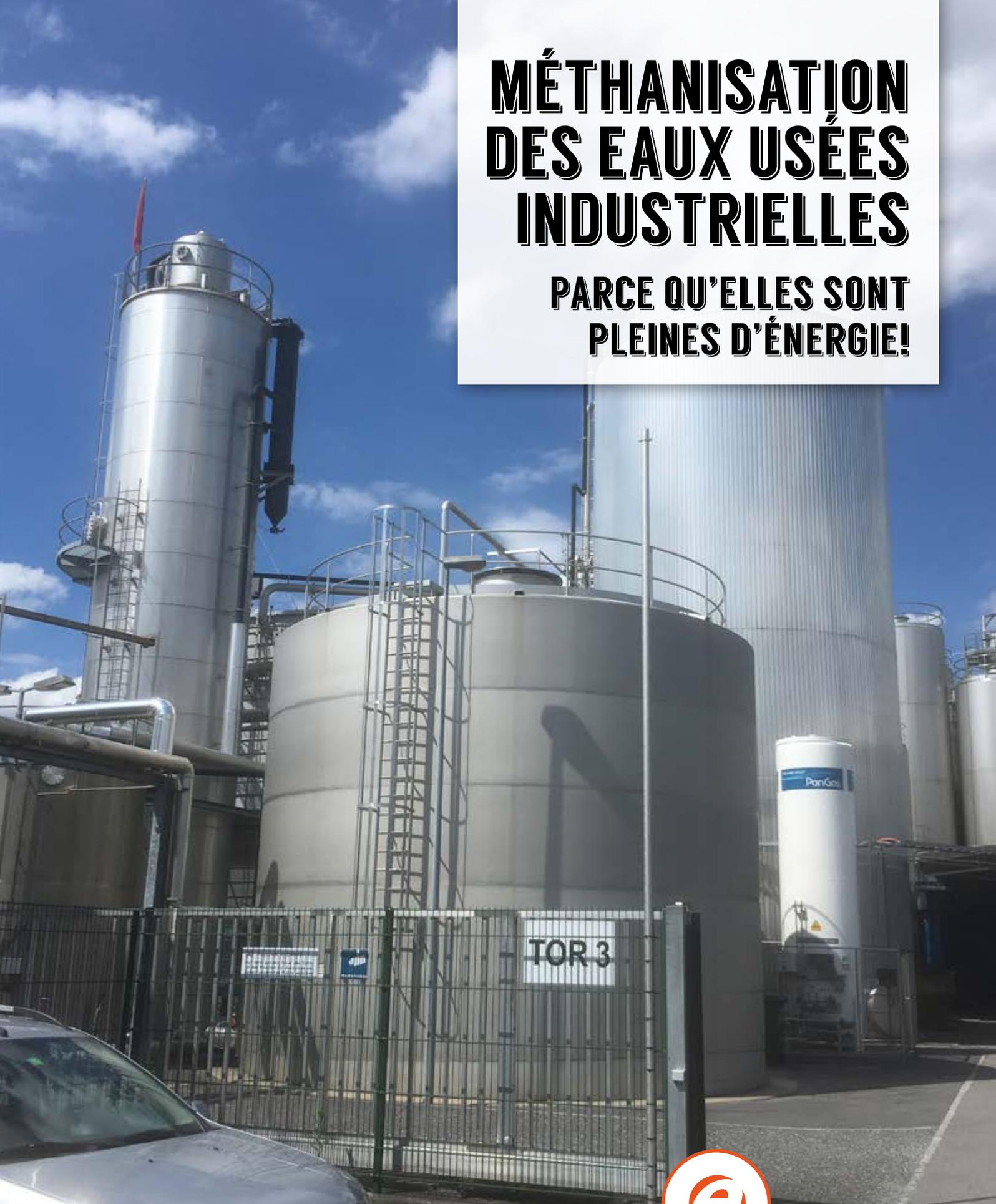


MÉTHANISATION DES EAUX USÉES INDUSTRIELLES

PARCE QU'ELLES SONT
PLEINES D'ÉNERGIE!



suisse énergie

Notre engagement : notre futur.

TABLE DES MATIÈRES

LES EAUX USÉES RECÈLENT UN GRAND POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE	5
LA MÉTHANISATION COMME SOLUTION OPTIMALE POUR LE PRÉTRAITEMENT DES EAUX USÉES	6
LES SYSTÈMES ANAÉROBES	7
SUBSTRATS, POTENTIEL ET LIMITES TECHNIQUES	10
GAIN ÉNERGÉTIQUE	12
PARAMÈTRES ÉCONOMIQUES	14
PROCÉDURE DE PLANIFICATION	16
ÉTUDES DE CAS	18
LIENS	26
INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES	28



Fig.1: Prétraitement des eaux usées d'une sucrerie (Photo: Fabrique de sucre Frauenfeld)

LES EAUX USÉES RECÈLENT UN GRAND POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE

Les eaux usées industrielles, en particulier celles de l'industrie alimentaire et en partie celles de l'industrie chimique, sont riches en substances organiques facilement biodégradables. La méthanisation (ou digestion anaérobie) offre une excellente opportunité de décomposer cette charge organique et de produire un gaz renouvelable de grande valeur. Ce biogaz peut être utilisé directement pour générer de l'énergie pour les processus industriels, que ce soit sous forme de vapeur, de chaleur et d'électricité, ou de carburant.

Une étude¹ commandée par SuisseEnergie en 2016 a montré qu'il existe un potentiel de 660 GWh de biogaz provenant des eaux usées industrielles en Suisse. Sur cette quantité, uniquement 74 GWh sont actuellement exploités dans 23 installations, soit environ seulement 11% du potentiel. Dans l'UE, le traitement anaérobie des eaux usées dans les usines de transformation alimentaire est largement utilisé, notamment en France et en Allemagne.²

La présente brochure vise à motiver en particulier les dirigeants et les responsables de l'environnement d'entreprises industrielles à étudier avec attention le prétraitement par méthanisation des eaux usées chargées en matière organique. Au moyen d'exemples d'entreprises industrielles très variées, il est montré que le traitement des eaux usées par différentes technologies anaérobies conduit à un succès durable (sur le plan économique, écologique et social). Les industries alimentaire, chimique et papetière sont des branches importantes en Suisse, et peuvent, de par leur taille, envoyer un signal fort pour la substitution d'énergie fossile dans les processus industriels par l'utilisation d'une énergie neutre en CO₂. De plus, cela leur permet d'économiser de l'argent.

Les avantages en un coup d'œil

Les eaux usées industrielles fortement polluées par des substances organiques sont généralement prétraitées pour réduire la charge de la station d'épuration communale et les coûts de traitement associés. La méthode la plus courante est l'aération, c'est-à-dire le traitement biologique aérobie. Bien qu'efficace, cette méthode est très gourmande en énergie.

Le traitement anaérobie, ou méthanisation, est une alternative valable qui présente de nombreux avantages:

- Le biogaz produit est une énergie renouvelable et peut remplacer directement l'électricité et la chaleur industrielle.
- La méthanisation nécessite très peu d'énergie de processus.
- Pendant le processus de méthanisation, plus d'énergie est produite que consommée, contrairement à l'aération.
- Le biogaz peut être utilisé dans le processus industriel et remplace ainsi l'énergie fossile.
- L'énergie renouvelable réduit les émissions de CO₂. La réduction peut par exemple être comptabilisée par les entreprises ayant une convention d'objectif avec la Confédération.
- En préférant la méthanisation à l'aération, la rentabilité de l'entreprise est améliorée.
- La production de boues, dont l'élimination se fait à des coûts élevés, est moindre.
- L'écobilan est excellent grâce à l'utilisation des ressources existantes (eaux usées).
- Pour de grandes quantités d'eaux usées, l'espace nécessaire est moindre que pour l'aération.

¹ Rapport «Méthanisation des eaux usées industrielles en Suisse»; décembre 2016. Biomasse Suisse; https://www.infothek-biomasse.ch/images//300_2016_EnergieSchweiz_RapportMethanisation.pdf

² Wellinger A., Jareš J., Pesta G. (2015): Production de biogaz à partir des biodéchets de l'industrie alimentaire. FABbiogas, Bruxelles; février 2015 http://www.fabbiogas.eu/fileadmin/user_upload/Project_Results/fabhandbook_franz1.pdf

LA MÉTHANISATION COMME SOLUTION OPTIMALE POUR LE PRÉTRAITEMENT DES EAUX USÉES

La plupart des composés organiques présents dans les eaux usées de l'industrie alimentaire sont présents sous forme dissoute et sont donc rapidement et jusqu'à 95% biodégradables. Les concentrations de substances organiques dissoutes dans les eaux usées (mesurées par la demande chimique en oxygène, DCO) se situent généralement entre 1000 et 20'000 mg/l³. L'augmentation des volumes d'eaux usées dans les entreprises prospères combinée à la charge organique entraînent souvent une surcharge des stations d'épuration des eaux usées (STEP) communales qui doivent alors être agrandies à grands frais. L'augmentation des investissements entraîne également une charge financière élevée pour les entreprises industrielles. Dès lors, une évaluation d'un prétraitement des eaux usées s'impose en premier lieu pour des raisons économiques.

PRÉTRAITEMENT AÉROBIE VERSUS ANAÉROBIE

Le prétraitement aérobie classique des eaux usées industrielles se fait par insufflation d'air ou d'oxygène. Cela nécessite un apport énergétique élevé sous forme d'électricité par rapport à la digestion anaérobie, où le biogaz est produit en l'absence d'air nécessitant un très faible apport énergétique (énergie de processus). Les systèmes aérobies ont l'avantage de dégrader de manière optimale même les eaux usées très diluées. Ils sont donc principalement utilisés pour les eaux usées peu chargées. En revanche, les eaux usées ayant des charges plus élevées (règle empirique: à partir de 2000 mg DCO/l) sont prétraitées avec des systèmes anaérobies. Les eaux usées prétraitées sont déversées dans le réseau d'égouts pour compléter leur traitement à la STEP. Le prétraitement anaérobie est souvent suivi d'un traitement supplémentaire aérobie (étape de «polissage») permettant de réduire encore d'avantage les coûts de traitement à la STEP en aval et, si nécessaire, d'éviter le développement d'odeurs dans le réseau d'égouts.

Considérations énergétiques

Il existe des différences fondamentales entre les systèmes aérobies et anaérobies. Les systèmes aérobies doivent être intensivement aérés pour garantir qu'une concentration d'oxygène d'au moins 1,5 mg O₂/l soit disponible à tout moment. Pour l'aération, une quantité relativement importante d'énergie électrique est utilisée pour produire de l'oxygène (0,5 à 1 kWh/kg d'O₂). D'un point de vue énergétique, la digestion anaérobie est clairement préférable car l'énergie nécessaire pour le processus est faible et, grâce au biogaz produit, de l'énergie nette peut être générée. Dans les processus industriels, les eaux usées sont presque toujours produites à un niveau de température élevé (plus de 25 °C) et peuvent être méthanisées sans apport de chaleur.

³ PACER 1993. Digestion des déchets ménagers et effluents industriels. OFQC 724.231 f

LES SYSTÈMES ANAÉROBES

Le temps de traitement des eaux usées industrielles est très court, de 12 à 24 heures, car les substances dissoutes peuvent être rapidement dégradées. Cependant, comme les micro-organismes anaérobies se développent relativement lentement, il y a un risque qu'ils soient emportés par le flux d'eaux usées et que le processus de dégradation s'arrête. Pour contrer cela, des procédés sophistiqués ont été développés pour découpler le temps de séjour hydraulique des eaux usées de la croissance microbienne.

- **Procédé de contact:** Un procédé utilisé depuis longtemps est la recirculation des boues bactériennes. Le biogaz est produit dans un digesteur classique infiniment mélangé depuis lequel une partie des boues est évacuée avec les eaux usées traitées et séparée dans un décanteur. La biomasse se dépose ainsi au fond du bassin de décantation et est renvoyée dans le digesteur (fig. 1, 2 et 4). Les procédés par contact anaérobie sont particulièrement efficaces avec une forte teneur en matières solides. Cette conception est souvent utilisée dans le traitement des eaux usées de l'industrie des boissons (comme les jus de fruits) ou dans l'industrie de transformation des légumes.

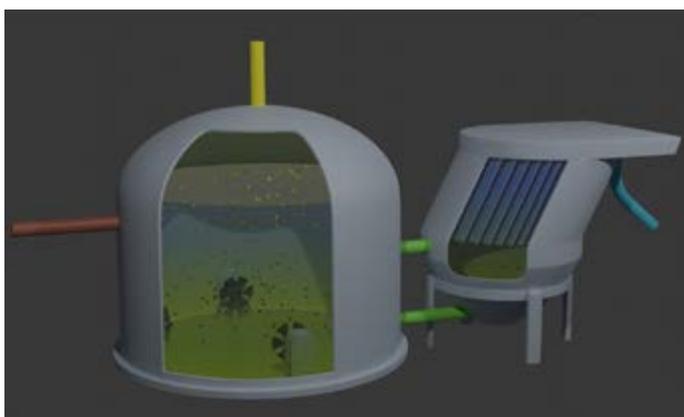


Fig. 2: Procédé de contact avec un digesteur infiniment mélangé et un séparateur de boues avec recirculation

- **Filtres anaérobies:** Presque simultanément avec les systèmes de contact, d'autres procédés ont été développés pour retenir la biomasse active. Les filtres anaérobies (également appelés réacteurs à lit fixe; fig. 3 et 5) utilisent la tendance des micro-organismes à coloniser les surfaces. Ils adhèrent à des corps poreux et inertes tels que des pierres, de la mousse de verre, des éléments en plastique ou en porcelaine non émaillée. Le plus souvent, des pièces en plastique de formes différentes sont utilisées. Dans ce cas, les micro-organismes n'adhèrent que légèrement aux surfaces, mais sont retenus dans les corps de garnissage et leurs cavités lorsque les eaux usées traversent le digesteur de bas en haut. Les filtres anaérobies (appelés ainsi parce que les micro-organismes sont retenus comme dans un filtre) peuvent résister à des chocs de charges élevés, c'est pourquoi ils conviennent autant au traitement des eaux usées fortement polluées qu'à celui des eaux usées diluées. Cependant, elles ne doivent pas contenir de solides pour éviter le colmatage.



Fig. 3: Filtre anaérobie avec un garnissage en plastique qui retient les micro-organismes



Fig. 4: Processus de contact pour la méthanisation des eaux usées de brasserie (digesteur principal à l'arrière; digesteur avec séparateur de boues à l'avant) (Photo: BOKU, Vienne)

Fig. 5: Traitement des eaux usées provenant de la production d'aliments pour bébés dans un filtre anaérobie (Photo: Triple E&M)



- Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB):** Les réacteurs dits UASB sont un autre type de réacteur permettant de retenir les bactéries (voir figure 6). Ils utilisent la capacité des micro-organismes anaérobies à former des floccs pouvant atteindre 3 mm, appelés granules. Ces granules ont une densité beaucoup plus élevée que les bactéries ou les archées (c'est ainsi que l'on appelle les micro-organismes formant le méthane) et peuvent donc être retenus plus facilement. L'effluent est introduit au fond du réacteur et passe lentement à travers un lit de boues composé de granules formés biologiquement. L'UASB convient pour le traitement de presque toutes les eaux usées industrielles. C'est donc le système le plus utilisé. Lorsque le biogaz produit et l'effluent traité quittent le digesteur, les granules sont retenus par des séparateurs et se déposent à nouveau dans le lit de boues.

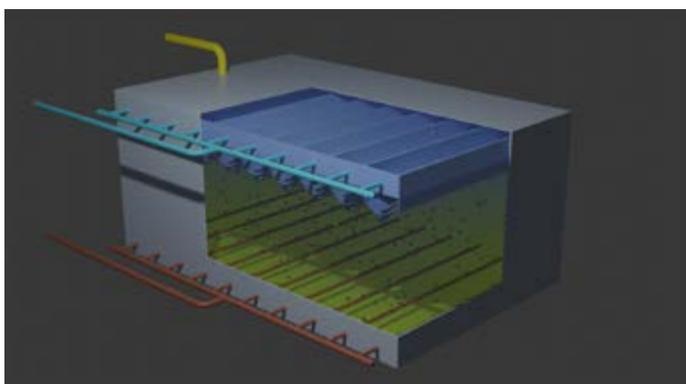


Fig. 6: Digesteur UASB. Les petits granules forment un lit de boue, qui est retenu par les séparateurs situés en haut

- Expanded Granular Sludge Bed (EGSB)/EGSB IC:** Il y a quelques années, un nouveau type de réacteur UASB a été introduit sous le nom Expanded Granular Sludge Bed. Il s'agit d'un système de séparation en deux étapes avec recirculation interne ou externe (fig. 7 et page de couverture). Il a été spécialement conçu pour les eaux usées concentrées et facilement dégradables (comme celles produites lors de la transformation du lait) où les granules sont entraînés en raison d'une forte production de gaz et ne peuvent être suffisamment retenus par un simple déflecteur. Le digesteur EGSB fonctionne en deux

étapes. Les deux étages de séparation réduisent la remontée rapide et créent un flux contrôlé dans toute la zone du réacteur. Les eaux usées sont pompées au fond du réacteur comme dans un UASB. Le biogaz, qui se forme principalement dans la zone inférieure, est collecté dans le séparateur de phase inférieure et monte avec l'eau et les granules par une colonne montante dans un séparateur situé au sommet du réacteur. Le biogaz séparé et l'eau épurée quittent le digesteur. Dans des procédés plus récents, les eaux usées et les granules sont renvoyés au fond du réacteur par un tuyau interne ou externe. Ce processus est donc appelé «Internal Recycling» ou IC en abrégé. Le biogaz qui se forme dans la partie supérieure du réacteur est extrait dans le séparateur du dessus.

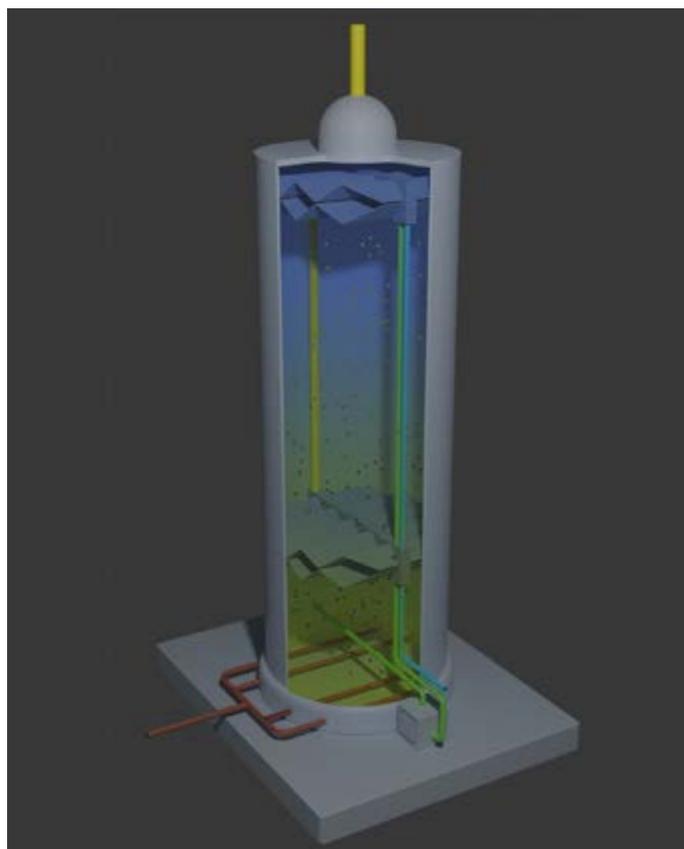


Fig. 7: EGSB/EGSB IC. Poursuite du développement de l'UASB avec deux séparateurs de granules flottants

SUBSTRATS, POTENTIEL ET LIMITES TECHNIQUES

Les eaux usées contenant de la matière organique dissoute et donc facilement dégradables sont particulièrement appropriées à la méthanisation. Ce traitement s'envisage lorsque la demande chimique en oxygène (DCO) dépasse deux grammes par litre, d'où un large champ d'applications.

Une large gamme d'effluents concernés

Industrie alimentaire: Parmi les domaines d'activité susceptibles de produire des effluents liquides méthanisables, l'industrie alimentaire et des boissons occupe la place la plus significative. En effet, d'importantes quantités d'eaux sont utilisées pour le lavage, la préparation et la cuisson des aliments. Les rejets sont ainsi chargés en substances organiques facilement biodégradables.

Autres industries: D'autres secteurs industriels, en dehors de l'industrie alimentaire, produisent également des eaux usées potentiellement méthanisables. En effet, de nombreuses molécules organiques, y compris synthétiques, sont dégradables par méthanisation. En Suisse, ce sont surtout les industries papetière, chimique et pharmaceutique qui sont concernées.

UN POTENTIEL DE 660 GWH PAR AN EN SUISSE

En 2016, le potentiel de la méthanisation des eaux usées industrielles a à nouveau été évalué et cette fois pour chaque secteur de l'industrie alimentaire et non alimentaire. Cela a été réalisé sur la base de données statistiques, théoriques et d'enquêtes⁴ (fig. 8). En combinant tous les secteurs industriels alimentaires et non alimentaires, le potentiel théorique de la méthanisation des eaux usées industrielles est estimé au total à:

- 251'500 tonnes de DCO/an
- 66,5 millions de m³ de méthane/an
- 660 GWh/an d'énergie brute

Environ 11% de ce potentiel sont déjà exploités grâce aux 23 installations de méthanisation d'eaux usées industrielles existantes en Suisse.

Le potentiel techniquement réalisable et économiquement viable est estimé à environ 350 GWh par an en Suisse. Ce chiffre tient compte des entreprises dont les eaux usées présentent des conditions (concentration, débit et charge) particulièrement favorables à la méthanisation et qui ne sont pas encore équipées d'une telle installation de prétraitement.

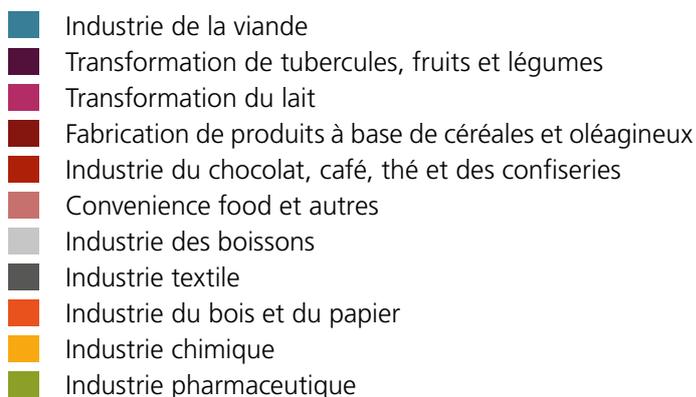
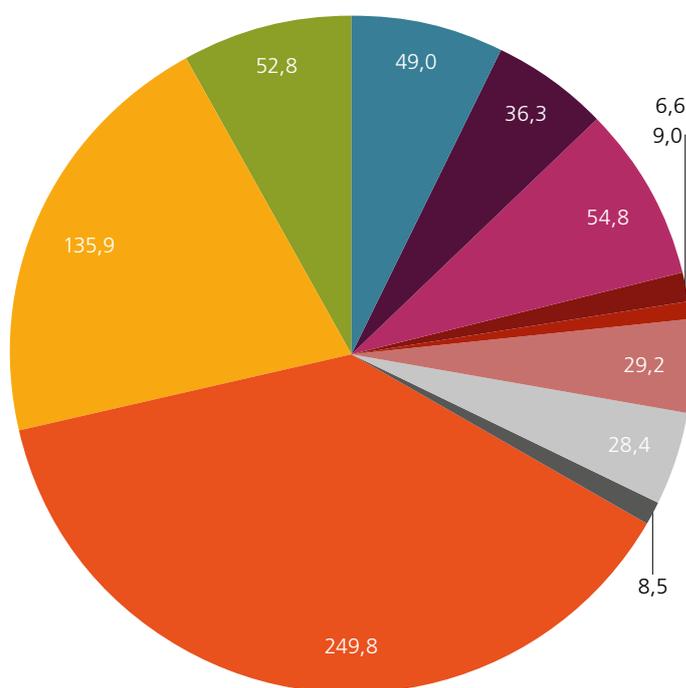


Fig. 8: Potentiel théorique (GWh) de la méthanisation des eaux usées des industries alimentaires et non alimentaires en Suisse

⁴ Rapport «Méthanisation des eaux usées industrielles en Suisse»; décembre 2016. Biomasse Suisse; https://www.infothek-biomasse.ch/images//300_2016_EnergieSchweiz_RapportMethanisation.pdf

LIMITES TECHNIQUES

CONCENTRATION ET CHARGE ORGANIQUE

Bien qu'il soit techniquement possible d'effectuer une méthanisation des eaux usées même à des concentrations inférieures à 1000 mg DCO/l, la limite de 2000 mg DCO/l est souvent citée en Europe comme étant celle à partir de laquelle la méthanisation peut également être recommandée sur le plan économique.⁵ À des valeurs de DCO inférieures, le biogaz produit ne suffit plus à chauffer le digesteur. Des concentrations inférieures à 2000 mg/l sont cependant acceptables pour les eaux usées qui sont produites à une température élevée (40 °C) toute l'année, car elles ne nécessitent pratiquement pas d'énergie pour le chauffage.

Outre une concentration en matière organique suffisante, un volume minimum d'eaux usées est également nécessaire pour exploiter de manière rentable une telle installation. C'est pourquoi les constructeurs d'installations préconisent souvent une charge organique minimale de 1000 kg DCO/jour. D'un point de vue purement énergétique, de plus petites charges peuvent encore s'avérer intéressantes si l'installation de biogaz remplace un traitement aérobie où l'aération consomme beaucoup d'électricité.

D'autres caractéristiques de l'effluent, telles que la température, le pH ou la présence de substances potentiellement inhibitrices, sont des critères importants qui doivent être pris en compte lors de la réalisation d'une étude de faisabilité pour un tel projet. En cas de doute sur l'un des substrats, des analyses supplémentaires doivent être effectuées en laboratoire. Un test de potentiel méthanogène (souvent appelé test BMP) est également recommandé. Cela permet d'exclure que des composants présents dans les eaux usées puissent perturber le processus biologique (par exemple, des quantités excessives de métaux lourds ou de substances inhibitrices telles que détergents et désinfectants). L'objectif principal du test BMP est bien sûr de déterminer le rendement en biogaz afin de concevoir correctement l'installation et de pouvoir effectuer un calcul de rentabilité.

Conditions optimales pour le traitement anaérobie des eaux usées

- Concentration en matière organique: minimum 2000 mg DCO/litre
- Charge organique: minimum 1000 kg de DCO/jour
- pH: 7 à 7,8
- Abattement de la matière organique: minimum 80%

RENDEMENT D'ÉPURATION ET REJETS

En fonction du type d'effluent, le rendement d'élimination de la DCO par digestion anaérobie peut être compris entre 50 et 99%. Pour les effluents de l'industrie alimentaire, ce pourcentage est généralement supérieur à 80%. La digestion anaérobie constitue donc un prétraitement efficace. Avant le rejet dans le réseau d'égouts, les eaux usées peuvent être soumises à des traitements supplémentaires: clarification ou flottation pour réduire les solides ou les graisses et un traitement de finition aérobie pour réduire davantage la teneur en DCO et dégrader les substances odorantes.

EXPLOITATION D'UNE INSTALLATION ANAÉROBIE

La gestion d'une installation anaérobie est soumise à des exigences techniques particulières. Le personnel doit disposer de compétences pour la maintenance des équipements électromécaniques (pompes, échangeurs thermiques) et doit être formé aux analyses biologiques et chimiques ainsi qu'aux prescriptions de sécurité liées à la gestion du biogaz. Une maîtrise des paramètres spécifiques du processus de méthanisation, tels que température, pH, concentration du substrat, potentiels inhibiteurs et composition du gaz, est essentielle. En général, après une courte formation, cela ne pose aucun problème au personnel technique de l'industrie alimentaire et chimique disposant déjà d'un niveau de formation satisfaisant.

⁵ Wellinger A., Jareš J., Pesta G.: Production de biogaz à partir des biodéchets de l'industrie alimentaire. FABbiogas, Bruxelles; février 2015 http://www.fabbiogas.eu/fileadmin/user_upload/Project_Results/fabhandbook_franz1.pdf

GAIN ÉNERGÉTIQUE

PRODUCTION DE BIOGAZ

Chaque tonne de DCO éliminée dans une installation de méthanisation produit 350 m³ de méthane, ce qui correspond à 500 m³ de biogaz avec une teneur moyenne en CH₄ de 70%. Sur la base des taux de dégradation de la DCO, qui peuvent varier en fonction du type d'effluent, le rendement de production d'énergie en termes de DCO entrante est le suivant:

INDUSTRIE	RENDEMENT D'ABATTEMENT DE LA DCO	PRODUCTION D'ÉNERGIE SOUS FORME DE BIOGAZ PAR KG DCO DANS LES EAUX USÉES
Alimentaire (par ex. transformation du lait, conserveries)	90–99%	3,1–3,4 kWh/kg DCO
Boissons (par ex. brasseries)	70–90%	2,4–3,1 kWh/kg DCO
Non alimentaire (par ex. papeterie, chimie, pharma)	50–75%	1,7–2,6 kWh/kg DCO

Les possibilités de valorisation du biogaz dans les processus industriels sont multiples:

- Production thermique: vapeur ou eau chaude dans une chaudière à gaz
- Application pour les procédés industriels à haute température
- Électricité et chaleur: dans une unité de couplage chaleur-force (CCF) ou une microturbine à gaz
- Production de biométhane: Le biogaz peut être épuré pour atteindre une qualité équivalente au gaz naturel (biométhane). Celui-ci peut être injecté dans le réseau de gaz naturel ou être utilisé comme carburant pour véhicules à gaz dans une station de ravitaillement sur site.

En 2018, la valorisation de 75,5 GWh de biogaz produit par les installations de méthanisation des eaux usées industrielles en Suisse a permis de produire⁶:

- 34,2 GWh d'énergie thermique valorisée (dont 6,12 GWh pour le chauffage des digesteurs)
- 8,2 GWh d'électricité
- 20,2 GWh de biométhane injectés dans le réseau de gaz naturel

Le choix du mode de valorisation du biogaz et de la technologie la plus appropriée se réalise dans le cadre d'une étude de faisabilité; il est décisif pour la rentabilité de l'installation de méthanisation.

AUTOCONSOMMATION THERMIQUE

Le processus de méthanisation se déroule généralement à des températures avoisinant 37 °C (mésophile), et plus rarement à 55 °C (thermophile). Dans les processus industriels, les eaux usées ont souvent des températures élevées, de l'ordre de 30 à 40 °C, et ne nécessitent donc que peu ou pas d'apport thermique. Parfois, les eaux usées sont à température ambiante et doivent être chauffées. En fonction du différentiel de température à combler et de la concentration des eaux usées, l'apport thermique nécessaire pour le processus peut alors requérir la consommation de plus de 30% du biogaz produit.

Dans certaines installations, un échangeur de chaleur permet de chauffer les eaux usées entrant dans le digesteur à l'aide des eaux usées traitées. Les digesteurs étant isolés et les temps de séjour courts (quelques heures ou jours), le maintien en température du digesteur peut être assuré avec un faible apport d'énergie.

⁶ Statistique des énergies renouvelables; OFEN, 2018. <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9829>

RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

Outre la production d'énergie, il ne faut pas oublier le potentiel d'économie d'énergie en comparaison à un traitement aérobie. Pour l'aération, l'apport d'oxygène est requis. Cette substance étant difficilement soluble dans l'eau, ce processus est très gourmand en électricité. En revanche, dans une installation anaérobie, la consommation électrique pour les pompes et le brassage est faible.

Les économies réalisées grâce à la digestion anaérobie par rapport à l'aération sont de l'ordre de 0,6 kWh électrique par kg de DCO éliminée, ce qui peut signifier une consommation d'électricité cinq à sept fois inférieure sur l'ensemble de la chaîne de traitement.⁷ La consommation électrique d'un post-traitement est faible, car seule une faible quantité de DCO doit encore être dégradée.

⁷ Solagro: La méthanisation des effluents industriels. Agence de l'eau Adour-Garonne, février 2006.

PARAMÈTRES ÉCONOMIQUES

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET DE FONCTIONNEMENT

Le montant de l'investissement dépend de la taille de l'installation, notamment du débit et de la charge organique à dégrader. Les coûts d'investissement doivent être déterminés, au cas par cas, lors de l'étude de faisabilité, sur la base d'offres de fournisseurs.

Ordre de grandeur des coûts d'investissement (en millions de francs par tonne de DCO par jour)

- Grandes installations (> 5 tonnes DCO/jour): 0,5 à 1
- Moyennes installations (3–5 tonnes DCO/jour): 1 à 2,5
- Petites installations (< 3 tonnes DCO/jour): 2 à 3,5

Ce montant comprend toutes les composantes:

- Prétraitements
- Digesteur
- Canalisations et pompes
- Unité de valorisation du biogaz (couplage chaleur-force ou épuration en biométhane)
- Bâtiment et génie civil
- Post-traitement

L'amortissement de l'investissement constitue la majeure partie des coûts de revient. Les coûts restants, qui comprennent l'entretien et la maintenance, le personnel d'exploitation, les consommables (électricité, réactifs, nutriments, oligo-éléments, charbon actif), l'élimination des boues, le traitement des eaux résiduelles, les analyses et les contrôles, ainsi que l'assurance, sont comparativement faibles, comme le montrent les études de cas ci-dessous.

RECETTES ET ÉCONOMIES GÉNÉRÉES PAR LE PROCESSUS

La principale recette d'une installation de méthanisation est l'énergie, qui peut être utilisée dans le processus industriel:

- énergie thermique remplaçant l'achat de mazout ou de gaz naturel;
- énergie électrique consommée sur site ou injectée dans le réseau;
- biométhane pouvant être injecté ou utilisé directement comme carburant pour véhicules.

Étant donné les rendements de biogaz moyens mentionnés à la page 12 et les prix actuels des combustibles fossiles

ou de l'électricité remplacés, les recettes peuvent dépasser 260 CHF/t DCO traitée.

Outre la production de biogaz, le principal intérêt des industriels dans le (pré)traitement anaérobie des eaux usées est la réduction des coûts de traitement des eaux usées et d'élimination des boues. Par rapport à un traitement purement aérobie, une chaîne de traitement avec une étape anaérobie permet:

- Une économie d'électricité: La consommation annuelle d'électricité est en moyenne cinq à sept fois inférieure à celle d'un traitement aérobie.
- Une économie sur l'élimination des boues: Un traitement par méthanisation produit jusqu'à 90% de boues en moins qu'un système aérobie, ce qui représente une économie considérable compte tenu des coûts d'élimination qui augmentent.

La mise en place d'un prétraitement anaérobie sur le site industriel justifie une réduction des frais de traitement facturés par la STEP. La convention qui lie l'entreprise à la STEP doit donc être soigneusement analysée et, le cas échéant, renégociée.

Il convient de noter que les réductions des émissions de CO₂ peuvent être comptabilisées, en particulier pour les entreprises ayant conclu une convention d'objectifs avec la Confédération en collaboration avec l'AEnEC.

RENTABILITÉ

Il appartient aux spécialistes d'évaluer au cas par cas si la méthanisation des eaux usées d'une industrie est non seulement écologique, mais aussi économiquement viable. Ceci en tenant compte de tous les paramètres énoncés précédemment.

Pour les moyennes (3–5 tonnes DCO/jour) et les grandes installations (> 5 tonnes DCO/jour), l'investissement peut être compensé en cinq à sept ans par les revenus tirés de la production de biogaz et les économies réalisées grâce aux réductions de la consommation d'électricité et de la production de boues. Dans ces cas, la mise en œuvre d'une méthanisation est justifiée car l'entreprise peut considérablement améliorer son autonomie énergétique et son empreinte carbone. Pour les plus petites installations (< 3 tonnes DCO/jour), les temps de retour sur investissement s'allongent, mais le gain énergétique et environnemental reste la plupart du temps intéressant.



Fig. 9: Traitement de lixiviats de déchets verts dans un réacteur hybride (partie inférieure UASB, partie supérieure filtre anaérobie).

PROCÉDURE DE PLANIFICATION

Une planification rigoureuse et par étapes des installations est essentielle pour la réussite du projet et, en fin de compte, pour économiser du temps et de l'argent. Cela apporte de la clarté grâce à un déroulement bien structuré et un contrôle simplifié et permet d'optimiser le développement du projet, sa construction et son exploitation. Une approche multi-étapes telle que décrite dans la figure 10 est recommandée.

Le défi de mettre en œuvre et d'exploiter une installation de méthanisation commence par définir et caractériser le substrat. En effet, les caractéristiques physico-chimiques des substrats à traiter déterminent non seulement la technologie du digesteur, mais également les éventuels prétraitements à mettre en place, ainsi que la quantité de biogaz pouvant être produite, et donc au final, la rentabilité de l'installation. La fluctuation saisonnière des substrats doit être prise en compte.

En règle générale, les données disponibles au sein de l'entreprise ou issues de la littérature permettent de réaliser un pré-diagnostic, sans engager de grandes dépenses. Celui-ci permet d'estimer l'ordre de grandeur de la production de biogaz, la taille de l'installation et sur cette base la hauteur des investissements. Différents programmes sont disponibles à cet effet, comme l'outil de calcul développé par Biomasse Suisse, qui compare différents systèmes anaérobies avec le traitement aérobie. La façon la plus simple de commencer est le calculateur FABbiogas⁸, qui a été développé dans le cadre d'Horizon 2020. Si cette première évaluation est positive, l'étude de faisabilité permettra une analyse plus détaillée des aspects techniques (conception, implantation), réglementaires et économiques du projet.

L'étude de faisabilité doit être réalisée par un bureau spécialisé indépendant des fournisseurs de technologies. Il doit être basé sur des données fiables fournies par l'industriel, notamment des relevés sur une certaine période (par ex. débit, température) ainsi que des analyses de laboratoire (par ex. caractéristiques physico-chimiques, tests BMP).

⁸ <http://www.fabbiogas-calculator.eu/en/fabbiogas-calculator>

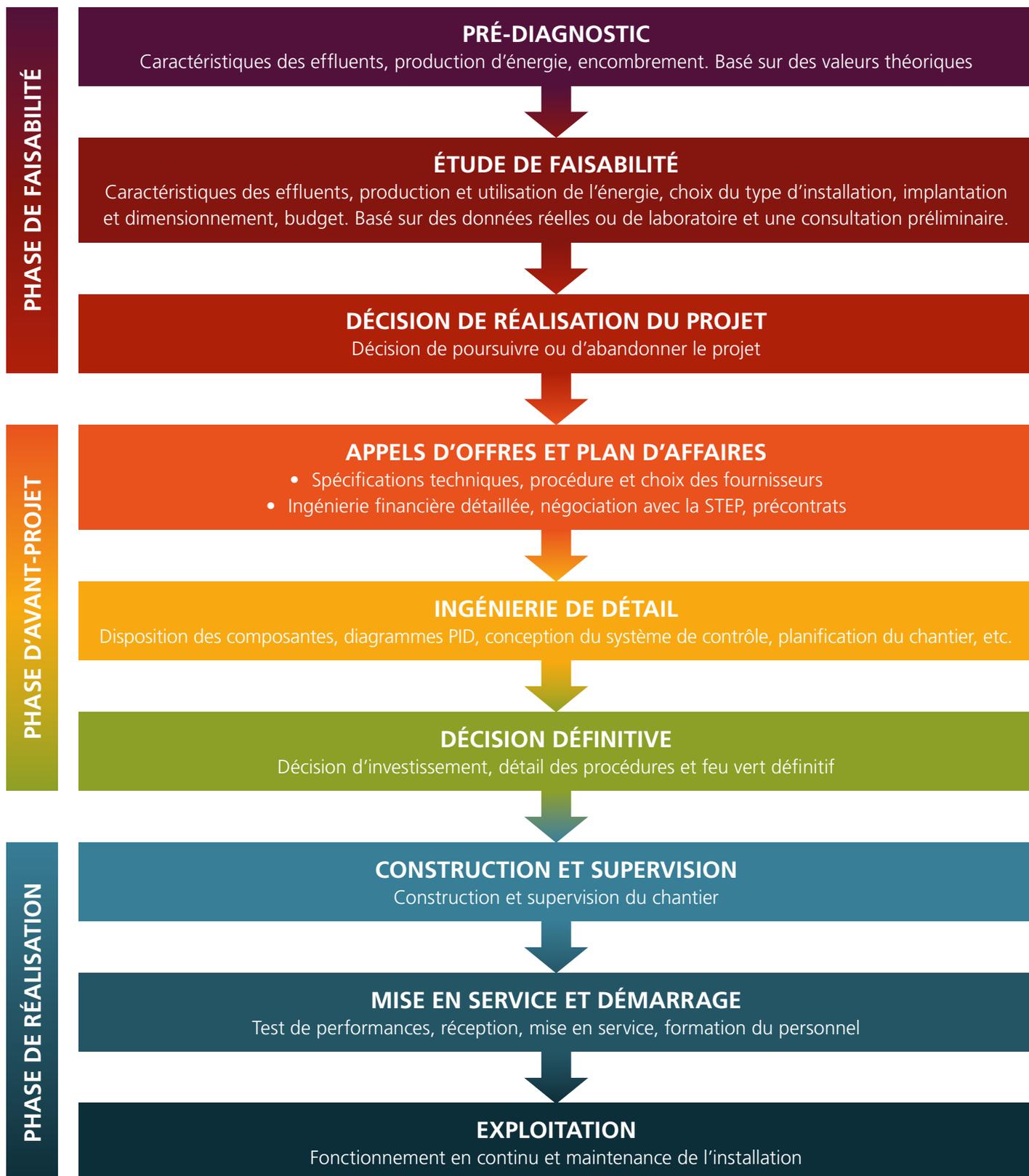


Fig. 10: Schéma du processus avec les différentes étapes de planification

ÉTUDES DE CAS

Les études de cas montrent toute la gamme des systèmes anaérobies avec les eaux usées de divers secteurs industriels en Suisse. Bien sûr, la liste n'est pas exhaustive, mais elle donne un aperçu du large éventail d'applications du prétraitement anaérobie des eaux usées industrielles.

EISBERG AG: PROCESSUS DE CONTACT



Source: Eisberg AG



Source: Engeli Engineering

EXPLOITANT

Eisberg AG
8108 Dällikon
kornel.eggenschwiler@eisberg.ch

Kornel Eggenschwiler,
responsable de l'installation
d'épuration des eaux usées

«La production de légumes
sans prétraitement des eaux
usées ne serait plus possible
sur le site de Dällikon.»

RÉUSSITES DU PROJET

Grâce à la construction de l'installation de biogaz, Eisberg AG a pu réduire ses coûts de traitement des eaux usées, optimiser les cycles de l'énergie et des matériaux et économiser des ressources.

Les résultats détaillés sont les suivants:

- Pas de dépendance envers la STEP Furtbach
- Production durable et respectueuse de l'environnement
- Réduction des émissions de CO₂
- Remplacement d'eau potable par des eaux usées traitées
- Réduction des coûts grâce à des étapes de traitement adaptées spécifiquement aux eaux usées produites
- Utilisation des pertes de produits pour la production de biogaz
- Fermeture du cycle des éléments nutritifs par le recyclage des boues en tant qu'engrais
- Irrigation des champs

DESCRIPTION DU PROJET

La société Eisberg AG transforme les légumes et les salades en produits prêts à consommer. Cela produit des eaux usées qui sont chargées, à des degrés divers, de matières organiques. En outre, le processus de préparation produit des déchets solides (déchets de parage) qui ne peuvent être recyclés sans traitement préalable.

Pour le traitement de la fraction fortement chargée des eaux usées, des boues excédentaires provenant de l'activation (SBR) et des solides macérés (déchets de parage), la société Eisberg AG a choisi un procédé de contact anaérobie. Les boues centrifugées à la sortie du digesteur sont recyclées avec les boues excédentaires provenant de l'aération (installation SBR) et sont ensuite traitées.

Les eaux usées complètement purifiées passent par un bassin d'affinage (filtre à sable) en aval pour arriver dans un bassin de rétention, d'où elles peuvent être utilisées pour irriguer les cultures maraîchères. Si l'eau n'est pas utilisée pour l'irrigation, elle peut être déversée dans le cours d'eau récepteur.

DONNÉES TECHNIQUES ET FINANCIÈRES

Mise en service	1999
Eaux usées	650 m ³ /j
Déchets de parage	35 m ³ /j
Déchets d'épluchage (externes)	15 m ³ /j
Concentration de MS	5%
Charge organique	2300 kg MSV/j
Concentration DCO sortie	1800 mg/l
Abattement MSV	97%
Volume hydrolyse	150 m ³
Volume digesteur	1000 m ³
Volume SBR	2 x 320 m ³
Production de gaz	350'000 m ³ /a
CCF	140 + 60 kW
Production d'électricité	700 MWh/a
Production de chaleur	780 MWh/a
Utilisation chaleur	Chauffage, eau chaude
Investissement total	8 mio CHF
Entretien, personnel	130'000 CHF/a
Coûts STEP	0 CHF/a
Constructeur de l'installation	Degrémont

RÉSULTATS

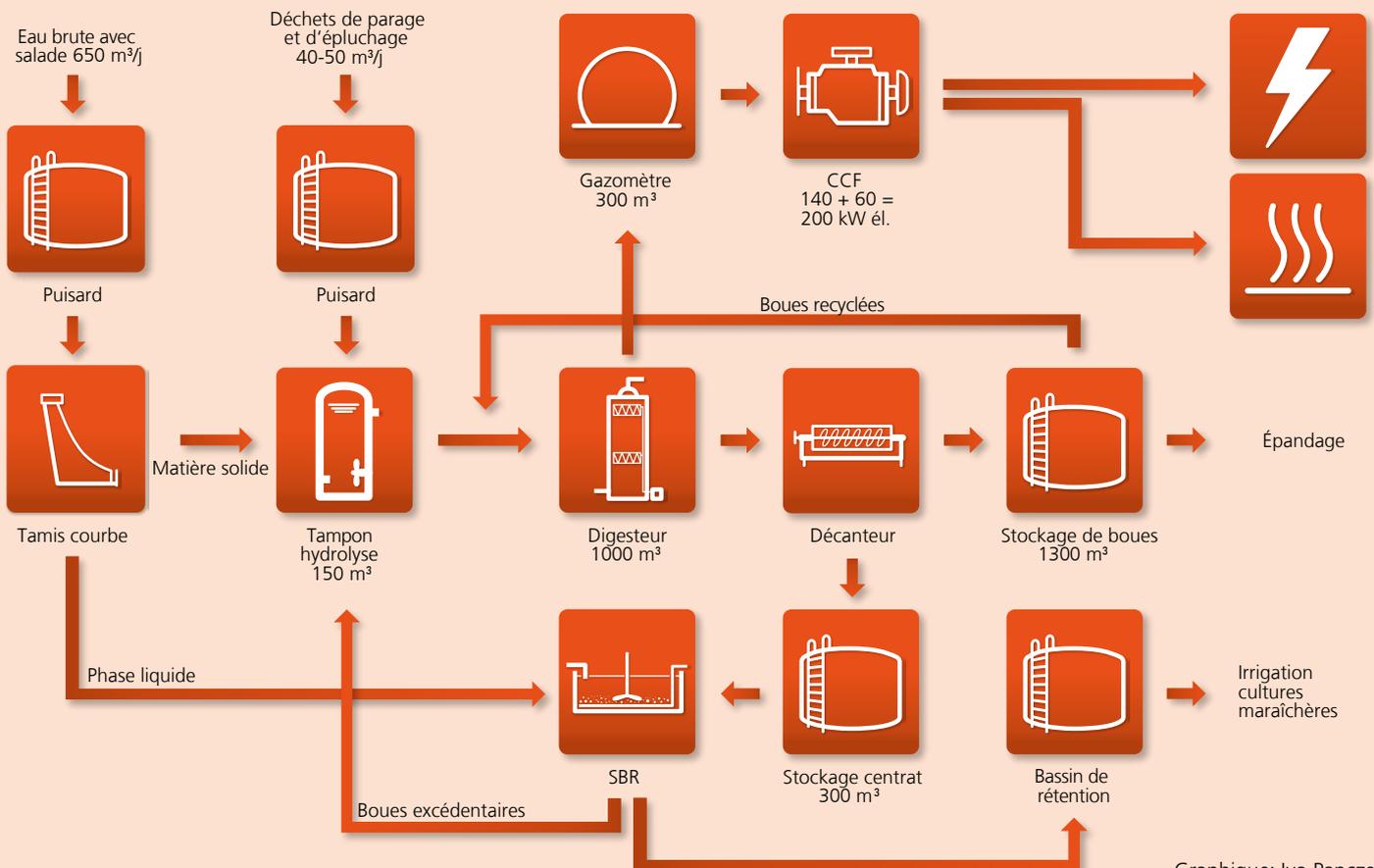
La société Eisberg AG a optimisé les cycles d'énergie et de matière grâce à la méthanisation combinée des eaux usées et des déchets de légumes de l'entreprise.

La durabilité a été un des premiers enjeux pour l'entreprise. Pour cette raison, elle a voulu réutiliser les grandes quantités d'eau et les déchets de production.

La chaleur de la cogénération est utilisée dans la production pour faire fonctionner l'installation de lavage de conteneurs, et l'électricité est injectée dans le réseau local.

Les eaux usées traitées sont utilisées pour irriguer les cultures et remplacent ainsi l'eau potable.

En utilisant les boues de digestion comme engrais recyclé, le cycle des nutriments est fermé.



Graphique: Ivo Panczel

EMMI: DIGESTEUR BIOPAQ IC



Source: Emmi Suisse AG

RÉUSSITES DU PROJET

Grâce à la méthanisation, Emmi AG produit du biogaz de haute qualité, qui à son tour est utilisé pour produire de l'électricité et de la chaleur industrielle. Les deux peuvent être utilisés en interne. Dans le même temps, l'entreprise de transformation du lait a pu réduire ses coûts de traitement des eaux usées.

Les résultats détaillés sont les suivants:

- Délestage de la STEP Oberes Wiggertal
- Traitement interne des eaux usées moins coûteux
- Réduction de la charge grâce à une épuration partielle
- Coûts d'épuration des eaux usées basés sur le volume et non sur la charge
- Réduction des coûts grâce à des étapes de traitement adaptées de manière optimale aux eaux usées produites
- Utilisation des pertes de production pour la génération de biogaz



Source: Emmi Suisse AG

EXPLOITANT

Emmi Suisse AG
6252 Dagmersellen
urs.emmenegger@emmi.com

Urs Emmenegger,
Responsable environnement

Melchior Rychen,
Responsable exploitation,
site de Dagmersellen

«Nous sommes fiers de gérer notre propre STEP: nous utilisons la charge polluante pour produire de l'électricité.»

DESCRIPTION DU PROJET

Une usine de transformation du lait génère de grandes quantités d'eaux usées à forte charge organique. En raison d'une augmentation continue du volume traité, la station d'épuration municipale a atteint ses limites. En conséquence, les autorités ont imposé l'obligation de prétraiter les eaux usées avant de les déverser dans le réseau d'égouts.

La construction a été réalisée par étapes, d'abord le réservoir de secours et le réservoir tampon, le digesteur IC-EGSB et le réservoir de sortie vers la STEP ont été construits. Dans la deuxième phase, la pré-acidification (hydrolyse) et les deux réacteurs SBR ainsi qu'un décanteur pour la déshydratation des boues ont été installés.

Le gaz a d'abord été utilisé dans la chaufferie pour générer de la vapeur de processus. Dans une étape ultérieure, des microturbines à gaz ont été installées pour produire de l'électricité et de la chaleur. La chaleur est utilisée pour préchauffer l'eau d'alimentation et pour générer de la vapeur.

DONNÉES TECHNIQUES ET FINANCIÈRES

Mise en service:

1998 Partie 1: Prétraitement avec Biopaq IC

2014 Partie 2: Réacteurs SBR

Total eaux usées	1000 m ³ /j
Charge DCO	3600 kg/j
Concentration en DCO	3600 mg/l
Concentration DCO sortie	86 mg/l
Abattement de la DCO	97%
Réservoirs de secours et tampon	1000 m ³
Volume hydrolyse	1000 m ³
Volume digesteur	160 m ³
Volume SBR	2 x 1300 m ³
Production de gaz	250'000 m ³ /a
Microturbines à gaz	3 x 65 kW
Production d'électricité	316'957 kWh/a
Chaleur valorisée	348'000 kWh/a
Investissement total	9 mio CHF
Économies liées à la STEP	600'000 CHF/a
Constructeur de l'installation	Paques, NL

RÉSULTATS

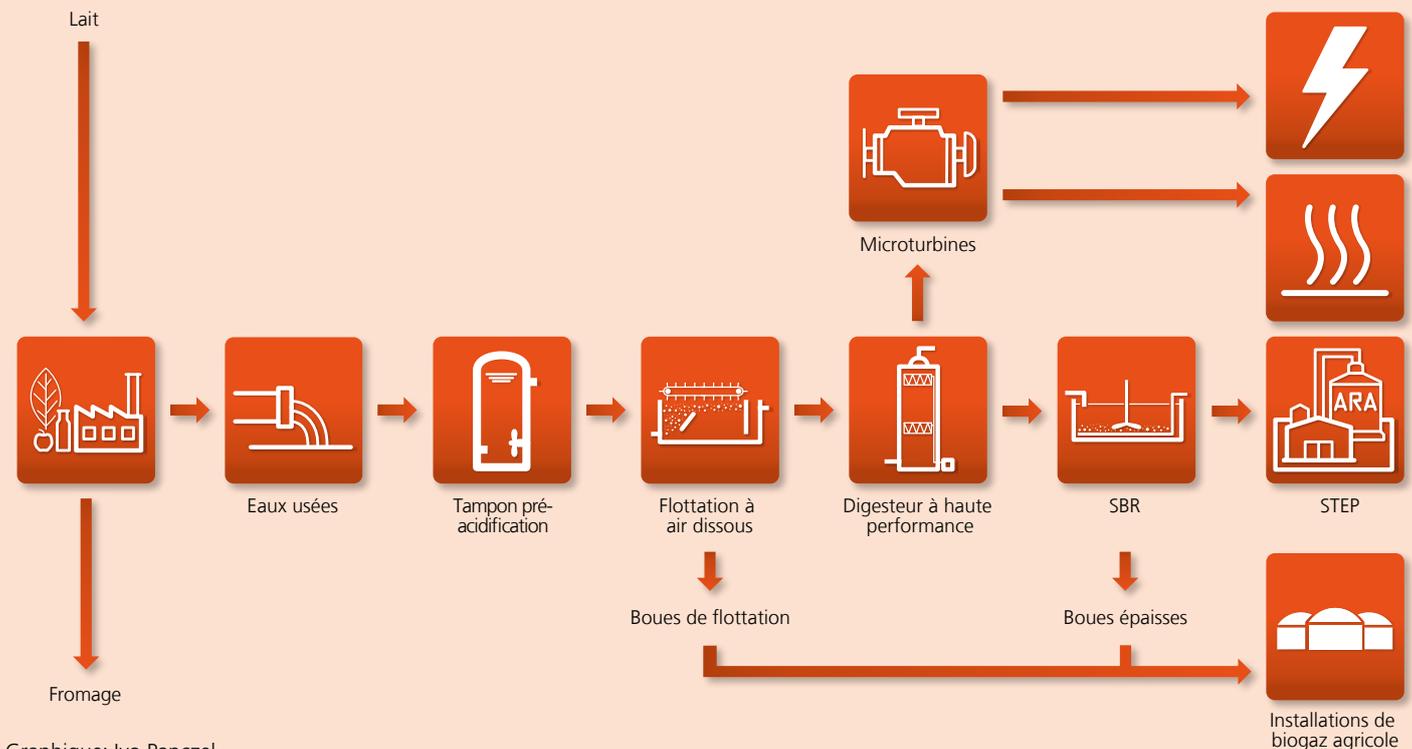
La charge polluante est utilisée pour produire de l'électricité et de la chaleur à partir du biogaz.

L'usine de Dagmersellen est donc responsable de l'épuration des eaux usées. En enregistrant de manière ciblée les flux de matières à l'entrée, il est possible de déterminer quotidiennement les pertes (lait, produits laitiers) générées par la production. Grâce à diverses optimisations des processus, le gaspillage des ressources a été réduit.

Grâce à l'expérience acquise à l'usine de Dagmersellen, un savoir-faire pourrait être développé pour d'autres sites.

L'entreprise de transformation du lait a pu réduire sa dépendance à l'égard de la station d'épuration publique.

Les économies réalisées par rapport à une épuration complète par la STEP s'élèvent à environ CHF 600'000.- par an.



Graphique: Ivo Panczel

GEFU OBERLE AG: DIGESTEUR MIXED SLUDGE BED



Source: Gefu Oberle AG



Source: Gefu Oberle AG

EXPLOITANT

Gefu Oberle AG
6221 Rickenbach
info@gefu-oberle.ch

Jörg Oberle, actionnaire principal de Gefu Oberle AG

«L'installation de biogaz réduit les émissions annuelles de CO₂ à Rickenbach (LU), d'environ 5400 tonnes.»

RÉUSSITES DU PROJET

Grâce à l'investissement dans l'installation de biogaz, Gefu Oberle AG a pu réduire les coûts et les émissions de CO₂ de la production d'aliments pour animaux.

L'aliment pour animaux produit par Gefu Oberle AG ouvre la possibilité de produire de la viande de veau neutre en CO₂. Cela pourrait constituer un avantage concurrentiel à l'avenir.

Les résultats détaillés sont les suivants:

- Délestage de la STEP Reinach
- Traitement interne des eaux usées moins coûteux
- Réduction de la charge grâce à une épuration partielle
- Coût des eaux usées en fonction du volume
- Utilisation des pertes de production pour augmenter la production de biogaz
- Réduction des émissions de CO₂

DESCRIPTION DU PROJET

Gefu Produktions AG, un centre de profit du groupe Gefu Oberle AG, utilise le lactosérum, un sous-produit de la fabrication du fromage, comme substrat de départ pour la production d'aliments pour animaux.

Environ 650'000 litres de lactosérum provenant de 80 à 100 fromageries sont transformés chaque jour. Le lactosérum ne peut pas être utilisé directement pour la production d'aliments pour animaux, la teneur en protéines étant trop faible. Celle-ci est d'abord enrichie par ultrafiltration, générant un perméat contenant du lactose.

Afin d'utiliser judicieusement ce sous-produit, qui peut difficilement être vendu, Gefu Oberle AG a construit l'une des plus grandes installations de biogaz en Suisse.

Le biogaz fait fonctionner 12 microturbines à gaz, qui produisent annuellement 5 GWh d'électricité et 11 GWh de chaleur. Les rejets d'air chaud des microturbines sont utilisés pour produire de la vapeur, qui sert à l'évaporation du lactosérum.

DONNÉES TECHNIQUES ET FINANCIÈRES

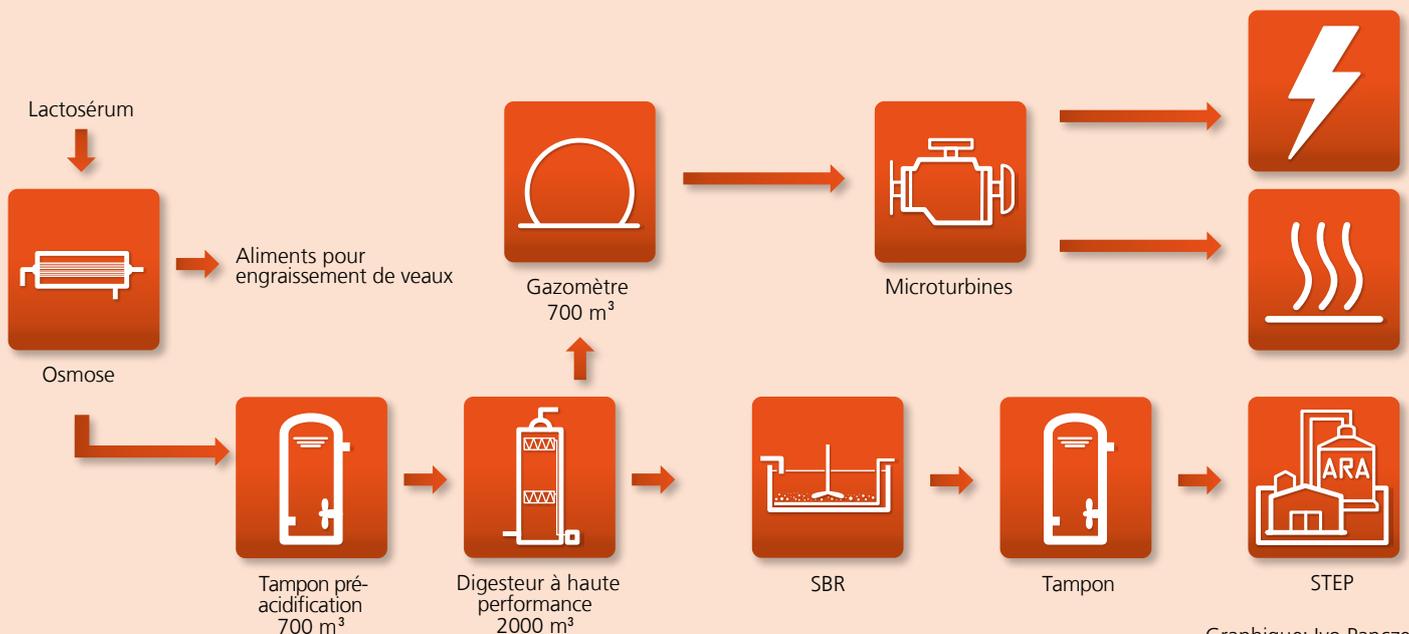
Mise en service	2010
Volume eaux usées	245 m ³ /j
Charge DCO	16'000 kg/j
Concentration DCO	65'000 mg/l
Concentration DCO sortie	1800 mg/l
Abattement de la DCO	97%
Volume hydrolyse	700 m ³
Volume digesteur	2000 m ³
Volume SBR	500 m ³
Type digesteur	Mixed Sludge Bed
Production de gaz	2,9 mio m ³ /a
12 microturbines à gaz	total 780 kW
Production d'électricité	5000 MWh/a
Production de chaleur	11'000 MWh/a
Utilisation de la chaleur	Vapeur
Investissement total	12 mio CHF
Entretien, personnel	500'000 CHF/a
Coûts actuels STEP	60'000 CHF/a
Coûts économisés	400'000 CHF/a
Constructeur de l'installation	Hager + Elsässer GmbH

RÉSULTATS

«Nous avons dû transporter le lactose par camion dans toute la Suisse et le vendre ensuite à un prix ridicule. Cela n'avait aucun sens, ni sur le plan écologique ni sur le plan économique», explique Jörg Oberle. «C'est là que nous avons eu l'idée de valoriser le lactose dans une installation de biogaz.» L'installation résout un autre problème: grâce à la digestion anaérobie et au post-traitement dans un SBR, les eaux usées provenant de la production d'aliments pour animaux peuvent être rejetées directement dans le réseau d'égouts.

L'utilisation des rejets d'air chaud des microturbines à gaz permet d'économiser environ 850 tonnes de mazout pour la production de vapeur chaque année. La chaleur résiduelle du processus d'évaporation est utilisée pour sécher l'aliment. Ainsi, la consommation de mazout de chauffage peut être réduite de 650 tonnes supplémentaires par an.

Dans l'ensemble, l'intégration de l'installation de biogaz dans le processus de production de Gefu Oberle AG se traduit par une réduction annuelle des émissions de CO₂ d'environ 5400 tonnes.



Graphique: Ivo Panczel

RAMSEIER: DIGESTEUR EGSB



Source: engeli engineering



Source: engeli engineering

EXPLOITANT

Ramseier Suisse AG
6280 Hochdorf
kurt.schmid@ramseier.ch

Kurt Schmid
Responsable service technique

«L'usine de biogaz nous permet de générer une partie de l'énergie de processus sur place.»

RÉUSSITES DU PROJET

La STEP de Hochdorf était surchargée. L'investissement dans l'installation de biogaz visait à réduire, sur site, la charge des eaux usées et à respecter les limites de rejet de l'office cantonal de protection de l'environnement.

Les résultats détaillés sont les suivants:

- Délestage de la STEP Hochdorf
- Construction et exploitation d'une installation de prétraitement anaérobie pour la réduction de la charge
- Production de boues la plus faible possible
- Production de biogaz valorisée sous forme de chaleur industrielle
- Réduction de la consommation de gaz naturel
- Réduction des émissions de CO₂
- Aucune nuisance olfactive pour les habitants grâce à l'installation d'un biofiltre

DESCRIPTION DU PROJET

Ramseier Suisse AG à Hochdorf est un producteur de boissons et embouteilleur pour les grossistes. La production et l'embouteillage se concentrent principalement sur la bière et les boissons sucrées.

Avec l'augmentation de la production, la STEP communale de Hochdorf n'était plus en mesure de faire face au volume des eaux usées. Afin de soulager la STEP, l'Office pour la protection de l'environnement du canton de Lucerne a décrété des limites de rejet plus strictes.

En raison de la composition des eaux usées, Ramseier Suisse AG a choisi une installation de méthanisation. La société a exclu un prétraitement aérobie pour des raisons énergétiques et afin d'éviter des émissions d'odeurs trop importantes.

L'objectif de l'installation est d'éliminer autant de polluants que possible du flux d'eaux usées et de réduire la charge organique dans la station d'épuration. Le digesteur anaérobie est le cœur de l'installation.

L'effluent sortant du digesteur est conduit à travers un bassin d'aération pour post-traitement. Les rejets d'air sont épurés par un biofiltre pour éviter les odeurs.

DONNÉES TECHNIQUES ET FINANCIÈRES

Mise en service	2002
Volume eaux usées	240 m ³ /j
Charge DCO	1242 kg/j
Concentration DCO	5100 mg/l
Concentration DCO, sortie	800 mg/l
Abattement de la DCO	85%
Volume mélange/tampon	500 m ³
Volume digesteur	260 m ³
Volume post-aération	170 m ³
Type de digesteur	EGSB
Production de gaz	132'000 m ³ /a
Chaudière à gaz	150 kW
Production de chaleur	930'000 kWh/a
Chaleur excédentaire	580'000 kWh/a
Investissement total	2,5 mio CHF
Entretien, personnel	150'000 CHF/a
Coûts économisés	120'000 CHF/a
Constructeur de l'installation	Gütling

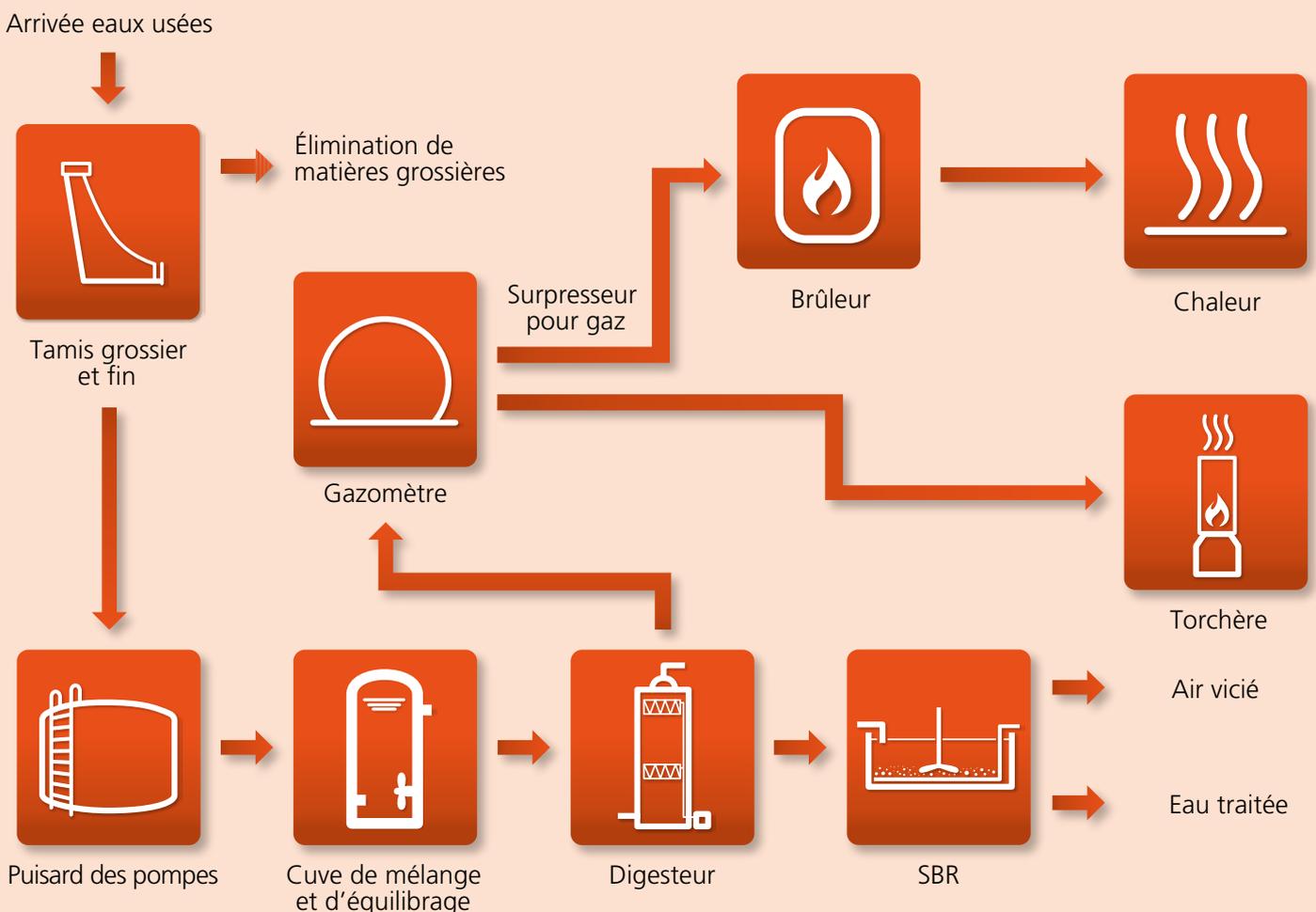
RÉSULTATS

Avec la mise en service de l'installation de prétraitement anaérobie avec post-aération, la charge de la STEP communale a été réduite de 85%. Ramseier Suisse AG a donc rempli les exigences cantonales.

Grâce à l'aération, les substances odorantes présentes à la sortie du digesteur sont décomposées et la charge polluante est encore réduite. L'air évacué du bassin d'aération est débarrassé des substances odorantes par le biofiltre.

En confinant le bassin d'aération et en couvrant les siphons, il est possible d'éviter les émissions d'odeurs dans les bâtiments résidentiels voisins.

Le biogaz est utilisé en remplacement du gaz naturel. Grâce à la méthanisation des eaux usées, Ramseier Suisse AG économise en moyenne CHF 120'000.– par an.



Graphique: Ivo Panczel

LIENS

- Food waste digestion (2018), IEA Bioenergy Task 37
http://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/Food%20waste_WEB_END.pdf
- Gösser Brewery: The role of biogas in greening the brewing industry (2018)
http://task37.ieabioenergy.com/case-stories.html?file=files/daten-redaktion/download/case-studies/Goesser_case_study_LAY1.pdf
- Biogas from slaughterhouse waste: Towards an energy self-sufficient industry (2009), IEA Bioenergy Task 37
http://task37.ieabioenergy.com/case-stories.html?file=files/daten-redaktion/download/Success%20Stories/st_martin.pdf
- Production de biogaz à partir des biodéchets de l'industrie alimentaire (2015), FABbiogas
http://www.fabbiogas.eu/fileadmin/user_upload/Project_Results/fabhandbook_franz1.pdf
- Guide Pratique: Évacuation des eaux usées des entreprises productrices de légumes
https://www.fr.ch/sites/default/files/contens/eau/_www/files/pdf96/evacuation_eaux_legumes_guide_fr.pdf

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

SuisseEnergie: www.suisseenergie.ch/biomasse

Office fédéral de l'énergie: www.bfe.admin.ch/biomasse

Biomasse Suisse: www.biomassesuisse.ch
info@biomassesuisse.ch
+41 21 869 98 87

La brochure a été réalisée en étroite collaboration avec Biomasse Suisse.

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: CH-3003 Berne
Infoline 0848 444 444, www.infoline.suisseenergie.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch, twitter.com/energieschweiz