

# Efficacité des ressources dans les STEP

Analyse des potentiels et conditions-cadres pour  
une augmentation de l'utilisation des ressources



# Sommaire

<b>01</b>	<b>INTRODUCTION</b>	
	Situation de départ	5
	Définition des objectifs	5
<b>02</b>	<b>MÉTHODOLOGIE</b>	
	Cadre d'analyse	7
	Démarche	8
<b>03</b>	<b>POTENTIELS ET CONDITIONS-CADRES</b>	
	Structure du chapitre	11
	Utilisation des ressources STEP/Infographie	12
	Conditions-cadres	14
	<b>ÉNERGIE</b>	
E01	Efficacité électrique	16
	Synthèse partielle efficacité électrique	20
E02	Récupération de chaleur STEP	22
	Synthèse partielle récupération de chaleur STEP	24
E03	Désintégration des boues d'épuration	26
E04	Fermentation des cosubstrats	28
E05	Post-digestion	30
E06	Production d'électricité à partir du gaz de digestion dans la centrale CCF	32
E07	Transformation du gaz de digestion en gaz naturel	34
E08	Utilisation de la chaleur entrée	36
E09	Utilisation de la chaleur sortie	38
E10	Petite centrale hydraulique alimentation entrée et sortie	40
E11	Photovoltaïque	42
	Synthèse partielle production d'énergie	44
	<b>AZOTE</b>	
N01	Stripping de l'azote	46
	Synthèse partielle azote	48
	<b>PHOSPHORE</b>	
P01	Récupération chimique du phosphore par voie humide à partir de l'eau putride	50
P02	Récupération chimique du phosphore par voie humide à partir des boues digérées	54
P03	Récupération chimique du phosphore par voie humide à partir de cendres	56
P04	Récupération du phosphore des cendres par un procédé thermochimique	58
	Synthèse partielle du phosphore	60
	Vue d'ensemble de l'utilisation actuelle et du potentiel	62
	Interdépendances des technologies	64
<b>04</b>	<b>NÉCESSITÉ D' ACTIONS POLITIQUES</b>	66
<b>05</b>	<b>CONCLUSIONS</b>	72
	Bibliographie	76

## Mentions légales

### Mandant

Association suisse des professionnels de la protection des eaux VSA en coopération avec l'Office fédéral de l'environnement OFEV

### Mandataire

Ernst Basler + Partner AG  
Zollikerstrasse 65  
8702 Zollikon  
Téléphone +41 44 395 11 11  
www.ebp.ch

### Équipe de projet

Andy Spörri  
Reto Bühler  
Ivo Fölmli

### Groupe de suivi

Christian Abegglen, ERZ/VSA  
Hélène Blény, OFEV  
Christoph Hugi, FHNW  
Anders Nättorp, FHNW  
Michael Schärer, OFEV  
Christoph Streun, STEP Worblental  
Jan Suter, OED Berne  
Thomas Wintgens, FHNW  
Pascal Wunderlin, Eawag

### Conception

Ernst Basler + Partner AG  
Communication  
www.ebp-kommunikation.ch

© Décembre 2015

# 01 INTRODUCTION

## Situation de départ

Le plan d'action Économie Verte adopté en 2013 par le Conseil fédéral a défini les orientations pour la mise en œuvre d'industries extractives suisses fondées sur une gestion efficiente des ressources. L'objectif est de minimiser les émissions nocives pendant toute la durée de vie des produits et d'assurer la disponibilité des matières premières pour les générations futures. La réalisation de cet objectif ambitieux repose sur un dispositif de 27 mesures qui s'articulent autour de quatre priorités. Celles-ci comprennent entre autres l'amélioration de l'efficacité des ressources dans l'industrie, une alimentation ménageant les ressources, des informations cohérentes sur l'impact environnemental des produits à l'attention des consommateurs, la sécurité de l'approvisionnement en matériaux critiques en allant jusqu'à la fermeture de cycles de matières. Dans ce cadre, l'utilisation de potentiels de ressources non épuisés revêt une importance capitale.

Lors de la transition énergétique, il convient de mettre en œuvre l'abandon progressif de la production d'énergie atomique avant de passer finalement à un approvisionnement énergétique totalement renouvelable, l'objectif étant de créer un approvisionnement fiable, concurrentiel, indépendant et respectueux de l'environnement. Il est basé sur un ensemble de mesures visant à optimiser l'interaction de la production et du stockage de l'énergie, ainsi que des réseaux et de la consommation énergétiques.

Le succès de la mise en œuvre de ces deux objectifs prépondérants requiert la planification et la réalisation coordonnées de mesures dans les secteurs et les systèmes d'infrastructure les plus divers (p. ex industrie, systèmes d'évacuation) afin de promouvoir l'efficacité des ressources ainsi que l'efficacité énergétique et la production d'énergie renouvelable.

L'épuration des eaux usées en Suisse joue également un rôle non négligeable. En Suisse, environ 900 STEP recèlent un potentiel ouvert d'amélioration de l'efficacité énergétique et de la production d'électricité et de chaleur à partir de ressources renouvelables. Par ailleurs, les STEP reçoivent avec les eaux usées brutes de grandes quantités de nutriments (principalement phosphore, azote) dont l'exploitation recèle un vaste potentiel en matière d'efficacité des ressources. Un inventaire global des potentiels, de leur faisabilité et des conditions-cadres ayant une influence, est une condition sine qua non pour promouvoir une exploitation accrue des ressources issues des eaux usées, de manière ciblée via des mesures de régulation et dans le cadre de ce qui est faisable techniquement/économiquement et acceptable socialement.

## Définition des objectifs

Dans le contexte de la situation de départ décrite ci-avant, le présent projet examine la question prépondérante de la contribution potentielle de l'épuration des eaux usées en Suisse à un approvisionnement énergétique / une gestion des ressources durables en Suisse. Des bases décisionnelles politiques sont élaborées pour promouvoir de manière ciblée l'efficacité des ressources de l'épuration des eaux usées en Suisse et apporter une contribution à l'économie verte.

### **Dans ce cadre, les objectifs spécifiques suivants sont abordés:**

- Aperçu de l'utilisation actuelle des ressources et potentiels d'amélioration réalisables à court et à moyen terme.
- Évaluation des approches pour une utilisation accrue des ressources (au niveau technique, économique, et du fonctionnement de la STEP).
- Aperçu sur les conditions-cadres réglementaires existantes de l'utilisation des ressources et identification des domaines nécessitant des actions politiques, voire une réglementation.
- Développement de propositions pour des adaptations réglementaires en matière de législation relative à la protection des eaux afin d'encourager la réalisation des potentiels.

# 02 MÉTHODOLOGIE

## Cadre d'analyse

Pour répondre aux questions formulées en introduction, diverses délimitations de l'objet de l'étude sont envisageables. Les différents aspects du cadre d'analyse établi dans le présent projet sont décrits ci-après.

### DIMENSION GÉOGRAPHIQUE

Le projet s'inscrit dans une perspective à l'échelle de toute la Suisse, ce qui signifie que l'évaluation des potentiels d'amélioration de l'utilisation des ressources prend en compte les processus et les flux de ressources qui sont en relation avec l'épuration des eaux usées brutes en Suisse (env. 1,5 million de m<sup>3</sup>).

### HORIZON TEMPOREL

L'état des lieux relatif à la contribution possible de l'épuration des eaux usées pour une économie verte se situe dans une perspective à moyen terme. En concertation avec le mandant, l'horizon temporel a été fixé à l'année 2030. Ceci entraîne des implications sur la délimitation du système d'évacuation des eaux usées et sur les technologies envisagées qui entrent en ligne de compte pour l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des ressources.

### SYSTÈME D'ÉVACUATION DES EAUX USÉES

Le projet prend en compte tous les processus qui se déroulent dans les STEP et sur lesquels sont basés l'épuration des eaux usées brutes ainsi que le traitement des boues ainsi générées. Mais les considérations dépassent le cadre des STEP et prennent aussi en compte des options d'amélioration de l'efficacité d'utilisation des ressources en amont comme en aval des effluents et des rejets ainsi que le traitement ultérieur des boues d'épuration dans la gestion des déchets. Les approches décentralisées en matière de sources d'eaux usées (à savoir dans les foyers avant le déversement dans les égouts) comme par exemple la séparation de l'eau jaune et de l'eau marron ou l'élimination d'eaux parasites par des adaptations appropriées du réseau d'égouts, et des capacités des STEP ne sont pas prises en considération, car leur réalisation nécessite une transformation fondamentale du système et ne peuvent pas être mises en œuvre dans un délai à moyen terme (2030).

### RESSOURCES

Sont prises en compte les ressources «Énergie» (électricité, chaleur, combustibles) ainsi que les principaux nutriments contenus dans les eaux usées (phosphore, azote). L'analyse ne porte pas sur l'utilisation efficace de la ressource «Eau», car en Suisse, cet aspect est d'une importance plutôt secondaire comparativement à d'autres pays.

### TECHNOLOGIES

Le choix des technologies à prendre en compte s'appuie sur le travail préparatoire de la FHNW (2014) qui a élaboré une combinaison de stratégies pour améliorer l'efficacité des ressources au niveau des STEP. Dans la présente étude, ces mêmes technologies font l'objet d'une analyse plus approfondie, à l'exception de celles qui:

- Visent exclusivement à améliorer l'élimination des polluants sans contribuer à augmenter l'utilisation des ressources (p. ex. filtration sur charbon actif ou ozonation pour éliminer les micropolluants).
- Semblent ne pas pouvoir être largement implémentées dans le laps de temps envisagé en raison de leur maturité technologique (niveau de développement) insuffisante.

Les technologies visant à améliorer l'efficacité des ressources se répartissent dans les domaines suivants:

- Efficience énergétique
- Production d'énergie
- Récupération des nutriments dans les STEP (N, P)
- Récupération des nutriments dans le secteur de la gestion des déchets (P)

Vous trouverez une vue d'ensemble du système d'évacuation des eaux usées analysé et des technologies prises en compte dans l'infographie aux [pages 12/13](#).

# Démarche

## APERÇU DES TROIS MODULES DU PROJET

MODULE	ÉTAPES DE TRAVAIL	RÉSULTAT PRINCIPAL
1. Analyse des potentiels de ressources	1.1 Analyse statu quo	Potentiels de ressources évalués en matière de faisabilité pour toutes les technologies, analyse des liens de dépendance et des conflits d'objectif.
	1.2 Analyse de potentiel	
	1.3 Évaluation de la faisabilité	
2. Impact des conditions-cadres	2.1 Identification des facteurs d'influence	Éviter les vides réglementaires et les mesures dissuasives qui empêchent la pleine utilisation des potentiels de ressources.
	2.2 Analyse d'impact	
3. Nécessité d'actions politiques	3.1 Évaluation des besoins en matière de réglementation	Propositions d'adaptation réglementaire visant à promouvoir l'exploitation complète des potentiels de ressources.
	3.2 Adaptations juridiques	

### 1. Analyse des potentiels de ressources

L'élaboration du projet se compose de trois modules hiérarchisés. Les procédures correspondantes et les connaissances fondamentales acquises permettant de répondre aux principales questions sont récapitulées dans le tableau.


Le premier module poursuivait deux objectifs partiels. En premier lieu, pour toutes les technologies envisagées visant à améliorer l'utilisation des ressources dans le cadre de l'épuration des eaux usées, il convient d'évaluer l'utilisation actuelle (1.1) ainsi que le potentiel théoriquement encore réalisable à moyen terme, autrement dit ouvert (1.2). Ces deux étapes ont été menées sur la base de la littérature/des études existantes sur les différentes technologies, des fiches d'information de la FHNW et d'un échange en fonction des besoins avec des experts sélectionnés (groupe de suivi, autres) L'évaluation des potentiels portait - si possible en fonction de la disponibilité d'informations - sur le potentiel encore ouvert, c'est-à-dire sur la part de potentiel théorique utilisable compte tenu de restrictions techniques données (pour plus de détail, cf. OFEN 2007) et non encore épuisé aujourd'hui. D'autres aspects qui influent sur le potentiel effectivement exploitable (p. ex rentabilité, impact sur le fonctionnement de la STEP, sens écologique global) ont été ignorés dans cette étape.


En complément, les potentiels de ressources liés aux technologies analysées doivent être évalués en fonction de leur faisabilité (1.3). L'évaluation a été effectuée sur la base de trois critères d'appréciation préétablis qui couvrent les différents aspects déterminants pour la mise en œuvre. L'éva-


luation de ces trois critères a été faite à l'aide d'une échelle ordinaire allant de 1 à 3 (lorsqu'il n'était pas possible de choisir une graduation de manière univoque, deux niveaux intermédiaires ont été pris en compte pour l'évaluation). Dans la mesure où la faisabilité dépend fortement de la taille de la STEP, il a été tenu compte de cet aspect dans l'appréciation.

#### FAISABILITÉ TECHNIQUE

Stade de développement (degré de maturité) du procédé technique. L'évaluation a été effectuée en se référant aux échelles du «technology readiness level», tout en intégrant de surcroît l'aspect du potentiel de développement encore ouvert (technological learning):


 mise en œuvre de prototypes /d'installations expérimentales de taille industrielle (également à l'étranger) ; potentiel de développement à moyen terme relativement faible sur la base de l'expérience initiale acquise.


 Technologie qualifiée avec justification de la mise en œuvre réussie sans difficultés notables, existence d'un potentiel de développement jusqu'à la commercialisation à moyen terme.

 Technologie fiable et éprouvée, utilisée depuis plusieurs années.

#### RENTABILITÉ

Rentabilité de la technologie dans le paysage suisse des STEP. L'évaluation a été effectuée en fonction de l'échelle suivante:


 La rentabilité n'est assurée ni aujourd'hui, ni même à moyen terme malgré les développements prévisibles.


 La rentabilité est assurée pour les STEP de grande taille, ou possible à moyen terme malgré les développements possibles.


 La rentabilité est assurée indépendamment de la STEP.

#### IMPACT SUR LE FONCTIONNEMENT DES STEP

Dégradation ou adaptations du fonctionnement de la STEP dues à l'utilisation d'une nouvelle technologie, ainsi que restrictions de mise en œuvre liées à l'exploitation. Sont pris en compte des aspects tels que l'espace nécessaire, les coûts de fonctionnement et de maintenance, l'expertise requise, ainsi que la compatibilité avec la configuration existante de la STEP.

 Adaptations soit impossibles à réaliser, soit nécessitant des efforts disproportionnés pour l'exploitation de la STEP.

 Intégrable dans le fonctionnement actuel de la STEP (surtout pour les grandes installations).

 Intégrable sans problème dans la configuration existante de la STEP, ou implémentation réalisée hors de la STEP, donc sans impact sur son fonctionnement.

Du fait que les trois étapes de travail précédemment décrites reposent sur une réflexion spécifiquement technologique, la compatibilité entre les diverses technologies est également prise en considération. Ce volet s'est basé sur une analyse croisée effectuée par l'équipe de base.

Échelle d'évaluation:

- ++** Les deux technologies sont complémentaires
- +** La combinaison des deux technologies est judicieuse
- 0** Les deux technologies sont indépendantes l'une de l'autre
- La combinaison des deux technologies est peu judicieuse
- Les deux technologies s'excluent mutuellement

En outre, l'analyse a décelé des conflits entre les objectifs partiels de politique environnementale. Le souci prioritaire ici était le compromis entre une augmentation de l'utilisation des ressources et la préoccupation fondamentale de l'épuration des eaux usées, à savoir la «protection des eaux contre les altérations».

### 2. Impacts des conditions-cadres

Le deuxième module visait à évaluer l'effet incitatif ou dissuasif des conditions-cadres actuelles ou prévisibles dans le futur sur la réalisation des potentiels technologiques identifiés. Dans un premier temps furent élaborés divers facteurs d'influence exerçant un effet incitatif et/ou dissuasif sur la mise en œuvre des technologies (2.1). Les conditions-cadres réglementaires furent notamment au cœur des préoccupations. Furent en outre également pris en compte les facteurs socio-économiques jouant un rôle important en ce qui concerne les structures financières incitatives ou les aspects liés aux comportements. Sur cette base, chaque facteur d'influence a été évalué en fonction de son impact sur la pleine utilisation du potentiel de chaque technologie (2.2).

L'évaluation de l'impact sur la pleine exploitation du potentiel a été faite à l'aide de l'échelle ordinaire suivante allant de 1 à 5:

- ++** Effet fortement incitatif ou contraignant
- +** Effet faiblement incitatif
- 0** Aucun effet
- Effet faiblement dissuasif
- Effet fortement dissuasif, voire réhibitoire

Les résultats des deux premiers modules sont récapitulés de manière claire dans les fiches d'information spécifiques technologie (cf. chapitre 3)

### 3. Nécessité d'actions politiques

Sur la base des résultats des deux premiers modules, des propositions d'adaptations dans la législation sur la protection des eaux ont été élaborées dans le troisième module afin de favoriser une amélioration de l'utilisation des ressources, respectivement la pleine exploitation des potentiels de ressources. Dans un premier temps, le besoin d'ajustements juridiques ou développements ultérieurs a été identifié, et le contenu des axes prioritaires déterminé (3.1). Cette étape a été menée dans les domaines où les potentiels de ressources inexploités sont présents (voir module 1), et où l'évaluation des impacts effectuée dans le module 2 a montré que les réglementations existantes interfèrent ou sont insuffisantes. Sur cette base, les orientations élaborées ont été discutées au cours d'une séance de travail avec des juristes de l'OFEV et une proposition concrète d'adaptation de la législation sur la protection des eaux a été développée (3.2).

# 03

## POTENTIELS ET CONDITIONS CADRES

### Structure du chapitre

Les résultats de l'étude sont illustrés dans ce chapitre. Du fait que le canevas des modules de travail précédemment décrits était différente, la structure du chapitre fait l'objet ci-après d'une brève introduction. Les résultats se subdivisent en principe en deux sous-chapitres. Le premier présente les résultats des deux premiers modules de projet, et il est organisé comme suit:

#### **SYSTÈME D'ÉVACUATION DES EAUX USÉES ÉTUDIÉ**

PAGE 12

Infographie de deux pages pour illustrer le système d'évacuation des eaux usées étudié, incluant la localisation de toutes les technologies prises en compte dans l'étude qui visent à améliorer l'utilisation des ressources.

#### **VUE D'ENSEMBLE DES CONDITIONS-CADRES**

PAGE 14

Tableau récapitulatif de toutes les conditions-cadres ayant un impact sur l'utilisation des ressources dans le système d'évacuation des eaux usées considéré (accompagnées de courts descriptifs).

#### **FICHES D'INFORMATION TECHNOLOGIE**

PAGE 16 À 61

Les fiches d'information Technologie constituent le noyau central des résultats et se divisent en cinq catégories.

#### **Catégories de ressources:**

- Efficacité électrique
- Récupération de chaleur au niveau des STEP
- Production d'énergie
- Récupération de l'azote
- Récupération du phosphore

Pour chaque catégorie, les principaux enseignements de l'étude sont résumés dans une brève synthèse partielle en prenant en compte toutes les technologies qui y sont abordées.

Les différentes fiches d'information résument pour chacune des technologies considérées les résultats issus des deux premiers modules de travail et sont construites comme suit:

#### **Structure du contenu:**

- Bref descriptif de la technologie
- Informations sur l'utilisation actuelle et sur les potentiels à moyen terme
- Évaluation de la faisabilité
- Présentations des dépendances technologiques et des conflits d'objectifs
- Évaluation de l'impact des conditions-cadres sur la mise en œuvre de la technologie

#### **UTILISATION ACTUELLE, POTENTIELS ET FAISABILITÉ EN BREF**

PAGE 62

Une infographie de deux pages qui résume de manière claire et concise pour toutes les technologies leur utilisation actuelle, les potentiels à moyen terme ainsi que l'évaluation de leur faisabilité.

#### **COMPATIBILITÉ ENTRE LES TECHNOLOGIES**

PAGE 64

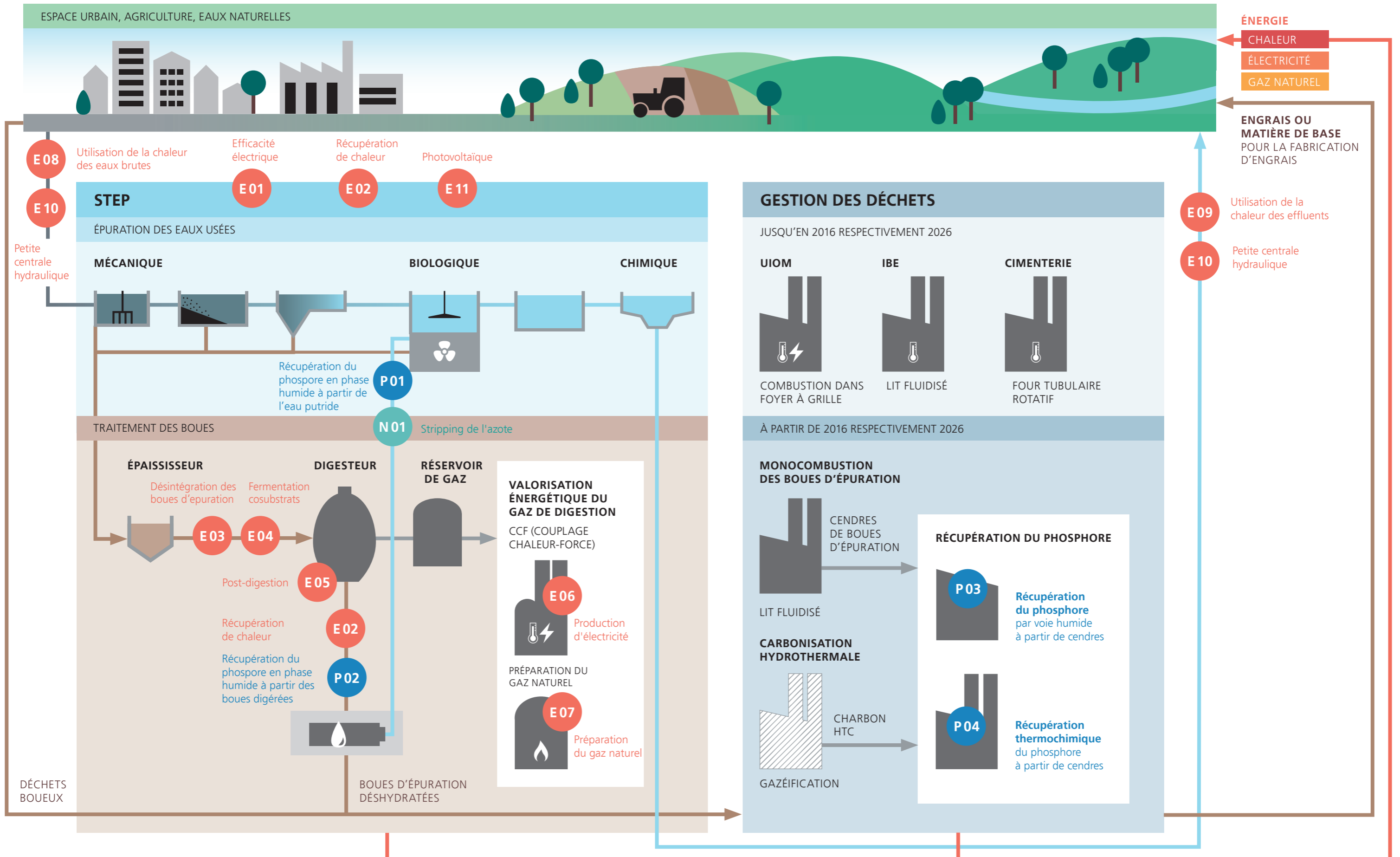
Vue d'ensemble de deux pages avec une évaluation de la compatibilité entre les technologies.

# Système d'évacuation des eaux usées étudié

## TECHNOLOGIE POUR UNE AMÉLIORATION DE L'UTILISATION DES RESSOURCES

E01-E02 > EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE  
E03-E11 > PRODUCTION D'ÉNERGIE

N01 > RÉCUPÉRATION DE L'AZOTE  
P01-P04 > RÉCUPÉRATION DU PHOSPHORE



## Conditions-cadres

### FACTEURS D'INFLUENCE RÉGLEMENTAIRES

FACTEURS D'INFLUENCE	BRÈVES DESCRIPTIONS
<b>Loi sur le CO<sub>2</sub></b> incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub>	La loi fédérale sur la réduction des émissions de CO <sub>2</sub> (en abrégé: loi sur le CO <sub>2</sub> ) définit des objectifs contraignants en matière de réduction des gaz à effet de serre. L'objectif de la loi est de réduire les émissions de CO <sub>2</sub> de 20 % par rapport à 1990 d'ici l'année 2020. La loi comporte une série de mesures politiques de la Confédération ainsi que des mesures volontaires prises par les entreprises et les ménages. L'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> précise les dispositions de la loi sur le CO <sub>2</sub> .
<b>Loi sur l'énergie</b> (LEne), incl. l'ordonnance sur l'énergie, (OEne)	La loi sur l'énergie vise à contribuer à un approvisionnement énergétique suffisant, largement diversifié, sûr, économique et compatible avec les impératifs de la protection de l'environnement. L'utilisation de l'énergie doit être économe et rationnelle et les énergies indigènes et renouvelables doivent être encouragées. En outre, l'objectif est une mise en œuvre optimale de l'énergie, avec un haut degré d'efficacité, et d'exploiter les rejets de chaleur utilisables. L'ordonnance sur l'énergie concrétise les dispositions de la loi sur l'énergie.
<b>L'ordonnance sur l'imposition des huiles minérales</b> Oimpmin	L'impôt sur les huiles minérales est un impôt spécial que la Confédération perçoit sur la consommation des huiles minérales. La confédération prélève cet impôt sur le pétrole, les autres huiles minérales, le gaz naturel, et les produits résultant de leur transformation ainsi que sur les carburants. En outre, ces derniers sont soumis de surcroît à une surtaxe sur les huiles minérales. La redevance de l'impôt sur les huiles minérales est réglementée par la loi sur l'imposition des huiles minérales et l'ordonnance sur l'imposition des huiles minérales.
<b>Loi sur la protection des eaux</b> (LEaux)	La LEaux poursuit en priorité l'objectif de protéger l'ensemble des eaux superficielles et des eaux souterraines contre les dégradations. Elle prescrit entre autre les directives fondamentales relatives à l'élimination et au traitement des eaux usées. La loi contient également les principes généraux de fonctionnement des installations de traitement des eaux usées.
<b>Ordonnance sur la protection des eaux</b> (OEaux)	L'OEaux concrétise les dispositions générales de la LEaux. Celle-ci comporte entre autres des directives concrètes pour l'assainissement des eaux usées, la construction et l'exploitation de la STEP, l'élimination des boues d'épuration et le déversement des eaux usées dans les cours d'eau (valeurs limites pour les substances polluantes et les changements de température tolérés des cours d'eau naturels, etc.).
<b>Ordonnance technique sur le traitement des déchets</b> (OTD) (Version soumise à consultation 2015)	L'ordonnance technique sur le traitement des déchets (OTD) réglemente l'élimination des déchets. La révision en cours prévoit notamment la prescription de la récupération du phosphore contenu dans les déchets riches en phosphore (p. ex. boues d'épuration) ainsi qu'une nouvelle réglementation de la valorisation des déchets biogènes (p. ex. cosubstrats utilisés par les STEP).
<b>Ordonnance sur les engrais</b> (OEng)	L'OEng contient des réglementations relatives à l'autorisation, la mise sur le marché, l'importation et l'utilisation d'engrais (engrais minéraux, engrais de recyclage). Les exigences concrètes en matière d'autorisation et d'utilisation des engrais sont réglementées dans l'ORRChim.
<b>Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques</b> (ORRChim)	L'ORRChim contient les dispositions relatives à la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux. Elle définit en outre les exigences concrètes de qualité (p. ex. teneur en substances nocives) pour les engrais organiques, les engrais de recyclage et de ferme ainsi que les dispositions transitoires pour les boues d'épuration.
<b>Plans directeurs énergétiques et concepts énergétiques communaux</b>	Les plans directeurs énergétiques constituent un instrument pour la coordination du développement territorial et de l'utilisation de l'énergie qui en découle en fonction des potentiels énergétiques existants dans un canton ou une ville/commune.

### FACTEURS D'INFLUENCE SOCIO-ÉCONOMIQUES

FACTEUR D'INFLUENCE	BRÈVE DESCRIPTION
<b>Prix du courant électrique</b>	Prix d'achat du courant électrique pour les exploitants de STEP. Ce prix a un impact sur la rentabilité des mesures d'efficacité et sur les économies de coût et les recettes générées par la production de courant dans la STEP.
<b>Prix du combustible</b>	Prix d'achat de combustibles fossiles courants (gaz naturel, pétrole) pour les exploitants de STEP, à des fins de production de chaleur industrielle. Ce prix a une influence sur la rentabilité des mesures d'efficacité et sur les économies de coût et les recettes générées par la production de chaleur dans la STEP.
<b>Prix des modules photovoltaïques</b>	Prix réservé aux exploitants de STEP pour l'achat de modules photovoltaïques correspondant à l'état de la technique pour la production de courant.
<b>Prix des engrais minéraux</b>	Prix moyen des engrais minéraux azotés et phosphatés pour l'achat par les agriculteurs suisses. Plus ce prix est élevé, plus la production d'engrais à partir des boues d'épuration pour fermer le cycle des nutriments est rentable.
<b>Acceptation des engrais de recyclage</b>	Motivation des acquéreurs d'engrais ou de l'industrie des engrais pour mettre en œuvre des engrais de recyclage ou des matières premières issues de boues d'épuration au lieu d'engrais minéraux dans la culture des végétaux (sous réserve de prix et de caractéristiques qualitatives comparables).
<b>Intérêts de l'industrie du ciment</b>	Intérêt et lobbying de l'industrie suisse du ciment pour un approvisionnement sûr en combustibles de substitution avantageux et climatiquement neutres comme par exemple les boues d'épuration.

### AUTRES FACTEURS D'INFLUENCE

<b>Ménager les réserves de phosphore</b>	Le phosphore est une ressource relativement limitée mais essentielle, dont l'exploitation est fortement concentrée géographiquement et entraîne des préjudices écologiques et sociaux importants.
<b>Sécurité d'approvisionnement</b>	Sécurité d'approvisionnement désigne ici la sécurisation stable et à long terme de l'approvisionnement de la Suisse en énergie et en matières premières d'une importance stratégique.



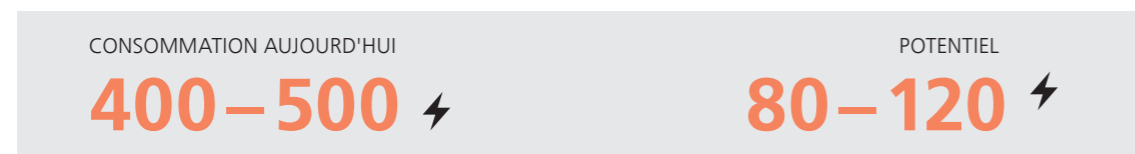
## E 01 Efficacité électrique

Réduction de la consommation électrique dans la STEP à des valeurs de référence actuelles (conformément au guide VSA /suisse énergie) par la mise en œuvre systématique de mesures d'efficacité:

- Fonctionnement des groupes de machines adapté aux besoins (p. ex. optimisation en fonction de l'heure de la journée).
- Optimisations du fonctionnement et des processus: taille du décanteur primaire, dénitrification accrue, traitement séparé de l'eau putride par Anammox, optimisation de l'élimination des boues, aérateurs à membrane efficaces, techniques de mesure et de régulation optimisées (notamment régulation de l'aération).
- Utilisation de groupes de machines plus efficaces et dimensionnés de manière optimale pour le traitement des eaux usées et des boues: pompes, mélangeurs, ventilateurs, décanteurs etc.
- Mise en œuvre de convertisseurs de fréquence.

### Utilisation actuelle et potentiel

EFFICACITÉ  
ÉNERGÉTIQUE  
GWh/a



Exemple de mise en œuvre: Majorité des STEP suisses, quelques STEP sont particulièrement innovantes

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Pas d'obstacles techniques à la mise en œuvre de groupes de machines efficaces et aux optimisations du fonctionnement et des processus (correspond à l'état de la technique)



**RENTABILITÉ** Bonne en cas de remplacement des groupes de machines lié à leur vétusté, discutable en cas de remplacement précoce (à vérifier cas par cas). Examens des cas particuliers pour les optimisations du fonctionnement et des procédures, en fonction de la taille de la STEP (notamment pour les STEP moyennes et grandes) et du potentiel d'économies



**INFLUENCE SUR LE FONCTIONNEMENT DES STEP** Pas ou peu d'impacts sur le fonctionnement des STEP grâce à la mise en œuvre de groupes de machines efficaces, travaux de transformation et d'extension nécessaires en cas d'optimisations du fonctionnement /des procédures, exigences accrues en matière d'automatisation, ou de technique de mesure et de contrôle des procédés ainsi qu'en matière de qualification du personnel d'exploitation

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

Nécessité de prendre en compte des aspects particuliers (analyses énergétiques, calculs de rentabilité) afin d'identifier des angles d'approche appropriés et efficaces en matière d'optimisation.

La mise en œuvre et le contrôle des résultats implique un engagement en ressources en personnel et requiert en partie des conseils d'experts externes (ce qui est problématique pour les STEP de petite taille à faible potentiel d'économies).

Traitement séparé de l'eau putride par le procédé Anammox en concurrence avec le procédé de récupération de l'azote à partir de l'eau putride (p. ex. stripping de l'azote).

Impact positif d'un décanteur primaire de plus grande taille sur le traitement ultérieur des boues (valeur empirique non généralisable): amélioration de l'indice de siccité et augmentation de la production de gaz de digestion; éventuellement augmentation des coûts d'élimination des boues.

#### EN EXTERNE

Divers impacts possibles des mesures sur la performance d'épuration des STEP et de ce fait sur les problèmes de protection des eaux, p. ex.:

- Agrandissement du décanteur primaire avec impact négatif sur la performance de dénitrification.
- Régulation optimisée de l'aération avec impact positif sur la performance de dénitrification, mais augmentation potentielle des émissions de N<sub>2</sub>O (oxyde nitreux) (gaz à effet de serre, appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique).

Augmentation de la consommation d'électricité due à la mise en œuvre de procédures visant à l'amélioration de l'épuration des eaux usées et au respect des exigences accrues en matière de rejets (p. ex. filtration sur membrane, élimination des micropolluants)

## Impact des conditions-cadres

**RÉGLEMENTATION**

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art. 7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne) > Divers instruments de promotion (RPC, OEHE (oder WEA), modèle pour les grands consommateurs)	++	Art. 7: Appels d'offres publics pour l'encouragement financier de l'efficacité électrique (Prokilowatt, p. ex: Programme de subventions «STEP efficaces en énergie» de l'association Infracwatt) Art. 17: Conventions d'objectifs pour les gros consommateurs
Loi sur la protection des eaux (LEaux )	+ -	Priorité de la protection des eaux (durcissements et besoins accrus en courant prévisibles, p. ex. élimination des micropolluants) Directives pour l'exploitation rentable des STEP (Art. 10, par. 1bis) Exigences en matière d'élimination de l'azote des eaux usées (non spécifique à l'approche; stripping de l'azote en tant que procédé possible)
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	+ -	Priorité de la protection des eaux Art.14: Données d'exploitation (entre autres consommation énergétique) soumises à déclaration en tant que fondement pour l'optimisation Annexe 3: Exigences relatives à l'élimination du phosphore et de l'azote Nouvelle aide à l'exécution (ch. 2.4 Optimisation de la consommation d'énergie et de la production d'énergie)

**SOCIO-ÉCONOMIQUE**

Prix du courant de électrique	0	Incitation en matière de gestion d'entreprise pour les exploitants de STEP, visant à favoriser des gains d'efficacité (coûts d'acquisition)
-------------------------------	---	---

**AUTRES FACTEURS**

Sécurité d'approvisionnement	+	La réduction des besoins en électricité accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger)
------------------------------	---	---

## Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Il n'est pas possible de fournir des indications sur l'efficacité ; consommation actuelle selon VSA/SuisseEnergie (2008/2010)

**POTENTIEL** Potentiel réalisable sur la base de la détermination «top-down» des potentiels d'efficacité à partir de la différence entre la situation actuelle et la mise en œuvre sur l'ensemble du pays des valeurs indicatives en matière de consommation énergétique (Kind & Levy, 2012).

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Kolisch et al. (2010), Wunderlin et al. (2014), FHNW (2014), Levy (2009), Kühni et al. (2010), Siegrist et al. (2009)

## Synthèse partielle Efficacité électrique

Les différentes étapes de processus recèlent diverses possibilités d'accroître l'efficacité électrique ou la réduction de la consommation de courant. Le traitement biologique des stations d'épuration suisses. C'est pourquoi il est fait appel à de nombreux procédés dans ce domaine, p. ex. pour alléger la charge de l'épuration biologique (bassins de décantation primaire plus grands, traitement séparé de l'eau putride), pour l'implémentation d'unités plus efficaces et dimensionnés de manière optimale (soufflantes, mélangeurs), mais aussi pour l'optimisation du pilotage de l'aération ainsi que les adaptations des procédés techniques (dénitrification). D'autres possibilités résident dans la mise en œuvre de convertisseurs de fréquence et dans le domaine de la déshydratation des boues (décanteurs, filtres presses).

La situation actuelle en ce qui concerne la mise en œuvre de mesures pour réduire la consommation électrique est très hétérogène. Diverses stations d'épuration de grandes taille exploitent largement le potentiel de réduction de la consommation électrique. Par contre, de nombreuses stations d'épuration petites et moyennes n'en font usage que de manière encore très limitée.

Le potentiel global encore ouvert de réduction de la consommation électrique par le biais des technologies et mesures d'optimisation aujourd'hui disponibles est évalué à 100 GWh/a. En conséquence, la consommation électrique qui s'élève aujourd'hui à 450 GWh/a (2012) peut être réduite à l'avenir d'environ 20 %, même si une partie significative des économies pourrait être compensée par des exigences croissantes de la loi sur la protection des eaux et des rééquipements adaptés en matière de technologie des procédés: La demande d'électricité supplémentaire pour l'élimination des micropolluants s'élèvera p. ex. à environ 60 GWh/a. L'estimation du potentiel ne prend pas en compte les gains d'efficacité dus aux effets d'échelle qui sont obtenus p. ex. à la suite d'un renforcement de la régionalisation (regroupement de STEP, élimination régionale des boues) ou grâce aux mesures prises dans les stations de pompage du réseau des égoûts qui offrent elles aussi un grand potentiel de réduction des besoins en électricité. Ne sont pas prises non plus en compte les possibilités de transfert de charges qui sont actuellement examinées dans le cadre d'une étude de faisabilité par menée par l'OFEN (OFEN, 2013).

Sur le plan technique, les mesures de réduction de la consommation de courant sont réalisables à moyen terme. La rentabilité des unités à haute efficacité énergétique est estimée, avec des restrictions, comme étant tout juste suffisante, en particulier lorsque les équipements existants doivent être remplacés en raison de leur vétusté. Il est toutefois recommandé lors d'acquisitions d'effectuer un calcul des coûts sur toute la durée de vie d'une unité. Le remplacement précoce de composants ainsi que les optimisations opérationnelles et techniques sont comparativement moins rentables et exigent d'examiner les cas particuliers en tenant compte des conditions spécifiques à la STEP. Le fonctionnement des STEP n'est pas touché de manière importante par la mise en œuvre de groupes de machines à haute efficacité énergétique. Néanmoins les optimisations opérationnelles et techniques peuvent entraîner des exigences accrues en matière d'automatisation et/ou de travaux de transformation et d'agrandissement, p. ex. le traitement séparé de l'eau putride par procédé Anammox ou l'agrandissement de la décantation primaire. Ces mesures ont en partie des impacts importants sur le fonctionnement des STEP.

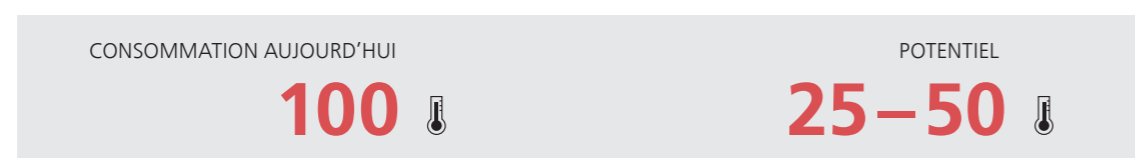
La mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité électrique dans les STEP est fortement encouragée par les conditions-cadres actuelles. L'accent est mis notamment sur l'encouragement financier des améliorations de l'efficacité par le biais d'appels d'offre publics réglementés dans la loi et l'ordonnance sur l'énergie (WeA), ProKilowatt ainsi que par l'établissement, prévu dans la loi et l'ordonnance sur le CO<sub>2</sub>, de certificats pour les réductions d'émission de gaz à effet de serre consenties librement en Suisse. Dans le cadre de la WeA et sous l'égide d'Infrawatt et du VSA, le programme d'encouragement « STEP efficaces en énergie », actuellement en cours soutient les STEP dans la détermination de leurs potentiels spécifiques et dans la mise en œuvre de mesures d'économie d'électricité. La législation sur la protection des eaux a d'une part un effet incitatif, du fait qu'elle impose le principe d'un fonctionnement rentable des STEP (sur lequel les mesures d'économies d'électricité ont un impact positif), que les données de la consommation énergétique sont soumises à déclaration tant que base utile d'optimisation et qu'elle définit dans une nouvelle aide à l'application les lignes directrices visant à optimiser la consommation énergétique. Mais a contrario, l'élimination de certains polluants qui constitue un élément central de la législation sur la protection des eaux peut avoir un impact négatif sur la consommation de courant.

## E02 Récupération de chaleur de la STEP

Diverses stratégies de récupération des rejets thermiques inutilisés émis par les STEP. La chaleur rejetée peut être récupérée à partir des boues digérées, des soufflantes d'air, comme lors du traitement du gaz de digestion (selon le procédé employé) ou alors être produite par le CCF. Elle est utilisée en interne dans la STEP (chauffage des bâtiments, traitement du gaz de digestion, réchauffement des boues fraîches, séchage des boues, le cas échéant traitement de l'eau putride par procédé Anammox, etc.), ce qui permet de réduire le besoin en chaleur produite autrement (p. ex. pétrole, gaz naturel, gaz de digestion) et de ce fait les impacts environnementaux qui y sont associés.

### Exploitation actuelle et potentiel (théorique)

EFFICACITÉ  
ÉNERGÉTIQUE  
GWh/a



Exemple de mise en œuvre: STEP Meilen (utilisation de la chaleur de compression, échangeur de chaleur boues/boues, utilisation de la chaleur rejetée lors du traitement du gaz de digestion), STEP Uster (utilisation de la chaleur de compression, échangeur de chaleur boues/boues), STEP Birsfelden (utilisation de la chaleur produite par les soufflantes d'air)

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Correspond en général à l'état de la technique (pas d'obstacles techniques) à l'exception de l'échangeur de chaleur boues/boues techniquement exigeant (actuellement encore difficile)



**RENTABILITÉ** Avérée pour les moyennes et grandes STEP, éventuellement rentabilité augmentée dans les STEP sans CCF (avantages marginaux plus élevés pour les autres RC), production potentielle de chaleur excédentaire en été



**IMPACT SUR LE FONCTIONNEMENT DES STEP** Nécessité moindre d'adaptations, exigences accrues en matière d'automatisation ou de technique de mesure et de contrôle des procédés, éventuellement nécessité d'adaptation du traitement des boues digérées

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

Récupération de chaleur à partir des boues digérées avec impact négatif sur le (i) procédé Anammox, parce que des températures élevées sont nécessaires pour le traitement de l'eau putride, et (ii) la déshydratation des boues (partiellement, avis divergents).

Un échangeur de chaleur boues/boues avec perte de charge correspondante peut entraîner la mise en place de pompes de surpression et de ce fait une augmentation de la consommation de courant.

#### EXTERNE

La réduction des besoins en chaleur permet grâce à des effets de substitution de réduire les impacts environnementaux (notamment les émissions de gaz à effet de serre), mais seulement lorsqu'il n'y a pas de chaleur excédentaire.

### Impact des conditions-cadres

#### RÈGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art. 7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne)		
> Principes généraux	+	Art. 1: Utilisation accrue d'énergies indigènes et renouvelables Art. 3: Exploiter les rejets de chaleur utilisables; utilisation accrue d'énergies renouvelables Art. 6: Préférence d'une production d'énergie efficaces sans incidences sur le climat
> Divers instruments de promotion (RPC, WeA, modèle pour les grands consommateurs)	++	Art. 13: Encouragement de la production d'énergie renouvelable et de la récupération de chaleur dans la STEP (OEne Annexe 1.5: chauffage du digesteur avec la chaleur de rejet) Art. 17: Conventions d'objectifs pour les gros consommateurs
Loi sur la protection des eaux (LEaux)	+	Art. 10: Directives pour l'exploitation économique des STEP
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	+	Art. 14: Données d'exploitation (entre autres consommation énergétique) soumises à déclaration en tant que fondement pour l'optimisation Nouvelle aide à l'exécution (ch. 2.4 Optimisation de la consommation d'énergie et de la production d'énergie)

#### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix des combustibles	+	Incitation à la réduction des besoins de chaleur grâce à l'utilisation rationnelle des rejets de chaleur
-----------------------	---	--

#### AUTRES FACTEURS

Sécurité d'approvisionnement	+	La réduction des besoins en énergie thermique accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger)
------------------------------	---	---

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Il n'est pas possible de fournir des indications sur l'efficacité; consommation actuelle selon VSA/SuisseEnergie (2008/2010)

**POTENTIEL** Production d'air: Estimation pour l'ensemble de la Suisse basée sur la puissance absorbée et l'efficacité des unités de surpression (EAWAG, 2011; Kind & Levy, 2012), Récupération de chaleur des boues digérées: Les économies de chaleur réalisées grâce à l'échangeur de chaleur boues/boues sont d'environ 30 % (selon les expériences acquises jusqu'ici par les chefs d'exploitation de STEP), rejets thermiques CCF: Les rejets thermiques des CCF ne sont pas pris en compte dans le potentiel, car en général, ils sont déjà utilisés pour réchauffer les boues.

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Kolisch et al. (2010), FHNW (2014), Levy (2009), Kühni et al.

## Synthèse partielle Récupération de chaleur de la STEP

Dans la STEP, il est possible d'augmenter la récupération de chaleur grâce à une utilisation cohérente des rejets de chaleur provenant des boues digérées, des soufflantes d'air, du traitement du gaz de digestion ou du CCF. Cela permet de réduire le besoin d'énergie externe, notamment de combustibles fossiles. Actuellement l'exploitation de la chaleur de rejet des soufflantes d'air process est largement répandue dans les stations d'épuration suisses. Toutefois il existe également un certain potentiel d'exploitation de la chaleur issue des boues digérées et du traitement du gaz de digestion. Les STEP Rorguet (Meilen) et Jungholz (Uster) sont deux stations d'épuration qui utilisent pratiquement complètement le potentiel de récupération de chaleur, une expérience qui se révèle concluante. Les rejets thermiques des unités de surpression sont utilisés pour chauffer les bâtiments des deux STEP. L'utilisation de la chaleur récupérée à partir des boues digérées au moyen d'échangeurs de chaleur boues/boues permet de réduire d'environ 30 % la consommation de chaleur de la digestion, sans augmenter la consommation d'électricité de manière significative (p. ex. au moyen de pompes supplémentaires pour compenser la perte de pression dans les échangeurs de chaleurs).

L'estimation du potentiel théorique des mesures relatives à la récupération de chaleur se situe dans une fourchette de 25 à 50 GWh pour l'ensemble de la Suisse. Toutefois le potentiel ouvert et réalisable devrait être nettement inférieur, car il y a généralement un excédent de chaleur pendant les mois d'été et de nombreuses STEP ont déjà mis en œuvre de telles mesures. Le potentiel d'utilisation des rejets thermique des CCF est estimé très faible et n'est pas pris en compte, car dans la plupart des STEP, les rejets thermiques des CCF sont déjà utilisés pour le réchauffement des boues fraîches et le chauffage des bâtiments.

La technologie (échangeur de chaleur) correspond à l'état de la technique et elle est exploitable sans problème – à l'exception de l'échangeur de chaleur boues/boues sujet au colmatage. Les mesures de récupération de chaleur peuvent être réalisées sans perturbations conséquentes du fonctionnement des STEP. La rentabilité dépend fortement du besoin saisonnier de chaleur, des prix des sources d'énergie externes (p. ex. gaz naturel), de la disponibilité de la chaleur générée par les CCF, mais aussi de la nécessité d'adaptations (techniques du bâtiment, mise en place d'échangeurs de chaleur boues/boues) pour l'utilisation de la chaleur. Il est nécessaire de procéder à des examens au cas par cas pour évaluer la faisabilité et en particulier la rentabilité, mais aussi l'impact sur le fonctionnement de la STEP.

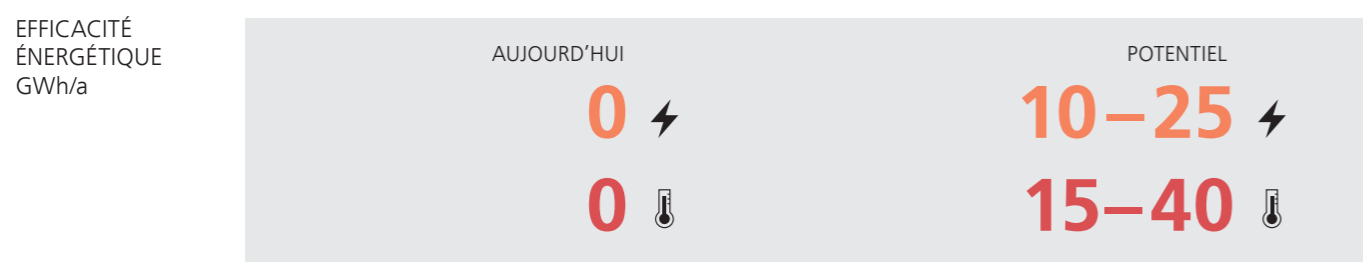
La pleine utilisation des potentiels de récupération de chaleur est fortement encouragée par les instruments de la législation sur l'énergie et le CO<sub>2</sub>. Il convient de souligner ici en premier lieu les certificats de réduction des émissions de gaz à effet de serre en Suisse (législation sur le CO<sub>2</sub>) ainsi que le modèle pour gros consommateurs (législation sur l'énergie), qui définit pour les gros consommateurs des conventions d'objectifs pour le développement de la consommation énergétique. De plus, ces efforts de réduction du besoin de chaleur sont également dans le droit-fil des directives de la législation sur la protection des eaux qui prescrivent un fonctionnement rentable des STEP, résultat qui peut être obtenu par la réduction de coûts d'acquisition de combustibles en fonction des coûts de mise en œuvre des mesures.

Une exploitation cohérente des potentiels de récupération permet de réduire notablement la dépendance de sources d'énergies externes pour la production de chaleur et contribue de manière déterminante à l'autarcie énergétique des STEP. Les expériences menées dans les STEP Rorguet et Jungholz montrent que le potentiel réalisable peut être suffisamment élevé pour exploiter les stations d'épuration de manière autarcique (au moins par moments) en ce qui concerne la chaleur.

## E03 Désintégration des boues d'épuration

Processus biologique, chimique ou physique (mécanique, thermique) de digestion des boues d'épuration avant le traitement anaérobie dans le digesteur. La désintégration des boues d'épuration remplace l'hydrolyse enzymatique biologique aux fins de dépasser la première étape de la dégradation microbienne anaérobie qui est limitante pour la cinétique de réaction. Cela permet d'augmenter le degré de biodégradabilité du substrat pour les microorganismes restants et entraîne un rendement supérieur du gaz de digestion ainsi qu'une réduction de la charge de résidus secs.

### Utilisation actuelle et potentiel



Exemple de mise en œuvre: STEP Moossee-Urtenenbach

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Technologie plus ou moins arrivée à maturité commerciale, mise en pratique, des problèmes subsistent toutefois pour le convoyage des boues qui est exigeant sur le plan technique (potentiel de développement)



**RENTABILITÉ** En règle générale, charges d'exploitation plus élevées (p. ex. consommation d'électricité/ de chaleur), rendements énergétiques supplémentaires (en fonction des possibilités d'utilisation du gaz de digestion et de la consommation d'énergie du prétraitement), coûts d'évacuation des boues réduits, déshydratation améliorée des boues



**IMPACT SUR LE FONCTIONNEMENT DES STEP** Nécessité d'une étape de processus supplémentaire dans les STEP, charges d'exploitation plus élevées, besoin de place relativement faible, déshydratation améliorée des boues

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

- S'accompagne en règle générale d'une amélioration de la déshydratation des boues digérées produites.
- Jusqu'à 15 % de réduction de la quantité de boues et des coûts d'élimination correspondants.
- L'association avec un traitement séparé de l'eau putride est pertinente en raison de l'augmentation de la charge en ammonium de l'eau putride.
- Besoin énergétique accru pour le pré-traitement des boues (indépendamment du procédé).
- Plus-value (c'est-à-dire augmentation du rendement du gaz de digestion) indépendamment de la durée
- Influence potentielle sur la capacité du réservoir de gaz et puissance du CCF.
- Avantageux en fonction des possibilités d'exploitation du gaz de digestion (CCF, préparation de biométhane).

#### EXTERNE

Contribution à la production d'énergie renouvelable dans les STEP, mais réduction de la production d'énergie dans les processus de combustion en aval en raison de la valeur énergétique plus faible (bilan global requis aussi en tenant compte de la dépense d'énergie de la désintégration).

### Impact des conditions-cadres

#### RÈGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art. 7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne)		
> Principes généraux	+	Art. 1: Utilisation accrue d'énergies indigènes et renouvelables Art. 3: Exploiter les rejets de chaleur utilisables; utilisation accrue d'énergies renouvelables Art. 6: Préférence d'une production d'énergie efficaces sans incidences sur le climat
> Divers instruments de promotion (RPC, WeA, modèle pour les grands consommateurs)	++	Art. 7: La rétribution à prix coûtant (RPC) en tant que mesure d'incitation destinée à augmenter la production d'électricité (en cas de CCF) Art. 7: Obligation d'achat par les gestionnaires de réseau de l'électricité produite à partir de la biomasse Art. 13: Encouragement de la production d'énergie renouvelable. Art. 17: Conventions d'objectifs pour les gros consommateurs
Loi sur la protection des eaux (LEaux)	+	Art. 10: Directives pour l'exploitation économique des STEP
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	+	Art. 14: Données d'exploitation (entre autres consommation énergétique) soumises à déclaration en tant que fondement pour l'optimisation

#### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix du électrique électrique	+	Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP pour une production d'électricité dans les CCF
Prix des combustibles	+	Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP pour une augmentation de la production de combustibles et de chaleur

#### AUTRES FACTEURS

Sécurité d'approvisionnement	+	La réduction des besoins en électricité accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger)
------------------------------	---	---

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** un exemple de mise en œuvre connu (extrêmement faible)

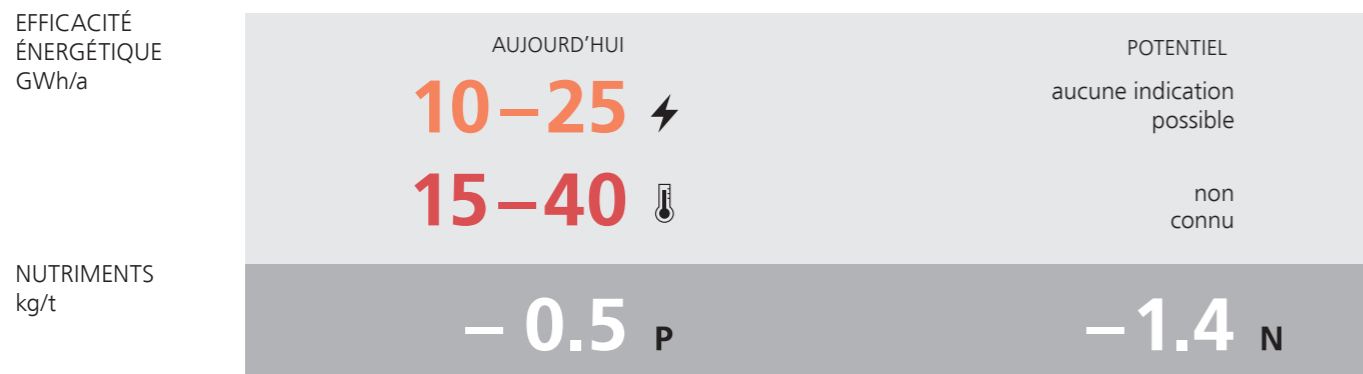
**POTENTIEL** Rendement du gaz de digestion paysage suisse des STEP en GWh/a (Hunziker, 2005; Gujer, 2007): 400 à 500 GWh/a, Augmentation du rendement du gaz de digestion (VSA/energie schweiz, 2008/2010): 20 bis 30 %, Efficacité énergétique CCF: 35 % électrique, 55 % thermique (benchmark)

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** McCann (2014), Bagnuolo et al. (2009), Wolff et al. (2005), Winter (2003), Levy (2009), Horn et al. (2009), DWA (2015)

## E 04 Fermentation des cosubstrats

Utilisation des capacités restantes dans le digesteur pour la digestion des cosubstrats aux fins d'augmenter la production de gaz de digestion ainsi que la valorisation énergétique en découlant (électricité, chaleur ou gaz naturel) pour la production d'énergie renouvelable. Les cosubstrats utilisés sont notamment des déchets organiques liquides et facilement dégradables sans pollutions importantes d'origine industrielle et artisanale, voire agricole (p. ex. huile alimentaire, lactosérum).

### Utilisation actuelle et potentiel



Exemple de mise en œuvre: STEP Berne, STEP Morgental

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Technologie arrivée à maturité commerciale, mise en œuvre dans la pratique, d'un fonctionnement fiable, dépend de la composition du cosubstrat



**RENTABILITÉ** Rendements énergétiques supplémentaires (aussi à cause de la RPC, toutefois en baisse), utilisation des capacités du digesteur, coûts d'élimination supplémentaires (notamment en cas de composition inappropriée des cosubstrats, dépend de la qualité et de la disponibilité géographique des cosubstrats)



**IMPACT SUR LE FONCTIONNEMENT DES STEP** Infrastructure supplémentaire (p. ex. point de collecte, élimination des substances indésirables, concept d'évacuation d'air, dispositif de dosage), charges supplémentaires au niveau de l'exploitation (p. ex. régulation de la stabilité de la digestion, collecte, compensation, évaluation des données, dépend de la qualité des cosubstrats)

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

- Implique des capacités libres dans le digesteur.
- En cas d'utilisation de cosubstrats inappropriés, les frais supplémentaires afférents à l'élimination des boues peuvent dépasser les recettes supplémentaires découlant de l'augmentation de la production d'énergie.
- Influence potentielle sur la capacité du réservoir de gaz et puissance du CCF.
- Opportunité qui dépend des possibilités de l'exploitation du gaz de digestion (CCF, préparation de biométhane).

#### EXTERNE

- Dépendance géographique de fournisseurs de cosubstrats adéquats.
- Grande concurrence pour des cosubstrats de haute qualité entre les STEP et les exploitants d'autres installations de biogaz.
- Contribution supplémentaire pour la production d'énergie renouvelable et la réduction correspondante de gaz à effets de serre grâce à la substitution d'énergie non renouvelable dans le bouquet énergétique suisse (si les cosubstrats ne parviennent pas dans les installations de biogaz).
- Production d'énergie renouvelable aux dépens de la valorisation des nutriments (peu judicieux d'un point de vue environnemental global), car les résidus de fermentation contaminés par les boues d'épuration ne peuvent pas être épandus dans l'agriculture (sauf si les nutriments sont récupérés en aval dans les boues d'épuration, cf. P01 à P04).

### Impact des conditions-cadres

#### REGULATORISCH

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art. 7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne) > Principes généraux	+	Art. 1: Utilisation accrue d'énergies indigènes et renouvelables Art. 3: Exploiter les rejets de chaleur utilisables; utilisation accrue d'énergies renouvelables Art. 6: Préférence d'une production d'énergie efficaces sans incidences sur le climat
> Divers instruments de promotion (RPC, WeA, modèle pour les grands consommateurs)	++	Art. 7: La rétribution à prix coûtant (RPC) en tant que mesure d'incitation destinée à augmenter la production d'électricité (en cas de CCF) Art. 7: Obligation d'achat par les gestionnaires de réseau de l'électricité produite à partir de la biomasse Art. 13: Encouragement de la production d'énergie renouvelable. Art. 17: Conventions d'objectifs pour les gros consommateurs
Ordonnance sur l'imposition des huiles minérales (Oimpmi)	–	Art. 19: Suppression du taux de faveur du biogaz produit à partir de matières premières sans certificat et suppression des contributions RPC de biocarburants sans allègement de l'impôt sur les huiles minérales
Ordonnance révisée sur le traitement des déchets (OTD)	--	Art. 14 : Obligation de valorisation des matières contenues dans les déchets biogènes sous la forme d'engrais
Ordonnance sur les engrais (OEng)	--	Réglementation générale pour l'autorisation et la mise sur le marché de toutes les catégories d'engrais (p. ex. engrais de recyclage)
ORRChim	--	Annexe 2.6 (à l'Art. 3): Exigences de qualité élevées en matière d'engrais (les résidus de fermentation des digesteurs dépassent les teneurs en substances nocives tolérées dans les engrais de recyclage)
Loi sur la protection des eaux (LEaux)	+	Art. 10: Directives pour l'exploitation économique des STEP

#### SOCIO-ÉCONOMIQUE CF. E03 À LA PAGE 27

#### AUTRES FACTEURS

Présence de phosphore	–	Exigence de préservation des ressources en phosphore et d'évitement des effets externes de la fabrication primaire
Sécurité d'approvisionnement	+ –	La production d'énergie indigène accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger) Importation de nutriments détruits parce que les résidus de fermentation ne doivent pas être utilisés comme engrais

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Quantité et teneurs en nutriments des cosubstrats et production d'énergie qui en résulte sur la base de données des STEP de la région de Berne (Bachmann, 2009) et extrapolation sur le paysage des STEP selon des propres estimations (hypothèse: STEP > 100 000 EH mettent ceci en œuvre), Pertes d'azote et de phosphore par tonne de cosubstrats fermentés sur la base des données des STEP de la région de Berne (Bachmann, 2009).

**POTENTIEL** Aucune indication possible, car les capacités non utilisées des digesteurs ne peuvent être déterminées

## E 05 Post-digestion

Étape de digestion supplémentaire (non mélangée) pour boues pré-digérées, pour le traitement anaérobie des substances organiques persistantes qui étaient auparavant dégradées de manière incomplète. Les boues digérées continuent ainsi d'épaissir, l'eau putride qui en résulte passe avec le centrat de la déshydratation des boues dans le post-épaississement. La post-digestion conduit à une augmentation du rendement en gaz de digestion et de la production d'énergie en aval, afin de minimiser les émissions de méthane provenant de l'empilement de couches de boue, ainsi que pour améliorer la déshydratation des boues.

### Utilisation actuelle et potentiel (théorique)

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE  
GWh/a



Exemple de mise en œuvre: STEP Werdhölzli, STEP Morgental

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Technologie arrivée à maturité commerciale, mise en œuvre dans la pratique, fonctionnement fiable, dépend de la composition du cosubstrat



**RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE** Rendements énergétiques supplémentaires; Coûts d'investissement pour le deuxième digesteur; dépend de la taille de la STEP (à partir de 100 000 EH)



**INCIDENCE SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** Nécessite de l'espace supplémentaire pour le deuxième digesteur; coûts d'exploitation et d'entretien supplémentaires, impact sur les caractéristiques de l'épaississement

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

- Influence potentielle sur la capacité du réservoir de gaz et la puissance du CCF.
- L'adéquation dépend des opportunités d'utilisation énergétique du gaz de digestion (CCF, purification du biométhane).

#### EXTERNE

- Réduction de l'émission de gaz à effet de serre due aux fuites de méthane des empilages de boues.
- Contribution supplémentaire à la production d'énergie renouvelable et réduction correspondante de la production de gaz à effet de serre grâce à la substitution d'énergie non renouvelable dans le mix énergétique suisse.

### Impact des conditions-cadres

#### RÉGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art. 7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne)		
> Principes généraux	+	Art. 1: Utilisation accrue d'énergies indigènes et renouvelables Art. 3: Exploiter les rejets de chaleur utilisables; utilisation accrue d'énergies renouvelables Art. 6: Préférence d'une production d'énergie efficaces sans incidences sur le climat
> Divers instruments de promotion (RPC, WeA, modèle pour les grands consommateurs)	++	Art. 7 : Appels d'offres publics pour l'encouragement financier de l'efficacité électrique (Prokilowatt) Art. 7: La rétribution à prix coûtant (RPC) en tant que mesure d'incitation destinée à augmenter la production d'électricité (en cas de CCF) Art. 7: Obligation d'achat par les gestionnaires de réseau de l'électricité produite à partir de la biomasse Art. 13: Encouragement de la production d'énergie renouvelable. Art. 17: Conventions d'objectifs pour les gros consommateurs
Loi sur la protection des eaux (LEaux)	+	Art. 10: Directives pour l'exploitation économique des STEP
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	+	Art. 14: Données d'exploitation (entre autres consommation énergétique) soumises à déclaration en tant que fondement pour l'optimisation Nouvelle aide à l'exécution (ch. 2.4 Optimisation de la consommation d'énergie et de la production d'énergie)

#### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix du courant électrique	+	Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP pour une production d'électricité dans les CCF
Prix des combustibles	+	Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP pour une augmentation de la production de combustibles et de chaleur

#### AUTRES FACTEURS

Sécurité d'approvisionnement	+	La production d'énergie indigène accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger)
------------------------------	---	--

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Propre estimation sur la base d'exemples connus de mise en œuvre

**POTENTIEL RENDEMENT** du gaz de digestion du parc des STEP suisses (Hunziker, 2005; Gujer, 2007): 400 à 500 GWh/a, potentiel d'augmentation du taux de rendement du gaz de digestion (Boller, 2014; Kind & Levy, 2012): 5 % à 10 %, efficacité énergétique CCF: ( $\eta_{\text{électrique}}$ : 35 % ;  $\eta_{\text{thermique}}$ : 55 %)

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Levy (2009)



## E 06 Production d'électricité par CCF à partir du gaz de digestion

Production d'électricité et de chaleur par la valorisation énergétique des gaz de digestion correspondant dans l'état actuel des couplages chaleur-force à un rendement énergétique global allant jusqu'à 90 % ( $\eta_{\text{électrique}}$ : 30 à 35 %;  $\eta_{\text{thermique}}$ : 50 à 55 %). La valorisation énergétique contribue à la production d'énergie renouvelable, laquelle est utilisée autant que possible pour couvrir les besoins propres.

### Utilisation actuelle et potentiel

EFFICACITÉ  
ÉNERGÉTIQUE  
GWh/a



Exemple de mise en œuvre: Environ 60 % des STEP en Suisse (en particulier les grandes stations)

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Technologie arrivée à maturité commerciale, largement mise en œuvre dans la pratique (> 60 % de toutes les STEP), d'un fonctionnement fiable



**RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE** Rendements énergétiques supplémentaires (également via la RPC, en fonction des utilisations possibles de la chaleur excédentaire), coûts d'investissement CCF, dépend de la taille de la STEP (à partir de 10 000 EH)



**IMPACT SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** Surface supplémentaire nécessaire pour un CCF, coûts d'exploitation et d'entretien supplémentaires

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

Alternative pour la transformation du gaz d'épuration en biométhane (dans les grandes STEP, les deux technologies peuvent être mises en œuvre simultanément, de sorte que la valorisation du gaz d'épuration peut être adaptée de façon optimale à la demande de chaleur, afin que la production de chaleur excédentaire soit réduite au minimum).

#### EXTERNE

Contribution supplémentaire à la production d'énergie renouvelable et réduction correspondante de la production de gaz à effets de serre grâce à la substitution d'énergie non renouvelable dans le mix énergétique suisse. Possible augmentation de la production d'énergie, si les boues digérées des petites STEP étaient amenées dans de grandes STEP pour traitement.

Problème de l'excédent de chaleur (particulièrement en été): La pertinence économique et écologique dépend de la disponibilité d'un thermoréseau. Un stockage saisonnier de la chaleur serait également envisageable (ou comme alternative: transformation du gaz de digestion en biométhane > combustible stockable).

### Impact des conditions-cadres

#### RÉGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art. 7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne)		
> Principes généraux	+	Art. 1: Utilisation accrue d'énergies indigènes et renouvelables Art. 3: Exploiter les rejets de chaleur utilisables; utilisation accrue d'énergies renouvelables Art. 6: Préférence d'une production d'énergie efficaces sans incidences sur le climat
> Divers instruments de promotion (RPC, WeA, modèle pour les grands consommateurs)	++	Art. 7: Appels d'offres publics pour l'encouragement financier de l'efficacité électrique (Prokilowatt) Art. 7: La rétribution à prix coûtant (RPC) en tant que mesure d'incitation destinée à augmenter la production d'électricité (en cas de CCF) Art. 7: Obligation d'achat par les gestionnaires de réseau de l'électricité produite à partir de la biomasse Art. 13: Encouragement de la production d'énergie renouvelable. Art. 17: Conventions d'objectifs pour les gros consommateurs
Loi sur la protection des eaux (LEaux)	+	Priorité de la protection des eaux (durcissements et demande de courant accrue prévisibles, p. ex. élimination des micropolluants) Art. 10: Directives pour l'exploitation économique des STEP
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	+	Art. 14: Données d'exploitation (entre autres consommation énergétique) soumises à déclaration en tant que fondement pour l'optimisation Nouvelle aide à l'exécution (ch. 2.4 Optimisation de la consommation d'énergie et de la production d'énergie)
<b>SOCIO-ÉCONOMIQUE</b>		
Prix du courant électrique	+	Incitation en matière de gestion d'entreprise pour les exploitants de STEP, visant à favoriser des gains d'efficacité (coûts d'acquisition) Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP pour une production d'électricité dans les CCF
Prix des combustibles	+	Incitation à la réduction des besoins de chaleur grâce à l'utilisation rationnelle des rejets de chaleur Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP
<b>AUTRES FACTEURS</b>		
Sécurité d'approvisionnement	+	La production d'énergie indigène accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger)
Principes de base		

**UTILISATION ACTUELLE ET POTENTIEL** Production électrique CCF (EAWAG, 2011 ; uniquement potentiel: Kind & Levy, 2012), Production de chaleur CCF: à propos de l'efficacité énergétique ( $\eta_{\text{électrique}}$ : 35 %;  $\eta_{\text{thermique}}$ : 55 %)

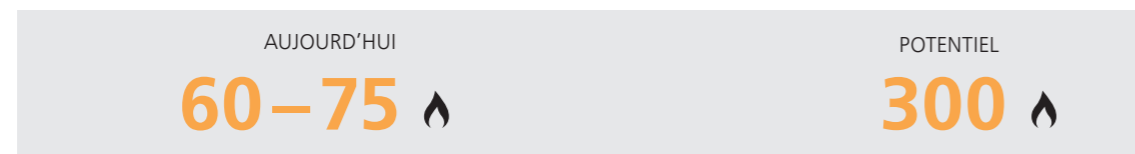
**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** FHNW (2014), Levy (2009), VSA/SuisseEnergie (2008/2010)

## E07 Transformation du gaz de digestion en gaz naturel (biométhane)

Procédé de raffinage du gaz d'épuration produit en biométhane, ce qui signifie une augmentation de la teneur en méthane d'environ 60 pour cent volumique à au moins 96 % volumique dans une usine de traitement de gaz. Le raffinage est basé sur le séchage, la désulfuration et la séparation du CO<sub>2</sub> du gaz de digestion, ce qui est accompagné par une perte d'énergie de 5 à 10 %. Le biométhane produit répond aux exigences de qualité du gaz naturel et peut donc être utilisé de façon polyvalente comme combustible.

### Utilisation actuelle et potentiel (théorique)

EFFICACITÉ  
ÉNERGÉTIQUE  
GWh/a



Exemple de mise en œuvre: STEP Berne, STEP Meilen (Traitement par les Services industriels de la Ville de Zurich EWZ), STEP Werdhölzli

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Technologie arrivée à maturité commerciale, mise en œuvre dans la pratique, d'un fonctionnement fiable



**RENTABILITÉ** Recettes générées par la vente de gaz naturel. Coûts d'investissement et d'exploitation, besoins énergétiques pour le traitement, examen au cas par cas et comparaison nécessaire avec un CCF (en fonction de la taille de la STEP et de la proximité avec un réseau d'alimentation en gaz naturel)



**IMPACT SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** Exploitation le plus souvent par des intervenants externes, l'expertise interne de la STEP sur le traitement des gaz étant parfois inexistante, nécessité d'espace et de fourniture de chaleur supplémentaires pour l'installation de traitement de gaz

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

Alternative à la valorisation énergétique dans un CCF (ou centrale thermique).

#### EXTERNE

Contribution supplémentaire à la production d'énergie renouvelable et réduction correspondante de la production de gaz à effets de serre grâce à la substitution d'énergie non renouvelable dans le mix énergétique suisse (dans le cas d'un mauvais choix de technologie, des émissions de méthane sont possibles, avec un impact fortement négatif sur le changement climatique).

L'électricité et la chaleur produits par l'utilisation de biogaz dans un CCF devraient être produits à partir d'autres sources d'énergie ayant des impacts environnementaux analogues.

Évite le problème d'excédent de chaleur (particulièrement en été), puisque l'énergie est stockée dans un combustible stockable et utilisable de manière polyvalente (biométhane).

Dépend de la commercialisation du certificat Biogaz (éventuellement via des tiers).

### Impact des conditions-cadres

#### RÉGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art. 7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne)		
> Principes généraux	+	Art. 1: Utilisation accrue d'énergies indigènes et renouvelables Art. 3: Exploiter les rejets de chaleur utilisables; utilisation accrue d'énergies renouvelables Art. 6: Préférence d'une production d'énergie efficaces sans incidences sur le climat
> Divers instruments de promotion (RPC, WeA, modèle pour les grands consommateurs)	--	Art. 7: La rétribution à prix coûtant (RPC) en tant que mesure d'incitation destinée à augmenter la production d'électricité (en cas de CCF) Art. 7: Obligation d'achat par les gestionnaires de réseau de l'électricité produite à partir de la biomasse Art. 13: Encouragement de la production d'énergie renouvelable et de la récupération de chaleur dans la STEP (OEne Annexe 1.5: chauffage du digesteur avec la chaleur de rejet)
Loi sur la protection des eaux (LEaux)	+	Art. 10: Directives pour l'exploitation économique des STEP
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	+	Art. 14: Données d'exploitation (entre autres consommation énergétique) soumises à déclaration en tant que fondement pour l'optimisation Nouvelle aide à l'exécution (ch. 2.4 Optimisation de la consommation d'énergie et de la production d'énergie)
<b>SOCIO-ÉCONOMIQUE</b>		
Prix du courant électrique	-	Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP pour une production d'électricité dans le CCF (au lieu du traitement du gaz naturel)
Prix des combustibles	+	Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP pour une augmentation de la production de combustibles et de chaleur
<b>AUTRES FACTEURS</b>		
Sécurité d'approvisionnement	+	La production d'énergie indigène accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger)

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Sur la base d'une étude de swisspower (swisspower, 2015)

**POTENTIEL** a) Perte d'énergie lors de la transformation du gaz de digestion en biométhane dans la STEP Région Lucerne (Hunziker, 2005): 7.5 %, extrapolation sur le parc des STEP suisses sur la base des rendements de production de gaz de digestion dans la STEP Région Lucerne et sur l'ensemble de la Suisse (Hunziker, 2005 ; Gujer, 2007); b) estimation du potentiel existant (swisspower, 2015)

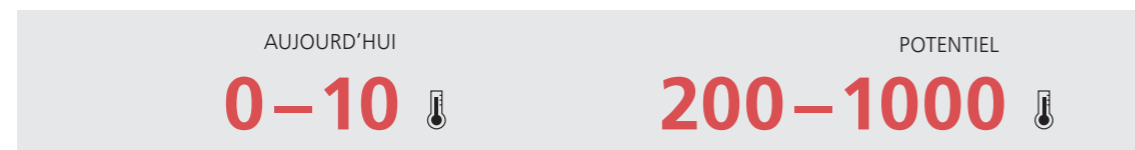
**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Swisspower (2015), Levy (2009)

## E 08 Utilisation de la chaleur des eaux usées brutes

Production d'énergie thermique basse température par récupération de la chaleur à l'entrée de la STEP, respectivement à partir du réseau d'égouts. Au travers d'échangeurs de chaleur et de thermoréseaux, la chaleur peut être utilisée en fonction de la demande d'énergie soit pour le chauffage, soit pour le refroidissement. Dans ce dernier cas, la chaleur n'est pas extraite de l'eau mais elle y est évacuée.

### Utilisation actuelle et potentiel

EFFICACITÉ  
ÉNERGÉTIQUE  
GWh/a



Exemple de mise en œuvre: STEP Morat, STEP Winterthur

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Technologie arrivée à maturité commerciale, mise en œuvre dans la pratique, d'un fonctionnement fiable, techniquement relativement sophistiqué en raison des impuretés



**RENTABILITÉ** La proximité du consommateur d'énergie et la densité de chaleur sont décisifs, les rendements énergétiques (dépendant des besoins en chaleur: > 100 kW), les coûts d'investissement en thermoréseaux, des réseaux de chauffage et de refroidissement combinés sont avantageux, coûts d'entretien relativement élevés (parce que les eaux usées brutes ne sont pas traitées), dépend de la taille de la STEP (> 3 000 EH), débit minimal de 10 à 15 l/s, diamètre minimal des tuyaux d'au moins 80 à 100 cm



**IMPACT SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** En dehors du périmètre de la STEP (aucune influence sur l'exploitation de la STEP, pour autant que l'extraction de chaleur soit modérée lorsque la température d'arrivée est basse)

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

L'extraction de chaleur des eaux brutes de la STEP a des effets potentiellement négatifs sur les performances de la nitrification et sur l'élimination de l'azote (surtout pour les eaux froides en hiver) et est donc potentiellement en conflit avec la tâche principale de d'épuration de l'eau (effet inverse lors de l'apport de chaleur lors de refroidissement, tous deux dépendent de la plage de variation de température).

L'extraction de chaleur a tendance à conduire à des concentrations plus élevées dans les effluents de la STEP (inversement lors de l'apport de chaleur)

#### EXTERNE

Il existe un potentiel pour l'extraction de chaleur, surtout en été, lorsque la demande de chaleur est faible.

L'extraction de chaleur a un impact positif sur les eaux (inversement lors de l'apport de chaleur).

Contribution supplémentaire à la production d'énergie renouvelable, et réduction correspondante de la production de gaz à effets de serre grâce à la substitution de combustibles non renouvelables (p.ex. gaz, mazout). Toutefois l'exploitation de thermoréseaux entraîne une consommation électrique supplémentaire.

### Impact des conditions-cadres

#### RÈGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art. 7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne)		
> Principes généraux	+	Art. 1: Utilisation accrue d'énergies indigènes et renouvelables Art. 3: Exploiter les rejets de chaleur utilisables; utilisation accrue d'énergies renouvelables Art. 6: Préférence d'une production d'énergie efficaces sans incidences sur le climat
> Divers instruments de promotion (RPC, WeA, modèle pour les grands consommateurs)	+	Art. 13 : Encouragement de la production d'énergie renouvelable
Loi sur la protection des eaux (LEaux)	+ -	Priorité à la protection des eaux (la chaleur est nécessaire à l'épuration biologique) Art. 10 : Directives pour l'exploitation économique des STEP Exigences en matière d'élimination de l'azote des eaux usées (non spécifique à une méthode ; le stripping à l'azote étant l'une des technologies possibles)
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	+	Priorité à la protection des eaux Annexe 2.2: Détermination de la relation entre les changements de température par extraction ou apport de chaleur (max 3 °C) et la température maximale (25 °C) Annexe 3: Exigences relatives à l'élimination P / N
Plans directeurs énergétiques et concepts énergétiques communaux	+	Directives légales contraignantes sur l'utilisation de la chaleur résiduelle des eaux usées

#### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix des combustibles	+	Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP pour une augmentation de la production de chaleur
Prix du courant électrique	-	Coûts supplémentaires d'exploitation pour les réseaux de chauffage et de refroidissement

#### AUTRES FACTEURS

Sécurité d'approvisionnement	+	La production d'énergie indigène accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger)
------------------------------	---	--

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Estimation basée sur des discussions avec les opérateurs de STEP (aucune publication connue)

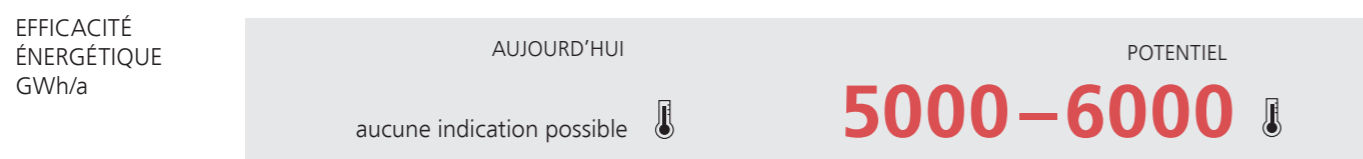
**POTENTIEL** Potentiel théorique de récupération de chaleur de 6000 GWh/a avec une baisse de température moyenne d'environ 8 °C (OFEN, 2008; VSA / SuisseEnergie, 2008/2010), réduction du potentiel avec l'hypothèse d'un refroidissement de 0,5 à 1 °C en raison de l'incidence potentielle sur la biologie de la STEP

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Müller & Dietler (2015), FHWN (2014), AWEL (2010), Kobel (2011), Schmid (2007), Meggers & Leibundgut (2011), Levy (2009)

## E 09 Utilisation de la chaleur des effluents

Production d'énergie thermique basse température par récupération de chaleur des effluents de la STEP. Au travers d'échangeurs de chaleur et de thermoréseaux, la chaleur peut être utilisée en fonction de la demande d'énergie, soit pour le chauffage, soit pour le refroidissement. Dans ce dernier cas la chaleur n'est pas extraite des effluents mais elle y est évacuée. L'extraction ou apport de chaleur est assujéti aux influences sur l'écologie aquatique (voir ci-dessous).

### Utilisation actuelle et potentiel (théorique)



De nombreux exemples de mise en œuvre (plus de 100 STEP en Suisse)

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Technologie arrivée à maturité commerciale, mise en œuvre dans la pratique, d'un fonctionnement fiable, aucun problème technique (effluents épurés)



**RENTABILITÉ** La proximité du consommateur d'énergie et la densité de chaleur sont décisives, les rendements énergétiques (dépendant des besoins en chaleur), les coûts d'investissement en thermoréseaux les réseaux de chauffage et de refroidissement combinés sont avantageux (> 10 000 EH), dépend de la taille de la STEP, débit minimal de 10 à 15 l/s, diamètre minimal des tuyaux d'au moins 80 à 100 cm



**IMPACT SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** En dehors du périmètre de la STEP (aucune influence sur l'exploitation de la STEP)

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

Contribution à l'approvisionnement de la STEP avec une énergie de chauffage renouvelable (par exemple pour le séchage des boues, le chauffage des bâtiments).

#### EXTERNE

Dépend fortement de la proximité des consommateurs d'énergie (souvent relativement très éloignés par rapport à l'alimentation de la STEP; de moins en moins toutefois, en raison du développement urbain) et de la densité de chaleur. Il existe un potentiel pour l'extraction de chaleur, surtout en été, lorsque la demande de chaleur est faible.

L'extraction de chaleur a un impact positif sur les eaux superficielles (inversement lors de l'apport de chaleur, ce qui n'est pas une solution viable du point de vue de l'environnement, car en été lorsque les besoins de refroidissement sont importants, les eaux ne devraient pas être encore davantage réchauffées).

Les exigences de la loi sur la protection des eaux en matière de variations de température dans les effluents doivent être respectées.

Contribution supplémentaire à la production d'énergie renouvelable, et réduction correspondante de la production de gaz à effets de serre grâce à la substitution de combustibles non renouvelables (p.ex. gaz, mazout). Toutefois l'exploitation de thermoréseaux entraîne une consommation électrique supplémentaire.

### Impact des conditions-cadres

#### RÈGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art. 7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne)		
> Principes généraux	+	Art. 1: Utilisation accrue d'énergies indigènes et renouvelables Art. 3: Exploiter les rejets de chaleur utilisables; utilisation accrue d'énergies renouvelables Art. 6: Préférence d'une production d'énergie efficaces sans incidences sur le climat
> Divers instruments de promotion (RPC, WeA), modèle pour les grands consommateurs)	+	Art. 13: Encouragement de la production d'énergie renouvelable
Loi sur la protection des eaux (LEaux )	+ -	Priorité à la protection des eaux (la chaleur est nécessaire à l'épuration biologique) Art. 10 : Directives pour l'exploitation économique des STEP
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	-	Priorität protection des eaux Annexe 2.2 : Détermination de la relation entre les changements de température par extraction ou apport de chaleur (max. 3 °C) et la température maximale (25 °C)
Plans directeurs énergétiques et concepts énergétiques communaux	+	Directives contraignantes pour les autorités concernant l'utilisation de la chaleur résiduelle des eaux usées

#### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix des combustibles	+	Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP pour une augmentation de la production de chaleur
Prix du courant électrique	-	Coûts supplémentaires d'exploitation pour les réseaux de chauffage et de refroidissement

#### AUTRES FACTEURS

Sécurité d'approvisionnement	+	La production d'énergie indigène accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger)
------------------------------	---	--

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Aucune information quantitative fiable disponible; plus d'une centaine de stations d'épuration en Suisse

**POTENTIEL** Potentiel théorique de récupération de chaleur de 6000 GWh/a avec une baisse de température moyenne d'environ 8 °C (OFEN, 2008; VSA / SuisseEnergie, 2008/2010)

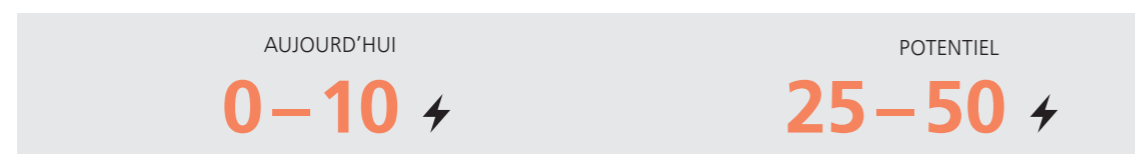
**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Müller & Dietler (2015), FHWN (2014), DIREN (2010), Kobel (2011), Schmid (2007), Meggers & Leibundgut (2011), Levy (2009)

## E 10 Petite centrale hydraulique en entrée ou sortie

Utilisation du potentiel hydraulique en entrée et en sortie de la STEP par turbinage, pour la production d'électricité. En raison du faible niveau d'impuretés dans les eaux usées épurées, l'exploitation de turbines est plus facile à mettre en œuvre à la sortie qu'à l'entrée.

### Utilisation actuelle et potentiel

EFFICACITÉ  
ÉNERGÉTIQUE  
GWh/a



Exemple de mise en œuvre: STEP Hofen, STEP Morgental, STEP Schwyz

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Technologie arrivée à maturité commerciale, mise en œuvre dans la pratique; d'un fonctionnement fiable (plus facilement réalisable en sortie qu'en entrée de STEP), dépend du dénivelé (potentiel hydrostatique)



**RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE** Rendements énergétiques supplémentaires; coûts d'investissement et d'exploitation (turbines), bassin de compensation éventuellement requis, dépend de la RPC, dépend de la taille de l'installation et des débits (> 5000 EH)



**IMPACT SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** En dehors du périmètre de la STEP (aucune influence sur l'exploitation de la STEP, si aucun bassin de compensation n'est requis pour causes de fluctuations de pression)

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

Aucun

#### EXTERNE

Contribution supplémentaire à la production d'énergie renouvelable, et réduction correspondante de la production de gaz à effets de serre grâce à la substitution d'énergie non renouvelable dans le mix énergétique suisse.

### Impact des conditions-cadres

#### RÈGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art.7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne)		
> Principes généraux	+	Art. 1: Utilisation accrue d'énergies indigènes et renouvelables Art. 3: Utilisation accrue d'énergies renouvelables Art. 6: Préférence d'une production d'énergie efficaces sans incidences sur le climat
> Divers instruments de promotion (RPC, WeA), modèle pour les grands consommateurs)	++	Art. 7: La rétribution à prix coûtant (RPC) en tant que mesure d'incitation destinée à augmenter la production d'électricité Art. 13: Encouragement de la production d'énergie renouvelable
Loi sur la protection des eaux (LEaux )	+	Art. 10: Directives pour l'exploitation économique des STEP
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	+	Nouvelle aide à l'exécution (ch. 2.4 Optimisation de la consommation d'énergie et de la production d'énergie)

#### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix du courant électrique	+	Incitation en matière de gestion commerciale pour la production d'électricité
----------------------------	---	---

#### AUTRES FACTEURS

Sécurité d'approvisionnement	+	La production d'énergie indigène accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger)
------------------------------	---	--

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Propre estimation sur la base du potentiel identifié

**POTENTIEL** Reprise des estimations de potentiel existantes (Mueller, 2010)

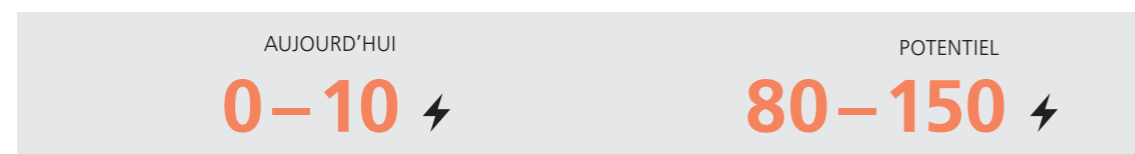
**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Schmid (2009), Schmid et al. (2010)

# E 11 Photovoltaïque

Production d'électricité en utilisant des modules photovoltaïques sur les surfaces disponibles dans le périmètre de la STEP (p.ex. sur les toits, au-dessus des bassins d'épuration). Cette mesure contribue à la production d'énergie renouvelable, laquelle servira autant que possible à couvrir les besoins propres.

## Utilisation actuelle et potentiel

EFFICACITÉ  
ÉNERGÉTIQUE  
GWh/a



Divers exemples de mise en œuvre dans toute la Suisse (p. ex. STEP Birs, STEP Ergolz 1, STEP Ergolz 2, STEP Hofen (en projet), STEP Werdhölzli, STEP Mannenberg)

## Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Technologie fiable et éprouvée, mise en œuvre dans de nombreuses STEP



**RENTABILITÉ** Revenus supplémentaires provenant de la vente d'électricité ou réduction des coûts d'exploitation, en fonction de l'orientation, des heures annuelles d'ensoleillement et de l'utilisation de systèmes de trackers (augmentation du rendement d'environ 40 %), ainsi que RPC ou financement ponctuel



**IMPACT SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** Pas ou très peu d'influence sur le fonctionnement de la STEP; Installation sur des constructions existantes ou sur des surfaces inutilisées, ainsi qu'au-dessus des bassins d'épuration

## Conflits d'objectifs et dépendances

### INTERNE

Aucuns

### EXTERNE

Contribution supplémentaire à la production d'énergie renouvelable, et réduction correspondante de la production de gaz à effets de serre grâce à la substitution d'énergie non renouvelable dans le mix énergétique suisse.

## Impact des conditions-cadres

### RÈGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur le CO <sub>2</sub> (incl. l'ordonnance sur le CO <sub>2</sub> )	++	Art.7: Certificats de réduction des émissions en Suisse
Loi sur l'énergie (LEne, incl. OEne)		
> Principes généraux	+	Art. 1: Utilisation accrue d'énergies indigènes et renouvelables Art. 3: Utilisation accrue d'énergies renouvelables Art. 6: Préférence d'une production d'énergie efficaces sans incidences sur le climat
> Divers instruments de promotion (RPC, WeA), modèle pour les grands consommateurs	++	Art. 7: La rétribution à prix coûtant (RPC) en tant que mesure d'incitation destinée à augmenter la production d'électricité Art. 13: Encouragement de la production d'énergie renouvelable Art. 17: Conventions d'objectifs pour les gros consommateurs
Loi sur la protection des eaux (LEaux )	+	Art. 10: Directives pour l'exploitation économique des STEP
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	+	Art. 14: Données d'exploitation (entre autres consommation énergétique) soumises à déclaration en tant que fondement pour l'optimisation Nouvelle aide à l'exécution (ch. 2.4 Optimisation de la consommation d'énergie et de la production d'énergie)
<b>SOCIO-ÉCONOMIQUE</b>		
Prix du courant électrique	+	Incitation en matière de gestion commerciale pour la production d'électricité
<b>AUTRES FACTEURS</b>		
Sécurité d'approvisionnement	+	La production d'énergie indigène accroît la sécurité de l'approvisionnement (réduction de la dépendance de l'étranger)

## Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Estimation sur la base de projets existants (p.ex. STEP Werdhölzli: surface = 1770 m<sup>2</sup>, production d'électricité = 0,2 GWh/a; STEP Mannenberg: surface = 60 m<sup>2</sup>, production d'électricité = 0,005 GWh/a)

**POTENTIEL** Extrapolation à partir de l'expérience des exemples de mise en œuvre dans le parc des STEP suisses

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Mueller et al. (2013), VSA/EnergieSuisse (2008/2010)

## Synthèse partielle Production d'énergie

Selon les STEP (y compris les eaux usées brutes et les effluents), il existe des différents procédés de production d'énergie électrique, de chaleur, mais aussi de combustibles. À l'exception de la récupération de chaleur et de la production d'électricité en entrée et en sortie de la STEP, et de la production d'énergie solaire par photovoltaïque, ils reposent principalement sur l'utilisation du potentiel énergétique contenu dans les boues d'épuration. Ces processus visent d'une part à augmenter la production de gaz de digestion, soit par le biais d'une élimination accrue des matières organiques au moyen de processus de désintégration des boues ou d'une deuxième étape de digestion (post-digestion), ou par l'apport de cosubstrats en cas de capacités résiduelles dans le digesteur. D'autre part, il s'agit de mieux utiliser le gaz d'épuration produit dans des couplages chaleur-force efficaces pour la production d'électricité et de chaleur ou par la transformation du gaz de digestion en biométhane (qualité similaire au gaz naturel).

Les potentiels énergétiques varient considérablement entre les différents procédés considérés. Étant donné que les technologies s'excluent partiellement, se contraignent ou se renforcent entre elles, le potentiel global est différent de la somme des potentiels individuels avérés (voir la matrice de compatibilité). Les plus grands potentiels avérés sont la récupération de chaleur à partir de des eaux usées brutes et des effluents, bien que le potentiel au niveau de la sortie soit significativement supérieur, car la chaleur peut y être extraite sans incidence sur les performances d'épuration. Cependant, le potentiel économiquement exploitable des effluents est limité à une valeur significativement plus faible, de 2000 à 3000 GWh, pour diverses raisons (p.ex. la distance aux consommateurs de chaleur, thermoréseaux existants, prix du gaz et du pétrole, demande plus faible en été). De plus, il est important de prendre en considération l'impact sur les écosystèmes aquatiques en cas d'exploitation intensive. D'autres potentiels importants sont associés à l'utilisation accrue du gaz de digestion. Une production d'électricité cohérente dans un CCF efficace recèle un potentiel de production d'environ 100 GWh d'électricité ou de 200 GWh de chaleur. Ce dernier n'est cependant pas toujours pleinement utilisable, en raison des besoins de chaleur limités de la STEP (en particulier durant les mois d'été : production excessive de chaleur). Une alternative, encore peu répandue (principalement dans les grandes STEP d'environ 100 000 EH), est la transformation du gaz de digestion en biométhane (qualité similaire au gaz naturel). Le problème de chaleur excédentaire peut ainsi être évité, parce que l'énergie contenue dans le gaz de digestion est converti en un combustible stockable et donc polyvalent. Cependant, le potentiel de 300 kWh indiqué ici est plus faible, car une part importante du gaz de digestion est déjà utilisé dans le CCF pour produire de l'énergie. Comme le montre l'exemple de la STEP de Berne, une combinaison de ces deux technologies de valorisation est recommandée, car la

forme de l'énergie produite peut ainsi mieux être adaptée à la demande liée à la STEP. L'augmentation du rendement du gaz de digestion grâce à la méthode de désintégration et de post-digestion avec valorisation énergétique ultérieure dans un CCF, ainsi que la production d'électricité par turbinage (petite centrale hydraulique) et grâce à la photovoltaïque dans les STEP recèlent en comparaison un potentiel énergétique relativement faible. Le potentiel de la fermentation des cosubstrats est probablement important, mais il ne peut pas être quantifié dans le cadre de cette étude. D'un point de vue écologique global, la co-fermentation n'a d'intérêt que si les nutriments peuvent être ultérieurement extraits de la boue (voir P01 à P04), et si les co-substrats ne sont pas ensuite redirigés vers une usine de biogaz agricole ou industrielle, avec la possibilité de valorisation des nutriments (utilisation des digestats contenant des éléments nutritifs). Sinon, le mélange des cosubstrats avec les boues fortement polluées rendrait impossible une valorisation des nutriments. Les STEP ont en revanche l'avantage d'offrir une filière d'élimination des déchets avec exploitation du potentiel énergétique pour de grandes quantités de déchets organiques.

Les différentes possibilités considérées d'augmentation de la production d'énergie dans les STEP sont largement basées sur des technologies commercialisables et éprouvées, et sont techniquement tout à fait réalisables. Les limitations portent sur le transport contraignant des boues (désintégration des boues d'épuration) ainsi que sur la pollution dans les eaux usées (récupération de chaleur à l'entrée). Mais toutes ces technologies sont déjà largement mises en œuvre et utilisées. Aucun de ces potentiels n'est rentable sans restrictions, bien qu'il y ait des variations significatives entre les différentes approches. Outre la taille des STEP, les facteurs importants sont les rendements supplémentaires d'énergie, les adaptations nécessaires des infrastructures (p.ex. investissement dans un deuxième digesteur, thermoréseaux) ainsi que les coûts d'exploitation modifiés résultant par exemple des changements des coûts d'élimination des boues ainsi que des frais d'entretien. Concernant les impacts sur le fonctionnement des STEP qui sont liés à la mise en œuvre des potentiels de production d'énergie, des variations significatives peuvent également être identifiées entre les différentes approches. Alors que les processus mis en place à l'extérieur du périmètre de la STEP, à l'arrivée ou à la sortie, ne nécessitent que peu ou aucun ajustement de son fonctionnement, d'autres requièrent des ajustements structurels plus ou moins importants (p.ex. la post-digestion, la désintégration). Tous les processus peuvent cependant être mis en œuvre avec des ajustements proportionnés du fonctionnement, en tenant compte de la taille de la STEP qui a une influence décisive. Un examen détaillé de chaque cas individuel est ici aussi nécessaire, afin de tenir compte des conditions et des possibilités spécifiques à chaque STEP pour la réalisation du potentiel.

L'exploitation des potentiels de production d'énergie des STEP est fortement encouragée principalement par la législation sur l'énergie et sur le CO<sub>2</sub>. Les dispositions réglementaires qu'elles contiennent décrivent les principes ainsi qu'une série d'instruments de soutien financier visant la production d'électricité et de chaleur renouvelables. On notera tout particulièrement ici les certificats de réduction nationale des émissions de gaz à effet de serre (législation sur le CO<sub>2</sub>), ainsi que 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 sur la mise en œuvre, car ils affectent positivement la rentabilité de la production d'énergie.

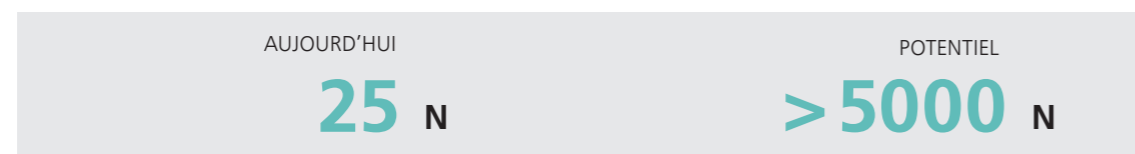
Du point de vue de l'efficacité des ressources en Suisse, le parc des STEP suisses offre un potentiel important d'augmentation de la production d'énergie renouvelable. Le potentiel grossièrement estimé est nettement supérieur à la consommation interne nécessaire au traitement des eaux usées, de sorte que le parc des STEP suisses peut contribuer à l'approvisionnement de la Suisse en énergies renouvelables. Toutefois, cette contribution annuelle de plusieurs milliers de GWh est à relativiser par rapport à la consommation d'énergie totale en Suisse d'environ 250 000 GWh.

# N01 Stripping de l'azote

Procédés pour le traitement des retours contenant de l'azote ammoniacal. L'azote contenu dans l'eau putride est extrait sous forme d'ammoniac et lié avec de l'acide sulfurique. L'azote ainsi récupéré peut être utilisé dans l'agriculture sous forme d'engrais liquide à base de sulfate d'ammonium.

## Utilisation actuelle et potentiel

RÉCUPÉRATION DE NUTRIMENTS STEP t/a



Exemple de mise en œuvre: STEP Kloten/Opfikon et quelques installations en Allemagne et en Autriche

## Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Bien étudiée. Il existe en Europe quelques rares installations à grande échelle ; procédé arrivé à maturité commerciale (d'autres optimisations sont possibles en cas de besoins énergétiques); Nécessite un traitement séparé de l'eau putride, ce qui signifie que cela dépend de la taille de la STEP (> 50 000 EH)



**RENTABILITÉ** Pas rentable en comparaison avec d'autres procédés d'élimination de l'azote, rendements produit (toutefois relativement faible en raison des prix bas des engrais), besoins énergétiques, coûts d'investissement spécifiques élevés par kg d'azote (en comparaison avec le procédé Haber-Bosch), dépend de la taille de la STEP



**IMPACT SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** Coûts d'exploitation accrus, les autres processus de la STEP (traitement des eaux usées et traitement des boues) ne sont pas affectés, dépend de la taille de la STEP

## Conflits d'objectifs et dépendances

### INTERNE

Le traitement séparé de l'eau putride allège la phase d'épuration biologique (libération de capacités de traitement, besoins d'électricité réduits pour l'aération).

Le gain de rentabilité apporté par le traitement séparé de l'eau putride est significativement plus élevé lorsque cela permet d'éviter l'agrandissement de l'étage d'épuration biologique.

### EXTERNE

La mise en œuvre doit être évaluée dans une perspective globale : dépense d'énergie de la STEP par rapport à la production industrielle d'engrais azoté, en tenant compte de la consommation de matières premières (acide sulfurique, soude caustique).

## Impact des conditions-cadres

### RÉGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Ordonnance sur les engrais (OEng)	+	Réglementation générale pour l'autorisation et la mise sur le marché de toutes les catégories d'engrais (p. ex. engrais de recyclage)
ORRChim	++	Art. 3 (L'annexe 2.6): Les exigences de qualité entre autres des engrais de recyclage (p.e. engrais de recyclage produit à partir de l'eau putride)
Loi sur la protection des eaux (LEaux )	+	Priorité de la protection des eaux Art. 10: Directives pour l'exploitation économique des STEP Exigences en matière d'élimination de l'azote des eaux usées (non spécifique à une méthode ; le stripping à l'azote étant l'une des technologies possibles)
Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	+	Priorité à protection des eaux A3: Exigences relatives à l'élimination du phosphore et de l'azote

### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix du courant électrique	+	Incitation en matière de gestion commerciale pour les exploitants de STEP pour une diminution de la consommation d'électricité (coûts d'acquisition)
Prix des engrais minéraux	—	Concurrence avec les engrais de recyclage issus du traitement des reflux

### AUTRES FACTEURS

Sécurité d'approvisionnement	+	Nécessite l'importation des nutriments détruits en raison d'une récupération impossible à partir des déchets (dépendance supérieure de l'étranger)
------------------------------	---	--

## Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** selon les données de la STEP de Kloten/Opfikon

**POTENTIEL** Teneur en azote de l'eau putride dans la STEP  $\geq 50\ 000$  EH: env. 20 % de la charge d'azote dans l'effluent (Strähl et al., 2013; Siegrist et al., 2009), Efficacité de la récupération avec le stripping à l'azote selon la STEP de Kloten/Opfikon: 90 %

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** FHNW (2014), OFEV (2014), Siegrist et al. (2009)



## Synthèse partielle Azote

En Suisse, env. 40 000 tonnes d'azote par an arrivent dans les stations d'épuration via les eaux usées. Dont environ 18 000 tonnes sont éliminées des eaux usées et sont relâchés dans l'atmosphère ou incinérées lors de l'élimination des boues d'épuration. Cependant, seule la concentration en azote de l'eau putride provenant du traitement des boues est suffisamment élevée pour une récupération. La teneur en azote de l'eau putride correspond à environ 15 % à 20 % de l'apport des eaux brutes dans la station d'épuration.

Il existe plusieurs méthodes de récupération de l'azote, toutefois seul le stripping de l'azote est déjà utilisé industriellement à grande échelle dans quelques grandes stations d'épuration dans l'espace germanophone. Son utilisation est aujourd'hui limitée en Suisse à la STEP de Kloten / Opfikon (72 000 EH), où le processus de stripping de l'azote de l'eau putride est mis en œuvre depuis mars 2010. Le potentiel théorique du stripping de l'azote est estimé à plus de 5000 t N/a, ce qui compte tenu de la teneur en azote des eaux brutes correspond à une proportion d'environ 12 %. Dans l'ensemble, le potentiel réalisable dans les STEP de catégorie de taille  $\geq 50\ 000$  EH est probablement d'environ 2000 à 3000 t N/a. Dans les petites installations, la mise en œuvre du stripping de l'azote n'est pas réaliste pour des raisons d'exploitation et de coûts.

Le stripping de l'azote est techniquement faisable, car le processus est déjà bien étudié et fonctionne déjà à grande échelle dans la STEP de Kloten/Opfikon ainsi que dans quelques stations d'épuration en Allemagne et en Autriche. La rentabilité économique du stripping de l'azote est fortement dépendante du prix des engrais et de l'électricité. Pour éliminer l'azote de l'eau putride, le stripping de l'azote n'est actuellement pas rentable économiquement par rapport au procédé Anammox vu les prix actuels des engrais, car le procédé Anammox demande moins de puissance électrique spécifique (kWh/kg N/a). Pour la production d'engrais azotés, le stripping de l'azote n'est économiquement pas rentable par rapport à la production d'engrais classique avec le procédé Haber-Bosch, car les deux procédés ont certes les mêmes besoins énergétiques, mais le stripping de l'azote nécessite par contre des coûts d'investissement spécifiques plus élevés. Du point de vue des STEP axées sur une gestion efficace des ressources, la faisabilité du stripping de l'azote est cependant déterminante par rapport au procédé Anammox. Le fonctionnement de la STEP n'est affecté par le traitement de l'eau putride ni dans le traitement des eaux usées, ni dans le traitement des boues. La stripping de l'azote entraîne néanmoins une augmentation des coûts de personnel d'exploitation et n'est donc économiquement réalisable que dans les grandes stations d'épuration.

Il n'existe pas d'obligations réglementaires contraignantes ni de programmes d'encouragement pour la mise en œuvre du stripping de l'azote dans les STEP, mais rien n'y fait obstacle non plus (LEaux, OEaux, OEng, ORRChim). L'exploitation de ce potentiel considérable de ressources est actuellement bloquée par les coûts plus faibles d'autres procédés d'élimination de l'azote dans les STEP, ainsi que les prix relativement bas des engrais azotés minéraux en comparaison avec le sulfate d'ammonium récupéré et sa valorisation dans l'agriculture.

D'autres procédés pour la récupération de l'azote à partir de l'eau putride sont par exemple le procédé à membranes ou la précipitation de struvite. Le potentiel de récupération au moyen du procédé à membranes est estimée équivalente au stripping de l'azote. Mais ce procédé est encore au stade de la recherche, avec une première installation d'essai à grande échelle en projet dans la STEP d'Altrhein (90 000 EH). Le procédé pour la précipitation de struvite est décrit dans la fiche P01 (phosphore). Ce procédé ne convient pas à la récupération de l'azote, car l'azote et le phosphore sont présents dans une rapport 1:1 dans la struvite, alors que l'eau putride contient significativement plus d'azote que de phosphore. Il faudrait donc ajouter beaucoup de phosphore à l'eau putride pour pouvoir récupérer un pourcentage élevé d'azote au moyen de la précipitation de struvite.

## P01 Récupération du phosphore par voie humide à partir de l'eau putride

Le phosphore est extrait de l'eau putride (filtrat après déshydratation) par cristallisation sous forme de struvite (phosphate d'ammonium et de magnésium) par l'ajout de magnésium et l'augmentation du pH. Cela permet la récupération du phosphore et de l'azote pour une utilisation comme engrais de recyclage dans l'agriculture ou comme matière première pour la production d'engrais. Une telle récupération chimique par voie humide du phosphore dans les STEP nécessite une élimination biologique du phosphore avec un transfert élevé du phosphore contenu dans les eaux usées vers les boues activées. En raison de la concentration relativement faible de phosphore dans les boues digérées, le taux de récupération est quand même limité à un maximum de 35 % (par rapport aux eaux usées brutes).

### Utilisation actuelle et potentiel

RÉCUPÉRATION DE NUTRIMENTS STEP t/a

	AUJOURD'HUI	POTENTIEL
P	0	500–2500
N	0	225–1200

Exemple de mise en œuvre: Aucune connue en Suisse; plusieurs installations à grande échelle sont en fonctionnement à l'étranger

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** État de la technique (plusieurs installations à grande échelle en Europe), gestion des processus relativement complexe, l'élimination biologique du phosphore avec un transfert important du phosphore dans les boues d'épuration est une condition préalable



**RENTABILITÉ** STEP avec Bio-P: Coûts d'exploitation réduits (moins de colmatages par la struvite formée spontanément et meilleure déshydratation des boues digérées, pas de produits chimiques pour la précipitation du phosphore), rendements de produit phosphore (cependant comparativement relativement faible récupération du phosphore de 35 % max., en fonction du déroulement du processus), conduite relativement complexe du processus et investissements élevés dans le procédé ; STEP sans phosphore biologique : économiquement non rentable en raison des investissements importants dans le procédé et rendements produit très faibles (récupération d'environ 10 % du phosphore)



**IMPACT SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** STEP avec Bio-P: infrastructure supplémentaire requise pour la précipitation de la struvite, problèmes opérationnels potentiels avec le phosphore biologique (p.ex. formation de mousse, performance d'élimination lors des pics de charge, s'il n'existe pas d'élimination chimique du phosphore comme solution d'appoint; STEP sans Bio-P (en plus des aspects précédents: adaptation importante de la STEP pour passer de l'élimination chimique du phosphore à l'élimination biologique

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

Le prérequis pour la mise en œuvre de ce procédé est l'amélioration de l'élimination biologique du phosphore ainsi que le transfert élevé correspondant du phosphore dans les boues d'épuration. (Selon le FHNW moins de 5 STEP > 50 000 EH sont équipées de Bio-P).

Alternative à:

- Récupération chimique par voie humide à partir de boues digérées.
- Monocombustion de boues d'épuration et extraction de phosphore subséquente à partir des cendres (chimiquement par voie humide ou thermochimiquement).

#### EXTERNE

Des problèmes potentiels d'efficacité de l'élimination du phosphore biologique lors des pics de charge dans le cas où la précipitation chimique du phosphore n'est pas disponible pour la compléter (mais elle l'est en règle générale).

Cela n'affecte pas la disponibilité des boues digérées déshydratées comme combustible de remplacement pour l'industrie du ciment (aucune monocombustion préalable n'est nécessaire pour l'extraction du phosphore) avec des réductions correspondantes des émissions de gaz à effet de serre grâce à la substitution de combustibles fossiles (souvent de la lignite) dans les cimenteries.

La rentabilité économique est fortement tributaire des prix des produits chimiques et de l'évolution des prix sur le marché des minéraux.

## Impact des conditions-cadres

### RÉGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Ordonnance révisée sur le traitement des déchets (OTD, à partir de 2016)	++	Art. 15: Obligation de la récupération du phosphore selon l'état de la technique avec délai transitoire)
Ordonnance sur les engrais (OEng)	+	Réglementation générale pour l'autorisation et la mise sur le marché de toutes les catégories d'engrais (p. ex. engrais de recyclage)
(ORRChim)	++	Annexe 2.6 (à l'art. 3): Exigences de qualité pour les engrais (entre autres les engrais de recyclage issus de la valorisation des boues d'épuration)
	+	Interdiction de l'épandage des boues d'épuration dans l'agriculture

### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix des engrais minéraux	--	Concurrence avec les engrais de recyclage issus de la valorisation matière des boues d'épuration.
Acceptation des engrais de recyclage	-	Scepticisme à l'égard de la teneur en polluants et la disponibilité pour les plantes Ne correspond pas aux habitudes traditionnelles des agriculteurs

### AUTRES FACTEURS

Ménager les réserves de phosphore	+	Ressource épuisable dont l'extraction est liée à des nuisances importantes pour l'environnement et la société
Sécurité d'approvisionnement	+	Nécessité d'importer des nutriments du fait de la non-récupération à partir des déchets (dépendance accrue de l'étranger: instabilité géopolitique)

## Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Pas d'utilisation connue en Suisse.

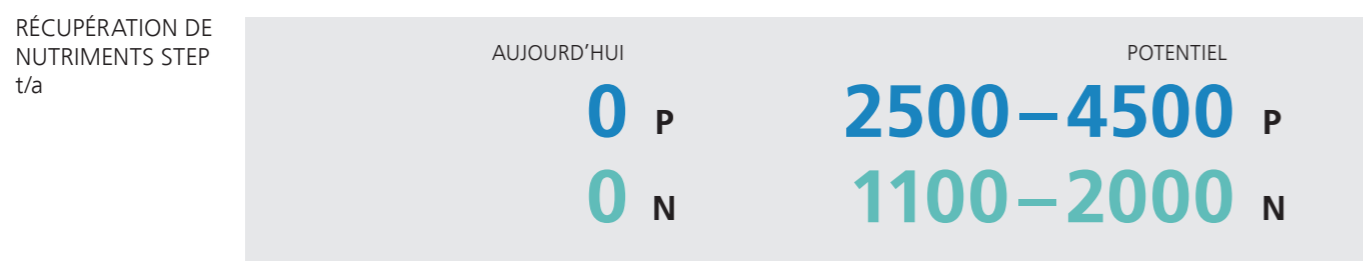
**POTENTIEL** Charge annuelle en phosphore des eaux usées brutes sur la base de la concentration de phosphore en fonction de la taille de la STEP et des quantités correspondantes d'eaux usées brutes (VSA, 2011): 6500 t P/a, Transfert du phosphore des eaux usées brutes dans les eaux putrides (Pinnekamp, 2013; DIREN, 2009; validé par Hermann, 2014): 10 % (sans Bio-P à 40 % (avec Bio-P), degré maximal de récupération du phosphore à partir des eaux putrides (DIREN, 2009; Hermann, 2014): 95 %, degré de récupération résultant relatif à la charge des eaux usées brutes (confirmé par Hermann, 2009): < 10 % à max. 35 % (en fonction du procédé)

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Hermann (2009), Roskosch et al. (2014), Gaschen und Liechti (2010), TBF + Partner AG (2015)

## P02 Récupération du phosphore par voie humide à partir des boues digérées

Le phosphore est séparé des boues digérées par l'ajout d'acide, les boues digérées sont ensuite déshydratées et le phosphore est finalement précipité à partir du filtrat (p.ex. sous forme de struvite). Cela permet la récupération de phosphore et d'azote aux fins d'utilisation comme engrais dans l'agriculture ou comme matière première pour la fabrication d'engrais. Une telle récupération chimique par voie humide du phosphore dans la STEP nécessite de grandes quantités de produits chimiques (p.ex. acide sulfurique). Le degré de récupération (en lien avec les eaux usées brutes) dépend fortement de la quantité d'acide utilisée (38 % du phosphate dans les boues digérées à pH 4,8 et 62 % à pH 2,9) et, selon le procédé, de la pression et de la température.

### Utilisation actuelle et potentiel



Exemple de mise en œuvre: Aucune connue en Suisse; plusieurs installations de recherche sont en activité à l'étranger

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Divers procédés sont en cours de développement, installation pilote (Procédé de Stuttgart) en activité à la STEP d'Offenburg, déroulement complexe du processus en plusieurs étapes



**RENTABILITÉ** Rendements du produit phosphore, conduite complexe et lourde du processus, coûts d'investissement élevés dans des procédés complexes et à plusieurs étapes, coûts d'exploitation élevés (complexification coûteuse avec utilisation d'acide citrique, besoin élevé d'acides et d'alcalis en raison de l'acidification élevée pour l'hydrolyse), rendement relativement modeste d'au plus 35 % du phosphore dans les eaux usées brutes (avec un besoin de produits chimiques relativement modéré et donc économiquement viable), pas d'investissement nécessaire dans une usine d'incinération pour la récupération du phosphore



**IMPACT SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** De nombreuses modifications des infrastructures sont nécessaires pour l'hydrolyse, la complexification et la précipitation, encombrement important, gestion complexe du processus, exigences relatives à la qualification des opérateurs, compatible avec la précipitation physico-chimique du phosphore (mis en œuvre en Suisse à quelques exceptions près), la déshydratation à l'aide d'un polymère approprié est comparable à celle des boues non traitées

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

Alternative à:

- La récupération chimique du phosphore par voie humide à partir des eaux putrides.
- La monocombustion des boues d'épuration et l'extraction subséquente du phosphore à partir des cendres (par voie humide ou thermochimiquement).

#### EXTERNE

Cela n'affecte pas la disponibilité des boues digérées déshydratées comme combustible de substitution pour l'industrie du ciment (aucune monocombustion préalable n'est nécessaire pour l'extraction du phosphore) avec des réductions correspondantes des émissions de gaz à effet de serre grâce à la substitution des combustibles fossiles (souvent de la lignite) dans les cimenteries.

La rentabilité économique est fortement tributaire des prix des produits chimiques et de l'évolution des prix sur le marché des minéraux pour les engrais.

### Impact des conditions-cadres

#### RÉGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Ordonnance révisée sur le traitement des déchets (OTD, à partir de 2016)	++	Art. 15: Obligation de la récupération du phosphore selon l'état de la technique avec délai transitoire)
Ordonnance sur les engrais (OEng)	+	Réglementation générale pour l'autorisation et la mise sur le marché de toutes les catégories d'engrais (p. ex. engrais de recyclage)
(ORRChim)	++	Annexe 2.6 (à l'art.3): Exigences de qualité pour les engrais (entre autres les engrais de recyclage issus de la valorisation des boues d'épuration)
	+	Interdiction de l'épandage des boues d'épuration dans l'agriculture

#### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix des engrais minéraux	--	Concurrence avec les engrais de recyclage issus de la valorisation matière des boues d'épuration.
Acceptation des engrais de recyclage	-	Scepticisme à l'égard de la teneur en polluants et la disponibilité pour les plantes Ne correspond pas aux habitudes traditionnelles des agriculteurs

#### AUTRES FACTEURS

Ménager les réserves de phosphore	+	Ressource épuisable dont l'extraction est liée à des nuisances importantes pour l'environnement et la société
Sécurité d'approvisionnement	+	Nécessité d'importer des nutriments du fait de la non-récupération à partir des déchets (dépendance accrue de l'étranger: instabilité géopolitique)

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Pas d'utilisation connue en Suisse.

**POTENTIEL** Charge annuelle en phosphore des eaux usées brutes sur la base de la concentration de phosphore en fonction de la taille de la STEP et des quantités correspondantes d'eaux usées brutes (VSA, 2011): 6500 t P/a, transfert du phosphore des eaux usées brutes dans les boues digérées (Pinnekamp, 2013; DIREN, 2009; validé par Ludwig Hermann, 2014): jusqu'à 90 %, degré le plus élevé de récupération du phosphore dans l'eau putride (DIREN, 2009; Ludwig Hermann, 2014): > 60 %, degré de récupération résultant par rapport à la charge des eaux usées brutes (confirmé par Hermann, 2009): max. 55 %.

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Hermann (2009), Roskosch et al. (2014), FHNW (2014), Maier & Steinmetz (2014), TBF + Partner AG (2015)

## P03 Récupération du phosphore par voie humide à partir des cendres de la monocombustion des boues d'épuration

Après une monocombustion des boues d'épuration, le phosphore est dissous dans les cendres par digestion acide, puis extrait par précipitation de la fraction riche en phosphore, obtenue après séparation des métaux lourds. Ce procédé permet la récupération du phosphore aux fins d'utilisation comme engrais dans l'agriculture, ou comme matière première pour la fabrication d'engrais. Un taux de récupération relativement élevé, allant jusqu'à 70 % du phosphore des eaux usées brutes, est ainsi atteint.

### Utilisation actuelle et potentiel

RÉCUPÉRATION  
DES NUTRIMENTS  
GESTION DES  
DÉCHETS  
t/a



Exemple de mise en œuvre: aucun connu

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Procédé connu et testé dans un essai à grande échelle à l'UIOM de Berne (toutefois seulement depuis 2 à 3 mois), encore en cours de développement



**RENTABILITÉ** Rendement relativement élevé, avec un taux de récupération allant jusqu'à 70 % du phosphore contenu dans les eaux usées brutes, produit flexible (teneur en  $P_2O_5$  variable jusqu'à 40 %) avec une influence sur le rendement produit, nécessité d'une quantité relativement élevée d'acides et séparation complexe des métaux lourds, coûts d'investissement élevés, coûts d'élimination élevés pour de grandes quantités de résidus d'environ 1,4 kg par tonne de cendres (en particulier gâteaux de filtration KSA ; des améliorations sont en cours de test



**IMPACT SUR L'EXPLOITATION DE LA STEP** Hors du périmètre de la STEP, autres clients pour les boues d'épuration, indépendant du type d'élimination du phosphore dans la STEP

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

Une alternative à :

- L'extraction par voie humide à partir des eaux putrides et des boues digérées.
- Extraction thermochimique à partir de cendres de boues d'épuration.

Possibilité de mise en œuvre rapide, si aucun bénéfice financier de la récupération du phosphore n'est exigé.

#### EXTERNE

La rentabilité dépend de l'évolution des prix sur le marché des engrais minéraux et de la qualité désirée du produit issu de la récupération.

Cette mise en œuvre n'est pas dans l'intérêt de l'industrie du ciment, dans la mesure où l'achat alternatif de combustibles (en général du lignite) est lié à des frais supplémentaires ainsi qu'à des émissions de gaz à effet de serre supplémentaires (la gazéification des boues d'épuration dans la cimenterie permettrait une utilisation combinée).

### Impact des conditions-cadres

#### RÉGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Loi sur la protection de l'environnement (LPE)	+	Art. 30: Encouragement du développement de nouvelles technologies environnementales
Ordonnance révisée sur le traitement des déchets (OTD, à partir de 2016)	++	Art. 15: Obligation de la récupération du phosphore selon l'état de la technique avec délai transitoire)
Ordonnance sur les engrais (OEng)	+	Réglementation générale pour l'autorisation et la mise sur le marché de toutes les catégories d'engrais (p. ex. engrais de recyclage)
(ORRChim)	--	Annexe 2.6 (à l'art. 3): Exigences de qualité pour les engrais (entre autres les engrais de recyclage issus de la valorisation des boues d'épuration)
	+	Interdiction de l'épandage des boues d'épuration dans l'agriculture

#### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix des engrais minéraux	--	Concurrence avec les engrais de recyclage issus de la valorisation matière des boues d'épuration.
Acceptation des engrais de recyclage	-	Scepticisme quant à la teneur en polluants et à la disponibilité pour les plantes Ne correspond pas aux habitudes traditionnelles des agriculteurs
Intérêts de l'industrie du ciment	--	Les boues d'épuration, un combustible de substitution d'un grand intérêt économique

#### AUTRES FACTEURS

Ménager les réserves de phosphore	+	Ressource épuisable dont l'extraction est liée à des nuisances importantes pour l'environnement et la société
Sécurité d'approvisionnement	+	Nécessité d'importer des nutriments du fait de la non-récupération à partir des déchets (dépendance accrue de l'étranger : instabilité géopolitique)

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Pas d'utilisation connue en Suisse, expérimentation pilote à grande échelle réalisée à l'UIOM de Berne pendant 2 à 3 mois

**POTENTIEL** Charge annuelle en phosphore des eaux usées brutes sur la base de la concentration de phosphore à l'entrée en fonction de la taille de la STEP et des quantités correspondantes d'eaux usées brutes (VSA, 2011): 6500 t P/a, Transfert du phosphore contenu dans les eaux usées brutes dans les cendres via une monocombustion préalable (Pinnekamp, 2013; AWEL, 2009; validé par Ludwig Hermann, 2014): 90 %, degré maximal de récupération du phosphore à partir des cendres des boues d'épuration (AWEL, 2009 ; Ludwig Hermann, 2014): max 80 %, degré de récupération par rapport au volume des eaux usées brutes: de 35 % à 70 % max.

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Hermann (2009), Roskosch et al. Hermann (2009), Roskosch et al. (2014), FHNW (2014)

## P04 Récupération du phosphore des cendres par un procédé thermo-chimique

Traitement thermique des cendres des boues d'épuration à l'aide de composés alcalins réactifs (Na/K) à une température d'env. 900 °C afin d'éliminer les polluants des cendres (As, Cd, Pb). Les cendres sont chauffées dans un foyer à lit fluidisé, les réactions thermo-chimiques se font dans un four tubulaire rotatif. Les fumées sont épurées à sec. Ce procédé permet la récupération du phosphore aux fins de l'utilisation comme engrais dans l'agriculture ou comme matériau de base pour la fabrication d'engrais. Le taux de récupération ainsi obtenu est très élevé et atteint jusqu'à 90 % du phosphore contenu dans les eaux usées brutes.

### Utilisation actuelle et potentiel

RÉCUPÉRATION  
DES NUTRIMENTS  
GESTION DES  
DÉCHETS  
t/a



Exemple de mise en œuvre: aucun connu

### Évaluation de la réalisation du potentiel



**FAISABILITÉ TECHNIQUE** Le principe du procédé est connu et testé dans une installation pilote à grande échelle (pendant plus de 2 ans), fondé sur des techniques industrielles existantes.



**RENTABILITÉ** Rendement très élevé du produit pouvant atteindre jusqu'à 90 % du phosphore contenu dans les eaux usées brutes, produit relativement peu flexible (avec un taux de pentoxyde de phosphore  $P_2O_5$  comparativement faible qui influe sur les rendements du produit, besoins en chaleur et coûts d'investissement élevés, coûts d'élimination relativement bas pour des quantités résiduelles de 40–50 kg par tonne de cendres.



**IMPACT SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA STEP** Hors du périmètre de la STEP (indépendant du type d'élimination du phosphore dans la STEP), autres acquéreurs des boues d'épuration

### Conflits d'objectifs et dépendances

#### INTERNE

Alternative à :

- La précipitation du phosphore de l'eau putride ou des boues d'épuration stabilisées.
- L'extraction par voie humide à partir des boues digérées.
- L'extraction en phase humide à partir des cendres.

Implémentation à court terme possible, si si aucun bénéfice financier de la récupération du phosphore n'est exigé.

#### EXTERNE

La rentabilité dépend de l'évolution des prix sur le marché des engrais minéraux et de la qualité finale du produit de la récupération ainsi que des prix des combustibles.

Cette mise en œuvre n'est pas dans l'intérêt de l'industrie du ciment dans la mesure où l'achat alternatif de combustibles (en général du lignite) est lié à des frais supplémentaires ainsi qu'à des émissions de gaz à effet de serre supplémentaire (la gazéification des boues d'épuration dans l'usine de ciment permettrait une utilisation combinée).

### Impact des conditions-cadres

#### RÉGLEMENTATION

FACTEURS D'INFLUENCE	IMPACT	FONDEMENT
Ordonnance révisée sur le traitement des déchets (OTD, à partir de 2016)	++	Art. 15: Obligation de la récupération du phosphore selon l'état de la technique (avec délai transitoire)
Ordonnance sur les engrais (OEng)	–	Réglementation générale pour l'autorisation et la mise sur le marché de toutes les catégories d'engrais (p. ex. engrais de recyclage)
(ORRChim)	--	Annexe 2.6 (Art. 3): Exigences de qualité notamment en ce qui concerne les engrais de recyclage (engrais de recyclage issus de la valorisation des boues d'épuration)
	+	Interdiction de l'épandage des boues d'épuration dans l'agriculture

#### SOCIO-ÉCONOMIQUE

Prix des engrais minéraux	--	Concurrence avec les engrais de recyclage issus de la valorisation matière des boues d'épuration.
Acceptation des engrais de recyclage	–	Scepticisme quant à la teneur en polluants et à la disponibilité pour les plantes Ne correspond pas aux habitudes traditionnelles des agriculteurs
Intérêts de l'industrie du ciment	--	Les boues d'épuration, un combustible de substitution d'un grand intérêt économique

#### AUTRES FACTEURS

Ménager les réserves de phosphore	+	Ressource épuisable dont l'extraction est liée à des nuisances importantes pour l'environnement et la société
Sécurité d'approvisionnement	+	Nécessité d'importer des nutriments du fait de la non-récupération à partir des déchets (dépendance accrue de l'étranger: instabilité géopolitique)

### Principes de base

**UTILISATION ACTUELLE** Pas d'utilisation connue en Suisse, expérimentation pilote à l'échelle industrielle pendant 2 ans

**POTENTIEL** Charge annuelle en phosphore des eaux usées brutes sur la base de la concentration de phosphore à l'entrée en fonction de la taille de la STEP et des quantités correspondantes d'eaux usées brutes (VSA, 2011): 6500 t P/a, Transfert du phosphore contenu dans les eaux usées brutes dans les cendres via une monocombustion préalable (Pinnekamp, 2013; AWEL, 2009; validé par Hermann, 2014): 90 %, degré maximal de récupération du phosphore à partir des cendres des boues d'épuration (AWEL, 2009; Hermann, 2014): max 100 %, degré de récupération par rapport au volume des eaux usées brutes: 90 %

**AUTRES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES** Hermann (2009), Roskosch et al. (2014), FHNW (2014)

## Synthèse partielle Phosphore

Dans le processus d'épuration des eaux usées, divers procédés de récupération du phosphore peuvent être mis en œuvre. En principe, le phosphore peut être extrait en phase aqueuse (c.-à-d. à partir de l'eau putride), en phase boueuse (c.-à-d. à partir des boues d'épuration stabilisées, des boues déshydratées) ou à partir des cendres après monocombustion préalable des boues d'épuration déshydratées. La récupération à partir de l'eau putride ou des boues d'épuration stabilisées s'effectue via des processus de précipitation grâce à l'ajout de sels de magnésium. L'extraction à partir des boues d'épuration nécessite au préalable une digestion acide supplémentaire pour solubiliser le phosphore. La récupération à partir de l'eau putride nécessite un transfert important de phosphore entre les eaux usées brutes et les boues activées par le biais d'une élimination biologique du phosphore, car l'élimination chimique courante aujourd'hui par l'ajout de sels de fer ou d'aluminium produit des composés chimiquement très stables de phosphate de fer ou d'aluminium. En ce qui concerne la récupération à partir des cendres obtenues par monocombustion, il est possible d'appliquer aussi bien des procédés chimiques par voie humide que des procédés thermochimiques.

Les taux de récupération correspondants dépendent - outre de la mise à disposition du phosphore (dans les différentes stratégies chimiques par voie humide) - principalement de la teneur en phosphore de la fraction à partir de laquelle la récupération est effectuée. Selon le procédé utilisé et le type d'élimination préalable du phosphore, les taux de récupération varient en fonction de la charge en phosphore des eaux usées brutes entre 10 % (par voie chimique humide à partir de l'eau putride sans Bio-P) et 90 % (par voie thermochimique à partir des cendres). Les quantités récupérées se situent entre 500 et env. 6000 t de P par an. Soit entre 10 % et 100 % de l'importation suisse de phosphore sous forme d'engrais minéraux pour l'agriculture. L'importation totale de P (alimentation animale incluse, etc.) s'élève à 16000 t de P par an (Binder et al., 2009). Une récupération systématique du phosphore à partir des eaux usées apporterait en conséquence une contribution importante à l'approvisionnement global de la Suisse et réduirait de manière significative les impacts environnementaux liés à l'importation de matières premières. Mais à ce jour, aucun de ces procédés n'est mis en œuvre en Suisse.

Sur le plan de la faisabilité technologique et de la rentabilité, le procédé doté du potentiel de récupération le plus faible (chimique par voie humide à partir de l'eau putride avec élimination biologique préalable du P) est celui qui bénéficie de la meilleure appréciation. Ce procédé a atteint sa maturité commerciale et il est mis en œuvre

avec succès dans plusieurs STEP européennes. La haute rentabilité est à imputer en premier lieu à des coûts de fonctionnement et d'entretien plus réduits (moins de colmatages résultant de dépôts de struvite, meilleure déshydratation des boues digérées, pas de produits chimiques pour la précipitation du phosphore en cas de Bio-P) qui sont en lien avec l'élimination biologique du phosphore. Toutefois, en Suisse, moins de 5 STEP sont équipées de Bio-P, ce qui réduit fortement la rentabilité et l'adéquation de ce procédé pour le parc suisse des STEP (faible taux de récupération du phosphore de 10 %). La récupération chimique par voie humide à partir des boues digérées est nettement plus complexe et d'un niveau de développement moins avancé. La rentabilité est, outre le fait que les prix des engrais minéraux sont relativement bas, compromise par l'utilisation de produits chimiques très coûteux dans le traitement des boues digérées (complexation, hydrolyse). Les deux procédés entraînent des impacts importants sur le fonctionnement des STEP. Les deux procédés de récupération du phosphore à partir des cendres des boues d'épuration ne présentent que peu de différences quant à l'évaluation des trois critères. Du fait que ces processus, y compris la monocombustion préalable des boues digérées, ne se déroulent pas dans la STEP, il n'y a pas d'incidence sur le fonctionnement de la STEP - à l'exception d'autres acquéreurs pour les boues digérées. L'appréciation du traitement thermochimique est légèrement plus élevée du fait qu'il s'agit d'une installation pilote fonctionnant depuis plusieurs années et que la technologie utilisée est éprouvée. Pour des raisons diverses (coûts d'investissements, qualité et rendements du produit, élimination des résidus), la rentabilité des deux procédés n'est pas communiquée de manière exhaustive.

Concernant les conditions cadres, la révision totale de l'OTD est en première ligne. Celle-ci prescrira probablement la récupération obligatoire du phosphore à partir des déchets (boues d'épuration, farine animale et farines d'os) conformément à l'état de la technique à partir de 2016 (avec un délai transitoire de 10 ans). En ce qui concerne les deux procédés de récupération à partir des cendres, les exigences concernant les teneurs en polluants des engrais de recyclage qui sont nettement supérieures à celles des engrais minéraux, constituent encore un obstacle à l'autorisation et par conséquent à l'utilisation agricole. D'autres obstacles résident dans les prix relativement bas des engrais minéraux, du scepticisme des acheteurs à l'égard des produits recyclés et, en cas de solutions de récupération avec monocombustion, dans l'intérêt de l'industrie du ciment pour les boues d'épuration au prix avantageux et neutres en CO<sub>2</sub> comme combustible pour la production de clinker.

Du point de vue de l'efficacité des ressources, il convient de privilégier une solution qui vise un niveau élevé de récupération, qui exploite efficacement l'énergie contenue dans les boues et génère des produits recyclés adaptés aux besoins du marché. La question de savoir quelle(s) solution(s) est/sont réellement à privilégier pour le contexte suisse n'est pas encore définitivement clarifiée et continue d'être examinée dans le cadre de diverses études (potentiels de commercialisation et acceptation sur le marché, développement technologique).

## Utilisation actuelle, potentiels et faisabilité

### EFFICIENCE ÉNERGÉTIQUE

GWh/a

	AUJOURD'HUI	POTENTIEL	ESTIMATION
<b>E01</b> Efficacité électrique	400–500 ⚡	80–120 ⚡	
<b>E02</b> Consommation de chaleur	100 🌡️	25–50 🌡️	

### PRODUCTION D'ÉNERGIE

GWh/a

	AUJOURD'HUI	POTENTIEL	ESTIMATION
<b>E03</b> Désintégration des boues d'épuration	0 ⚡ 0 🌡️	10–25 ⚡ 15–40 🌡️	
<b>E04</b> Fermentation des cosubstrats	10–25 ⚡ 15–40 🌡️	aucune indication possible non connu	
Nutriments (kg/t)	– 0.5 P	– 1.4 N	
<b>E05</b> Post-digestion	0–10 ⚡ 0–15 🌡️	10–25 ⚡ 15–40 🌡️	
<b>E06</b> Production d'électricité CCF	100 ⚡ 150–200 🌡️	100–120 ⚡ 150–200 🌡️	
<b>E07</b> Traitement du gaz de digestion	60–75 🔥	300 🔥	
<b>E08</b> Utilisation de la chaleur des eaux usées brutes	0–10 🌡️	200–1000 🌡️	

**E09** Utilisation de la chaleur des effluents

aucune indication possible 🌡️

5000–6000 🌡️



**E10** Petite centrale hydraulique

0–10 ⚡

25–50 ⚡



**E11** Photovoltaïque

0–10 ⚡

80–150 ⚡



### RÉCUPÉRATION DES NUTRIMENTS

t/a

	AUJOURD'HUI	POTENTIEL	ESTIMATION
<b>P01</b> Récupération du phosphore par voie humide à partir de l'eau putride	0 P 0 N	500–2500 P 225–1200 N	
<b>P02</b> Récupération du phosphore par voie humide à partir des boues digérées	0 P 0 N	2500–4500 P 1100–2000 N	
<b>N01</b> Stripping de l'azote	25 N	> 5000 N	

### RÉCUPÉRATION DES NUTRIMENTS GESTION DES DÉCHETS

t/a

	AUJOURD'HUI	POTENTIEL	ESTIMATION
<b>P03</b> Récupération du phosphore par voie humide à partir de cendres	0 P	4000–4500 P	
<b>P04</b> Récupération du phosphore des cendres par un procédé thermochimique	0 P	5500–6000 P	



# Compatibilité entre les technologies

## COMBINAISONS DE TECHNOLOGIES

	EFFICACITÉ ÉLECTRIQUE	CONSOMMATION DE CHALEUR	DÉSINTÉGRATION DES BOUES D'ÉPURATION	FERMENTATION DES COSUBSTRATS	POST-DIGESTION	PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ CCF	TRAITEMENT DU GAZ DE DIGESTION	UTIL. DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES BRUTES	UTIL. DE LA CHALEUR DES EFFLUENTS	PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE	PHOTOVOLTAÏQUE	STRIPPING DE L'AZOTE	MONOCOMBUSTION DES BOUES D'ÉPURATION	RECYCLAGE DU P PAR VOIE HUMIDE (EAU)	RECYCLAGE DU P PAR VOIE HUMIDE (BOUES)	RECYCLAGE DU P PAR VOIE HUMIDE (CENDRES)	RECYCLAGE THERMOCHEMIQUE DU P (CENDRES)
EFFICACITÉ ÉLECTRIQUE		0/+ Anammox, RC Boues digérées	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONSOMMATION DE CHALEUR			0	0/-	0	0/- Excédent de chaleur	0/+ pas de chaleur CCF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DÉSINTÉGRATION DES BOUES D'ÉPURATION				0	0	+/- Excédent de chaleur	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FERMENTATION DES COSUBSTRATS					0	+/- Excédent de chaleur	+	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+
POST-DIGESTION						+/- Excédent de chaleur	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ PAR CCF							-/+ STEP de grande taille	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAITEMENT DU GAZ DE DIGESTION								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTILISATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES BRUTES									0/- Hiver	0	0	0	0	0	0	0	0
UTILISATION DE LA CHALEUR DES EFFLUENTS										0	0	0	0	0	0	0	0
PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE											0	0	0	0	0	0	0
PHOTOVOLTAÏQUE												0	0	0	0	0	0
STRIPPING DE L'AZOTE													0	0	0	0	0
MONOCOMBUSTION DES BOUES D'ÉPURATION														-	-	++	++
RECYCLAGE DU PHOSPHORE PAR VOIE HUMIDE (EAU)															--	-	-
RECYCLAGE DU PHOSPHORE PAR VOIE HUMIDE (BOUES)																--	--
RECYCLAGE DU PHOSPHORE PAR VOIE HUMIDE (CENDRES)																	--
RECYCLAGE THERMOCHEMIQUE DU PHOSPHORE (CENDRES)																	

# 04

## NÉCESSITÉ D' ACTIONS POLITIQUES

Les besoins de réglementation en ce qui concerne l'amélioration de l'utilisation des ressources découlent des résultats des deux premiers modules de projet. Avant d'aborder les orientations concrètes, il convient de résumer ci-après les besoins de réglementations supplémentaires pour les trois ressources (énergie, azote, phosphore)

### ÉNERGIE

Les conditions-cadres réglementaires existantes ont un effet fortement incitatif concernant l'exploitation des divers potentiels énergétiques qui sont en relation avec les technologies analysées. Cela concerne aussi bien l'encouragement de l'efficacité électrique et les possibilités d'une utilisation optimisée de la chaleur que les diverses options visant à augmenter la production d'énergie. L'objectif est ici de veiller à ce que la production d'énergie fortement encouragée via divers instruments ne se fasse pas aux dépens de l'exploitation des nutriments, respectivement que ces mesures n'aient pas d'impact négatif sur le fonctionnement des STEP et sur les questions d'écologie des cours d'eau.

### AZOTE

Les conditions-cadres réglementaires existantes n'exercent une influence ni incitative, ni dissuasive sur l'augmentation de la récupération d'azote dans les STEP. Il n'existe actuellement pas d'incitations économiques en ce qui concerne les prix des engrais et les processus en concurrence pour l'élimination de l'azote dans les STEP. Le besoin de réglementation n'est pas considéré comme très urgent dans la mesure où l'azote n'est ni une ressource rare géologiquement parlant, ni une ressource inquiétante d'un point de vue écologique ou social en ce qui concerne la production primaire.

### PHOSPHORE

Dans la mesure où l'obligation prescrite dans la nouvelle ODT de récupérer le phosphore contenu dans les boues d'épuration conformément à l'état de la technique entre en vigueur à partir de 2016, l'augmentation de l'exploitation du phosphore ne nécessite pas de réglementations supplémentaires dans la législation sur la protection des eaux. L'état correspondant de la technique doit être concrétisé dans une aide à l'exécution. À cet égard, il est essentiel que la mise en œuvre de la récupération du phosphore soit adaptée aux différentes spécificités régionales. Les éventuelles adaptations de la législation devraient veiller à ce que les exigences en matière d'autorisation pour les engrais ne fassent pas obstacle à l'utilisation agricole des nutriments récupérés dans les boues d'épuration.

Ces considérants indiquent que la réalisation des potentiels associés aux différentes technologies – exception faite du potentiel considérable de récupération de l'azote à partir de l'eau putride – ne nécessite pas de dispositif réglementaires supplémentaire d'encouragement. Lors de l'adaptation de la législation, il convient plutôt de veiller à ce que les différentes optimisations ou approches visant à améliorer l'utilisation des ressources au sens de l'optimisation du système global soient judicieusement harmonisées entre elles et n'entrent pas en conflit avec d'autres objectifs politiques partiels (p. ex. la protection des eaux par une élimination importante des polluants).

## ORIENTATIONS POUR DES ADAPTATIONS RÉGLEMENTAIRES

ORIENTATION	DESCRIPTION	RELATION AUX RESSOURCES
<b>Principe d'une exploitation des STEP fondée sur une gestion efficiente des ressources</b>	<p>En plus de l'assurance d'un fonctionnement économique, un complément envisageable de la législation serait l'obligation générale des cantons et des exploitants de STEP de pratiquer une exploitation efficiente des STEP en matière d'utilisation des ressources.</p> <p>Pour satisfaire aux exigences du système global de l'épuration des eaux usées, respectivement pour éviter les déplacements de problèmes, il est essentiel de:</p> <p>Fournir la preuve que les mesures d'amélioration de l'efficacité des ressources n'ont pas d'impact négatif sur les intérêts de la protection des cours d'eau et de la qualité des eaux.</p> <p>Garantir qu'il soit procédé à des optimisations relatives aux processus en tenant compte des impacts sur tous les processus des STEP.</p> <p>Vérifier que les mesures prises sur les sites, visant l'amélioration de l'efficacité des ressources considérée dans une perspective globale des ressources en tenant compte du cycle de vie total, sont judicieuses (p. ex. fermentation des cosubstrats, ce qui rend impossible l'utilisation dans l'agriculture des digestats contenant des nutriments; stripping de l'azote avec consommation d'énergie et d'acide par comparaison à la fabrication industrielle d'engrais).</p>	<p>Efficience énergétique</p> <p>Production d'énergie</p> <p>Recyclage de l'azote</p> <p>Recyclage du phosphore</p>
<b>Augmentation de la production d'énergie</b>	<p>Les projets visant l'augmentation de la production d'électricité dans les STEP, qui sont encouragés par la RPC ou les certificats de réduction des émissions, doivent faire l'objet d'une évaluation globale au cas par cas à l'aide d'analyses du cycle de vie (p. ex. désintégration des boues d'épuration, post-digestion; cf. «Exigences relatives à la fermentation des cosubstrats dans les STEP»).</p>	<p>Efficience énergétique</p> <p>Production d'énergie</p>
<b>Exigences en matière de fermentation des cosubstrats</b>	<p>La fermentation de cosubstrats dans les digesteurs n'est admissible que si:</p> <p>la preuve est apportée que la biomasse ne peut pas être exploitée énergétiquement dans d'autres installations de biogaz, ou ne peut pas être valorisée énergétiquement d'une autre manière en raison de leurs caractéristiques (p. ex. teneur en polluants).</p> <p>les nutriments contenus dans les boues digérées font l'objet d'une récupération dans une étape ultérieure.</p> <p>la teneur énergétique des cosubstrats est largement exploitée.</p> <p>Les STEP constituent d'un point de vue écologique un moyen d'élimination pertinent et sûr (p. ex.: au lieu d'un apport dosé de déchets carbonés dans l'étape d'épuration biologique).</p>	<p>Production d'énergie</p>

<b>Exigences relatives à l'efficacité énergétique des groupes de machines</b>	<p>Spécification des exigences minimales en matière d'efficacité électrique lors de nouvelles acquisitions d'unités de traitement des eaux usées et des boues (p. ex. pompes, mélangeurs, ventilateurs).</p> <p>Prescriptions pour le remplacement des groupes de machines inefficaces après une durée de vie optimale.</p>	<p>Efficience énergétique</p>
<b>Exigences relatives à l'exploitation de la chaleur des eaux usées brutes</b>	<p>Exigences et obligation de fourniture de preuves concernant le prélèvement de chaleur à l'entrée de la STEP, afin d'éviter que ne surviennent des effets négatifs sur la performance de la nitrification et l'élimination de l'azote dans les STEP.</p>	<p>Production d'énergie</p>
<b>Exigences relatives à l'exploitation de la chaleur en sortie</b>	<p>Exigences et obligation de fourniture de preuves concernant l'apport de chaleur en sortie de STEP (pour le refroidissement) de telle manière que les aspirations en matière d'écologie des cours d'eau ne soit pas affectées (l'effet refroidissant des eaux usées est souhaitable aussi bien en hiver qu'en été).</p> <p>Inclure les rejets d'eaux usées dans la procédure habituelle d'autorisation pour l'exploitation thermique des eaux de surfaces (n'est pas considéré).</p>	<p>Production d'énergie</p>
<b>Exigences relatives aux engrais obtenus à partir des cendres des boues d'épuration</b>	<p>Adaptation des prescriptions relatives aux engrais de recyclage obtenus à partir des cendres des boues d'épuration en ce qui concerne les teneurs tolérées en polluants. Il serait notamment envisageable d'introduire une nouvelle catégorie pour de tels engrais de recyclage, car ceux-ci doivent être épandus en quantités nettement plus faibles que les engrais de recyclage classiques (p. ex. le compost) en raison de leurs excellentes caractéristiques. L'objectif serait une mise à égalité avec les engrais minéraux concurrents du commerce.</p>	<p>Recyclage du phosphore</p>
<b>Plans directeurs énergétiques et concepts énergétiques communaux</b>	<p>Lors de l'élaboration de plans directeurs de l'énergie et de concepts énergétiques communaux, les intérêts des autres systèmes d'infrastructures ayant des fonctions écologiques essentielles doivent être explicitement pris en compte.</p>	<p>Production d'énergie</p>

Une proposition d'application concrète des orientations présentées plus haut en matière de réglementation est illustrée ci-après. Elle est le résultat d'une discussion avec la section compétente «Protection des eaux» et les représentants du département juridique de l'OFEV:

#### ADAPTATIONS RÉGULATOIRES PROPOSÉES

OU	QUOI
<b>Ordonnance sur la protection des eaux</b> (OEaux)	<b>Ajout à l'article 13 «Exploitation par du personnel spécialisé» des installations d'épuration des eaux usées d'une directive</b> qui prescrit de manière contraignante l'optimisation de l'efficacité des ressources du système global des STEP dans les limites de ce qui est techniquement possible, économiquement supportable et pertinent d'un point de vue écologique global pour les cantons et les exploitants de STEP. L'essentiel étant que l'amélioration de l'efficacité des ressources ne se fasse pas aux dépens des intérêts supérieurs de la protection des eaux.
<b>Guide / Aide à l'exécution</b> Amélioration de l'efficacité des ressources dans les STEP	<b>Élaboration d'un guide pour l'amélioration de l'efficacité des ressources dans les STEP:</b> L'objectif de ce guide est de fournir des éléments concrets sur les approches technologiques disponibles pour l'amélioration de l'efficacité des ressources dans les STEP, et de préciser en particulier ce qui doit être pris en considération lors de la mise en œuvre des différentes technologies. Les efforts ciblés d'optimisation pourront ainsi être harmonisés entre eux et des transferts de problèmes entre des objectifs politiques partiels (p. ex. la protection des eaux) pourront être évités.

# 05 CONCLUSIONS

L'objectif principal de la présente étude était de créer un état des lieux d'une possible contribution du système d'évacuation des eaux usées suisse à la création d'une économie verte suisse et d'en déduire les bases d'adaptions législatives visant à améliorer l'utilisation des ressources dans le futur. À cet effet, l'utilisation actuelle et les potentiels à moyen terme de 16 stratégies technologiques visant à améliorer l'utilisation des ressources énergie, phosphore et azote, ont été analysés et leur faisabilité a fait l'objet d'une évaluation sommaire. Sur la base d'une analyse de l'impact des conditions-cadres pertinentes sur le plan politique et socio-économique quant à la mise en œuvre des potentiels, les besoins de réglementation ont été déterminés et une proposition d'adaptations législatives a pu être élaborée, principalement en matière de législation sur la protection des eaux.

## Contribution de l'épuration des eaux usées à l'économie verte

Comme l'a révélé l'analyse, l'utilisation actuelle des ressources dans le système d'assainissement suisse se limite dans une large mesure au domaine de l'énergie. L'amélioration de l'efficacité électrique et thermique ainsi que de la production d'énergie dans les STEP, particulièrement en amont et en aval de celles-ci, est depuis longtemps une priorité des efforts d'optimisation tant du point de vue écologique que de la gestion d'entreprise. Par exemple, la majorité des STEP suisses sont équipées de digesteurs et de CCF pour transformer le potentiel énergétique contenu dans les boues digérées en électricité et en chaleur via la production de gaz de digestion. Les efforts d'amélioration de l'efficacité des ressources ont aussi porté, et portent encore aujourd'hui, sur la réduction des besoins en électricité et en chaleur via toute une série de mesures d'efficacité (p. ex des groupes de machines efficaces pour la production d'air, récupération de l'excédent de chaleur produit par les unités de traitement). Des stratégies supplémentaires visant à augmenter la production d'énergie renouvelable (p. exemple utilisation de la chaleur à l'entrée et à la sortie) sont également progressivement mises en œuvre. De ce fait, un certain nombre de STEP pionnières sont aujourd'hui énergétiquement autarciques, au moins de manière saisonnière, c'est-à-dire que leurs besoins énergétiques sont couverts par leur propre production et qu'elles ne dépendent plus d'un approvisionnement externe en électricité ou en chaleur. Par contre, l'utilisation des nutriments contenus dans les eaux usées brutes comme le phosphore et l'azote ne jouent aujourd'hui aucun rôle, ou seulement un rôle marginal. La récupération du phosphore n'est pas pratiquée

jusqu'à ce jour dans toute la Suisse. Seule exception dans le canton de Zurich, la construction d'une installation de monocombustion des boues de dépuración dans la STEP Werdhölzli, fournit l'infrastructure nécessaire permettant de récupérer à l'avenir le phosphore à partir des cendres générées par le processus de combustion, et ce avec un taux de récupération élevé. La récupération de l'azote à partir de l'eau putride n'est effectuée actuellement que dans une seule STEP (Kloten/Opfikon).

En dépit des efforts considérables des années passées, les STEP recèlent encore un important potentiel inexploité de réduction de la consommation énergétique et d'augmentation de la production d'énergie. Les potentiels d'économie d'énergie qui résultent des diverses mesures visant à l'amélioration de l'efficacité sont de l'ordre de 150 GWh par an, ce qui correspond à peu près au quart de la consommation totale d'électricité et de chaleur du parc suisse des STEP. Les deux tiers environ concernent des économies d'électricité, tandis que des économies de chaleur pouvant atteindre 50 GWh sont possibles grâce à l'utilisation cohérente de la chaleur résiduelle générée par la récupération de chaleur à divers endroits (p. ex. RC à partir des boues digérées, RC au niveau des groupes de machines dédiées à la production d'air). Le potentiel d'amélioration de la production d'énergie est par contre plus élevé et se situe au total autour de plusieurs milliers de GWh par an, ce qui correspond à peu près à la contribution actuelle de la gestion des déchets en Suisse, soit quelques pour cent de la consommation énergétique finale de la Suisse. La contribution la plus importante au potentiel global provient clairement de l'exploitation de la chaleur résiduelle à l'entrée et à la sortie de la STEP. Le potentiel d'électricité de quelques 100 GWh par an est comparativement plus faible. Concernant le phosphore, le potentiel d'utilisation inexploité dans les boues d'épuration se situe au maximum autour de 5500 à 6000 tonnes. Le potentiel dépend toutefois fortement de la technologie mise en œuvre et varie entre 500 et 6000 tonnes par an. Il est ici clairement préférable de privilégier les stratégies qui sont axées sur une récupération du phosphore à partir des boues d'épuration, plutôt que la récupération directe à partir des boues digérées ou de l'eau putride. Dans le cas d'une importation annuelle d'env. 16 000 tonnes de phosphore (dont près de 6000 tonnes sous forme d'engrais minéraux), il serait possible de substituer une part importante du phosphore primaire importé (env 40 %) grâce à une récupération efficace au niveau national à partir des boues d'épuration, et d'apporter ainsi une contribution majeure à la préservation de ces ressources essentielles et à la réduction de l'indépendance vis-à-vis de l'importation. Par ailleurs, l'étude est arrivée à la conclusion que la mise en œuvre au niveau

national du stripping de l'azote à partir d'eau putride dans les STEP de grande taille (> 50 000 EH) pourrait rendre disponible plus de 5000 tonnes d'azote sous forme de sulfate d'ammonium pour l'utilisation agricole. Par comparaison avec l'importation d'azote sous forme d'engrais minéraux d'environ 50 000 tonnes par an (OFEV, 2014), cela correspond à une proportion d'environ 10 %.

L'étude montre qu'un système d'épuration des eaux usées (incluant l'élimination des boues d'épuration) optimisé en matière d'utilisation des ressources peut contribuer à une économie verte et à un approvisionnement énergétique durable en Suisse. Mais la comparaison des potentiels de ressources identifiés avec les besoins en ressources nationaux correspondants montre aussi clairement que la mise en œuvre d'une économie verte et d'un approvisionnement durable en énergie requiert des efforts bien plus importants et doit être abordée de manière multisectorielle.

L'analyse des conditions-cadres est parvenue à la conclusion que, dans l'état actuel des choses, il n'existe pas de nécessité urgente d'intervention réglementaire pour augmenter l'efficacité des ressources dans les STEP suisses. Les conditions-cadres législatives existantes et attendues, ainsi que les divers instruments d'encouragement basés sur celles-ci, fixent les incitations ou les prescriptions pour une exploitation progressive des potentiels d'efficacité des ressources identifiés. Mais à l'exception de la récupération de phosphore, le processus se déroule plutôt par étapes que du jour au lendemain en raison de la longue durée de vie des infrastructures.

Tandis que l'utilisation des potentiels énergétiques est aujourd'hui déjà largement encouragée et débutée dans les domaines de l'efficacité énergétique et de la production d'énergie grâce à divers systèmes d'incitation et de promotion prévus dans la législation sur le CO<sub>2</sub> et sur l'énergie, les adaptations législatives requises pour la récupération du phosphore se profilent avec la révision de l'OTD qui entrera en vigueur début 2016 ainsi que les efforts continus déployés à l'Office fédéral de l'agriculture. Plutôt qu'un encouragement et une réglementation des différentes technologies, le besoin de réglementation consistera plus à l'avenir à ancrer dans la législation l'exigence fondamentale d'une exploitation des STEP basée sur une gestion efficace des ressources et à orienter les efforts déployés dans les divers domaines de ressources (énergie, azote, phosphore) sur l'objectif supérieur d'un système global fondé sur une gestion efficace des ressources «épuration des eaux usées». Une approche intégrative de ce type vise d'une part à garantir que l'amélioration de l'efficacité des ressources ne se fasse pas aux dépens des intérêts supérieurs de la protection des eaux, autrement dit ne les compromette pas. Un autre enjeu est que les mesures sur sites visant la réalisation des potentiels doivent être prises dans une perspective environnementale globale en tenant compte du cycle de vie des déplacements de problèmes entre les divers objectifs environnementaux. Ceci est dû notamment au fait que la législation sur l'énergie et la protection du climat poursuit une approche territoriale nationale, tandis que l'économie verte se fonde sur une approche basée sur le cycle de vie. Les conflits d'objectifs correspondants doivent être pris en considération et être mis en balance les uns par rapport aux autres. Les lignes directrices et recommandations spécifiques sur ce qu'il convient de prendre en compte lors de l'exploitation des différents potentiels de dépendances et de conflits d'objectifs, pourraient faire l'objet d'un guide complémentaire (similaire au Guide de l'optimisation énergétique des stations d'épuration des eaux usées, déjà existant et publié par le VSA et SuisseEnergie (VSA/SuisseEnergie, 2008/2010).

## Autres clarifications nécessaires

L'étude présentée comportait une appréciation globale au niveau national et un inventaire des potentiels en matière d'efficacité des ressources et des conditions-cadre réglementaires ayant un impact sur leur exploitation ainsi qu'une proposition en découlant pour adapter la législation sur la protection des eaux. À titre de complément et d'approfondissement de cette étude, nous abordons encore les points importants suivants que nous estimons pertinents concernant l'efficacité des ressources dans le paysage suisse de l'épuration des eaux usées:

### DE LA PERSPECTIVE D'ENSEMBLE À LA VUE DÉTAILLÉE

Les conditions d'amélioration de l'efficacité des ressources étant différents d'une STEP à l'autre ou selon les divers types de STEP, les résultats génériques élaborés ici doivent être approfondis et différenciés à cet égard. Les potentiels et en particulier la faisabilité des différentes technologies dépendent des conditions spécifiques des différentes STEP. Il est recommandé de regarder les choses de plus près, en tenant compte de la taille des STEP, des configurations existantes des processus, des contraintes de place, etc.. éventuellement dans le cadre d'études pilotes, ce qui est déjà pratiqué aujourd'hui avec des analyses énergétiques grossières et fines.

### CLARIFICATION DU BIEN-FONDÉ ÉCOLOGIQUE

L'évaluation de la faisabilité devrait être encore complétée par une analyse écologique qui évalue l'impact des mesures (technologies) dans une perspective globale. Ceci est nécessaire dans la mesure où des conflits d'objectifs existent entre les ressources (p. ex. exploitation de l'énergie versus exploitation des matières) et où les technologies utilisées (p. ex. traitement par voie humide des cendres de boues d'épuration) s'accompagnent elle-mêmes de nuisances environnementales qu'il convient de mettre en balance avec les bénéfices pour l'environnement.

# Bibliographie

## **AWEL (2009)**

Synthesebericht für interessierte Fachpersonen – Zürcher Klärschlamm Entsorgung unter besonderer Berücksichtigung der Ressourcenaspekte. Zurich: Direction des travaux publics Zurich.

## **AWEL (2010)**

Heizen und Kühlen mit Abwasser. Zurich: Direction des travaux publics Zurich.

## **Bachmann, N. (2009)**

Vorteile und Grenzen der Vergärung von leicht abbaubaren Industrie- und Lebensmittelabfällen in Abwasserreinigungsanlagen - Vergleich zur landwirtschaftlichen Vergärung. Travail de master, EPF Lausanne

## **OFEV (2014)**

Pourquoi tant d'azote ? Magazine «Environnement» 2/2014 L'Office fédéral de l'environnement.

## **OFEN (2013)**

Potential der Schweizer Infrastrukturanlagen zur Lastverschiebung. Berne: Office fédéral de l'énergie.

## **OFEN (2008)**

Abwasserwärmenutzung – Potential, Wirtschaftlichkeit und Förderung. (Utilisation des rejets de chaleur: potentiel, rentabilité et promotion). Berne: Office fédéral de l'énergie.

## **Binder, C.R., de Baan, L., & Wittmer D. (2009)**

Phosphorflüsse der Schweiz. Stand, Risiken und Handlungsoptionen. (Flux de phosphore en Suisse) Connaissance de l'environnement n° 0928. Berne: L'Office fédéral de l'environnement.

## **Boller, R. (2014)**

Kläranlage – vom Energieverbraucher zum Energieproduzenten. Nur eine Idee, Vision oder Realität ? Steinach: Abwasserverband Morgental.

## **DWA (2015)**

Merkblatt DWA-M 302 (Entwurf). Hennef: Association allemande de gestion de l'eau, des eaux usées et des déchets e.V.

## **EAWAG (2011)**

Stickstoffrückgewinnung am Beispiel der ARA Kloten/Opfikon – Dünger aus Abwasser. Journée cantonale du personnel d'exploitation des STEP de Zurich.

## **FHNW (2014)**

Ressourceneffiziente ARA - Faktenblatt zur stofflichen und energetischen Nutzung relevanter Quellen in der Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung. Muttenz.

## **Gaschen, A., & Liechti, J. (2010)**

Optimale Verwertung bringt gute CO<sub>2</sub>-Bilanz. Umwelt Perspektiven (4), p. 2 à 5.

## **Gujer, W. (2007)**

Siedlungswasserwirtschaft. Heidelberg : Springer-Verlag Berlin.

## **Hermann, L. (2009)**

Rückgewinnung von Phosphor aus der Abwasserreinigung (Récupération du phosphore contenu dans les eaux usées): Eine Bestandesaufnahme. Connaissance de l'environnement n° 29.

## **Hermann, L. (2014)**

Communication orale.

## **Horn, H., Rapp-Fiegle, S., Günthert, W., & Holtorff, M. (2009)**

Projet de recherche «Kläranlage der Zukunft» – Thèmes traités: production de gaz de digestion, technologie anaérobie et désammonification.

## **Hunziker, P. (2005)**

Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz - Vorreiterrolle der ARA Region Luzern. GWA, 4, p. 1 à 8.

## **Kind, E., & Levy, G. A. (2012)**

Energieeffizienz und Energieproduktion auf ARA. Baden.

## **Kobel, B. (2011)**

Wärmeentnahme aus Kanalisationen – eine innovative Idee zur Energieeinsparung. VSA Kanalisationsforum. Zurich.

## **Kolisch, G., Osthoff, T., Hobus, I., & Hansen, J. (2010)**

Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen – eine Ergebnisbetrachtung zu durchgeführten Energieanalysen. Korrespondenz Abwasser, Abfall, 57 (10), p. 1028 à 1032.

## **Kühni, M., Warthmann, R., & Baier, U. (2010)**

Energieautarke ARA ist technisch möglich. Umwelt Perspektiven (3), p. 14 à 17.

## **Levy, G. A. (2009)**

Energieoptimierungen auf Kläranlagen. GWA, 6, p. 1 à 7.

## **Maier, W., Steinmetz, H., & Gugel, J. (2014)**

Rückgewinnung von Phosphor aus der Abwasserreinigung (Récupération du phosphore contenu dans les eaux usées) Étude de faisabilité, SEG – Stadtentwässerung Göppingen.

**Meggers, F., & Leibundgut, H. (2011)**

The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with a heat pump. *Energy and Buildings*, 43 (4), p. 879 à 886.

**Mueller, E. A., & Dietler, M. (2015)**

Abwasser als Energiequelle. *Aqua & Gas*, 7/8.

**Mueller, E. A., Graf, E., Moser, R., & Mathys, O. (2013)**

Innovative Energieprojekte auf ARA – Medaille d'eau 2013. *Aqua & Gas*, 7/8, p. 50 à 56.

**Mueller, E. A., Schmid, F., & Kobel, B. (2010)**

Heizen und Kühlen mit Abwasser - Ratgeber für Bauherren und Kommunen. Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Bundesverband Wärmepumpe e.V., Institut Energie in Infrastrukturanlagen.

**Pinnekamp, J., Baumann, P., Cornel, P., Everding, W., Göttlicher-Schmidle, U., Heinzmann, B., et al. (2013)**

Stand und Perspektiven der Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm. *Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 10/11 (60), p. 1 à 11.

**Roskosch, A., Laux, D., Kneisel, M., & Pluta, H.-J. (2014)**

Phosphor-Rückgewinnung – Aktuelle technische und politische Entwicklungen. *Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 5 (61), p. 437 à 446.

**Schmid, F. (2007)**

Wärmerückgewinnung aus Abwasser – Potentialerhebung im Rahmen des GEP. *Energy and Buildings*, 43 (6), p. 405 à 411.

**Schmid, F. (2009)**

Aus grauem Wasser wird grüner Strom – Interessante Stromerzeugung in Abwasserleitungen. *Bulletin SEV/AES*, 2, p. 13 à 15.

**Schmid, F., Müller, E. A., & Baumann, R. (2010)**

Aus grauem Wasser wird grüner Strom – Elektroenergie aus dem Kanal. *Bulletin SEV/AES*, 3, p. 21 à 23.

**Siegrist, H., Salzgeber, D., Eugster, J., Böhler, M., & Joss, A. (13 mars 2009)**

Möglichkeiten zur Behandlung von Rückläufen – Schlammwässerung – Einsatz von Zusatzstoffen in der Schlammbehandlung. *Journée professionnelle de la VSA Commission STEP*. Zurich.

**Strähl, S., Ort, C., Siegrist, H., Thomann, M., Obrecht, J., & Kurz, E. (2013)**

Stickstoffelimination in Schweizer ARA – Weitere Entlastung der Oberflächengewässer. *Aqua & Gas*, 7/8, p. 74 à 84.

**Swisspower (2015)**

Potenzial zur Effizienzsteigerung in Kläranlagen mittels Einspeisung oder Verstromung von Klärgas. Zurich.

**TBF + Partner AG (2015)**

(2013) Stand und Perspektiven der Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm. Zurich.

**VSA (2011)**

Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung. Berne: Organisation Infrastructures communales.

**VSA/SuisseEnergie (2008/2010)**

Guide de l'optimisation énergétique des stations d'épuration des eaux usées.

**Wunderlin, P., Siegrist, H., Kipf, M.,****Gruber, W., & Joss, A. (2014)**

Energieoptimierung um jeden Preis? – Potentielle Risiken für den Umweltschutz. 89. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium. Stuttgart.