



INTÉGRATION
SECTORIELLE

Marselisborg : la voie vers un secteur de l'eau énergétiquement neutre



Le défi :

Source: IEA (2021). Greenhouse Gas Emissions from Energy



Bâtiments

28%

des émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie proviennent des bâtiments



Industrie

39%

des émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie proviennent de l'industrie



Transport

27%

des émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie proviennent des transports



Intégration sectorielle

Il faut d'énormes quantités d'énergie pour fournir aux gens de l'eau courante et assurer l'assainissement. Le problème sera d'autant plus complexe avec le temps et l'augmentation de la population. Aujourd'hui, des solutions rentables et efficaces sur le plan énergétique permettent de réduire massivement la consommation d'énergie dans le secteur de l'eau, notamment dans les stations d'épuration d'eaux usées.

Si aucune mesure n'est prise, la consommation mondiale d'énergie liée à l'eau augmentera de 50% d'ici 2030.¹

Solution : Transformer les stations d'épuration en producteurs d'énergie

À Aarhus, au Danemark, la station d'épuration (« STEP ») de Marselisborg produit beaucoup plus d'énergie qu'elle n'en a besoin pour traiter les eaux usées des 200 000 personnes qu'elle dessert. En fait, la STEP de Marselisborg produit tellement d'énergie qu'elle peut aussi couvrir les besoins d'énergie nécessaires pour l'approvisionnement en eau potable. La STEP de Marselisborg ouvre donc une voie vers un secteur de l'eau neutre d'un point de vue énergétique.



La STEP de Marselisborg produit suffisamment d'énergie pour couvrir l'ensemble du cycle de l'eau d'une ville de 200 000 habitants, le tout avec un retour sur investissement estimé à 4,8 ans.



La chaleur excédentaire des stations d'épuration permet de chauffer des bâtiments et des industries, grâce aux systèmes d'énergie urbaine.



L'eau est la clé de l'action climatique

Exploiter le potentiel vert dans la gestion des eaux usées

L'eau est essentielle. Avant tout en tant que condition préalable à la vie, mais aussi en tant que clé de la lutte contre le changement climatique. Il faut d'énormes quantités d'énergie pour fournir au public de l'eau potable et assurer l'assainissement – un droit humain universel.

Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), le secteur mondial de l'eau utilise environ 120 Mtep (Mégatonnes équivalent pétrole) par an, soit presque l'équivalent de la consommation d'énergie de toute l'Australie.² Si aucune mesure n'est prise, la consommation mondiale d'énergie liée à l'eau augmentera de 50% d'ici 2030.³ Le monde a besoin de plus d'eau et de moins d'émissions de carbone. L'efficacité énergétique offre une voie pour réduire la courbe.

Il existe un important potentiel d'économies d'énergie dans le secteur de l'eau, si tous les potentiels d'efficacité énergétique et de récupération d'énergie économiquement disponibles sont exploités – notamment dans les

secteurs de l'approvisionnement et du traitement de l'eau.³

Les stations d'épuration des eaux usées, présentes dans la plupart des villes du monde, sont un point de départ évident. Ces stations d'épuration sont souvent exploitées par les municipalités, et absorbent entre 30 et 40% de la facture d'électricité municipale.⁴ Pour les entreprises de traitement des eaux usées, la facture d'électricité constitue le deuxième coût opérationnel, juste après la main-d'œuvre.⁵

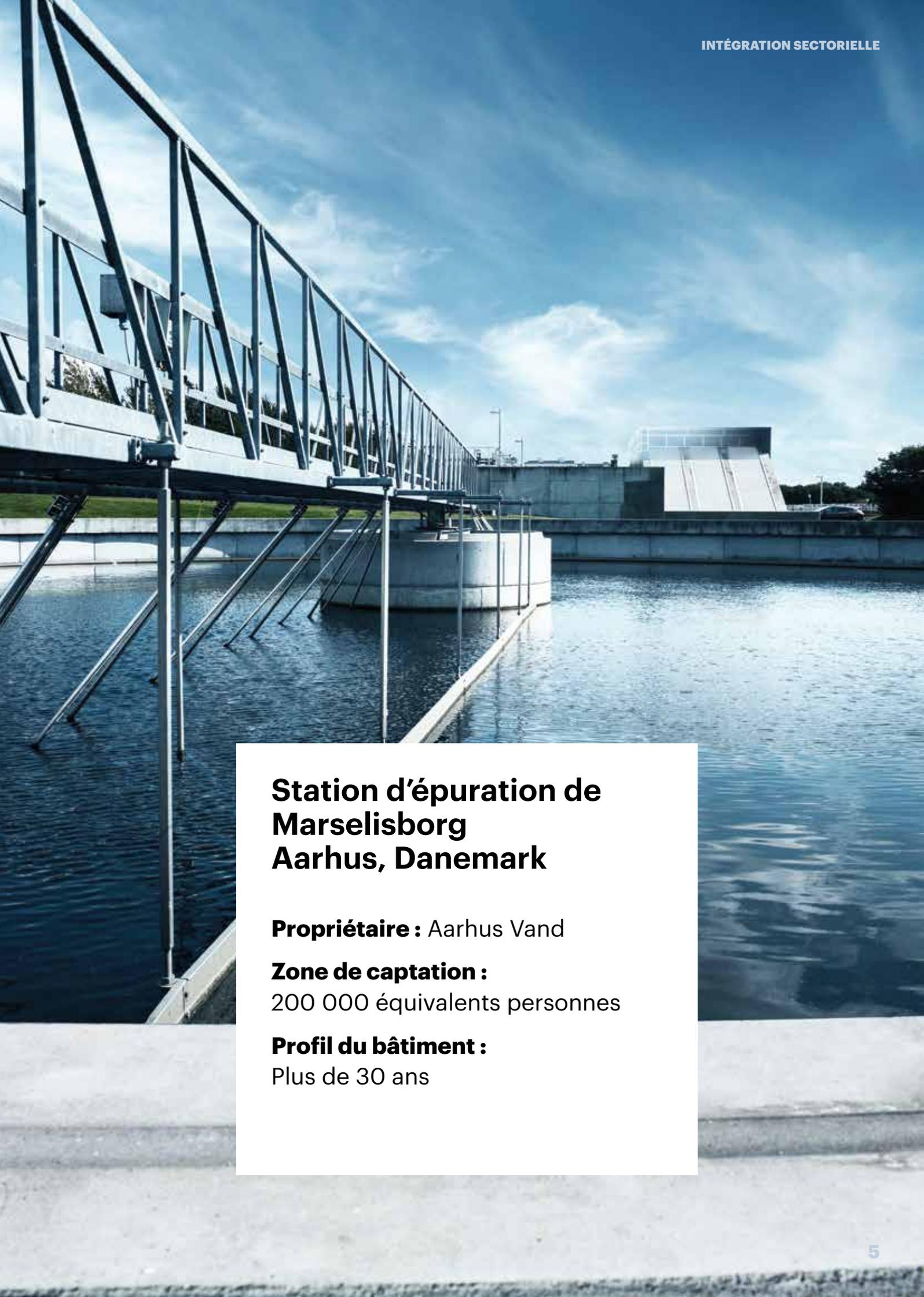
Les eaux usées contiennent d'importantes quantités d'énergie intrinsèque, que l'on peut exploiter pour rendre la gestion des eaux usées neutre énergétiquement. C'est-à-dire produire autant d'énergie qu'elle en consomme, voire davantage avec la bonne approche. Par conséquent, les stations d'épuration peuvent passer du statut de consommateurs d'énergie, à celui de producteurs d'énergie.

2. IEA (2018). World Energy Outlook 2018, p. 122.

3. IEA (2018). World Energy Outlook 2018, p. 123.

4. Copeland & Carter (2017). Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use, Congressional Research Service, p. 6.

5. Maktabifard, M., Zaborowska, E. & Makinia, J. (2018). Achieving energy neutrality in wastewater treatment plants through energy savings and enhancing renewable energy production, p. 655.



Station d'épuration de Marselisborg Aarhus, Danemark

Propriétaire : Aarhus Vand

Zone de captation :
200 000 équivalents personnes

Profil du bâtiment :
Plus de 30 ans

Gestion de l'eau neutre sur le plan énergétique pour 200 000 personnes

Station d'épuration de Marselisborg

Le traitement des eaux usées nécessite des processus à forte intensité énergétique, opérationnels en permanence. De l'énergie sert à pomper l'eau des égouts vers les stations d'épuration, où de grandes quantités d'énergie sont utilisées dans les bassins d'aération, pour faire fonctionner les pompes internes, et aussi pour traiter les boues.

Les stations d'épuration (STEP) des eaux usées ont un grand potentiel de production d'énergie, tant sous forme d'électricité que de chaleur. Dans la ville d'Aarhus, au Danemark, la STEP de Marselisborg, exploitée par Aarhus Vand, a réussi à réduire sa consommation d'énergie, tout en augmentant sa production d'énergie, au point de produire, en moyenne, assez d'énergie pour couvrir l'ensemble du cycle de l'eau depuis la zone de captation. En clair, à la fois l'approvisionnement en eau potable et le traitement des eaux usées, découplant ainsi efficacement l'eau de l'énergie.

Cette réussite repose sur une stratégie à deux niveaux : Réduire la consommation d'énergie, tout en augmentant la production d'énergie.

En 2005, Aarhus Vand a commencé à améliorer l'efficacité énergétique de la STEP de Marselisborg. Presque tous les équipements utilisés dans le cycle de l'eau et dotés d'un moteur, soit 290 en tout, ont été équipés de variateurs de vitesse, qui offrent la possibilité de contrôler la quantité d'énergie nécessaire à leur performance optimale.

De nombreux capteurs en ligne sont installés dans la STEP. Ils fournissent des informations critiques en temps réel, qui permettent de calculer automatiquement les points de consigne pour les différents variateurs de vitesse. Par conséquent, la STEP de Marselisborg est une opération à haut rendement énergétique.

Mais cette STEP est aussi une bioraffinerie qui produit de l'énergie. En 2010, Aarhus Vand a commencé à améliorer le côté eaux usées de l'équation. L'usine produit de l'énergie grâce au biogaz qu'elle génère à partir des eaux usées domestiques. Les boues sont extraites des eaux usées et pompées dans des digesteurs. Ceux-ci produisent du biogaz - essentiellement du méthane - qui est ensuite brûlé pour générer de la chaleur et produire de l'électricité.

Entre 2016 et 2021, la STEP de Marselisborg a produit près de 100% d'énergie en plus que ce qui était nécessaire pour traiter les eaux usées. L'énergie produite peut également être utilisée pour alimenter la région en eau potable. Cela signifie que la STEP de Marselisborg produit suffisamment d'énergie pour répondre aux besoins du cycle complet de l'eau de l'ensemble du bassin versant, y compris l'eau potable et les eaux usées, découplant ainsi la quantité d'eau et l'énergie disponible. L'optimisation des processus et la digitalisation sont estimées avoir contribué à 70% des améliorations.



Découpler l'eau de l'énergie



Station d'épuration expliquée

Énergie pour le traitement et la distribution d'eau – comprend le pompage des eaux souterraines, le traitement de ces eaux pour en faire de l'eau potable, et le pompage de cette eau potable vers les consommateurs de la zone de chalandise.

Énergie pour le transport des eaux usées – couvre les stations de pompage qui pompent les eaux usées des consommateurs depuis les logements vers la STEP.

La production d'énergie de la STEP de Marselisborg couvre presque tout le cycle de l'eau

Consommation d'énergie	2016-2021 Moyenne
Traitement d'eau, distribution (kWh)	3.3 millions
Transport des eaux usées (kWh)	0.7 millions
STEP de Marselisborg (kWh)	3.3 millions
Consommation d'énergie totale (kWh)	7.2 millions

Production d'énergie

Production d'électricité (kWh)	4.7 millions
Production de chaleur (kWh)	2.1 millions
Production totale d'énergie (kWh)	6.8 millions

Degré d'approvisionnement propre en énergie

Traitement des eaux usées, électricité et chaleur (%)	208%
---	------

Cycle total de l'eau, Zone de chalandise de Marselisborg	94%
---	------------



Retour sur investissement
estimé à **4.8 ans** en
moyenne entre 2005 et
2016.

De consommateur d'énergie à générateur d'énergie

Guide pour un traitement efficace de l'eau

La STEP de Marselisborg ouvre la voie d'un secteur de l'eau neutre en énergie aux villes du monde entier. En termes simples, deux étapes sont nécessaires : S'abstenir de consommer de l'énergie dont on n'a pas besoin, et utiliser l'énergie contenue dans les eaux usées.



1. Définir la base de référence

Mesurer

Les compteurs d'énergie indiquent la quantité d'énergie utilisée pour l'approvisionnement en eau et le traitement des eaux usées.

Évaluer

Identifier les opportunités d'économie d'énergie les plus intéressantes.

2. Réduire la consommation d'énergie

Numérisation locale

Mettre en oeuvre des boucles de contrôle locales en installant des capteurs en temps réel et des variateurs de vitesse, partout où cela permet de garantir une utilisation plus efficace de l'énergie.

Composants efficaces

Passez à des composants plus efficaces, par exemple des turbines soufflantes à haute vitesse.

Numérisation holistique

Combinez les boucles de contrôle locales au sein d'un processus holistique, automatique et en temps réel, basé sur le contrôle numérique de l'ensemble de l'installation.

3. Augmenter la production d'énergie

Numérisation holistique

Sélectionner le bon contrôle de processus pour obtenir des économies d'énergie a un double effet. De l'énergie est économisée, et une plus grande quantité de boues est disponible pour la production de gaz, qui peut ensuite être transformé en électricité ou en chaleur, grâce au processus de cogénération (CHP).

L'intégration sectorielle accroit le potentiel des eaux usées

Fournir de la chaleur et de l'eau chaude aux bâtiments nécessite près de la moitié de la consommation mondiale d'énergie finale, dont une grande partie provient du charbon, du pétrole et du gaz naturel.⁷

Dans de nombreuses régions du monde, des systèmes énergétiques urbains alimentent les foyers et les entreprises en chauffage et en climatisation. Les systèmes d'énergie de quartier exploitent la chaleur de processus industriels, de centrales électriques par exemple, et la distribuent aux utilisateurs finaux sous forme d'eau chaude par le biais de canalisations. L'énergie de quartier est un système collectif qui alimente une zone entière en chauffage ou en climatisation. Il existe de très grands systèmes énergétiques de quartier en Chine, en Russie et en Europe, et d'autres sont à venir.

Aujourd'hui, la majorité de la production mondiale de chauffage urbain repose sur des combustibles fossiles.⁸ Selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), le monde doit faire passer la part des sources vertes dans le chauffage urbain de 8% aujourd'hui, à environ 35% d'ici 2030, pour atteindre le niveau de zéro émission nette. Si nous y parvenons, cela permettra de réduire de plus d'un tiers les émissions de carbone liées à la production de chauffage.⁹

Des solutions sont là pour atteindre cet objectif et au-delà.

Le Danemark est l'un des pays les plus économes en énergie au monde, et l'utilisation généralisée du chauffage urbain en est l'une des principales raisons.¹⁰

7. IEA (2021). Heating, IEA.

8. IEA (2021). Heating, IEA.

9. IEA (2021). Heating, IEA.

10. Danish Energy Agency (2022). Danish Experiences on District Heating

STEP de Taarnby

Dans la municipalité de Taarnby, qui fait partie du Grand Copenhague, un nouveau centre énergétique fournit à la fois la climatisation et le chauffage urbain aux entreprises et aux habitants. La centrale énergétique a la particularité d'utiliser la chaleur excédentaire de la STEP voisine pour assurer le chauffage en hiver et la climatisation en été. La chaleur excédentaire est extraite par quatre grandes pompes à chaleur, ce qui permet de réduire les coûts, la consommation d'énergie, et les émissions. La symbiose entre la chaleur excédentaire de la STEP, le chauffage urbain, la climatisation urbaine, et le réseau électrique, est l'exemple parfait du couplage sectoriel : Réutiliser

et recycler l'énergie en interconnectant les systèmes et les secteurs d'utilisation finale.

Les pompes à chaleur sont capables de récupérer la chaleur présente dans les sorties d'eaux usées. La température de l'eau sortant de l'installation d'épuration est généralement supérieure de 7 à 9°C à celle de l'eau entrante, ce qui améliore le rendement de la pompe à chaleur, tout en garantissant un retour sur investissement plus rapide. La chaleur excédentaire peut être exportée vers les bâtiments voisins ou vers le système de chauffage urbain local, ce qui constitue un bon exemple de couplage sectoriel.

Source: Rambøll (2020). Varmepumper på spildevand giver både fjernkøling og varme i Tårnby.

Au Danemark, 65% des ménages couvrent leur demande de chauffage grâce au chauffage urbain, et plus de 70% de la chaleur provient de sources vertes telles que les déchets, la biomasse, le vent ou la chaleur excédentaire issue de divers processus commerciaux.¹¹

La municipalité de Sønderborg, au Danemark, ne fait pas exception. Depuis 2007, les émissions de carbone provenant du chauffage des locaux et de l'eau chaude sanitaire ont diminué de 73% depuis 2007, et les systèmes énergétiques urbains locaux ont été les principaux moteurs de cette diminution. En prime, la part de gaz naturel dans le chauffage urbain a été ramenée de 70% à 8% aujourd'hui.¹²

L'un des principaux atouts des systèmes énergétiques urbains est leur capacité à intégrer différentes sources de chaleur, ce qui

permet d'écarter les combustibles fossiles du mix énergétique servant au chauffage et à la climatisation. Grâce à une meilleure efficacité énergétique, les températures des systèmes de chauffage de quartier ont été abaissées au fil du temps, ce qui a permis d'introduire davantage de sources vertes dans le système.¹³

Cela inclut la chaleur excédentaire, notamment celle des STEP, qui représentent un énorme potentiel. Selon l'Association danoise de l'eau et des eaux usées (DANVA), le potentiel de chaleur excédentaire des stations d'épuration des eaux usées au Danemark, pays de 5,8 millions d'habitants, est de 600 à 700 MW. C'est l'équivalent de deux centrales électriques assez importantes, ce qui signifie que l'on pourrait chauffer environ 20% de tous les ménages avec de la chaleur neutre en carbone.¹⁴

11. Dansk Fjernvarme (2022). Fakta om Fjernevarme.

12. ProjectZero (2021). Monitoring report 2020 Sønderborg Municipality, p. 38-39 & 41.

13. Thorsen, J. E., Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2018). Progression of District Heating – 1st to 4th generation.

14. DANVA (2020). Flere udnytter varmen i Spildevandet.

Réduire la consommation d'énergie pour le traitement de l'eau est possible **partout dans le monde**

Aujourd'hui, plus de 60% de la population mondiale n'a pas accès à un système d'assainissement géré de manière sûre, et seulement 20% des eaux usées sont traitées.¹⁵ Atteindre l'objectif de durabilité des Nations Unies en matière d'eau et d'assainissement (SDG 6), qui consiste à fournir de l'eau potable et des installations sanitaires à tous, représente un sérieux défi. La réalisation de cet objectif a un impact important sur les dépenses énergétiques d'une municipalité, mais aussi sur les efforts de lutte contre le changement climatique. Les émissions de carbone issues des eaux usées non traitées sont environ trois fois plus élevées

que celles produites par les stations d'épuration classiques lors du traitement des eaux usées.¹⁶

La STEP de Marselisborg illustre comment transformer une STEP en entreprise à énergie positive, qui produit plus d'énergie qu'elle n'en consomme. Si d'autres villes donnent la priorité aux nouvelles installations nécessaires pour atteindre les objectifs de durabilité de l'ONU, comme l'a fait la STEP de Marselisborg, cela pourra engendrer près de 650 TWh d'économies d'énergie au niveau mondial. C'est une quantité d'énergie supérieure à celle produite par toutes les centrales au charbon de l'UE.¹⁶



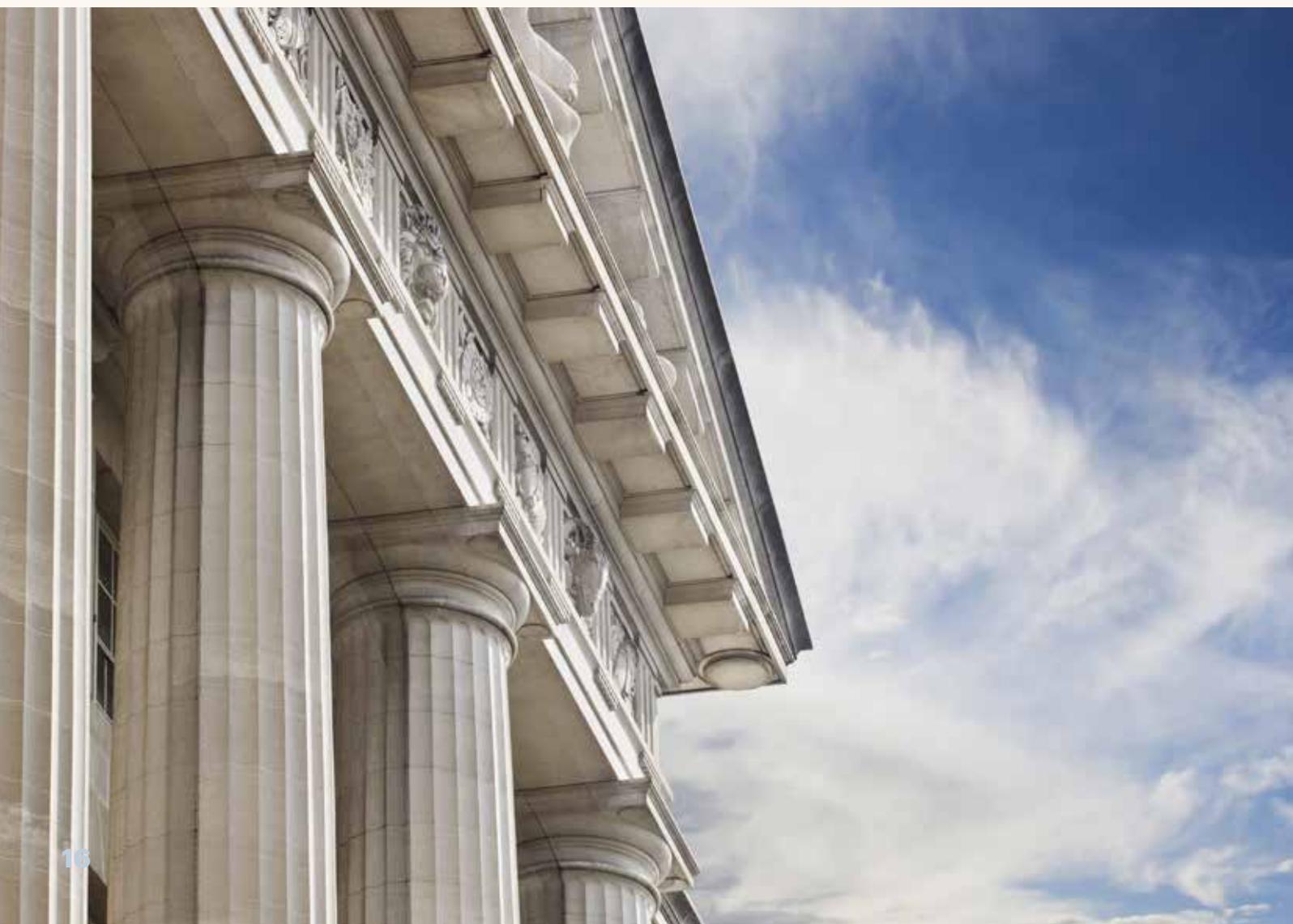


Désalinisation éco-énergétique à Sarroch, en Italie

Les grandes usines de traitement d'eau peuvent réduire la consommation d'électricité et les émissions de carbone, grâce aux technologies existantes. À Sarroch, sur la côte sud de la Sardaigne, se trouve la plus grande usine d'eau ultrapure de la Méditerranée. La centrale électrique Sarlux et la raffinerie Sara locales avaient besoin d'eau déminéralisée pour leurs opérations, et ont décidé de construire une usine d'osmose inverse d'eau de mer (SWRO pour Sea Water Reverse Osmosis) pour répondre à leurs besoins à moindre coût. Grâce à l'utilisation de pompes, de variateurs de vitesse, et de transmetteurs de pression, l'usine d'osmose inverse a permis de réduire considérablement les coûts, tout en fournissant à la centrale électrique et à la raffinerie une eau déminéralisée de haute qualité.

Boîte à outils à l'attention des parties prenantes

L'utilisation systématique de l'énergie gaspillée dans tous les secteurs représente un énorme potentiel d'efficacité énergétique non exploité, et constitue une opportunité majeure pour l'industrie, les gouvernements et les citoyens de réaliser des économies, d'améliorer la compétitivité, et de réduire la volatilité du système énergétique. Les technologies existent. Les résultats dépendent d'un effort de planification systématique continu et à long terme, soutenu par un cadre réglementaire approprié. Voici quelques grandes considérations et mesures que les régulateurs peuvent utiliser, pour promouvoir une industrie plus efficace au niveau énergétique.



Fixer des exigences minimales



Relever le niveau d'effort en fixant des objectifs et des normes de performance – un exemple pourrait être la planification énergétique obligatoire. En général, commencer à envisager les déchets comme une ressource énergétique, plutôt que comme un problème à éliminer. Presque tous les déchets peuvent servir à produire de l'énergie, qu'il s'agisse de chaleur excédentaire, de refroidissement excédentaire, de boues provenant des systèmes d'assainissement, ou de déchets ménagers. La planification énergétique commence par une vision stratégique de la chaleur excédentaire. Au Danemark, par exemple, les municipalités ont été invitées à cartographier la demande de chauffage existante, ainsi que la méthode d'approvisionnement en chauffage existante, et les quantités d'énergie utilisées. En outre, les municipalités peuvent également faire une estimation des demandes futures et des possibilités d'approvisionnement. Sur la base de ces informations, des plans énergétiques globaux peuvent être préparés pour montrer la priorité des options de fourniture de chauffage dans une zone donnée, et identifier les emplacements des futures unités et réseaux de fourniture de chauffage.

En fonction du système énergétique existant, la planification énergétique peut à la fois révéler des potentiels à petite échelle (comme la mise en place d'incitations appropriées à la récupération de chaleur ou le potentiel de la cogénération de chauffage et d'électricité), ou révéler le potentiel d'opportunités à plus grande échelle comme le déploiement du chauffage urbain.

S'attaquer aux incitations économiques



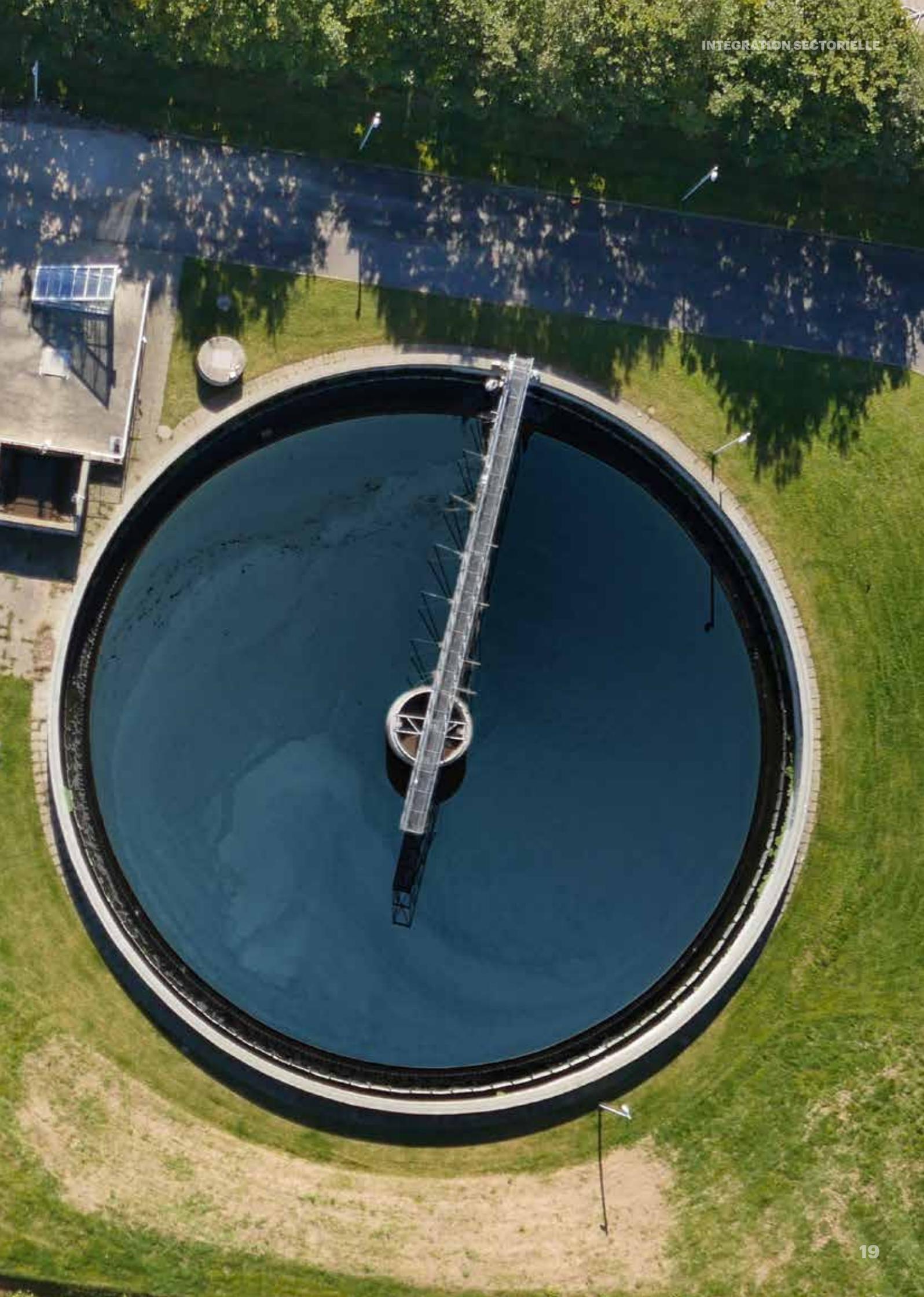
Pour améliorer encore l'efficacité énergétique en utilisant l'énergie gaspillée, il est essentiel de supprimer les obstacles, tant financiers que législatifs. La conception actuelle du marché de l'énergie constitue, en de nombreux endroits, un obstacle aux technologies d'intégration sectorielle, soit en empêchant la participation de ces technologies sur certains marchés spécifiques, soit en n'internalisant pas toutes les externalités positives et négatives des technologies à faible et à forte intensité d'émissions de carbone. Par exemple, les installations de production d'électricité et de gaz peuvent être traitées comme des consommateurs finaux, et doivent faire face à des coûts d'électricité entrante, incluant des taxes et des prélèvements d'utilisateur final. Il convient donc d'envisager de faire en sorte que les marchés de l'énergie reflètent toutes les externalités positives et négatives, afin de mettre sur un pied d'égalité toutes les technologies et tous les vecteurs d'approvisionnement énergétique. Certains aspects, comme des prix de l'énergie reflétant les coûts, une tarification adéquate du CO₂, l'accessibilité et la liquidité du marché, et des structures tarifaires appropriées aux réseaux, doivent être pris en compte.

Établir des partenariats



Une utilisation plus systématique de la chaleur excédentaire est, au bout du compte, un exercice englobant plusieurs secteurs et parties prenantes. Les partenariats entre les autorités locales, les fournisseurs d'énergie et les sources d'énergie telles que les supermarchés, les centres de données, les stations d'épuration, et les industries, peuvent contribuer à maximiser le potentiel de la chaleur excédentaire.





whyee.com

La combinaison de plusieurs sources d'énergie dans un système intégré accélère le passage au zéro émission.
Les solutions sont là.

