurs pôles micropolluants | 11 |
| 2.3 | Etat des lieux des STEP maintenues..... | 12 |
| 2.4 | Etat des lieux des STEP à raccorder | 15 |
| 2.5 | Résumé de la situation actuelle | 16 |
| 3 | Situation après régionalisation | 19 |
| 3.1 | Description de la situation après régionalisation..... | 19 |
| 3.2 | Méthodologie | 19 |
| 3.3 | Situation après régionalisation pour les pôles micropolluants..... | 26 |
| 3.4 | Situation après régionalisation pour les STEP maintenues | 38 |
| 3.5 | Résumé de la situation après la régionalisation..... | 43 |
| 4 | Enjeux et perspectives | 48 |
| 4.1 | Enjeux principaux | 48 |
| 4.2 | Perspectives | 49 |
| | Bibliographie | 50 |
| | Annexes | 51 |
| | Annexe 1 | 51 |
| | Annexe 2 | 52 |
| | Annexe 3 | 54 |
| | Annexe 4 | 55 |
| | Annexe 5 | 56 |
| | Annexe 6 | 58 |
| | Annexe 7 | 59 |
| | Annexe 8 | 60 |
| | Annexe 9 | 62 |
| | Annexe 10..... | 63 |

Glossaire *(selon le glossaire du VSA)*

Boues activées (BA): Boues qui se développent généralement sous forme de flocons ou de "flocs" au cours de l'aération d'eau grâce à la prolifération de micro-organismes, de déchets organiques et d'éléments minéraux.

Boues: mélange d'eau et de matières en suspension qui se développent sous forme de flocons ou "flocs" lors du traitement biologiques (boues biologiques).

Capacité de traitement: charge théorique maximale pour laquelle la station a été conçue. Généralement exprimée en équivalents-habitants.

Charge hydraulique: Volume journalier moyen (m^3/j) arrivant dans une installation d'épuration

Coefficient de performance (COP): représente la performance énergétique de la pompe à chaleur. Il correspond au rapport entre l'énergie utile (chaleur restituée pour le chauffage) et l'énergie consommée pour faire fonctionner la pompe à chaleur.

Demande chimique en oxygène (DCO): quantité d'oxygène qui peut être utilisée pour l'oxydation chimique des matières polluantes. Le réactif oxydant est le bichromate de potassium, réaction à chaud en milieu acide.

Demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO₅): mesure de l'oxygène consommé par les micro-organismes pour transformer (oxyder) la matière polluante biodégradable de l'eau en 5 jours.

Déshydratation des boues: ensemble des techniques destinées à extraire le maximum d'eau des boues.

Digestion : Décomposition et minéralisation des substances organiques soit en milieu anaérobie (digestion), soit en milieu aérobie (stabilisation).

Disque biologique (DB): Procédé d'épuration par des disques tournants partiellement immergés dans l'eau à traiter. La masse biologique qui se développe sur les disques est ainsi périodiquement en contact avec l'eau pour l'absorption des éléments polluants et périodiquement dans l'air pour l'aération.

Eau claire parasite: Eau claire qui s'introduit dans un réseau d'assainissement par suite de rejets d'eau industrielle propre, de fuites de réseau potable, de captations de source ou d'infiltrations à travers les défauts d'étanchéité du système

Épaississement des boues: c'est le premier stade de réduction du volume des boues à traiter. Cet épaississement peut être statique (tassement naturel au fond d'un épaississeur) ou dynamique (table d'égouttage, tamis rotatif, flottateur, voire centrifugeuse).

Équivalent-habitant : Somme des habitants et équivalent habitants correspondants de l'industrie et de l'artisanat raccordée à une station d'épuration. Unité conventionnelle de mesure de la pollution moyenne (ou EH) rejetée par habitant et par jour (ex. 60 g DBO₅ par jour).

Étiage: niveau minimal des eaux d'un cours d'eau, débit le plus faible.

Gaz de digestion: Gaz produits au cours de la digestion anaérobie sous forme principalement de méthane et gaz carbonique.

Couplage chaleur-force (CCF): Générateur d'électricité alimenté par la consommation d'un produit (biogaz par exemple) permettant de produire de l'électricité et de récupérer de la chaleur.

Incinération des boues: L'incinération des boues conduit à l'élimination totale de l'eau interstitielle et à la combustion des matières organiques. C'est le procédé permettant d'obtenir le minimum de résidus finaux : les cendres, constituées par les seules matières minérales de la boue.

Lagunage (LAGN): L'épuration par lagunage naturel repose sur la présence de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues.

Lit bactérien (LB): Procédé d'épuration biologique constitué de matériaux inertes minéraux ou plastiques arrosés périodiquement avec l'eau polluée. Les micro-organismes prolifèrent dans le film gélatineux qui se développe sur les matériaux.

Lit fluidisé (LF): Bioréacteur qui permet au moyen d'un flux de gaz ascendant, de porter un produit à l'état fluide. Cet effet est renforcé par le secouage du lit fluidisé.

Milieu récepteur: système aquatique de surface ou souterrain recevant les rejets et susceptible de fournir une certaine capacité de dilution aux polluants.

Nitrification: oxydation de l'ammonium en nitrates. Cette réaction est réalisée en deux étapes successives: la nitrification, qui est la transformation de l'ammonium en nitrites, puis la nitrification, qui est la transformation des nitrites en nitrates.

Physico-chimique (PC): Traitement chimique d'addition d'un réactif chimique entrant en réaction avec le polluant pour former des sels insolubles, qui se séparent postérieurement par décantation ou par filtration. Réaction particulièrement utilisée pour le traitement des métaux lourds contenus dans les eaux résiduaires. Dans le traitement des eaux résiduaires, la précipitation des solides dissous en suspension est obtenue par addition de produits chimiques permettant d'en altérer l'état physique, afin de les éliminer par sédimentation.

Siccité : pourcentage massique de matière sèche des boues d'épuration, le reste étant constitué d'eau.

Séchage des boues: terme généralement réservé au séchage thermique, consiste à évacuer par évaporation l'eau présente dans les boues. Le séchage peut être partiel (teneur en eau résiduelle de 30 à 70%) ou quasi-total (teneur en eau de 5 à 10%).

Traitement biologique: Ensemble des procédés qui permettent la destruction ou l'élimination d'une partie de la pollution essentiellement dissoute et colloïdale grâce à l'intervention des cultures de micro-organismes.

Traitement primaire: dispositif dans le traitement des eaux qui permet de stopper les sables et les éléments lourds (dessablage), les huiles et les graisses (déshuilage), les éléments volumineux (dégrillage).

Nomenclature

Abréviations :

| | |
|------|-----------------------------------------------------------------|
| BAAP | Boues Activées Aération Prolongée |
| BAMC | Boues Activées Moyenne Charge |
| EH | Equivalent-Habitant |
| CAP | Charbon actif en poudre |
| PAC | Pompe à Chaleur |
| PV | Panneaux photovoltaïques |
| SBR | Réacteur biologique séquentiel (sequencing batch reactor) |
| VSA | Association suisse des professionnels de la protection des eaux |
| FES | Groupe romand pour la formation des exploitants de STEP |

Notations (unités):

| | |
|-----------------|-----------------------------------|
| Q | Chaleur |
| E | Electricité |
| tMS | tonnes de matière sèche |
| Nm ³ | mètre cube normé (à 1 atm et 0°C) |
| Mio | Millions |

1 Introduction

1.1 Contexte

L'énergie est une thématique grandissante dans le domaine du traitement de l'eau, de par l'électricité nécessaire pour atteindre des performances d'épuration toujours plus élevées et de par leur potentiel de production d'énergie. 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. Un fort potentiel réside également dans la 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 2016, ces STEP régionales traiteront 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.

Afin de saisir cette opportunité dans la conception de ces projets de réaménagement, le Canton a décidé d'élaborer ce présent 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 important. 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.

Ce rapport est constitué de trois parties. Le chapitre 2 fait l'état des lieux de la situation actuelle des STEP vaudoises en matière de consommation et de production d'énergie. Le chapitre 3 donne une projection de la situation en 2035, suite à la régionalisation. Finalement, le chapitre 4 résume les enjeux identifiés dans ce rapport, pour lesquels il serait nécessaire de définir des actions cantonales et des recommandations à destination des exploitants de STEP.

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 »¹, 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. Leurs dispositions réglementaires prévoient notamment les

¹ <http://www.infrawatt.ch/fr/node/668>

certificats de réduction nationale des émissions de gaz à effet de serre et 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.

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 audits². Le Canton de Vaud a également mis en place un programme d'accompagnement pour les moyens consommateurs³, 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 site⁴. Par ailleurs, des subventions cantonales peuvent être obtenues pour des études de faisabilité ou des projets pilotes.

1.3 Hypothèses de base et sources des données

Les analyses menées dans ce rapport se basent sur la planification cantonale de l'épuration 2016 [1]. Cette planification fait la distinction entre les STEP « à raccorder », les STEP « maintenues sans modifications ou à statut non défini » et celles qui vont devenir les « pôles de traitement des micropolluants ». Cette distinction a été retenue pour ce rapport, dans l'optique de pouvoir comparer la situation actuelle avec la projection de la situation après régionalisation. Pour ce rapport, il est supposé que toutes les STEP « maintenues ou à statut non défini » sont maintenues. La terminologie suivante est adoptée pour ces trois catégories dans la suite du rapport :

- STEP à raccorder
- STEP maintenues
- Pôles micropolluants

Il est à noter que la planification cantonale présente un caractère provisoire, la faisabilité et l'opportunité de certains projets devant encore être confirmées. Notamment, d'éventuels changements sont à prévoir concernant les raccordements prévus et les systèmes de traitement pour les projets des pôles micropolluants.

La majorité des données utilisées pour les calculs réalisés dans ce rapport provient des bilans 2015 de l'épuration vaudoise [2] et de la planification cantonale de l'épuration 2016 [1], ainsi que diverses données détaillées détenues par la Direction générale de l'environnement.

Certains éléments issus de la littérature du domaine ont également été utilisés et sont cités le cas échéant dans le présent rapport. En particulier, le guide de l'optimisation énergétique des stations d'épuration des eaux usées publié par le VSA et Suisse énergie [3], est cité à de nombreuses reprises.

1.4 Méthodologie

Dans le but d'analyser la situation énergétique de chaque STEP, il est tout d'abord nécessaire de définir une méthodologie générale. Pour rappel, seuls les sites des STEP vaudoises sont pris en considération. Les réseaux

² <https://www.vd.ch/themes/environnement/energie/subventions/conditions-doctroi-grands-consommateurs/>

³ <https://www.vd.ch/themes/environnement/energie/actions-specifiques/programme-des-audits-energetiques/moyens-consommateurs/>

⁴ <https://www.vd.ch/themes/environnement/energie/subventions/appele-a-projets-visant-a-stimuler-lefficacite-energetique-au-sein-des-entreprises-vaudoises/>

d'eaux usées, et l'énergie qui y est associée à des fins de pompage et de relevage principalement, sont en dehors du périmètre d'étude de ce rapport. Des recommandations concernant l'optimisation énergétique des réseaux d'eaux usées figurent dans le guide du VSA ([3], chapitre 2).

Les STEP sont des sites qui peuvent être à la fois consommateur et producteur d'énergie, que ce soit sous forme d'électricité ou de chaleur. La Figure 1 représente sous forme schématique les principaux flux d'énergie fréquemment considérés pour une STEP.

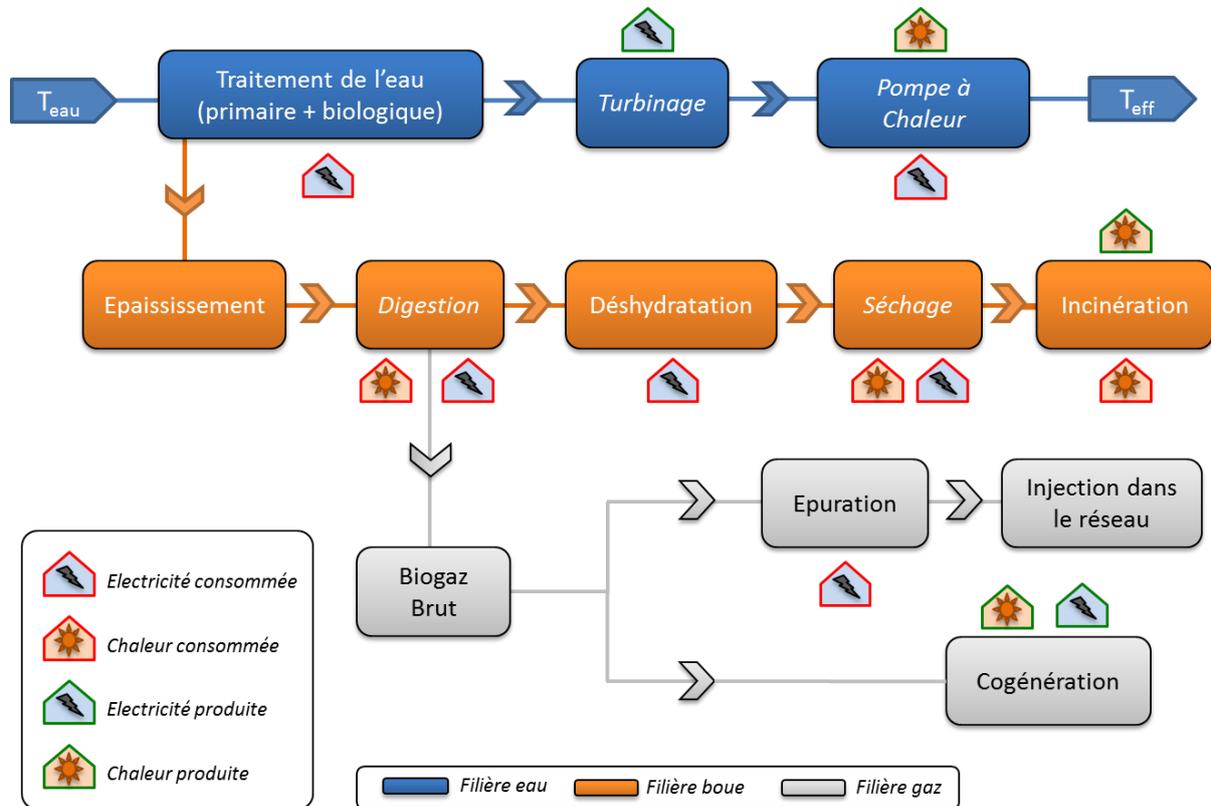


Figure 1. Schéma des principaux postes de consommation et de production d'énergie dans les STEP

Au niveau de la filière de traitement de l'eau, l'on trouve la consommation d'énergie la plus importante de la STEP sous forme électrique (notée E_{eau}). Cette consommation provient principalement des soufflantes qui distribuent l'air nécessaire au traitement biologique, ainsi que des pompes de relevage et recirculation. Des équipements de valorisation énergétique complémentaires tels que des pompes à chaleur ou des turbines peuvent être installés en sortie de la filière eau. Les pompes à chaleur produisent de l'énergie thermique (Q_{pac}) et consomment de l'électricité (E_{pac}). Les turbines produisent de l'électricité (E_{tur}) en valorisant les différences de hauteur possibles.

La filière de traitement des boues demande de l'énergie thermique pour le chauffage des digesteurs (Q_{dig}) et pour l'éventuel séchage des boues déshydratées ($Q_{séch}$), ainsi que de l'énergie électrique pour les équipements de déshydratation ($E_{dés}$). Si l'incinération des boues se fait sur site, l'énergie thermique issue de l'incinérateur peut aussi être comptabilisée comme source de chaleur (Q_{inc}). L'incinération nécessite en général des besoins énergétiques additionnels sous la forme de combustible d'appoint. Le biogaz issu de la digestion peut être soit épuré et injecté dans le réseau de gaz naturel, soit valorisé dans une installation de cogénération, également appelée couplage chaleur force (CCF). Il en résulte en une production de chaleur (Q_{cog}) et une production d'électricité (E_{cog}), avec une certaine efficacité de conversion.

Pour des raisons de simplification, le schéma ne prend pas en compte les infrastructures liées à la STEP, comme les locaux d'exploitations, le réseau d'eau interne et les installations de ventilation qui peuvent être nécessaires. La consommation électrique associée à ces infrastructures représente environ 10% de la

consommation électrique de la STEP (voir la Figure 2). Un bilan global pour une STEP avec installation de cogénération peut donc s'écrire de la façon suivante, en dissociant les composantes « électricité » et « chaleur » :

$$Q_{net} = Q_{cog} + Q_{pac} + Q_{inc} - Q_{dig} - Q_{séch}$$

$$E_{net} = E_{cog} + E_{tur} - E_{eau} - E_{pac} - E_{dés}$$

La Figure 2 montre la répartition des principaux postes de consommation électrique pour une STEP modèle de 100'000 équivalents habitants (EH). Comme relevé précédemment, l'épuration biologique (E_{eau}) représente de loin la plus grande part de la consommation électrique sur le site d'une STEP, avec plus de 60% de la consommation totale. Viennent ensuite la filtration par floculation, le traitement des boues et les infrastructures. La part dédiée à chaque poste de consommation peut varier d'une STEP à une autre selon les types de traitement mis en place et selon les conditions locales.

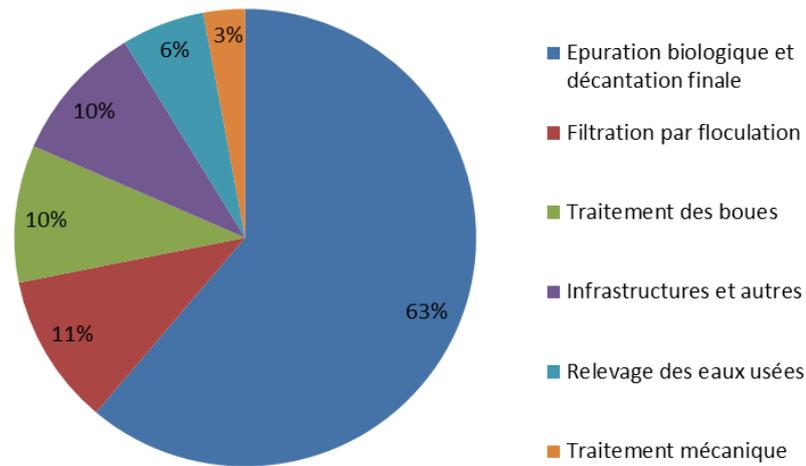


Figure 2. Principales unités consommatrices d'électricité pour une station modèle de 100'000 EH. Source : guide VSA ([3], chapitre 1)

Pour les STEP vaudoises, la répartition spécifique dans les différents équipements n'est en général pas connue ou rapportée par les exploitants. L'analyse détaillée de la consommation d'électricité sur chaque site est une première étape nécessaire pour l'optimisation énergétique.

Concernant la consommation de chaleur pour la STEP modèle de 100'000 EH, elle est largement dominée par la digestion des boues (Q_{dig}), qui représente environ 90% de la consommation de chaleur de la STEP, sans considérer un éventuel séchage des boues. L'expérience et diverses études scientifiques montrent que les STEP qui ont une installation de digestion des boues et une installation de cogénération pour la valorisation du biogaz produit sont en général proches de l'autosuffisance en énergie thermique [4]. Autrement dit, la chaleur produite par la cogénération est suffisante pour chauffer le digesteur, et éventuellement pour sécher jusqu'à un certain niveau, autour de 50-60% de siccité, les boues déshydratées.

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 importantes⁵
- 70 STEP qui vont être raccordées aux pôles micropolluants

Leur répartition en terme de population totale équivalente est illustrée à la Figure 3.

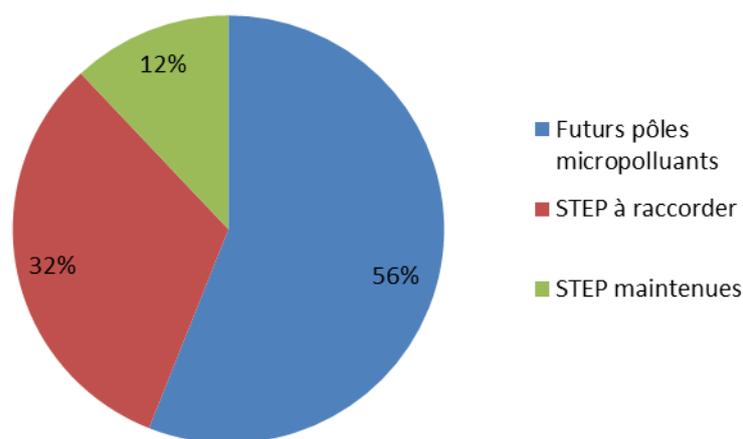


Figure 3. Répartition des STEP vaudoises en terme de population totale équivalente selon leur évolution prévue par la planification cantonale

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. La liste des projets de pôles micropolluants figure à l'Annexe 1. 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, comme le montre la Figure 4. 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 à l'heure actuelle qui dispose d'une installation d'incinération de boues. Les lieux d'incinération des boues d'épuration des STEP vaudoises, qui est obligatoire depuis 2008 selon l'ordonnance fédérale sur la limitation et l'élimination des déchets⁶, est définie par la planification cantonale de la gestion des déchets [5]. Cinq lieux d'incinération pour les boues d'épuration des STEP vaudoises y sont définis, dont deux sont présents sur territoire vaudois : la STEP de Lausanne et la cimenterie Holcim. La STEP de Lausanne incinère 60% des boues d'épuration vaudoises (2016) dans un four dédié, alors que seules boues d'épuration de la STEP de Gland sont incinérées à Holcim, après un séchage préalable. Le solde est incinéré sur les cantons du Valais, de Neuchâtel (co-incinération avec des déchets ménagers) et de Fribourg (four dédié aux boues d'épuration).

⁵ Pour rappel, il est supposé dans ce rapport que les STEP « maintenues ou à statut non défini » sont maintenues

⁶ OLED, art. 10

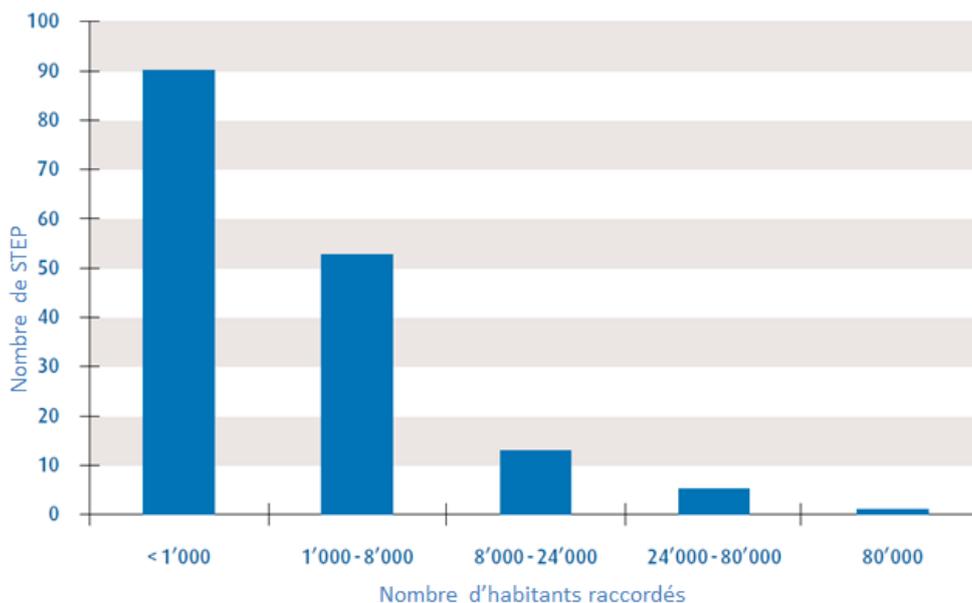


Figure 4. Répartition actuelle des STEP vaudoises en fonction des habitants raccordés. Source : [1]

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

- Electricité : consommation totale d'électricité (E_{eau} et $E_{dés}$), électricité produite par la cogénération (E_{cog}) et électricité produite par turbinage (E_{tur}).
- Production de boues : quantité produite en tMS et sites vers lesquels elles sont acheminées pour la digestion, si tel est le cas.

Pour les STEP disposant de filières de digestions des boues, l'analyse inclut la production électrique (E_{cog}) dans les cas pertinents. A noter que la production d'électricité par turbinage (E_{tur}) est implémentée sur seulement deux STEP vaudoises. Le potentiel lié au turbinage n'est pas analysé dans la suite de ce rapport. Néanmoins le potentiel de production d'électricité sur les eaux usées a été évalué dans le rapport sur le cadastre hydraulique du Canton de Vaud [6].

Par conséquent, pour les 136 STEP qui ne disposent pas de filière de digestion des boues sur leur site, l'analyse énergétique de la situation actuelle se réduit à la comparaison de la consommation totale d'électricité par rapport aux valeurs de référence. L'analyse énergétique des STEP à raccorder, des STEP maintenues et des futurs pôles micropolluants est présentée dans les sections suivantes.

2.2 Etat des lieux des futurs pôles micropolluants

2.2.1 Consommation électrique

La consommation d'énergie électrique des 13 STEP qui vont devenir des pôles régionaux pour le traitement des micropolluants s'élève à 20.4 GWh en 2015, soit 52% du total vaudois. Ces STEP représentent donc les enjeux majeurs pour la consommation électrique des STEP vaudoises. Elles seront amenées à jouer un rôle encore plus important suite à la régionalisation.

En termes de consommation spécifique, elles consomment en moyenne 38 kWh/EH/an, ce qui est plus faible que consommation spécifique moyenne pour l'ensemble des STEP vaudoises de 41 kWh/EH/an⁷. La consommation spécifique indiquée par le guide publié par le VSA ([3], chapitre 1.5) pour une STEP modèle

⁷ Selon [2], les consommations spécifiques sont calculées avec la population totale équivalente

dimensionnée pour 130'000 EH biologiques et avec une charge annuelle moyenne de 100'000 EH (DBO₅), avec un traitement par boues activées et nitrification, est de 28 kWh/EH/an. Cette valeur comprend le traitement des eaux usées, le traitement des boues d'épuration et les infrastructures. La consommation spécifique moyenne des futurs pôles micropolluants est donc sensiblement plus élevée que la valeur de référence du VSA. Il faut toutefois considérer que les valeurs données pour la STEP modèle, correspondant à l'état de la technique en 2010, peuvent être atteintes pour des STEP récentes uniquement.

La consommation des pôles micropolluants n'est pas analysée en détail, puisque des modifications importantes sont à prévoir sur ces STEP en vue de l'implémentation du traitement des micropolluants. La consommation d'énergie estimée dans la situation après régionalisation sera analysée au cas par cas dans le chapitre 3 de ce rapport.

2.2.2 Valorisations énergétiques

En 2015, 9 STEP parmi les 13 STEP qui deviendront des pôles micropolluants disposent d'installations de digestion et de cogénération. Les acheminements des boues d'épuration vers les installations de digestion du canton figurent à l'. La génération d'électricité due à la cogénération a représenté en 2015 64% de l'électricité produite par les STEP vaudoises, soit 4.4 GWh. La STEP de Penthaz dispose d'installations de digestion et d'injection de biogaz dans le réseau. Sa production de biogaz s'est élevée à 86'000 Nm³ en 2015.

Les STEP qui ne valorisent pas les boues dans une installation de digestion sont les STEP d'Avenches, de Lausanne et de La Sarraz. Ces boues représentent un potentiel additionnel d'environ 3.2 Mio Nm³ de biogaz (équivalent à 20 GWh, voir la section 3.2.2). Si l'on y ajoute les boues qui sont amenées sur ces sites pour la déshydratation, ce potentiel augmente encore.

La STEP de Lausanne valorise la chaleur issue de l'incinération des boues d'épuration. Ainsi, 18 GWh ont été injectés dans le réseau de chauffage à distance de la Ville de Lausanne.

Selon nos informations, seule les STEP de Vevey et d'Yverdon-les-Bains valorisent actuellement la chaleur des eaux en sortie de STEP par l'utilisation de pompes à chaleur (268 MWh de chaleur en 2016 pour la STEP de Vevey, avec un COP de 4.3). La construction d'un réseau basse température alimenté par la chaleur des eaux en sortie de la STEP de Morges est actuellement en cours de réalisation.

La production d'électricité par turbinage a lieu sur la STEP de Commugny, avec une production de 0.4 GWh/an.

2.3 Etat des lieux des STEP maintenues

2.3.1 Consommation électrique

La consommation d'énergie électrique des 80 STEP maintenues ou à statut non défini s'élève à 5.9 GWh en 2015, soit 15% de la consommation électrique totale des STEP Vaudoises.

Au niveau du traitement biologique, la plupart des STEP maintenues utilisent des systèmes de boues activées (BAAP et BAMC), comme illustré sur la Figure 5. Celles qui utilisent d'autres systèmes (lit bactérien, lit fluidisé, précipitation chimique, lagunage, disque biologique) représentent une minorité, leur consommation électrique totale correspondant à 1.6% de la consommation des STEP vaudoises.

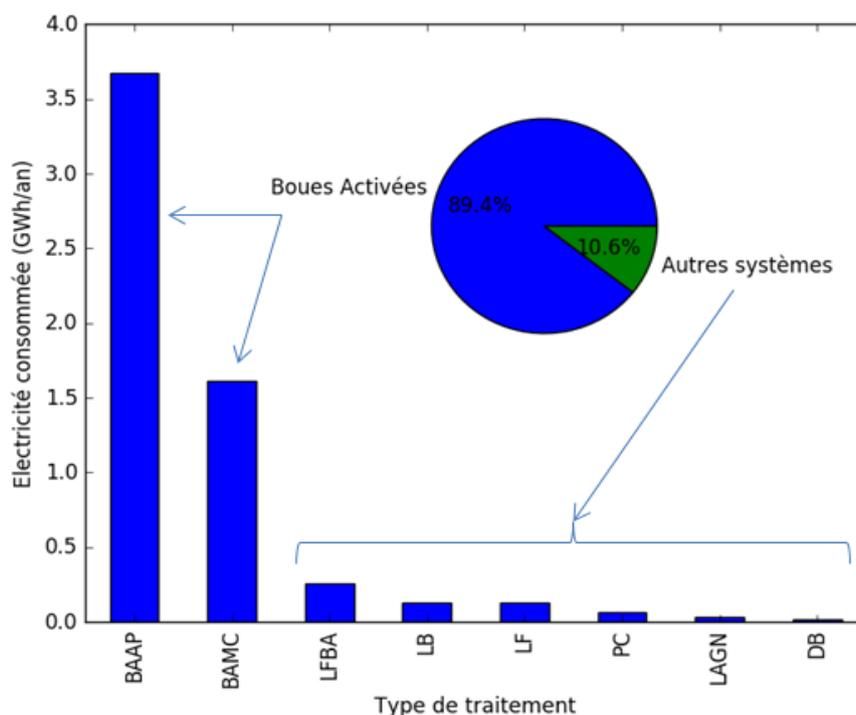


Figure 5. Electricité consommée par les STEP maintenues selon le type de traitement biologique

En termes de consommation électrique spécifique, les STEP maintenues ont une consommation moyenne de 47 kWh/EH/an. Les consommations spécifiques moyennes selon les différents systèmes de traitement figurent dans le Tableau 1, ainsi que les valeurs de référence données par le guide du VSA ([3], chapitre 4).

| Système de traitement | | Nombre | | Consommation spécifique [kWh/EH/an] | |
|-----------------------|-----------------|--------|-----|-------------------------------------|---------------------|
| Système | Type | Absolu | [%] | Valeurs moyennes 2015 | Valeur de référence |
| BAAP | Bassin combiné | 16 | 20 | 53 | 29 |
| | Biol+déc.final | 26 | 33 | 59 | 29 |
| | MEBA (SBR) | 12 | 15 | 45 | 29 |
| | Turbofloc | 1 | 1 | 46 | 29 |
| BAMC | Bassin combiné | 3 | 4 | 44 | 29 |
| | Biol+Déc.final | 5 | 6 | 32 | 29 |
| DB | Disque biol. | 1 | 1 | 33 | 5 |
| LAGN | Etangs | 1 | 1 | 97 | |
| LB | Lit bactérien | 1 | 1 | 80 | 13 |
| | Monobloc | 4 | 5 | 42 | 13 |
| LF | Lit fluidisé | 4 | 5 | 90 | 35-51 |
| LFBA | Biol hybride | 1 | 1 | 27 | 35-51 |
| | Biol+Déc.final | 2 | 2 | 44 | 35-51 |
| | Lit fluidisé hy | 1 | 1 | 20 | 35-51 |
| PC | Physico-chimie | 2 | 3 | 222 | |

Tableau 1 Consommation spécifique moyenne des STEP maintenues en fonction du type de traitement biologique et valeurs de référence du VSA

La consommation spécifique des STEP maintenues, toutes en dessous d'une capacité biochimique de 15'000 EH, est largement supérieure à la valeur de référence de 28 kWh/Eh/an. Cette situation de surconsommation générale est typique pour les petites STEP, du fait qu'elles sont la plupart du temps surdimensionnées par rapport aux charges effectivement traitées et qu'elles n'ont pas de systèmes de contrôle très performants (voir l'Annexe 9).

Néanmoins, la Figure 6 montre que la consommation spécifique tend à diminuer avec la taille de la STEP. Pour les STEP de plus de 1'000 EH, elle est de 50 kWh/EH/an en moyenne, alors qu'elle s'élève à 64 kWh/EH/an pour celles de moins de 1'000 EH. Sur la Figure 6, une distinction est faite en fonction de l'aptitude des STEP à traiter l'ammonium (NH_4) par nitrification. Il est constaté que cette dernière n'influence pas significativement la consommation électrique. Certaines STEP, au-dessous de 1'000 EH, présentent une consommation spécifique plus de 3 fois supérieure à la valeur de référence du VSA. Ces STEP présentant une importante surconsommation d'énergie sont listées à l'Annexe 4

STEP présentant une surconsommation d'énergie importante. Une analyse énergétique est recommandée pour ces STEP, afin d'identifier les sources de cette surconsommation. A l'inverse, certaines STEP sont nettement en dessous de la référence de consommation électrique indiquée par le VSA. La faible consommation énergétique pourrait indiquer un problème au niveau des données pour ces STEP ou au niveau des performances d'épuration.

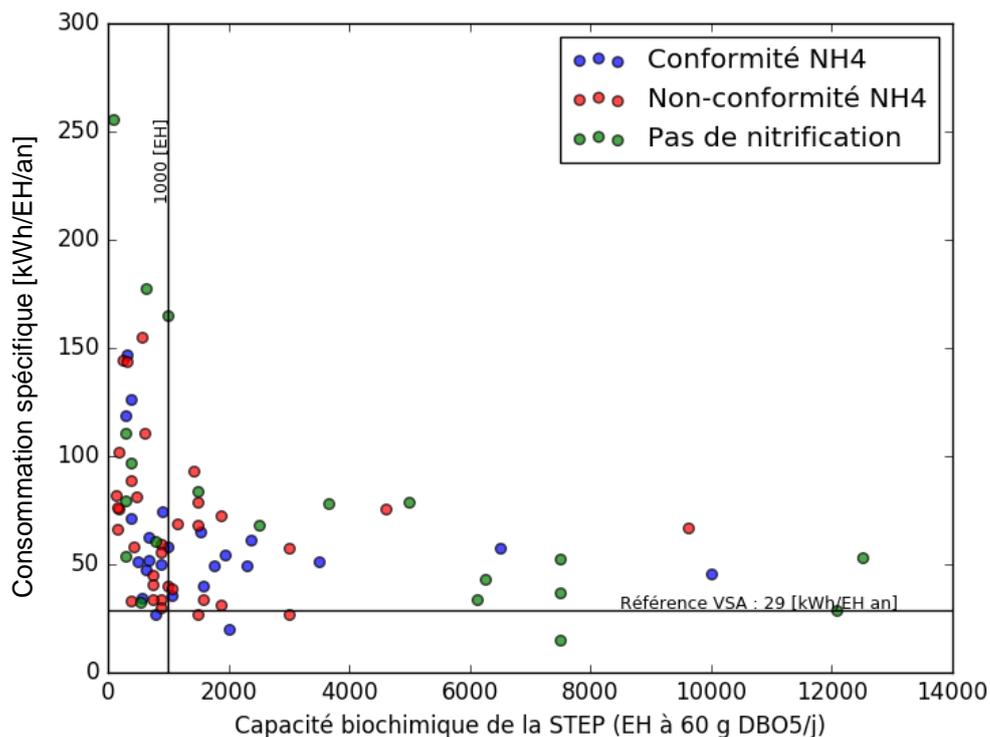


Figure 6. Energie spécifique consommée par les STEP maintenues selon leur dimensionnement avec indication de la qualité du traitement

Afin d'expliquer les différences observées en terme de consommation spécifique pour des STEP de même taille, il serait nécessaire d'avoir connaissance des consommations électriques dédiées aux différents postes de consommation (pompage, aération des bassins, traitement des boues, etc.). En particulier, le pompage peut varier d'une STEP à l'autre.

2.3.2 Valorisations énergétiques

Parmi les 80 STEP maintenues, il y a actuellement 6 STEP disposant d'installations de digestion et de cogénération (Tableau 2). Leur génération d'électricité a représenté 7% de la production électrique des STEP vaudoises.⁸

| <i>STEP</i> | <i>Population totale équivalente</i> | <i>Cogénération production él. [kWh]</i> |
|---------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| LUTRY | 10'210 | 164'578 |
| SAINTE-CROIX | 4'770 | 93'529 |
| BREMBLENS | 6'670 | 79'230 |
| CHATEAU-D'OEX | 3'480 | 75'161 |
| VALLORBE | 3'630 | 24'384 |
| BIERE | 4'245 | 21'715 |

Tableau 2. STEP maintenues avec des installations de cogénération

Le potentiel de production de biogaz à partir des boues d'épuration des STEP maintenues est estimé à 1 Mio Nm³/an ou un potentiel thermique (PCI) de 6.7 GWh/an. Actuellement, seulement 45% de la capacité totale est exploité. La liste des STEP maintenues ne valorisant pas les boues figure à l'Annexe 5.

2.4 Etat des lieux des STEP à raccorder

2.4.1 Consommation électrique

La consommation d'énergie électrique des 70 STEP qui vont être raccordées s'élève à 12.6 GWh en 2015, soit le 32% de la consommation électrique des STEP vaudoises.

En termes de consommation spécifique, elles consomment en moyenne 42 kWh/EH/an, ce qui correspond à la valeur moyenne des STEP vaudoises. Cette consommation n'est pas analysée plus en détail dans ce rapport, puisque suite à la régionalisation, ces eaux seront traitées par les pôles de traitement des micropolluants.

2.4.2 Valorisations énergétiques

Parmi les 70 qui vont être raccordées, 6 STEP disposent d'installations de digestion et de cogénération. Leur production d'électricité représente environ 30% du total produit dans les installations de cogénération des STEP du canton (valeurs 2015). La STEP de Roche dispose d'installations de digestion et d'injection dans le réseau de gaz. En 2015, 1.6 Mio Nm³ de biogaz ont ainsi été produits. A noter que les boues d'épuration des STEP de Vevey, Clarens et Forel sont acheminées sur le site de Roche pour l'étape de digestion.

Le potentiel de production de boues des STEP à raccorder sera repris par les pôles micropolluants auxquels elles vont être raccordées. Ce potentiel représente 6'096 tMS de boues pour l'année 2015.

⁸ Voir « STEP valorisation biogaz 2015.xlsx »

2.5 Résumé de la situation actuelle

2.5.1 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 VSA 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 | - |

Tableau 3. Répartition de la consommation annuelle d'énergie électrique des STEP vaudoises en 2015

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 à l'Annexe 3

Autonomie électrique des STEP avec installation de digestion. 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.

2.5.2 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 environ 21'000 tMS (Tableau 4). A noter que les quantités totales de boues diffèrent légèrement des bilans

d'épuration 2015, car les valeurs sont estimées avant l'étape de digestion⁹, 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 |

Tableau 4. Répartition de la production de boues, des boues acheminées vers une installation de digestion et du potentiel additionnel des STEP vaudoises en 2015

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 cogénération¹⁰ 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. Les productions électriques par STEP figurent à l'Annexe 3.

| | <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 |

Tableau 5. Répartition de la production d'électricité par cogénération des STEP vaudoise en 2015

Les STEP de Penthaz et Roche ont des installations de digestion avec une injection 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 [5] 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

⁹ Un facteur de 0.6 est considéré pour passer des quantités de boues digérées, par rapport aux quantités avant digestion

¹⁰ Voir les hypothèses de calcul au chapitre 3.2.2

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 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.

Les potentiels de production d'énergie actuellement non valorisés seront étudiés plus en détail dans le chapitre 3 de ce rapport, pour la situation après régionalisation.

3 Situation après régionalisation

3.1 Description de la situation après régionalisation

L'objet de ce chapitre est d'analyser le potentiel d'optimisation énergétique dans la situation après régionalisation sur l'ensemble du canton. Cette 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 eaux¹¹.

Selon la planification cantonale 2016 [1], 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 86% 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 7 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.

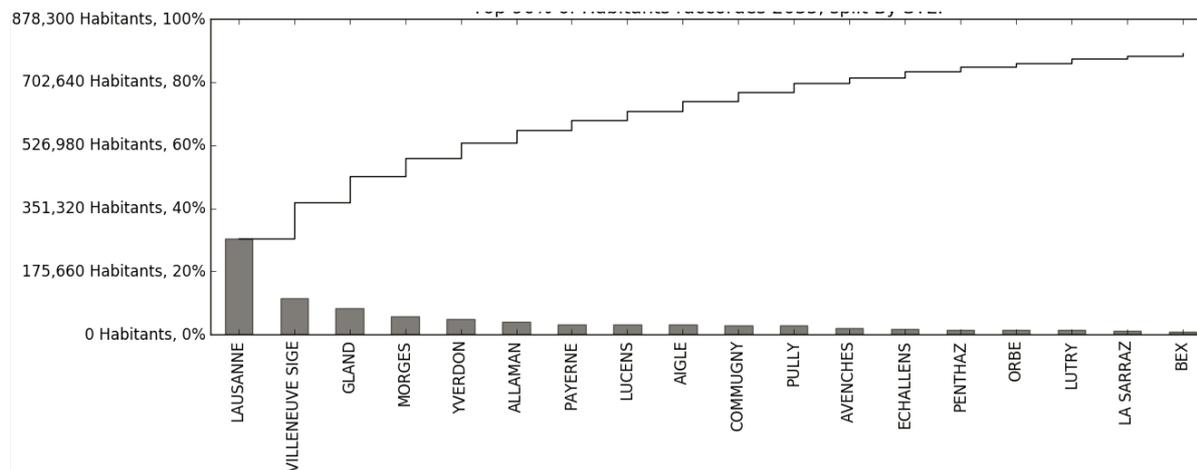


Figure 7. Les 18 STEP responsables du traitement de l'eau du 90% de la population raccordée

La plupart des projets de réaménagement ou de construction des 16 pôles micropolluants ne sont à ce jour pas complètement définis¹². De ce fait, la situation des 16 pôles est analysée ci-après selon l'état des études en 2016, rapporté à l'Annexe 1. Concernant les STEP maintenues, celles-ci sont supposées maintenues dans leur état technologique actuel jusqu'en 2035.

3.2 Méthodologie

Afin d'évaluer la consommation 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

¹¹ LEaux, 1991

¹² Voir leur état d'avancement dans les Bilans 2016 de l'épuration vaudoise

- 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.

Le turbinage des eaux usées ne peut être considéré comme générique à toutes les stations d'épuration et reste un cas particulier. Il est de ce fait exclu du bilan du potentiel général.

Les potentiels de production d'énergie sont calculés pour chaque STEP afin d'avoir une base commune de comparaison. Cela ne signifie pas forcément que la meilleure solution est de les exploiter entièrement sur place. Notamment, pour les petites STEP, il est plus judicieux de transporter les boues vers des STEP plus grandes disposant d'un système de digestion. A noter que dans ce cas, il est faux de parler d'augmentation d'autonomie énergétique de la STEP réceptrice car ces boues sont une source d'énergie externe à la STEP. Les possibilités de valorisation énergétique sur les filières eau, boues biogaz et photovoltaïque sont décrites ci-après. Les hypothèses de calcul pour chacune de ces étapes sont données à la section 3.2.2.

Possibilités de valorisation des boues en biogaz:

Les boues issues des processus d'épuration sont la majorité du temps valorisées en biogaz par une digestion anaérobie, aussi appelée méthanisation. D'autres technologies sont envisageables dans le futur, comme la stabilisation à froid avec l'apport d'oxygène ou l'oxydation par voie humide ([3], chapitre 5.5.3 et 5.5.4). La digestion peut être une digestion thermophile, mésophile ou psychrophile selon le niveau de température. Généralement, la digestion des boues d'épuration est mésophile (25 à 45 °C), avec un temps de rétention hydraulique de 25 à 35 jours en moyenne. L'étape de digestion peut être optimisée afin d'augmenter la quantité de biogaz produite par exemple par un processus préalable de désintégration des boues ([3], chapitre 5.4), une deuxième étape de digestion (post-digestion), ou en cas de capacités résiduelles dans le digesteur un apport de co-substrats. Ces étapes complémentaires ne sont pas considérées dans ce rapport, mais sont documentées dans le document « Efficacité des ressources dans les STEP » publié par le VSA [7]. La digestion peut être réalisée sur le site de la STEP ou sur le site d'une autre STEP disposant d'une installation de digestion.

L'option de déshydratation des boues directement par incinération, sans passer par l'étape de digestion, n'a pas été prise en compte dans ce rapport, puisque son bilan énergétique est nettement moins élevé. Sans digestion, l'incinération des boues fraîches produit 63% d'énergie en moins ([8] chapitre 7.3 ; [3] chapitre 5.10). La digestion présente également des avantages sur le plan technique - comme la réduction de composés odorants, économique et écologique.

La digestion anaérobie entraîne la consommation et la production suivantes :

- Consommation d'énergie thermique pour chauffer le digesteur (Q_{dig})
- Production de biogaz brut

Déshydratation des boues et possibilité de séchage:

La déshydratation mécanique des boues digérées est une étape nécessaire avant leur incinération, afin d'augmenter leur teneur en matière sèche. Dans le cas d'un séchage ultérieur des boues, la déshydratation doit être effectuée à un degré de siccité maximal, car sa consommation d'énergie spécifique est moindre que celle associée à l'étape de séchage.

Le séchage des boues est une étape requise uniquement pour certaines filières d'élimination des boues, notamment pour leur élimination en cimenterie. Pour une élimination par mono-incinération ou par co-incinération avec des déchets ménagers, comme cela est le cas pour la quasi-totalité des boues d'épuration vaudoises, cette étape n'est pas nécessaire. Les priorités suivantes sont à considérer lorsque le séchage des boues est nécessaire ([3], chapitre 5.7.4) : la première priorité est à donner aux rejets de chaleur à haute température,

comme par exemple les rejets de chaleur d'une cimenterie ou la chaleur issue de l'installation de cogénération. La deuxième priorité est la possibilité d'envisager un séchage solaire, pour autant que l'espace disponible soit suffisant. En troisième priorité viennent les rejets de chaleur à basse température, comme la chaleur contenue dans les eaux épurées. Dans ces trois cas de figure, le bilan énergétique global est favorable par rapport à une incinération standard, pour autant que l'entier de la chaleur résiduelle issue du processus d'incinération soit valorisée ([3], chapitre 5.10.3).

Possibilités de valorisation du biogaz:

Le biogaz produit peut ensuite être valorisé de plusieurs façons :

- En l'injectant dans un réseau de gaz après épuration ;
- En l'utilisant comme carburant dans une installation de cogénération ;
- En l'utilisant comme carburant dans une installation de turbine à gaz ;
- En l'utilisant comme carburant dans une pile à combustible ;
- Autres utilisations dans des systèmes de conversion plus complexes (cycles combinés, ...).

Dans le cas de la cogénération, qui est actuellement le plus fréquent pour les STEP vaudoises, l'on obtient de l'électricité (E_{cog}) et de l'énergie thermique (Q_{cog}) qui peuvent être valorisées sur place. L'électricité produite par cogénération peut également être réinjectée dans le réseau électrique.

Possibilités de valorisation des rejets de chaleur:

Les rejets de chaleur contenus dans le flux d'eau épuré peuvent être valorisés par le biais de pompes à chaleur (PAC) en sortie de STEP pour alimenter un réseau de chauffage à distance ou directement dans un réseau basse température. Néanmoins, ces possibilités dépendent de la présence de preneurs de chaleur ou de froid à proximité de la STEP. La récupération de chaleur en sortie de STEP permet, d'une part, de ne pas perturber les processus de la STEP et, d'autre part, de tirer profit du débit important qui est présent. La récupération de chaleur en amont de la STEP, sur le réseau d'eaux usées, est discutée à l'

Annexe 9. Les installations de récupération de chaleur sont intéressantes d'un point de vue énergétique car, bien qu'elles consomment une forte quantité d'électricité, la récupération d'énergie thermique est entre 3 à 5 fois plus élevée. Leur performance dépendra du coefficient de performance de la PAC, en fonction de la température souhaitée en sortie de la PAC. La récupération de chaleur permet également de diminuer l'impact thermique sur le milieu récepteur et ses incidences écologiques, physiques et limnologiques, en particulier pour les STEP rejetant dans un milieu faiblement dilué.

Possibilités de valorisation du potentiel solaire:

Sur le site d'une STEP, les bâtiments et la surface au sol peuvent permettre d'accueillir des installations de panneaux photovoltaïques. Ces installations sont particulièrement intéressantes pour les STEP, car l'électricité produite peut facilement être autoconsommée.

3.2.2 Hypothèses de calcul

Consommation électrique pour le traitement de l'eau

La consommation électrique associée au traitement de l'eau est calculée pour toutes les STEP. Pour les pôles micropolluants, les informations disponibles dans les projets d'aménagement sur les technologies prévues ont été utilisées. Concernant les STEP maintenues, il a été considéré que les installations actuelles, selon les bilans 2015 de l'épuration vaudoise, sont maintenues.

Il est supposé que les STEP réaménagées et les nouvelles STEP seront construites selon l'état de la technique. Pour ces STEP, les consommations électriques associées au pré-traitement et au traitement biologique ont donc été estimées selon les valeurs de référence du VSA ([3], chapitre 4.6.3) ci-dessous¹³ :

| | <i>Consommation électrique</i> <i>[Wh/m³ eau traitée]</i> | <i>Source</i> |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Pré-traitement | | |
| Dégrillage, sables, graisses | 6.5 | VSA 3.5.3 et 3.6.3 |
| Relevage (3m) | 13.9 | VSA 1.5.4 |
| Décantation laminaire | 1.1 | VSA 3.7.3 |
| <i>Total pré-traitement</i> | 21.5 | |
| Traitement biologique | | |
| Biofiltres | 180 | VSA 4.6.3 |
| Boues activées aération prolongée | 124 | VSA 4.5.8 |
| Lit fluidisé | 250 | VSA 4.7.1 |

Tableau 6. Consommations électriques considérées pour le pré-traitement et le traitement biologique des futurs pôles micropolluants à l'horizon 2035

Concernant le traitement des micropolluants, les valeurs de référence selon les technologies envisagées ont été reprises des documents de référence suivants :

- Le guide du VSA [3] et la plateforme VSA « Technique de traitement des micropolluants »¹⁴
- Fiche sur le coût énergétique de l'élimination des micropolluants publiée par l'EAWAG [9]
- Résumé des essais pilotes de traitement des micropolluants effectués à la STEP de Lausanne [10]

Ces valeurs sont les suivantes :

| <i>Technologie</i> | <i>Consommation électrique</i> <i>[Wh/m³ eau traitée]</i> | <i>Source</i> |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Technologie CAP | 20 | Eawag |
| Technologie CAG | 30 | www.micropoll.ch |
| Ozonation | 60 | Eawag |
| CAP + FS + UV | 90 | pilote Lausanne |
| CAP + UF | 900 | pilote Lausanne |
| Ozonation + FS | 110 | pilote Lausanne |
| Biofiltration | 6 | VSA 4.13.1.1 |
| Filtration sur sable | 6 | VSA 4.13.1.1 |
| Traitement UV | 20 | VSA 4.16.1 |
| Ozonation + biofiltration | 66 | |

Tableau 7. Consommations électriques considérées pour le traitement des micropolluants selon les technologies envisagées

A noter que le traitement des micropolluants est la partie qui ajoute le plus d'incertitudes aux calculs, puisque les expériences pratiques sont encore relativement limitées pour avoir des valeurs de référence consolidées. D'autre

¹³ Pour rappel, ces valeurs correspondent à une STEP modèle de 100'000 EH-DBO₅

¹⁴ www.micropoll.ch

part, la technologie pour la mise en place du traitement des micropolluants est encore incertaine dans la plupart de projets de réaménagement.

Débit journalier moyen

Pour les futurs pôles micropolluants, les débits sont estimés en prenant les débits moyens journaliers prévus par les projets d'aménagement (débits donnés pour l'horizon 2040 à 2050 selon les projets), adaptés à l'horizon 2035 en considérant une augmentation de la population de 1.25% par année. Les débits moyens par temps secs ont été estimés à 85% du débit moyen journalier lorsque l'information était indisponible dans les projets. Lorsqu'aucun projet n'a été réalisé, le débit est estimé en prenant les débits actuels des STEP à raccorder selon la planification cantonale 2016, majorés de 25% pour tenir compte de l'augmentation de la population à l'horizon 2035.

Pour les STEP maintenues, le débit journalier moyen est estimé en prenant les débits traités actuellement donnés dans les bilans 2015 de l'épuration vaudoise, majoré de 25%.

Production de boues

La production de boues à l'horizon 2035 est estimée en prenant les productions actuelles des STEP maintenues ou des STEP à raccorder, majorées de 25% pour tenir compte de l'augmentation de la population. Pour les STEP de Payerne et d'Avenches, qui seront amenées à traiter des eaux actuellement traitées par des STEP fribourgeoises dont la production de boues n'est pas connue, la production de boues a été estimée à partir des débits à l'horizon 2035 en considérant une part de boues de 209 gMS par m³ d'eau traitée, selon la valeur moyenne actuelle estimée pour les STEP vaudoises en considérant les tMS de boues produits avant digestion.

Digestion des boues

Pour des raisons de simplification, seules les boues produites sur le site de la STEP sont considérées pour l'étape de digestion. Les besoins thermiques du digesteur sont été estimés à 30 kWh par m³ de boues fraîches ([3], chapitre 5.5) en supposant un temps de séjour dans le digesteur de 30 jours. Les besoins électriques du digesteur sont estimés à 2.3 kWh/m³ de boues fraîches ([3], chapitre 5.5). La siccité des boues en entrée du digesteur est estimée à 5% ([3], chapitre 5.3).

Déshydratation des boues

Cette étape est réalisée après la digestion. Par conséquent, les boues digérées correspondent à 60% de la masse de boues fraîches. La consommation électrique pour l'étape de déshydratation est estimée à 1.5 kWh/m³ de boues digérées en supposant un procédé par centrifugeuse à haute pression, pour une sortie à 35% de matière sèche ([3], chapitre 5.6).

Séchage des boues

Même si le séchage des boues n'est actuellement pas prévu pour les futurs pôles micropolluants, la possibilité d'un séchage à haute température est donnée. A noter qu'un séchage à moyenne ou basse température peut être implémenté selon la situation de la STEP, avec une consommation moindre d'énergie ou en utilisant des rejets de chaleur. La consommation d'énergie estimée pour un séchage à haute température dans ce rapport est de 174 kWh/tMS électrique et de 1889 kWh/tMS thermique, correspondant à un sécheur à lit fluidisé ([3], chapitre 5.7). Le VSA indique d'une part de la chaleur résiduelle de l'étape de séchage peut être récupérée ([3], tableau 5.7-1).

Incinération des boues

Il est considéré que l'incinération des boues déshydratées à une siccité de 30% peut fournir 0.43 MWh de chaleur par tonne de boues [11].

Pour une co-incinération dans une cimenterie des boues séchées à 90% de siccité, le potentiel de récupération de chaleur considéré est de 2.9 MWh par tonne de boues [11].

Production de biogaz

La production de biogaz par tonne de matière sèche organique est estimée à 720 Nm³/tMS-organique, selon la moyenne estimée pour les STEP vaudoises en 2015 avec un taux de matière organique de 64% (échantillonnage reporté dans les Bilans 2016 de l'épuration vaudoise sur 36 STEP). Le guide du VSA donne une valeur entre 600 et 900 Nm³/tMS-organique dégradée, les valeurs hautes correspondant à un traitement sans nitrification et une décantation primaire importante ([3], chapitre 6.1.2).

L'hypothèse faite pour le taux de matière organique contenue dans les boues, et donc digérable, est de 55%. En effet, à l'horizon 2035, les pôles micropolluants auront implémenté la nitrification, ce qui conduira à un taux de matière organique plus faible que dans la situation en 2015.

Combustion du biogaz et cogénération

Le pouvoir calorifique du biogaz est donné par le pouvoir calorifique (PCI) du méthane, de 9.95 kWh/Nm³, multiplié par la part de méthane contenue dans le biogaz. En prenant l'hypothèse que le biogaz contient 65% de méthane, le pouvoir calorifique du biogaz est estimé à 6.4 kWh/Nm³ ([3], chapitre 6.1.1). L'étape d'épuration vise à éliminer les composants autres que le CH₄, soit principalement le CO₂ et l'H₂O présents dans le biogaz « brut », pour une valorisation énergétique efficace. Un second traitement, l'enrichissement¹⁵, peut être nécessaire afin de produire une qualité de gaz égale à celle du gaz naturel (96% de CH₄). Ce procédé est couramment utilisé par les stations d'épuration. Contrairement au procédé d'épuration du biogaz où tous les principaux contaminants sont enlevés, l'enrichissement vise à éliminer le CO₂ et l'azote présent dans le biogaz. Les procédés d'enrichissement requièrent une certaine quantité d'électricité, qui varie selon le procédé utilisé. Le procédé le plus fréquemment utilisé, pris comme hypothèse dans ce rapport et mis en place sur les STEP de Berne et Lucerne, est l'adsorption modulée en pression. La consommation d'électricité liée à ce procédé est estimée à 0.32 kWh/m³ de biogaz [8].

Dans le cas de la cogénération, les valeurs suivantes ont été prises : 1 Nm³ biogaz (non épuré) donne 2 kWh d'électricité et 3.5 kWh de chaleur [12].

Pompes à chaleur (PAC)

Le potentiel thermique (Q_{pac}) est estimé avec un prélèvement de 4 degrés sur les eaux épurées, en considérant le débit moyen par temps sec. La consommation électrique de la pompe à chaleur dépendra principalement du niveau de température à atteindre (température de sortie). A titre d'exemple uniquement, la consommation électrique d'une pompe à chaleur avec un coefficient de performance de 4 qui correspond à une température de sortie d'environ 65°C est aussi indiquée (E_{pac}).

Energie solaire photovoltaïque

Le dimensionnement de la surface des panneaux photovoltaïques ne faisant pas partie des considérations techniques traditionnellement prises en compte dans le traitement de l'eau, certaines hypothèses ont été prises.

La STEP de Birs dans le Canton de Bâle-Campagne, réaménagée en 2014, a été prise comme exemple pour l'estimation basse (voir l'illustration en Figure 9). Les données pour cette STEP sont les suivantes :

- Panneaux installés : 934 modules, 277 kWp (kilowatt-crête), 1'481 m²
- Production PV réelle : 333 MWh/an, soit une production de 225 kWh/m²/an
- Surface de la parcelle : environ 22'500 m², soit une couverture de la parcelle d'environ 6% par les panneaux photovoltaïques sans compter l'espace nécessaire entre les panneaux solaires afin d'éviter les ombrages

Pour le potentiel photovoltaïque, deux valeurs sont indiquées :

¹⁵ Rapport biogaz OFEN

- La première selon un scénario dit « conservateur » avec une couverture de la parcelle de 5% par des installations photovoltaïques, sans compter l'espacement entre les panneaux, et une production de 200 kWh/m²/an
- La seconde selon un scénario dit « ambitieux » avec une couverture de la parcelle de 20% par des installations photovoltaïques, sans compter l'espacement entre les panneaux, et une production de 200 kWh/m²/an

A noter qu'une couverture ambitieuse pourrait requérir une couverture des bassins, ce qui entraînerait une consommation d'énergie supplémentaire pour la ventilation, non prise en compte dans ce rapport. En revanche, les bassins qui doivent être couverts pour des raisons d'odeurs présentent des surfaces propices à une installation photovoltaïque.

Les hypothèses faites dans ce rapport ne prennent pas en compte d'autres contraintes éventuelles des sites, comme l'exposition au soleil. Des études détaillées sont encouragées au cas par cas.

Concernant la surface des STEP maintenues, une hypothèse de 0.4 m²/EH a été retenue sur la base de la moyenne des futurs pôles micropolluants, avec un minimum de 400 m² basé sur les valeurs estimées pour les plus petites STEP.



Figure 9. Installation de panneaux photovoltaïques sur la STEP de Birs (BL)

3.3 Situation après régionalisation pour les pôles micropolluants

Dans cette section, les 16 projets de pôles régionaux de traitement des micropolluants sont analysés un par un. Pour chaque STEP, le potentiel de production d'énergie et la consommation d'énergie sont évalués pour l'horizon 2035, qui est l'ultime délai pour l'implémentation du traitement des micropolluants.

Les données de base nécessaires pour les estimations sont reprises des différents projets de réaménagement existants. Ces données sont :

- Les technologies employées pour le traitement biologique et le traitement des micropolluants
- Le dimensionnement biologique (Equivalents-Habitants)
- Les débits hydrauliques : débit moyen et débit moyen par temps sec
- La surface de la parcelle

Lorsque ces données ne sont pas connues (projet de réaménagement non défini, technologie pas encore définie ou information manquante dans le rapport), les estimations sont réalisées sur la base des hypothèses présentées à la section 3.2.2.

Il est à noter que, lors de leur mise en service, les STEP réaménagées et les nouvelles STEP traiteront une charge en dessous de leurs conditions de dimensionnement (généralement dimensionnées pour l'horizon 2040). Les conditions d'opération du traitement biologiques devront donc être adaptées à ces charges, afin d'optimiser la consommation électrique de la STEP.

3.3.1 Descriptions des projets

Les projets de réaménagement ou de construction des futurs pôles de traitement des micropolluants sont décrits ci-après, classés en fonction de leur dimensionnement. Le tableau indique dans chaque cas les données retenues pour le projet. Celles basées sur les hypothèses décrites à la section 3.2.2 sont indiquées en italique.

Lausanne

La STEP de Vidy, à Lausanne, va être réaménagée¹⁶.

La variante S1+ a été retenue, correspondant à l'extension du bassin versant au bassin versant de la STEP de Bussigny-près-Lausanne avec une augmentation de la population de 30% et de 47% pour chaque bassin versant, respectivement. Les travaux de réaménagement ont déjà débuté.

| <i>STEP de Lausanne</i> | |
|--------------------------------------------------|----------------|
| Dimensionnement [EH] | 400'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | <i>195'760</i> |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | <i>166'396</i> |
| Boues [tMS/an] | <i>8'931</i> |
| Surface STEP [m ²] | 70'000 |
| Traitement biologique | Biofiltration |
| Traitement micropolluants | CAP+UV |

Villeneuve

Une nouvelle STEP de 180'000 EH va être construite pour remplacer les STEP de Vevey, Montreux et Roche, et prévoir l'éventuel raccordement des communes Bourg-en-Lavaux et Forel¹⁷. L'horizon de ce projet est l'année 2050.

¹⁶ « Station d'épuration de Lausanne Vidy. Renouvellement des filières de traitement des eaux usées et des boues d'épuration. Phase 2 - Avant-projet sommaire » Consortium Régional pour l'Assainissement Lausanne, février 2014

¹⁷ « Projet d'étude d'implantation – Nouvelle STEP Unique. Rapport technique nouvelle Station d'épuration Unique. », mandaté par le Service Intercommunal de Gestion (SIGE) au bureau Pöyry, septembre 2013

| STEP de Villeveuve | |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 180'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 43'094 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 36'630 |
| Boues [tMS/an] | 3'675 |
| Surface STEP [m ²] | 80'000 |
| Traitement biologique | BA classique avec avec nitri. et dénitri. |
| Traitement micropolluants | Ozonation et filtration sur sable |

Hypothèses prises :

- Raccordement des communes de Bourg-en-Lavaux et Forel
- Surface des parcelles : environ 130'000 m² pour les parcelles envisagées selon la Variante 2 du projet (Carte map.geo.admin.ch pour les parcelles 2845 et 2847), néanmoins une surface de 80'000 m² est considérée pour la STEP. A noter que la parcelle présente un ensoleillement défavorable.

Gland

Plusieurs variantes ont été étudiées pour cette STEP ainsi que la STEP de Nyon¹⁸. La deuxième variante a été retenue, prévoyant la construction d'une nouvelle STEP centrale implantée à Gland. Les actuelles STEP de Gland, Nyon, Prangins et Gingins vont s'y raccorder.

| STEP de Gland | |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 108'100 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 26'200 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 22'270 |
| Boues [tMS/an] | 911 |
| Surface STEP [m ²] | 41'600 |
| Traitement biologique | BA classique avec avec nitri. et dénitri. |
| Traitement micropolluants | <i>Ozonation avec biofiltration</i> |

Hypothèses prises :

- Le procédé de traitement des micropolluants retenu ici est un procédé par ozonation, comme option préférée dans le rapport, même si cela n'est pas définitif.

¹⁸ « Canton de Vaud. Région Gland – Nyon. Epuration régionale. Etude comparative de variantes de régionalisation des STEP », de TRIFORM SA, Juin 2015

Morges

La STEP du Bief à Morges va être réaménagée. Les STEP d'Apples et Reverolle vont s'y raccorder. Le débit par temps sec est retenu pour les estimations dans ce rapport.

Deux variantes de traitement biologique sont à l'étude, soit un réacteur biologique séquentiel (SBR) et un système par boues activées. Plusieurs variantes de traitement des micropolluants sont à l'étude.

| STEP de Morges | |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 85'000 |
| Débit par temps sec [m ³ /jour] | 22'588 |
| Débit par temps sec [m ³ /jour] | 19'200 |
| Boues [tMS/an] | 642 |
| Surface STEP [m ²] | 23'200 |
| Traitement biologique | <i>BA classique avec avec nitri. et dénitri.</i> |
| Traitement micropolluants | <i>CAP</i> |

Hypothèses prises :

- Pour le calcul de la consommation électrique, les valeurs du VSA pour des boues activées classiques avec nitrification ont été prises. La consommation électrique des systèmes SBR est très similaire.
- Traitement des micropolluants : CAP.
- La surface approximative du site a été calculée à partir des plans annexes du rapport : 23'200 m².

Yverdon

L'actuelle STEP d'Yverdon va être agrandie¹⁹. Les STEP suivantes vont s'y raccorder : Bonvillars, Champagne, Concise, Grandson, Onnens et Orges.

Traitement biologique : Boues activées en culture libre plus un prétraitement des liquides de retour du traitement des boues.

| STEP d'Yverdon-les-Bains | |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 65'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 17'153 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 14'580 |
| Boues [tMS/an] | 948 |
| Surface STEP [m ²] | 15'000 |
| Traitement biologique | <i>BA classique avec avec nitri. et dénitri.</i> |
| Traitement micropolluants | <i>CAP</i> |

Hypothèses prises :

- Surface de la parcelle : environ 15'000 m² (Carte map.geo.admin.ch).
- Traitement des micropolluants : CAP. Aucun type de traitement n'a été décidé pour le moment.

¹⁹ Rapport « Assainissement et agrandissement de la STEP d'Yverdon. Avant-projet », de TRIFORM SA, Mars 2015.

Allaman

Une nouvelle STEP régionale va être construite sur un site qui doit encore être précisé. Les STEP suivantes vont s'y raccorder : Allaman, Aubonne, Gimel, Perroy, Rolle, Saubraz, St-George, St-Prex et Villars-sous-Yens.

| <i>STEP d'Allaman</i> | |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 60'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 14'120 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 12'002 |
| Boues [tMS/an] | 751 |
| Surface STEP [m ²] | 39'000 |
| Traitement biologique | <i>BA classique avec avec nitri. et dénitri.</i> |
| Traitement micropolluants | <i>CAP</i> |

Hypothèses prises :

- Traitement biologique : boues activées avec traitement complet de l'azote
- Traitement des micropolluants : CAP, indiqué comme option privilégiée dans le rapport

Lucens

La STEP de Lucens (Moyenne-Broye) va être adaptée et remise à niveau. Les STEP suivantes vont s'y raccorder : Ropraz, Trey-Middes, Vuillens, Hermenches, Henniez, Granges-Marnand, Combremont-le-Petit, Châtonnaye (FR).

Cette STEP va rejeter dans un cours d'eau dans des mauvaises conditions de dilution (Broye).

| <i>STEP de Lucens</i> | |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 60'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 9'130 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 9'100 |
| Boues [tMS/an] | 758 |
| Surface STEP [m ²] | 40'000 |
| Traitement biologique | <i>BA classique avec avec nitri. et dénitri.</i> |
| Traitement micropolluants | <i>CAP</i> |

Hypothèses prises :

- La variante de 60'000 EH a été retenue. Cette variante implique un prétraitement des eaux usées industrielles par les entreprises concernées.
- Traitement des micropolluants : CAP, indiqué comme option privilégiée dans le rapport, avec Lausanne comme référence.

Aigle

L'actuelle STEP d'Aigle va être agrandie. Les STEP de Leysin, Ollon et Yverne vont s'y raccorder.

| <i>STEP d'Aigle</i> | |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 53'600 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 11'756 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 10'000 |
| Boues [tMS/an] | 487 |
| Surface STEP [m ²] | 25'000 |
| Traitement biologique | <i>BA classique avec avec nitri. et dénitr.</i> |
| Traitement micropolluants | <i>Ozonation</i> |

Hypothèses prises :

- Traitement biologique : un volume de 800 m³ de lit fluidisé pour la nitrification est prévu dans le projet. L'hypothèse est que ce volume ne changera pas de façon significative la consommation d'énergie du traitement biologique, considéré pour des boues activées typiques.
- Traitement des micropolluants : ozonation, indiqué dans le rapport en tant qu'option préférée.

Payerne

Une nouvelle STEP va être construite à Payerne²⁰. Les STEP suivantes vont s'y raccorder : Chevroux, Corcelles-près-Payerne, Grandcour-AGMV, Montagny (FR), Corserey (FR), Lentigny (FR), Tornay (FR), Bussy-AIPG (FR).

| <i>STEP de Payerne</i> | |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 49'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 11'200 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 8'330 |
| Boues [tMS/an] | 535 |
| Surface STEP [m ²] | 40'000 |
| Traitement biologique | <i>BA classique avec avec nitri. et dénitr.</i> |
| Traitement micropolluants | <i>CAP</i> |

Hypothèses prises :

- Traitement des micropolluants : CAP, indiqué comme option privilégiée dans le rapport, avec Lausanne comme référence.

²⁰ Rapports techniques « Région de Payerne. Assainissement et épuration des eaux. Etude de régionalisation, phase 2 », Ribl SA.

Pully

Un projet de réaménagement pour traiter l'azote et les micropolluants est à l'étude²¹. Le raccordement à la STEP de Lausanne n'a pas à ce jour été exclu.

| STEP de Pully | |
|--------------------------------------------------|-------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 26'500 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 5'600 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 4'760 |
| Boues [tMS/an] | 393 |
| Surface STEP [m ²] | 5'000 |
| Traitement biologique | Lit fluidisé |
| Traitement micropolluants | Ozonation plus filtre à sable |

Hypothèses prises :

- Surface de la parcelle : environ 5'000 m², avec le parking compris (Carte map.geo.admin.ch).

Commugny

La STEP intercommunale de Terre Sainte a été construite en 2014. Un nouveau traitement de micropolluants va y être implémenté, mais il n'y a pour le moment aucun projet en cours.

La capacité de cette STEP est actuellement de 30'000 EH. Des extensions sont possibles dans le futur.

Une installation de panneaux solaires est déjà présente sur le toit des bâtiments principaux.

| STEP de Commugny | |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 30'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 7'300 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 6'205 |
| Boues [tMS/an] | 444 |
| Surface STEP [m ²] | 7'500 |
| Traitement biologique | BA classique avec avec nitri. et dénitrif. |
| Traitement micropolluants | CAP |

Hypothèses prises :

- Débit : débit moyen traité en 2015 majoré de 25%
- Surface de la parcelle : environ 7'500 m² (Google Maps).
- Traitement des micropolluants : CAP, aucun type de traitement n'a été décidé pour le moment.

²¹ Rapport « Etude de faisabilité. STEP de Pully - Optimisation du traitement des eaux usées et réhabilitation des bassins biologiques et de décantation. Rapport technique. Proposition d'une variante de traitement » HOLINGER SA, novembre 2011.

Avenches

La planification cantonale 2016 prévoit que les STEP de Bellerive, Domdidier (FR), Grolley (FR), Misery (FR) et Villarepos (FR) se raccordent à la STEP d'Avenches. Selon la planification cantonale fribourgeoise, un supplément de 13'700 EH raccordés des communes fribourgeoises est à prévoir à l'horizon 2035. Il n'y a aucun projet concret, les études techniques n'ayant pas démarré au moment de ce rapport. Actuellement un traitement biologique par SBR est implémenté. Cette STEP va rejeter dans un cours d'eau dans des mauvaises conditions de dilution (Eau Noire).

| STEP d'Avenches | |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 27'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 4'920 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 4'182 |
| Boues [tMS/an] | 269 |
| Surface STEP [m ²] | 2'800 |
| Traitement biologique | <i>BA classique avec avec nitri. et dénitrif.</i> |
| Traitement micropolluants | <i>CAP</i> |

Hypothèses prises :

- Débit : débits actuels majorés de 25% pour les STEP vaudoises et débits estimés pour les STEP fribourgeoises avec un débit spécifique moyen de 200 l/EH/jour.
- Surface de la parcelle : environ 2'800 m² (carte map.geo.admin.ch).
- Traitement des micropolluants : CAP, aucun type de traitement n'a été décidé pour le moment.

Echallens

La planification cantonale 2016 prévoit que les STEP de Bottens, Eclagnens, Goumoens-le-Jux, Sugnens et éventuellement les STEP de Bretigny et Morrens-Talent se raccordent à la STEP d'Echallens. Il n'y a aucun projet concret, les études techniques n'ayant pas démarré au moment de ce rapport.

Cette STEP va rejeter dans un cours d'eau dans des mauvaises conditions de dilution (Talent).

| STEP d'Echallens | |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 25'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 4'700 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 3'995 |
| Boues [tMS/an] | 308 |
| Surface STEP [m ²] | 2'500 |
| Traitement biologique | <i>BA classique avec avec nitri. et dénitrif.</i> |
| Traitement micropolluants | <i>CAP</i> |

Hypothèses prises :

- Débit moyen : débits moyens traités en 2015 majorés de 25%
- Surface de la parcelle : environ 2'500 m² (carte map.geo.admin.ch).
- Traitement des micropolluants : CAP, aucun type de traitement n'a pas été décidé pour le moment.

Orbe

Un projet de nouveau traitement biologique (boues activées classique) a été élaboré pour une STEP de 40'000 EH, mais abandonné suite à la défection des communes de Chavornay et environ. Un projet de taille plus réduite devra être étudié, avec raccordement des STEP d'Agiez et éventuellement celle d'Arnex. Le traitement des boues, récemment rénové, ne nécessite pas d'adaptation à court-moyen terme. Le traitement des micropolluants n'a pas été étudié.

Cette STEP va rejeter dans un cours d'eau dans des mauvaises conditions de dilution (Canal Occidental).

| <i>STEP d'Orbe</i> | |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Dimensionnement [EH] | 18'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 5'000 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 4'250 |
| Boues [tMS/an] | 242 |
| Surface STEP [m ²] | 8'800 |
| Traitement biologique | <i>BA classique avec nitri. et dénitr.</i> |
| Traitement micropolluants | <i>CAP</i> |

Hypothèses prises :

- Raccordements : STEP d'Agiez et d'Arnex
- Débit : débits moyens traités en 2015 majorés de 25%
- Surface de la parcelle : environ 8'800 m² (carte map.geo.admin.ch).

La Sarraz

L'actuelle STEP de La Sarraz va être agrandie. Les STEP suivantes vont s'y raccorder : Mont-la-Ville, L'Isle, La Chaux, Dizy, Chevilly, Moiry, Orny, Eclépens.

Cette STEP va rejeter dans un cours d'eau dans des mauvaises conditions de dilution (Venoge).

| <i>STEP de la Sarraz</i> | |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | 15'500 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 3'141 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 2'670 |
| Boues [tMS/an] | 213 |
| Surface STEP [m ²] | 10'000 |
| Traitement biologique | <i>BA classique avec avec nitri. et dénitr.</i> |
| Traitement micropolluants | <i>CAP</i> |

Hypothèses prises :

- Surface de la parcelle : environ 10'000 m² (image satellite Google Maps).
- Traitement des micropolluants : CAP, indiqué comme option préférée dans le rapport.

Penthaz

La STEP actuelle a été construite en 2012. Les STEP de Bettens, Sullens, et Lussery-Villars devraient s'y raccorder. Un traitement de micropolluants sera mis en place.

Cette STEP va rejeter dans un cours d'eau dans des mauvaises conditions de dilution (Venoge).

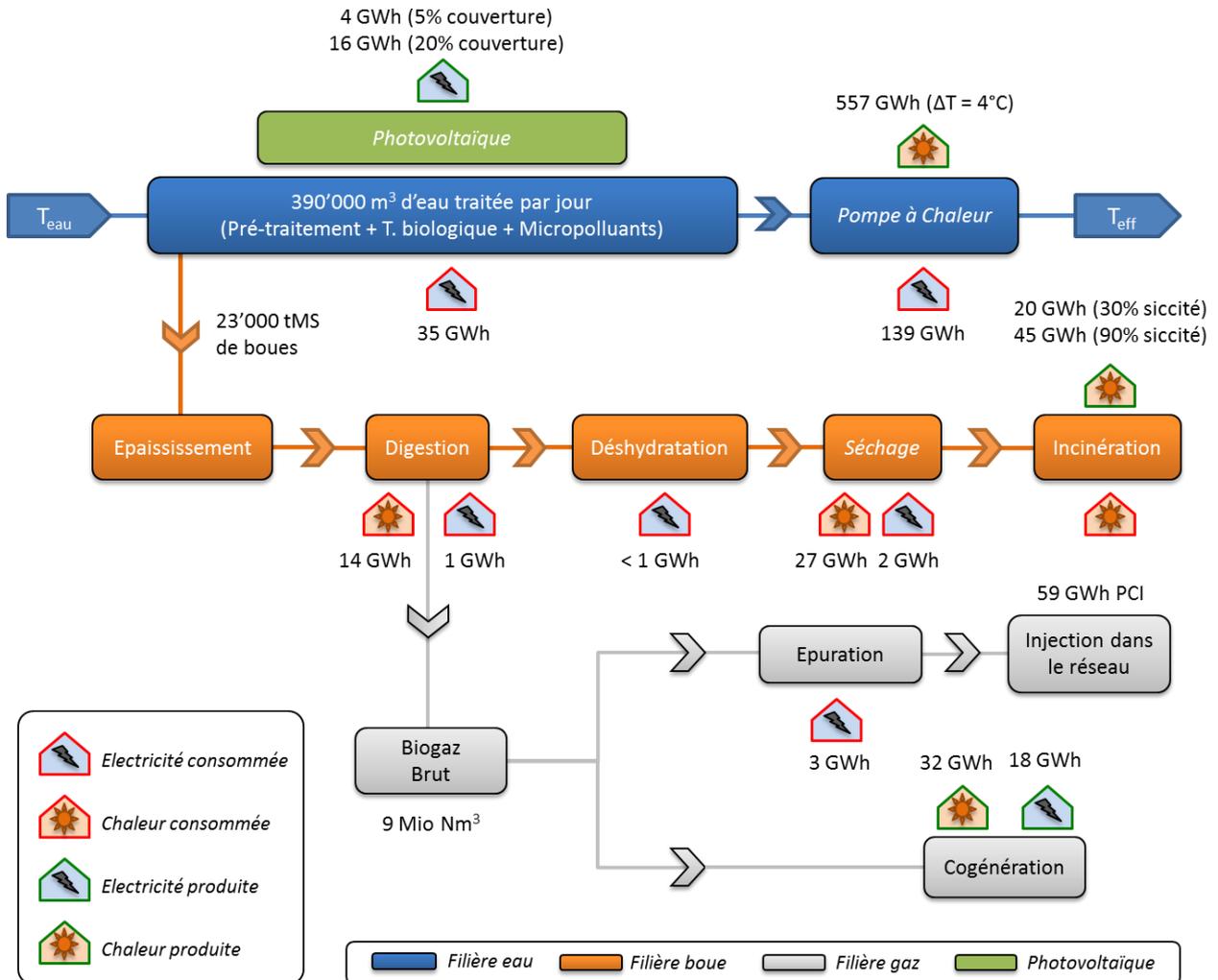
| <i>STEP de Penthaz</i> | |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| | 15'000 |
| Débit moyen [m ³ /jour] | 4'440 |
| Débit moyen par temps sec [m ³ /jour] | 3'774 |
| Boues [tMS/an] | 218 |
| Surface STEP [m ²] | 6'000 |
| Traitement biologique | BA classique avec avec nitri. et dénitri. |
| Traitement micropolluants | CAG |

Hypothèses prises :

- Raccordements : STEP de Bettens, Sullens, Lussery-Villars
- Débit : débits moyens traités en 2015 majorés de 25%
- Surface de la parcelle : environ 6'000 m² (carte map.geo.admin.ch).
- Traitement des micropolluants : une filtration CAG pour les micropolluants est à l'étude et fait l'objet d'un essai pilote. Cette procédure a été retenue comme hypothèse.

3.3.2 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 la Figure 10 et dans le Tableau 8. Les résultats par STEP peuvent être consultés dans l'



Annexe 7.

Figure 10. Schéma des estimations de consommations d'énergie et de potentiels de production d'énergie pour les pôles micropolluants agrégés (valeurs annuelles).

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. A titre d'exemple, la STEP de Penthaz récemment réaménagée a une consommation spécifique de 226 Wh/m³/an (valeur 2015), ce qui montre que ces estimations sont réalistes pour des STEP réaménagées.

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. Par ailleurs, les pôles micropolluants seront certainement amenés à digérer une partie des boues STEP maintenues en supplément des boues produites sur le site de la STEP (voir section 3.4.2).

Nous pouvons remarquer que l'utilisation du biogaz par cogénération, dans l'hypothèse où celle-ci est implémentée dans tous les pôles micropolluants, produit deux fois plus de chaleur que les besoins thermiques des digesteurs et permettrait ainsi de couvrir d'autres besoins thermiques, comme le chauffage des bâtiments des STEP. D'autre part, la cogénération produit plus du tiers de l'électricité nécessaire pour le traitement de l'eau des pôles micropolluants. La production d'électricité sur site permet l'autoconsommation et peut également être utile pour assurer un fonctionnement minimal des installations en cas de panne du réseau électrique, pour autant que l'alimentation du système de cogénération ait été prévue ([3], sections 6.5.8 et 6.5.9).

Dans l'hypothèse où le biogaz est épuré afin d'être injecté dans le réseau, cette étape requiert 2 GWh/an pour tous les pôles micropolluants. Le potentiel thermique du biogaz est alors de 44 GWh/an. Néanmoins, afin d'obtenir un rendement énergétique optimal, le biogaz injecté dans le réseau devrait être utilisé dans des systèmes de cogénération.

L'étape d'incinération, avec des boues présentant une siccité de 30% comme cela est le cas pour la quasi-totalité des boues incinérées, permet de récupérer 20 GWh/an de chaleur. L'hypothèse prise est la mono-incinération, autrement dit l'incinération des boues d'épuration uniquement. En effet, même si actuellement près des trois quarts des boues produites par les STEP vaudoises sont mono-incinérées, le reste étant co-incinéré avec des combustibles fossiles ou des débris urbains. La nouvelle ordonnance fédérale sur les déchets²² introduisant l'obligation dès 2026 de récupérer le phosphore contenu dans les boues d'épuration va probablement finir par imposer la mono-incinération.

Le séchage des boues à 90% de siccité requiert une importante consommation thermique (27 GWh/an) dans le cas d'un séchage par lit fluidisé, c'est pourquoi cette étape est en général préconisée lorsque des rejets de chaleur sont disponibles ou lorsque le séchage solaire est possible. L'incinération des boues séchées à 90% de siccité offre la possibilité de récupérer davantage de chaleur par rapport à une incinération standard, car le pouvoir calorifique des boues augmente ainsi que l'efficacité globale de l'incinérateur.

Le potentiel lié à la récupération des rejets de chaleur dans les eaux épurées par des pompes à chaleur est très élevé, bien que cette technologie exige une grande consommation d'électricité. Ce potentiel est estimé à 560 GWh/an, soit 20 fois plus que la chaleur produite par cogénération. Cette valeur dépendra du niveau de température souhaité et de la température des eaux en sortie de STEP, car le coefficient de performance des pompes à chaleur dépend fortement de ces paramètres. L'installation de systèmes de récupération de chaleur

²² Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED) du 4 décembre 2015

fatale doit être étudiée au cas par cas, en prenant en compte les consommateurs de chaleur aux alentours des STEP.

La génération d'électricité par des panneaux photovoltaïques selon les hypothèses prises, à savoir 5 % de la surface des parcelles dans le scénario dit conservateur, et 20% de cette surface dans le scénario dit ambitieux, représente une source d'énergie de moindre ampleur que les autres technologies. Afin que les pôles micropolluants soient autonomes électriquement sur un bilan annuel, il faudrait qu'une cogénération à partir du biogaz soit faite sur tous ces sites et qu'environ 20% de la surface de leur parcelle soit couverte par des panneaux photovoltaïques, selon le scénario ambitieux. Comme relevé à la section 3.2.2, la couverture des bassins induit une consommation électrique pour la ventilation. Ainsi, la pose de panneaux solaires photovoltaïques sur les bassins des STEP devient intéressante lorsque ceux-ci doivent être couverts, généralement pour des raisons d'odeurs. A noter que les STEP présentent un certain intérêt pour le stockage de l'électricité produite par des énergies renouvelables, car elles pourraient absorber une partie de leur cyclicité.

| | 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 8 : 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.

3.4 Situation après régionalisation pour les STEP maintenues

Pour les 80 STEP maintenues, il est supposé leur dimensionnement ainsi que leur type de traitement sont identiques à la situation actuelle. Seuls les débits à traiter sont majorées de 25%, selon les hypothèses prises à la section 3.2.2. Les surfaces des parcelles ont été estimées selon les hypothèses de la section 3.2.2.

3.4.1 Description de la situation technologique

Types de traitement

Comme l'indique le Tableau 9, la grande majorité des STEP maintenues utilisent des traitements conventionnels tels que les boues activées. Ces traitements sont susceptibles d'évoluer lors des remises à niveau de ces installations, avec une disparition des procédés obsolètes ou ne répondant plus aux exigences actuelles.

| Systeme | Nombre | [%] |
|-------------------------------------------|---------------|------------|
| Boues activées – aération prolongée | 55 | 69 |
| Boues activées – moyenne charge | 8 | 10 |
| Disques biologiques | 1 | 1 |
| Lagunage naturel aérobie | 1 | 1 |
| Lit bactérien | 5 | 6 |
| Lit fluidisé | 4 | 5 |
| Combinaison lit fluidisé + boues activées | 4 | 5 |
| Physico-chimique | 2 | 3 |

Tableau 9. Répartition des procédés de traitement des STEP maintenues (état en 2016)

Concernant les niveaux de traitement exigés, nous pouvons voir que la majorité des STEP maintenues a déjà implémenté la nitrification en plus des normes concernant le carbone et le phosphore, comme indiqué sur le Tableau 10. A l'horizon 2035, il faut s'attendre à ce que la nitrification soit exigée sur l'ensemble des STEP maintenues, excepté quelques situations particulières.

| Traitement | Nombre de STEP |
|-------------------|-----------------------|
| C | 4 |
| C/P | 17 |
| C/N/P | 53 |
| C/N/P/MES | 6 |

Tableau 10. Traitement implémenté sur les STEP maintenues (état en 2016 ; C - carbone, P - phosphore, N - azote, MES - matières en suspension).

Taux d'utilisation des STEP

En 2015, le taux d'utilisation moyen des STEP maintenues par rapport à leur dimensionnement est de 66% et 11 STEP maintenues sont déjà dans la limite de surcharge. En considérant une augmentation de la population raccordée moyenne de 25% en 2035, nous pouvons estimer qu'une trentaine de STEP se retrouveront dans une situation de surcharge à cet horizon. Ces STEP devront probablement se régionaliser ou s'agrandir d'ici 2035, cette deuxième option constituant une opportunité pour des optimisations énergétiques.

3.4.2 Résultats

Les estimations de consommation et de production à la fois thermiques et électriques pour les 80 STEP maintenues agrégées sont affichées sur la Figure 11 et dans le

| | Conso. Elec. [GWh/an] | Conso. Therm. [GWh/an] | Prod. Elec. [GWh/an] | Prod. Therm. [GWh/an] | Prod. Biogaz [M m³/an] |
|------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|
| Traitement de l'eau (40'000 m ³ /j) | 7 | - | - | - | - |
| Valorisation des eaux épurées (PAC) | 13 | - | - | 53 | - |
| Digestion des boues (3'000 tMS/an) | <1 | 2 | - | - | 1 |
| Déshydratation et incinération des boues | | | | | |
| 3. Boues à 30% de siccité | <1 | - | - | <1 | - |

| | | | | | |
|--------------------------------------------------|----|---|----|---|---|
| 4. Boues à 90% de siccité | <1 | 3 | - | 6 | - |
| Utilisation du biogaz | | | | | |
| 3. Valorisation par cogénération | - | - | 2 | 4 | - |
| 4. Epuration du biogaz et valorisation thermique | <1 | - | - | 7 | - |
| <i>Production photovoltaïque</i> | | | | | |
| 3. Couverture "conservatrice" | - | - | <1 | - | - |
| 4. Couverture "ambitieuse" | - | - | 3 | - | - |

Tableau 11. Les résultats par STEP figurent à l'

Annexe 8.

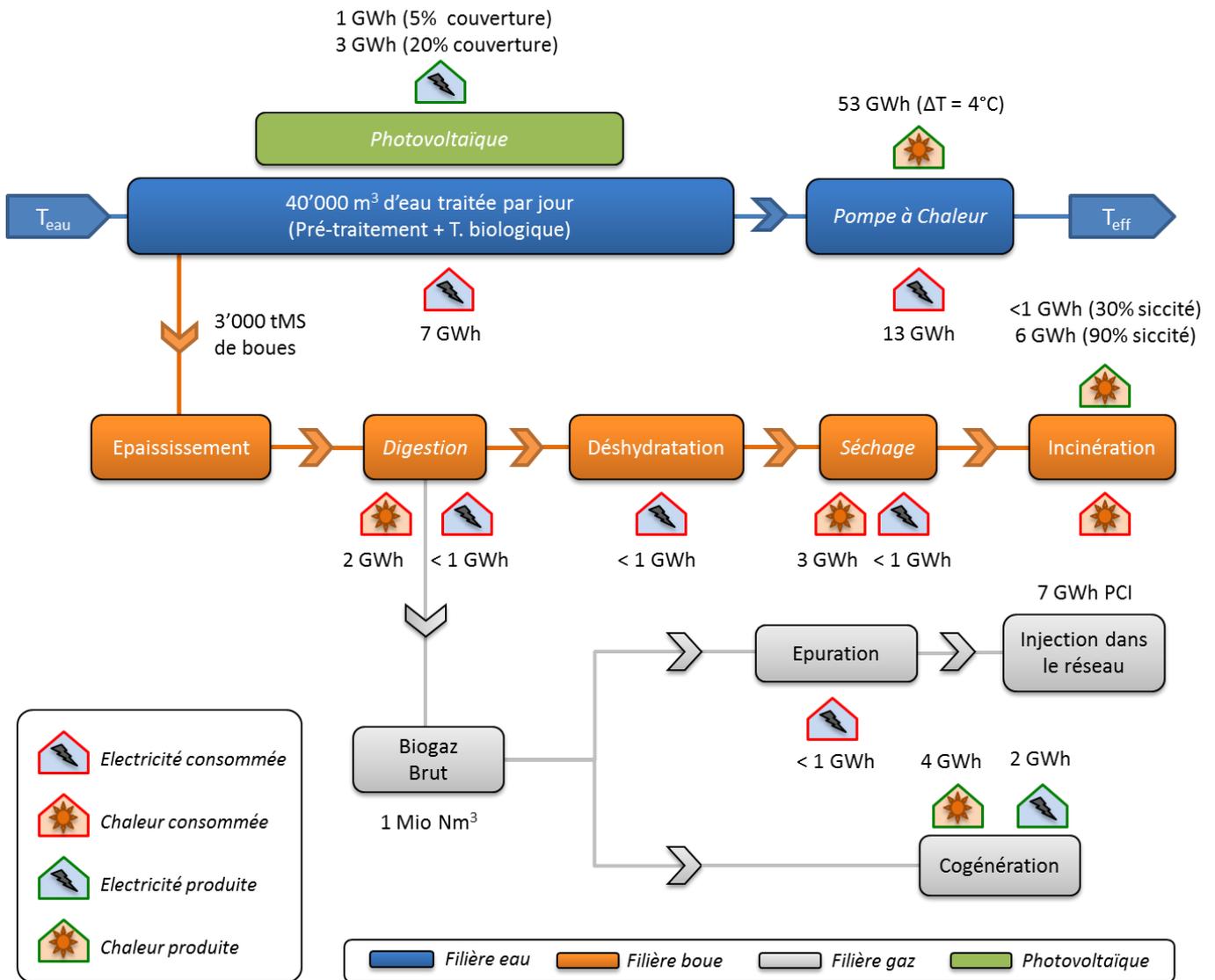


Figure 11: Schéma du potentiel de consommation et des potentiels énergétiques pour les STEP maintenues agrégées (par année)

La consommation électrique pour l'ensemble des STEP maintenues à l'horizon 2035 est estimée à 7 GWh/an pour la filière eau. L'estimation de la consommation spécifique par EH donne des valeurs équivalentes à la situation de 2015, soit une moyenne de 47 kWh/an/EH, étant donné qu'aucun changement technologique n'est considéré pour ces estimations. La quantité de boues d'épuration est estimée à 3'000 tMS/an. Leur digestion requiert 2 GWh/an de chaleur et produit environ 1 Mio Nm³/an de biogaz.

Les résultats obtenus suivent les mêmes tendances que ceux trouvés pour les pôles micropolluants. Cependant, dans la plupart des cas, la digestion des boues ne sera pas réalisée sur place. La taille et la localisation de la plupart des STEP maintenues ne justifient pas l'installation d'un système de digestion sur ces sites. En effet, la taille critique d'une STEP pour envisager l'installation d'un système de digestion selon des critères économiques est d'environ 5'000 EH [11]. Parmi les 80 STEP maintenues, 11 STEP ont un dimensionnement supérieur à cette valeur. Les boues d'épuration de la plupart des STEP maintenues seront donc probablement transportées vers les pôles micropolluants.

L'incinération des boues d'épuration des STEP maintenues suit la planification cantonale des déchets, comme indiqué au chapitre 3.3.2. Le potentiel de récupération de chaleur sur l'incinération ne concerne donc pas les STEP maintenues.

Ainsi, dans le cas où les boues ne sont pas digérées sur place, les potentiels de production d'énergie sur site se limitent au potentiel photovoltaïque à la récupération de chaleur sur les eaux en sortie de STEP. Les potentiels de production d'énergie liés au biogaz et à l'étape d'incinération sont à reporter sur les pôles micropolluants. Les STEP maintenues présentent un potentiel pour la valorisation de leurs rejets de chaleur, néanmoins de moindre ordre de grandeur que les pôles micropolluants. Les rejets de chaleur pourraient être utilisés pour le chauffage des bâtiments de la STEP ou des bâtiments à proximité.

| | Conso. Élec. [GWh/an] | Conso. Therm. [GWh/an] | Prod. Élec. [GWh/an] | Prod. Therm. [GWh/an] | Prod. Biogaz [M m ³ /an] |
|--------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| Traitement de l'eau (40'000 m ³ /j) | 7 | - | - | - | - |
| Valorisation des eaux épurées (PAC) | 13 | - | - | 53 | - |
| Digestion des boues (3'000 tMS/an) | <1 | 2 | - | - | 1 |
| Déshydratation et incinération des boues | | | | | |
| 5. Boues à 30% de siccité | <1 | - | - | <1 | - |
| 6. Boues à 90% de siccité | <1 | 3 | - | 6 | - |
| Utilisation du biogaz | | | | | |
| 5. Valorisation par cogénération | - | - | 2 | 4 | - |
| 6. Epuration du biogaz et valorisation thermique | <1 | - | - | 7 | - |
| Production photovoltaïque | | | | | |
| 5. Couverture "conservatrice" | - | - | <1 | - | - |
| 6. Couverture "ambitieuse" | - | - | 3 | - | - |

Tableau 11. Estimations des consommations et des potentiels de production d'énergie pour les STEP maintenues 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.

3.5 Résumé de la situation après la régionalisation

Selon la planification cantonale de l'épuration [1], les futurs pôles micropolluants traiteront près de 90% des eaux du Canton à l'horizon 2035. Ils comprendront 13 STEP existantes qui seront réaménagées, ainsi que 3 nouvelles STEP. 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 les STEP de Lausanne et de Pully ont 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 à l'Annexe 10) 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 une part d'autonomie énergétique pour une STEP. Dans le cas d'épuration avec injection dans le réseau de gaz naturel, le potentiel thermique total est estimé à 66 GWh/an. Ces deux possibilités d'utilisation du biogaz 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 [13].

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 2 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 [7].
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 ont été publiées par le VSA [7].
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 mais aussi des professionnels. 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 à la fois 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.

Bibliographie

- [1] Direction générale de l'environnement, Etat de Vaud, «Traitement des micropolluants dans les stations d'épuration vaudoises» 2016.
- [2] Direction générale de l'environnement, Etat de Vaud, «Bilans 2015 de l'épuration vaudoise» 2016.
- [3] VSA et Suisse Energie, «Energie dans les stations d'épuration» 2008.
- [4] Descoins et al., «Energy efficiency in wate water treatments plants: optimization of activated sludge process coupled with anaerobic digestion», Energy, pp. 153-164, Volume 41, Issue 1, 2012.
- [5] Direction générale de l'environnement, Etat de Vaud, «Plan de gestion des déchets 2016» 2016.
- [6] Direction générale de l'environnement, Etat de Vaud, «Cadastre hydraulique du canton de Vaud - Eaux de surface, Eaux de réseau» 2008.
- [7] VSA, Efficacité des ressources dans les STEP, 2015.
- [8] OFEN (sur mandat), «La digestion des boues d'épuration, situation et potentiels» 2012.
- [9] EAWAG, «Fiche coût énergétique de l'élimination des micropolluants» avril 2012.
- [10] Service de l'assainissement de Lausanne, «Traitement des micropolluants dans les eaux usées - résumé sur les essais pilotes à la STEP de Vidy (Lausanne)» janvier 2011.
- [11] Müller et al., «Handbuch Energie in Kläranlagen», 1999.
- [12] Suisse Energie pour les infrastructures, «Le biogaz de STEP. Une énergie de grande classe» 2006.
- [13] VSA, Annexe «Données énergétiques dans les STEP» 2010.
- [14] OFEV, «Rückgewinnung von Phosphor aus der Abwasserreinigung» 2012.
- [15] Forum ARPEA - VSA - GRESE, «La STEP 2050 - de la station d'épuration à la station de valorisation?» Bulletin de l'ARPEA, Printemps 2017.

Annexes

Annexe 1

Projets de pôles micropolluants

Les hypothèses utilisées dans le chapitre 3 sont fondées sur les rapports disponibles au moment de la réalisation de ce présent rapport. Sur les 16 projets d'aménagement des pôles micropolluants, 9 études ou pré-études de STEP régionales sont disponibles et 2 autres études sont en cours.

| <i>STEP</i> | <i>Type de rapport</i> |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------|
| AIGLE | Etude comparative |
| ALLAMAN | Rapport technique (phase 2) |
| AVENCHES | <i>Aucun projet concret</i> |
| COMMUGNY | Nouveau traitement micropolluant pas concrétisé |
| ECHALLENS | <i>Aucun projet concret</i> |
| GLAND | Etude comparative |
| LA SARRAZ | Etude de régionalisation |
| LAUSANNE | Avant-projet (phase 2) |
| LUCENS | Rapports techniques (phase 2) |
| MORGES | Etude d'intégration |
| ORBE | <i>Aucun projet concret</i> |
| PAYERNE | Rapports techniques (phase 2) |
| PENTHAZ | STEP neuve, nouveau traitement micropolluant Carboplus à l'étude |
| PULLY | Étude adaptation biologie plus micropolluant, mais pas de rapport |
| VILLENEUVE SIGE | Étude de faisabilité effectué mais pas de rapports |
| YVERDON | Avant-projet |

Annexe 2

Acheminements des boues vers les installations de digestion

Les boues valorisées dans une installation de digestion ont suivi les acheminements suivants en 2015. Les quantités de boues sont les valeurs indiquées dans les bilans d'épuration 2015. Les valeurs marquées (*) correspondent aux quantités avant digestion.

| <i>Lieu de valorisation</i> | <i>STEP</i> | <i>Quantité de boues [tMS]</i> |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Aigle | AIGLE | 181.7 |
| Bière | BIERE | 27.2 |
| | GIMEL | 30.2 |
| | SAINT-GEORGE | 7.9 |
| | SAUBRAZ | 6.7 |
| | MONTRICHER | 48.2 |
| Bière et Montricher | | |
| Bremblens | BREMBLENS | 78.2 |
| Château d'Oex | CHATEAU-D'OEX | 62.8 |
| | L'ETIVAZ | 3.8 |
| | LA LECHERETTE | 3.1 |
| | ROSSINIÈRE | 4.2 |
| | ROSSINIÈRE-LA TINE | 0.6 |
| | ROUGEMONT | 12.1 |
| | ROUGEMONT-FLENDRUZ | 2.4 |
| | COMMUGNY | 354.8 |
| | Echallens | ECHALLENS |
| | SUGNENS | 3.5 |
| Fiez et Yverdon | FIEZ | 6.5 |
| Gland | GLAND | 361.9 |
| Lavey-Morcles | DAILLY | 0.8 |
| | LAVEY-MORCLES | 87.6 |
| Leysin | LEYSIN | 57.5 |
| Lucens | BOULENS | 7.3 |
| | CORREVON | 1.1 |
| | DENEZY | 1.5 |
| | HENNIEZ | 105.9 |
| | HERMENCHES | 3.6 |
| | LUCENS | 354.5 |
| | PEYRES-POSSENS | 5.2 |
| | SAINT-CIERGES | 7.9 |
| | Lucens et Thierrens | |
| Lutry | LUTRY | 128.7 |
| Morges | MORGES | 513.4 |
| Nyon | GINGINS | 14.8 |

| | | |
|-------------------------|-------------------------|--------|
| | NYON | 306 |
| | PRANGINS | 46 |
| Ollon | OLLON | 121 |
| Orbe | AGIEZ | 6.3 |
| | BALLAIGUES | 13.7 |
| | CHAVORNAY | 143 |
| | ORBE | 181.7 |
| Orbe et Vallorbe | VAULION | 8.4 |
| Orbe et Yverdon | ARNEX-SUR-ORBE | 5.3 |
| Payerne | PAYERNE | 184 |
| | TREY | 7.3 |
| Penthaz | LA CHAUX | 5.1 |
| | PENTHAZ | 158.2 |
| Pully | PULLY | 314.5 |
| Roche | FOREL-PIGEON* | 7.8 |
| | MONTREUX | 1135.2 |
| | ROCHE* | 343.2 |
| | VEVEY | 1453.9 |
| Roche et Yvorne | YVORNE | 29.4 |
| Rolle | ALLAMAN | 6.6 |
| | ROLLE | 191.4 |
| Sainte-Croix | SAINTE-CROIX | 66.6 |
| | SAINTE-CROIX L'AUBERSON | 31 |
| Servion et Vulliens | SERVION | 21.9 |
| St.-Prex | SAINT-PREX | 137.5 |
| Vallorbe | VALLORBE | 60.5 |
| Vulliens | ROPRAZ | 10.9 |
| | VULLIENS | 73.6 |
| Yverdon | CONCISE | 21.6 |
| | DONNELOYE | 1.9 |
| | GOSSENS | 1.2 |
| | GRANDSON | 51.3 |
| | VALEYRES-SOUS-URSINS | 4.7 |
| | VUITEBOEUF-PENEY | 3.7 |
| | YVERDON | 633.7 |
| Yverdon et St.-Aubin NE | PROVENCE | 9.1 |

Annexe 3

Autonomie électrique des STEP avec installation de digestion

La liste des STEP vaudoises qui ont des installations de digestion sont recensées dans le tableau ci-dessous (état 2015) avec leur production électrique via la cogénération (données de la DGE) et leur consommation électrique totale selon les bilans 2015 de l'épuration vaudoise. L'autonomie électrique correspond à la production issue de la cogénération, lorsqu'une telle installation est présente, divisée par la consommation électrique totale. A noter que certaines STEP digèrent les boues acheminées depuis d'autres STEP en supplément des boues produites sur place (voir annexe 2), ce qui augmente l'autonomie électrique de la STEP. La production électrique par turbinage n'est pas considérée ci-dessous dans l'autonomie électrique de la STEP.

| <i>STEP</i> | <i>Production électrique du CCF [kWh/an]</i> | <i>Consommation électrique STEP [kWh/an]</i> | <i>Autonomie électrique [%]</i> |
|------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| AIGLE | 232'806 | 684'282 | 34 |
| BIERE | 21'715 | 143'411 | 15 |
| BREMBLENS | 79'230 | 305'077 | 26 |
| CHATEAU-D'OEX | 75'161 | 128'696 | 58 |
| COMMUGNY | 401'630 | 817'262 | 49 |
| ECHALLENS | 119'269 | 333'220 | 36 |
| GLAND | 799'635 | 1'016'551 | 79 |
| GRANDSON | 53'336 | 151'523 | 35 |
| LAVEY-ST-MAURICE | 0 | 346'354 | 0 |
| LE CHENIT | 0 | 298'706 | 0 |
| LEYSIN | 0 | 155'342 | 0 |
| LUCENS | 543'056 | 805'739 | 67 |
| LUTRY | 164'578 | 330'066 | 50 |
| MORGES | 957'591 | 1'034'232 | 93 |
| NYON | 473'319 | 1'473'357 | 32 |
| OLLON | 183'628 | 290'377 | 63 |
| ORBE | 423'427 | 644'165 | 66 |
| PAYERNE | 245'502 | 406'446 | 60 |
| PENTHAZ | injecté | 251'349 | - |
| PULLY | 320'743 | 710'518 | 45 |
| ROCHE | 1'678'466 Nm3 inj. | 975'221 | - |
| ROLLE | 390'638 | 1'101'442 | 35 |
| SAINTE-CROIX | 93'529 | 137'966 | 68 |
| SAINT-PREX | 149'300 | 415'938 | 36 |
| VALLORBE | 24'384 | 189'854 | 13 |
| VULLIENS | 0 | 119'609 | 0 |
| YVERDON | 1'075'100 | 1'296'345 | 83 |

Annexe 4

STEP présentant une surconsommation d'énergie importante

Les 13 STEP suivantes présentent une consommation spécifique d'électricité importante (>100 kWh/EH/an) par rapport à la valeur de référence du VSA de 29 kWh/EH/an. Pour rappel, la consommation spécifique est calculée en prenant la population totale équivalente.

| STEP | <i>EH biochimiques</i> | <i>Consommation électrique spécifique [kWh/EH/an]</i> |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| ORMONT-DESSOUS LA FORCLAZ | 500 | 314 |
| ROSSINIÈRE LA TINE | 100 | 256 |
| DAILLY | 625 | 177 |
| LA LECHERETTE | 1000 | 165 |
| PROVENCE | 563 | 155 |
| CUARNY | 313 | 147 |
| DENEZY | 250 | 145 |
| OPPENS | 313 | 144 |
| CHAVANNES-LE-CHENE | 375 | 126 |
| ORZENS | 300 | 119 |
| L'ETIVAZ | 300 | 111 |
| ROUGEMONT-FLENDRUZ | 600 | 110 |
| MONTAUBION-CHARDONNEY | 188 | 102 |

Annexe 5

STEP maintenues qui ne valorisent pas les boues

Les 47 STEP suivantes, qui font partie des STEP maintenues ou à statut non défini selon la planification cantonale, ne valorisent pas leurs boues (en 2015) avant de les incinérer. Cela représente environ 1'100 tMS.

| <i>STEP</i> | <i>EH biochimiques</i> | <i>Boues [tMS]</i> | <i>Lieu de Déshydratation</i> |
|---------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| BALLENS | 1'750 | 35 | Ballens |
| BAULMES | 3'665 | 19.7 | Ependes |
| BEX | 25'500 | 260.8 | Bex |
| BIOLEY-MAGNOUX | 288 | 1.7 | Yvonand |
| BIOLEY-ORJULAZ | 3'500 | 67.2 | Bioley-Orjulaz |
| BOUSSENS | 750 | 18.5 | Bioley-Orjulaz |
| BRETIGNY-SUR-MORRENS | 6'500 | 114.5 | Bretigny |
| CHAVANNES-LE-CHENE | 375 | 2.9 | Yvonand |
| COLOMBIER | 1'875 | | Colombier |
| CRONAY | 500 | 4 | Cronay |
| CROY | 2'375 | 18.4 | Croy |
| CUARNENS | 625 | | Cuarnens |
| CUARNY | 313 | 1.1 | Cuarny |
| CUGY | 2'500 | 39.9 | Bretigny |
| CULLY | 6'250 | 134.8 | Cully |
| EPEDES | 1'525 | 9.6 | Ependes |
| ESSERTINES | 900 | 13.9 | Essertines |
| FOREL CHERCOTTAZ | 375 | 4 | Forel |
| LE CHENIT | 12'500 | 80.1 | Le Sentier |
| LE LIEU | 800 | 13.5 | Le Sentier |
| LE PONT | 1'500 | 19.7 | Le Sentier |
| LES BIOUX | 1'500 | 12.5 | Le Sentier |
| LULLY-LUSSY | 2'000 | 35.6 | Lully-Lussy |
| MARTHRENGES | 125 | 0.6 | Thierrens |
| MATHOD | 1'588 | 10.3 | Ependes |
| MOLONDIN | 875 | 2.4 | Yvonand |
| MONTAUBION-CHARDONNEY | 188 | | |
| MORRENS-MEBRE | 688 | 1.6 | Bretigny |
| MUTRUX | 288 | 0.5 | St-Aubin |
| OGENS | 375 | 3.5 | Bercher |
| OPPENS | 313 | 3.1 | Oppens |
| ORMONT-DESSOUS LA FORCLAZ | 500 | 3.4 | Le Sépey |

| | | | |
|------------------------------|-------|------|----------------|
| ORMONT-DESSOUS LE SEPEY | 3'000 | 17.8 | Le Sépey |
| ORMONT-DESSUS LES DIABLERETS | 7'500 | 28.2 | Les Diablerets |
| ORZENS | 300 | 3.8 | Essertines |
| POLIEZ-PITTET | 875 | | Poliez-Pittet |
| PRAHINS | 463 | 1.5 | Prahins |
| ROVRAY | 163 | 1.7 | Yvonand |
| SENARCLENS | 1'063 | 9.4 | Senarclens |
| SEVERY-PAMPIGNY | 1'938 | 24.1 | Sévery |
| SOTTENS | 1'144 | 13.1 | Sottens |
| THIERRENS | 1'063 | | Thierrens |
| VILLARS-SOUS-CHAMPVENT | 750 | 4 | Ependes |
| VILLARS-TIERCELIN | 563 | 4 | Bioley-Orjulaz |
| VUARRENS | 1'575 | 19.3 | Vuarrens |
| VUGELLES-LA-MOTHE | 438 | 3.5 | Ependes |
| VULLIERENS | 788 | 5.6 | Colombier |

Annexe 6

Estimation de la consommation électrique liée au traitement de l'eau pour les futurs pôles micropolluants à l'horizon 2035

La consommation électrique liée au pré-traitement, au traitement biologique et au traitement des micropolluants est présentée ci-dessous, selon les hypothèses prises aux chapitres 3.2.2 et 3.3.1.

| <i>STEP</i> | <i>Pré-traitement [Wh/m³ eau traitée]</i> | <i>Traitement biologique [Wh/m³ eau traitée]</i> | <i>Traitement micropolluant [Wh/m³ eau traitée]</i> |
|-----------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| AIGLE | 21.5 | 124 | 66 |
| ALLAMAN | 21.5 | 124 | 20 |
| AVENCHES | 21.5 | 124 | 20 |
| COMMUGNY | 21.5 | 124 | 20 |
| ECHALLENS | 21.5 | 124 | 20 |
| GLAND | 21.5 | 124 | 66 |
| LA SARRAZ | 21.5 | 124 | 20 |
| LAUSANNE | 21.5 | 180 | 90 |
| LUCENS | 21.5 | 124 | 20 |
| MORGES | 21.5 | 124 | 20 |
| ORBE | 21.5 | 124 | 20 |
| PAYERNE | 21.5 | 124 | 20 |
| PENTHAZ | 21.5 | 124 | 30 |
| PULLY | 21.5 | 250 | 110 |
| VILLENEUVE SIGE | 21.5 | 124 | 110 |
| YVERDON | 21.5 | 124 | 20 |

Annexe 7

Estimation des consommations et des potentiels à l'horizon 2035 pour les futurs pôles micropolluants

Les estimations des principales consommations d'énergie et des potentiels les plus importants à l'horizon 2035 sont données ci-dessous pour les futurs pôles micropolluants, selon les hypothèses prises aux chapitres 3.2.2 et 3.3.1.

| STEP | Filière eau | | | Filière boues | | | | Filière gaz | | | PV |
|-----------------|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | Débit moyen [m ³ /jour] | Conso. électrique [MWh/an] | Rejets de chaleur production thermique [MWh/an] | Production de boues [tMS/an] | Digestion conso. thermique [MWh/an] | Production biogaz [Nm ³ /an] | Incinération à 30% sic. production thermique [MWh/an] | Injection dans réseau gaz PCI [MWh/an] | CCF production électrique [MWh/an] | CCF production thermique [MWh/an] | Couverture 5% production électrique [MWh/an] |
| AIGLE | 11'765 | 909 | 16'973 | 787 | 472 | 311'652 | 671 | 1'995 | 623 | 1'091 | 250 |
| ALLAMAN | 14'120 | 853 | 20'370 | 1'025 | 615 | 405'900 | 874 | 2'598 | 812 | 1'421 | 390 |
| AVENCHES | 4'920 | 297 | 7'098 | 375 | 225 | 148'628 | 320 | 951 | 297 | 520 | 28 |
| ECHALLENS | 4'700 | 284 | 6'781 | 247 | 148 | 97'812 | 211 | 626 | 196 | 342 | 25 |
| GLAND | 26'200 | 2'024 | 37'798 | 1'467 | 880 | 580'932 | 1'251 | 3'718 | 1'162 | 2'033 | 416 |
| LAUSANNE | 195'760 | 20'828 | 282'416 | 8'931 | 5'359 | 3'536'726 | 7'618 | 22'635 | 7'073 | 12'379 | 700 |
| LUCENS | 9'130 | 552 | 15'445 | 1'054 | 632 | 417'384 | 899 | 2'671 | 835 | 1'461 | 400 |
| MORGES | 22'588 | 1'365 | 32'587 | 1'070 | 642 | 423'720 | 913 | 2'712 | 847 | 1'483 | 232 |
| ORBE | 5'000 | 302 | 7'213 | 393 | 236 | 155'628 | 335 | 996 | 311 | 545 | 88 |
| PAYERNE | 11'200 | 677 | 14'138 | 854 | 513 | 338'339 | 729 | 2'165 | 677 | 1'184 | 400 |
| PENTHAZ | 4'440 | 285 | 6'405 | 350 | 210 | 138'600 | 299 | 887 | 277 | 485 | 60 |
| PULLY | 5'600 | 780 | 8'079 | 655 | 393 | 259'380 | 559 | 1'660 | 519 | 908 | 50 |
| VILLENEUVE SIGE | 43'094 | 4'020 | 62'170 | 3'675 | 2'205 | 1'455'350 | 3'135 | 9'314 | 2'911 | 5'094 | 800 |
| COMMUGNY | 7'300 | 441 | 10'531 | 739 | 443 | 292'644 | 630 | 1'873 | 585 | 1'024 | 75 |
| LA SARRAZ | 3'141 | 190 | 4'532 | 213 | 128 | 84'200 | 181 | 539 | 168 | 295 | 100 |
| YVERDON | 17'153 | 1'037 | 24'746 | 1'519 | 911 | 601'524 | 1'296 | 3'850 | 1'203 | 2'105 | 150 |
| Total | 386'111 | 34'845 | 557'282 | 23'355 | 14'013 | 9'248'417 | 19'921 | 59'190 | 18'497 | 32'369 | 4'164 |

Annexe 8

Estimation des consommations et des potentiels à l'horizon 2035 pour les STEP maintenues

Les estimations des principales consommations d'énergie et des potentiels les plus importants à l'horizon 2035 sont données ci-dessous pour les STEP maintenues, selon les hypothèses prises aux chapitres 3.2.2.

| STEP | Filière eau | | | Filière boues | | | | Filière gaz | | | PV |
|----------------------|------------------------|-------------------|----------------------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| | Débit moyen | Conso. électrique | Rejets de chaleur production thermique | Production de boues | Digestion conso. thermique | Production biogaz | Incinération à 30% sic. production thermique | Injection dans réseau gaz PCI | CCF production électrique | CCF production thermique | Couverture 5% production électrique |
| | [m ³ /jour] | [MWh/an] | [MWh/an] | [tMS/an] | [MWh/an] | [Nm ³ /an] | [MWh/an] | [MWh/an] | [MWh/an] | [MWh/an] | [MWh/an] |
| BALLAIGUES | 487 | 88 | 733 | 29 | 14 | 8'348 | 7 | 53 | 17 | 29 | 8 |
| BALLENS | 376 | 65 | 513 | 44 | 22 | 12'797 | 11 | 82 | 26 | 45 | 7 |
| BAULMES | 604 | 99 | 825 | 25 | 12 | 7'203 | 6 | 46 | 14 | 25 | 15 |
| BERCHER II FOYRAUSAZ | 908 | 150 | 1'290 | 44 | 22 | 12'870 | 11 | 82 | 26 | 45 | 9 |
| BEX | 1'789 | 629 | 2'718 | 279 | 139 | 81'534 | 71 | 522 | 163 | 285 | 102 |
| BIERE | 1'905 | 179 | 2'294 | 49 | 25 | 14'381 | 13 | 92 | 29 | 50 | 25 |
| BIOLEY-MAGNOUX | 114 | 12 | 133 | 2 | 1 | 622 | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| BIOLEY-ORJULAZ | 771 | 216 | 1'043 | 84 | 42 | 24'570 | 21 | 157 | 49 | 86 | 14 |
| BOULENS | 135 | 31 | 209 | 15 | 8 | 4'448 | 4 | 28 | 9 | 16 | 4 |
| BOUSSENS | 226 | 54 | 334 | 23 | 12 | 6'764 | 6 | 43 | 14 | 24 | 4 |
| BREMBLENS | 1'483 | 381 | 2'181 | 163 | 81 | 47'653 | 42 | 305 | 95 | 167 | 40 |
| BRETIGNY-S.-MORRENS | 991 | 330 | 1'349 | 143 | 72 | 41'864 | 37 | 268 | 4 | 147 | 26 |
| CHATEAU-D'OEX | 2'216 | 161 | 2'885 | 131 | 65 | 38'269 | 33 | 245 | 77 | 134 | 30 |
| CHAVANNES-LE-CHENE | 51 | 43 | 77 | 4 | 2 | 1'060 | 1 | 7 | 2 | 4 | 4 |
| CHAVORNAY | 2'145 | 570 | 2'674 | 298 | 149 | 87'141 | 76 | 558 | 174 | 305 | 28 |
| COLOMBIER | 167 | 39 | 183 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| CORREVON | 991 | 0 | 1'349 | 2 | 1 | 670 | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| CRONAY | 86 | 22 | 113 | 5 | 3 | 1'463 | 1 | 9 | 3 | 5 | 4 |
| CROY | 694 | 122 | 829 | 23 | 12 | 6'728 | 6 | 43 | 13 | 24 | 10 |
| CUARNENS | 113 | 25 | 152 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| CUARNY | 41 | 38 | 58 | 1 | 1 | 402 | 0 | 3 | 1 | 1 | 4 |
| CUGY | 560 | 130 | 546 | 50 | 25 | 14'588 | 13 | 93 | 29 | 51 | 10 |
| CULLY | 1'798 | 349 | 2'563 | 169 | 84 | 49'286 | 43 | 315 | 99 | 173 | 25 |
| DAILLY | 38 | 44 | 54 | 2 | 1 | 488 | 0 | 3 | 1 | 2 | 4 |
| DENEZY | 36 | 24 | 53 | 3 | 2 | 914 | 1 | 6 | 2 | 3 | 4 |
| DONNELOYE | 96 | 18 | 117 | 4 | 2 | 1'158 | 1 | 7 | 2 | 4 | 4 |
| EPEDES | 186 | 84 | 265 | 12 | 6 | 3'510 | 3 | 22 | 7 | 12 | 6 |
| ESSERTINES | 123 | 61 | 172 | 17 | 9 | 5'082 | 4 | 33 | 10 | 18 | 4 |
| FIEZ | 172 | 42 | 253 | 14 | 7 | 3'961 | 3 | 25 | 8 | 14 | 4 |
| FOREL CHERCOTTAZ | 85 | 11 | 123 | 5 | 3 | 1'463 | 1 | 9 | 3 | 5 | 4 |
| FOREL PIGEON | 506 | 49 | 650 | 16 | 8 | 4'753 | 4 | 30 | 10 | 17 | 6 |
| GOSENS | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 731 | 1 | 5 | 1 | 3 | 4 |
| LA LECHERETTE | 97 | 49 | 104 | 6 | 3 | 1'889 | 2 | 12 | 4 | 7 | 4 |
| LE CHENIT | 230 | 25 | 322 | 100 | 50 | 29'287 | 26 | 187 | 59 | 103 | 50 |
| LE LIEU | 616 | 107 | 820 | 17 | 8 | 4'936 | 4 | 32 | 10 | 17 | 4 |
| LE PONT | 671 | 121 | 815 | 25 | 12 | 7'203 | 6 | 46 | 14 | 25 | 6 |
| LES BIOUX | 386 | 38 | 640 | 16 | 8 | 4'570 | 4 | 29 | 9 | 16 | 6 |
| L'ETIVAZ | 45 | 26 | 59 | 8 | 4 | 2'316 | 2 | 15 | 5 | 8 | 4 |
| LULLY-LUSSY | 362 | 35 | 461 | 45 | 22 | 13'016 | 11 | 83 | 26 | 46 | 8 |
| LUTRY | 3'508 | 413 | 5'306 | 268 | 134 | 78'427 | 69 | 502 | 157 | 274 | 60 |

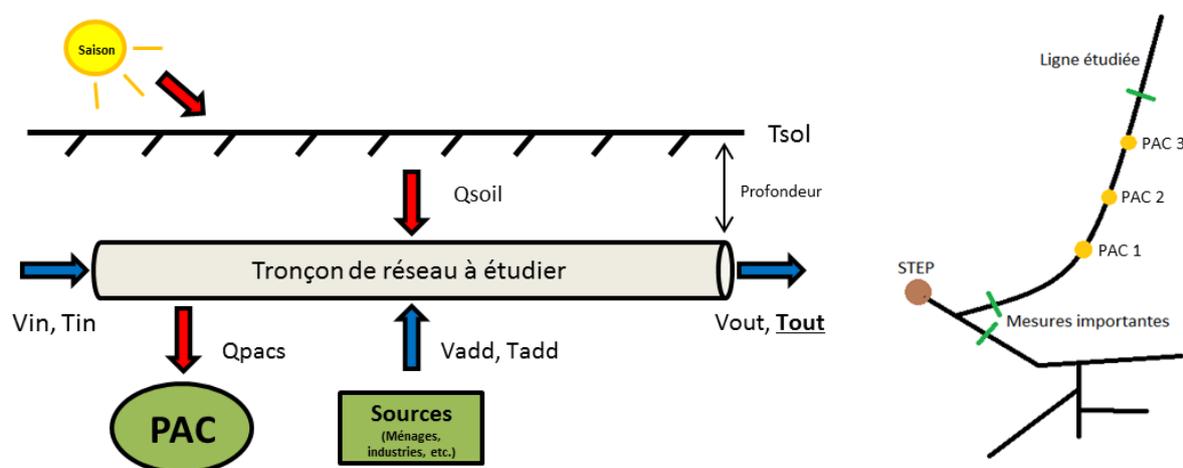
| STEP | Filière eau | | | Filière boues | | | | Filière gaz | | | PV |
|----------------------|------------------------|-------------------|----------------------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| | Débit moyen | Conso. électrique | Rejets de chaleur production thermique | Production de boues | Digestion conso. thermique | Production biogaz | Incineration à 30% sic. production thermique | Injection dans réseau gaz PCI | CCF production électrique | CCF production thermique | Couverture 5% production électrique |
| | [m ³ /jour] | [MWh/an] | [MWh/an] | [tMS/an] | [MWh/an] | [Nm ³ /an] | [MWh/an] | [MWh/an] | [MWh/an] | [MWh/an] | [MWh/an] |
| MARTHERENGENS | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 219 | 0 | 1 | 0 | 1 | 4 |
| MATHOD | 244 | 39 | 315 | 13 | 6 | 3'766 | 3 | 24 | 8 | 13 | 6 |
| MOLONDIN | 69 | 33 | 98 | 3 | 2 | 878 | 1 | 6 | 2 | 3 | 4 |
| MONTAUBION-CHARD. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| MONTRICHER | 205 | 112 | 329 | 100 | 50 | 29'372 | 26 | 188 | 59 | 103 | 6 |
| MORRENS-MEBRE | 134 | 41 | 145 | 2 | 1 | 585 | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| MUTRUX | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 183 | 0 | 1 | 0 | 1 | 4 |
| OGENS | 62 | 25 | 99 | 4 | 2 | 1'280 | 1 | 8 | 3 | 4 | 4 |
| OPPENS | 52 | 33 | 59 | 4 | 2 | 1'133 | 1 | 7 | 2 | 4 | 4 |
| ORMONT-D. FORCLAZ | 10 | 38 | 15 | 4 | 2 | 1'243 | 1 | 8 | 2 | 4 | 4 |
| ORMONT-D. SEPEY | 576 | 64 | 814 | 22 | 11 | 6'508 | 6 | 42 | 13 | 23 | 12 |
| ORMONT-D. DIABLERETS | 1'478 | 33 | 2'149 | 35 | 18 | 10'311 | 9 | 66 | 21 | 36 | 30 |
| ORZENS | 68 | 32 | 77 | 5 | 2 | 1'389 | 1 | 9 | 3 | 5 | 4 |
| PEYRES-POSSENS | 227 | 32 | 339 | 11 | 5 | 3'169 | 3 | 20 | 6 | 11 | 4 |
| POLIEZ-PITTET | 165 | 30 | 227 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| PRAHINS | 42 | 24 | 62 | 2 | 1 | 548 | 0 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| PROVENCE | 214 | 54 | 212 | 19 | 9 | 5'545 | 5 | 35 | 11 | 19 | 4 |
| ROSSINIÈRE | 148 | 32 | 179 | 9 | 4 | 2'559 | 2 | 16 | 5 | 9 | 4 |
| ROSSINIÈRE LA TINE | 11 | 20 | 6 | 1 | 1 | 366 | 0 | 2 | 1 | 1 | 4 |
| ROUGEMONT-FLENDRUZ | 173 | 22 | 165 | 5 | 3 | 1'463 | 1 | 9 | 3 | 5 | 4 |
| ROVRAY | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 622 | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| SAINT-CIERGES | 117 | 27 | 165 | 16 | 8 | 4'814 | 4 | 31 | 10 | 17 | 4 |
| SAINTE-CROIX | 2'561 | 172 | 2'564 | 139 | 69 | 40'584 | 36 | 260 | 81 | 142 | 48 |
| SAINTE-CROIX AUB. | 113 | 51 | 134 | 65 | 32 | 18'891 | 17 | 121 | 38 | 66 | 6 |
| SAVIGNY PRA CHARBON | 1'385 | 334 | 1'578 | 101 | 51 | 29'543 | 26 | 189 | 59 | 103 | 18 |
| SENARCLENS | 361 | 36 | 486 | 12 | 6 | 3'437 | 3 | 22 | 7 | 12 | 4 |
| SERVION | 886 | 75 | 1'069 | 46 | 23 | 13'345 | 12 | 85 | 27 | 47 | 12 |
| SEVERY-PAMPIGNY | 357 | 90 | 482 | 30 | 15 | 8'812 | 8 | 56 | 18 | 31 | 8 |
| SOTTENS | 199 | 83 | 312 | 16 | 8 | 4'790 | 4 | 31 | 10 | 17 | 5 |
| THIERRENS | 193 | 35 | 277 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| VALEYRES-S.-URSINS | 70 | 28 | 97 | 10 | 5 | 2'864 | 3 | 18 | 6 | 10 | 4 |
| VALLORBE | 2'168 | 237 | 3'623 | 126 | 63 | 36'867 | 32 | 236 | 74 | 129 | 30 |
| VAULION | 454 | 63 | 676 | 18 | 9 | 5'119 | 4 | 33 | 10 | 18 | 4 |
| VILLARS-S.-CHAMPVENT | 225 | 25 | 330 | 5 | 3 | 1'463 | 1 | 9 | 3 | 5 | 4 |
| VILLARS-TIERCELIN | 63 | 18 | 88 | 5 | 3 | 1'463 | 1 | 9 | 3 | 5 | 4 |
| VUARRENS | 238 | 56 | 339 | 24 | 12 | 7'057 | 6 | 45 | 14 | 25 | 6 |
| VUGELLES-LA-MOTHE | 55 | 17 | 68 | 4 | 2 | 1'280 | 1 | 8 | 3 | 4 | 4 |
| VUITEBOEUF-PENEY | 78 | 0 | 104 | 8 | 4 | 2'255 | 2 | 14 | 5 | 8 | 4 |
| VULLIERENS | 294 | 168 | 436 | 7 | 4 | 2'048 | 2 | 13 | 4 | 7 | 4 |
| Total | 39'500 | 7'063 | 53'385 | 3'016 | 1'508 | 882'131 | 772 | 5'646 | 1'684 | 3'087 | 865 |

Annexe 9

Valorisation des rejets de chaleur sur les eaux usées

Les rejets de chaleur contenus dans le flux d'eau épuré (chaleur fatale) peuvent être valorisés par le biais d'installation de pompes à chaleur (PAC) en sortie de STEP. Cette option doit être privilégiée, afin de valoriser le débit important en sortie de STEP et de ne pas perturber les processus de la STEP.

Les rejets de chaleur peuvent également être valorisés en amont de la STEP, dans les différentes branches des réseaux. Même si les débits sont plus faibles, cette valorisation reste tout de même intéressante. Dans les réseaux primaires, le débit est déjà assez haut et il peut y avoir potentiellement davantage de preneurs de chaleur qu'aux alentours des STEP. Toutefois, le risque de tels projets est qu'un prélèvement excessif de chaleur fasse diminuer la température de l'eau en entrée des STEP, de sorte que cela pourrait compromettre le traitement biologique. Pour éviter ce risque, des études de modélisation des parties du réseau concernées peuvent être effectuées (figure ci-dessous).



Schémas illustrant les paramètres d'une étude de faisabilité d'un projet de récupération de chaleur fatale en amont de la STEP.

Annexe 10

Description de projets pilotes

Récupération du phosphore en phase liquide

L'ordonnance sur les déchets (OLED, 15 Décembre 2015), prévoit l'obligation de récupérer le phosphore contenu dans eaux usées à partir du 1er janvier 2026. Bien qu'il puisse y avoir des technologies de récupération en phase liquide prometteuses, l'option préférée en Suisse semble être la valorisation à partir des cendres issues de la mono-incinération des boues dans des fours dédiés (Voir [5], Chapitre 7.3.2.).

Toutefois, les technologies de récupération en phase liquide se développent. Outre la récupération de matière, elles peuvent diminuer le besoin de produits chimiques pour la précipitation dans la ligne principale, qui ont un impact important sur les coûts d'exploitation. L'évolution des technologies de récupération en phase liquide devrait donc être suivie, et, dans des cas prometteurs, des projets pilotes devraient émerger.

L'état de l'art des technologies concernant la récupération de phosphore sont documentées dans une publication de l'OFEV [14] (en allemand, un résumé est disponible en français).

Récupération et valorisation de l'azote

La STEP d'Yverdon-les-Bains a mis en place un procédé d'élimination de l'ammonium par stripping membranaire sur les concentrats (voir [15], p.30-34). Un engrais est ensuite fabriqué à partir de cet ammonium, qui est utilisé pour l'agriculture locale.

Procédés de traitement biologique plus efficaces énergétiquement

La technologie de boues granulaires est en train de se développer (voir [15], p.40-45). Bien qu'elle soit encore généralement difficile à maîtriser, elle promet des taux de dégradation plus élevés, et donc, une technologie d'épuration plus compacte et moins gourmande en énergie.

Systèmes de contrôle variables

Les caractéristiques de l'eau qui arrive aux STEP ne sont pas constantes. L'on y trouve des tendances journalières, hebdomadaires, et saisonnières, ainsi que des fortes perturbations de dilution après des épisodes de pluie. Ces caractéristiques sont, principalement : le débit volumique, la température, la demande chimique d'oxygène, l'azote, et le phosphore.

Les systèmes de contrôle traditionnels fixent les valeurs des consignes en fonction des bonnes pratiques en base à des valeurs de charges moyennes. La variabilité de l'influent n'étant pas maîtrisée, les équipements sont réglés avec des valeurs de consigne fixes très conservatrices. C'est-à-dire, beaucoup d'énergie est dépensée pour garantir que n'importe quel type d'eau arrivant à la STEP va être bien traité. Plus la STEP est en dessous de sa charge de dimensionnement, plus la perte en efficacité est grande, puisque les installations et les consignes d'opération sont prévues pour traiter la charge de dimensionnement.

A la différence des systèmes de contrôle traditionnels, les systèmes de contrôle variables permettent d'adapter le fonctionnement de la STEP aux charges qui arrivent à chaque moment. Un fonctionnement adapté aux charges assure une consommation d'électricité minimale au même temps que le respect de la qualité de l'eau en sortie [4]. Afin d'optimiser l'efficacité des STEP en utilisant un système de contrôle variable, il est nécessaire dans un premier temps de connaître les caractéristiques de l'influent, soit par la mise en place de capteurs en ligne, soit par une campagne de mesures suivie de la calibration d'un modèle. Un système d'aide à la décision ou un système de contrôle avancé peut ensuite être implémenté.

Procédés annamox pour le traitement des retours en tête

Le procédé « annamox » (anaerobic ammonium oxidation) est un procédé utilisé pour traiter l'azote contenu dans les retours de digestion des boues d'épuration. S'il est bien maîtrisé, il peut réduire considérablement l'énergie à dépenser pour l'élimination de l'azote par rapport aux procédés de nitrification et dénitrification

conventionnels ([15], p.22-28). La technologie a récemment été implémentée à l'échelle industrielle et elle est prometteuse.

Gazéification hydrothermale

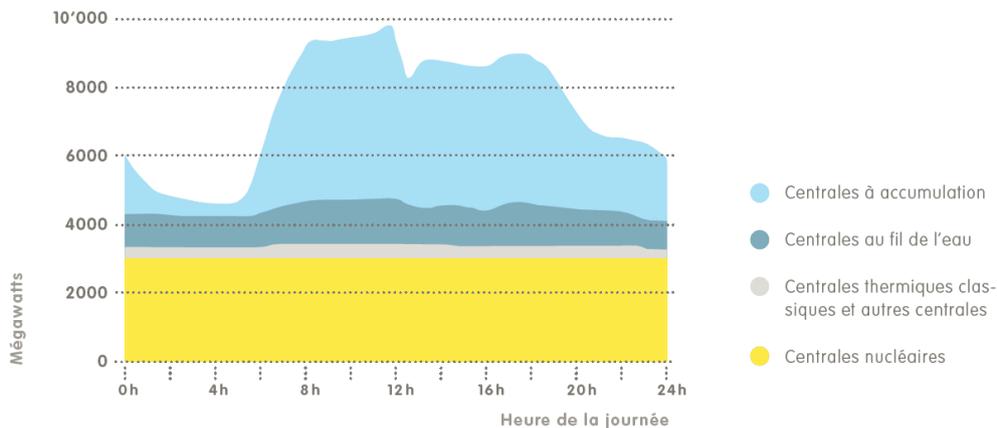
Cette technologie est une alternative à la méthanisation. Elle demande d'amener les boues déshydratées à une température et une pression très élevés. La technologie est encore en phase de recherche et développement, et les coûts ne sont pas suffisamment maîtrisés pour être rentables, mais à l'avenir elle pourrait devenir une alternative à la méthanisation.

Pile à combustible (cogénération)

Dans une pile à combustible, l'énergie chimique contenue dans le gaz combustible est convertie directement en travail électrique et en chaleur ([3], chapitre 6.4.2). Elles doivent donc en théorie offrir un meilleur rendement électrique que la cogénération. Pour être utilisé dans une pile à combustible, le biogaz doit tout d'abord être purifié. Un projet de recherche européen, BIOCELL²³, vise à démontrer la viabilité technique de la production d'énergie à partir de biogaz à travers des piles à combustible dans les STEP. Une possibilité est de transformer dans un premier temps le biogaz en hydrogène. Dans un deuxième temps, l'hydrogène alimente les piles à combustibles qui produisent à la fois de l'électricité et de la chaleur. Le projet a montré que cette technologie permettrait de couvrir jusqu'à 60-70% des besoins électriques d'une STEP. Bien que la technologie soit actuellement trop coûteuse, les perspectives montrent que les piles à combustible pourraient à moyen terme concurrencer les technologies de cogénération conventionnelles.

Rôle de stockage d'électricité des STEP

La part d'électricité issue d'agents énergétiques renouvelables comme l'énergie solaire ou éolienne étant encore peu importante en Suisse, les fluctuations de charge peuvent encore être compensées par les centrales hydroélectriques (centrales à accumulation, voir figure ci-dessous), et par le commerce d'électricité.

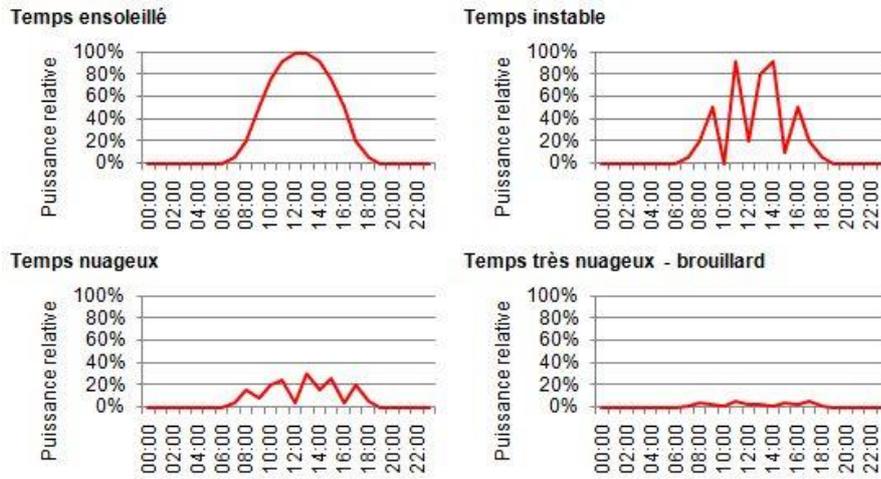


Déroulement journalier de la production / demande d'électricité. Source : Association des entreprises électriques suisses

A l'avenir, si ces agents énergétiques prennent de l'importance, des nouvelles solutions de stockage devront se mettre en place pour répondre à la variabilité de leur production (voir figure ci-dessous). Les STEP devraient pouvoir contribuer à cette régulation. Une grande partie de l'électricité consommée par la STEP (environ 60%) correspond aux surpresseurs qui fournissent de l'air au système d'aération. Avec un système de contrôle avancé basé sur des modèles et connecté à un réseau électrique intelligent (smart grid), le temps d'activation des

²³ <http://www.life-biocell.eu/>

surpresseurs pourrait être adapté à la disponibilité instantanée d'électricité sur le réseau. De plus, un système complémentaire de stockage d'air comprimé permettrait de faire du stockage supplémentaire.



Production d'électricité d'une installation photovoltaïque en fonction des conditions météorologiques. Source : www.societe-mont-soleil.ch