



Série Technique
Réf AMORCE EAT 03a
Septembre 2019

Services Publics d'Eau et d'Assainissement et stratégies climatiques : les leviers d'atténuation



PRÉSENTATION D'AMORCE

Rassemblant plus de 890 adhérents pour 60 millions d'habitants représentés, AMORCE constitue le premier réseau français d'information, de partage d'expériences et d'accompagnement des collectivités (communes, intercommunalités, conseils départementaux, conseils régionaux) et autres acteurs locaux (entreprises, associations, fédérations professionnelles) en matière de transition énergétique (maîtrise de l'énergie, lutte contre la précarité énergétique, production d'énergie décentralisée, distribution d'énergie, planification) et de gestion territoriale des déchets (planification, prévention, collecte, valorisation, traitement des déchets).

Force de proposition indépendante et interlocutrice privilégiée des pouvoirs publics (ministères, agences d'État et du Parlement) AMORCE est aujourd'hui la principale représentante des territoires engagés dans la transition énergétique et l'économie circulaire. Partenaire privilégiée des autres associations représentatives des collectivités, des fédérations professionnelles et des organisations non gouvernementales, elle a joué un rôle majeur dans la défense des intérêts des acteurs locaux lors de l'élaboration de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte ou précédemment des lois relatives au Grenelle de l'environnement.

Créée en 1987, elle est largement reconnue au niveau national pour sa représentativité, son indépendance et son expertise, qui lui valent d'obtenir régulièrement des avancées majeures (TVA réduite sur les déchets et sur les réseaux de chaleur, création du Fonds Chaleur, éligibilité des collectivités aux certificats d'économie d'énergie, création de nouvelles filières de responsabilité élargie des producteurs, signalétique de tri sur les produits de grande consommation, généralisation des plans climat-énergie, obligation de rénovation des logements énergivores, réduction de la précarité énergétique, renforcement de la coordination des réseaux de distribution d'énergie, etc...).





REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des collectivités et professionnels ayant participé à notre travail, dont celles qui nous ont fait part de leurs retours d'expérience et qui nous ont fourni des documents pour illustrer cette publication.

RÉDACTEURS

Chloé THOMANN, cthomann@amorce.asso.fr

Muriel FLORIAT mfloriat@amorce.asso.fr

Relecture : Laurène DAGALLIER, Baptiste VEZOLE,

MENTIONS LÉGALES

©AMORCE – Septembre 2019

Les propos tenus dans cette publication ne représentent que l'opinion de leurs auteurs et AMORCE n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y sont contenues.

Reproduction interdite, en tout ou en partie, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation écrite d'AMORCE.

Possibilité de faire état de cette publication en citant explicitement les références.



SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
1. LE POIDS DES SERVICES D'EAU ET D'ASSAINISSEMENT DANS LE BILAN CARBONE DES COLLECTIVITES.....	8
1. LES PRINCIPAUX POSTES CONTRIBUTEURS EN GES DES SERVICES D'EAU ET D'ASSAINISSEMENT	8
1.1.1 <i>Production d'eau potable</i>	8
1.1.1.1 Les stations de pompage pour le prélèvement	8
1.1.1.2 Les usines de potabilisation de l'eau	9
1.1.2 <i>Le stockage et la distribution</i>	11
1.1.3 <i>Le traitement des eaux usées et des sous-produits d'assainissement</i>	11
1.1.3.1 Les consommations énergétiques par type de process de la file EAU	11
1.1.3.2 Les consommations énergétiques pour la file BOUES	13
1.1.3.3 Les émissions de GES des STEU	14
2. ÉVALUATION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE D'UN SPEA	16
1.2.1 <i>La mise en œuvre d'un projet d'optimisation énergétique</i>	16
1.2.2 <i>La démarche d'audit énergétique</i>	16
1.2.2.1 La méthodologie de l'audit énergétique	16
1.2.2.2 Focus sur les unités de consommations spécifiques	18
1.2.2.3 Se comparer pour mieux diagnostiquer ses installations	19
1.2.3 <i>La surveillance des consommations du systèmes au-delà de l'audit énergétique</i>	20
2. VERS PLUS DE SOBRIETE ENERGETIQUE : REDUIRE LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DES SPEA.....	21
1. UNE BONNE GESTION PATRIMONIALE, LE PREALABLE INDISPENSABLE	21
2.1.1 <i>Lutter contre les fuites d'eau potable</i>	21
2.1.2 <i>Réduire les infiltrations d'ECPP dans les réseaux d'assainissement</i>	23
2. OPTIMISER LES PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT DE SON SYSTEME	24
2.2.1 <i>Améliorer les rendements des moteurs</i>	24
2.2.2 <i>Optimisation la pression de service et les stockages d'eau</i>	25
2.2.3 <i>Bien calibrer les systèmes de relevage</i>	25
2.2.4 <i>Améliorer les systèmes de pompage</i>	25
3. OPTIMISER DES TRAITEMENTS DE POTABILISATION	26
4. LIMITER L'IMPACT DES STEU	27
3. ÉCONOMISER L'EAU A TOUTES LES ECHELLES	30
1. LA LUTTE CONTRE LE GASPILLAGE	30
2. LA SECONDE VIE DES EAUX USEES	31
3.2.1 <i>Irrigation et arrosage</i>	31
3.2.2 <i>Nettoyage de l'espace public et des équipements municipaux</i>	31
3.2.3 <i>Recharger les nappes phréatiques</i>	32
4. LES SPEA PRODUCTEURS D'ENERGIES RENOUVELABLES ET ACTEURS DE L'ECONOMIE CIRCULAIRE.....	33
1. VALORISATION DE LA CHALEUR DES EFFLUENTS	33
4.1.1 <i>Cadre juridique</i>	34
4.1.2 <i>Un vaste panel d'installations possibles</i>	34
4.1.3 <i>Multiplicité des modes de gestion</i>	35
4.1.4 <i>La vente d'énergie : une compétence à acquérir</i>	36
2. VALORISATION DE L'ENERGIE POTENTIELLE DU RESEAU	37
4.2.1 <i>Production d'énergie par micro-turbinage</i>	37
4.2.1.1 Quelles aides tarifaires pour un projet de micro-turbinage ?	37
4.2.1.2 Une technique à adapter au cas par cas	39
4.2.2 <i>Stations de transfert d'énergie par pompage STEP</i>	40
3. VALORISER LE PATRIMOINE BATI DES SPEA	41



4.3.1	<i>Éolien</i>	41
4.3.1.1	Étapes du montage de projet	41
4.3.1.2	Soutien financier de la filière	42
4.3.2	<i>Photovoltaïque</i>	43
4.3.2.1	Étapes du projet	43
4.3.2.2	Quels revenus pour l'électricité produite ?	44
4.	VALORISATION ENERGETIQUE DES SOUS-PRODUITS D'ASSAINISSEMENT	45
4.4.1	<i>Méthanisation des boues</i>	45
4.4.1.1	Techniques de valorisation du biogaz.....	45
4.4.1.2	Quelles subventions pour l'énergie produite ?.....	47
4.4.1.3	Optimisation de la production de biogaz	48
4.4.2	<i>Incinération des boues et MIATE</i>	49
4.4.2.1	Cadre juridique sur l'incinération	50
4.4.3	<i>Oxydation par voie humide</i>	50
4.4.4	<i>Pyrolyse ou Thermolyse</i>	51
4.4.5	<i>Gazéification</i>	52
4.4.6	<i>Autres valorisations des boues dans le cadre de l'économie circulaire</i>	53
5.	CAPTATION DU CARBONE	54
1.	VEGETALISATION EN ZONE URBAINE	54
2.	ÉPANDAGE DES BOUES D'EPURATION	55
	CONCLUSION	56
	GLOSSAIRE	58
	ANNEXES	59

INTRODUCTION

La France s'est fixée récemment comme objectif plus de 30% d'énergies renouvelables dans la production totale d'énergie en 2030¹. Les collectivités territoriales font partie intégrante de ce projet qui nécessite une réduction des consommations et une hausse de la production d'énergies renouvelables. Si les services publics d'eau et d'assainissement sont de petits contributeurs aux émissions de GES par rapport à d'autres activités d'une collectivité territoriale (collecte et traitement des déchets, chauffage urbain...), ils représentent néanmoins une part non négligeable, avec par exemple 7% des émissions de GES pour le Grand Lyon.²

Toutefois, dans une logique d'actions à toutes les échelles, de nombreux leviers d'actions sont mobilisables pour réduire les consommations énergétiques des SPEA. Le domaine de l'eau est d'ailleurs un point important des Plans Actions Climat Air Énergie : selon une enquête AMORCE réalisée sur 14 PCAET fin 2018, 12 des plans avaient référencé des actions à mener sur le petit cycle de l'eau, comme le montre la figure 1 :

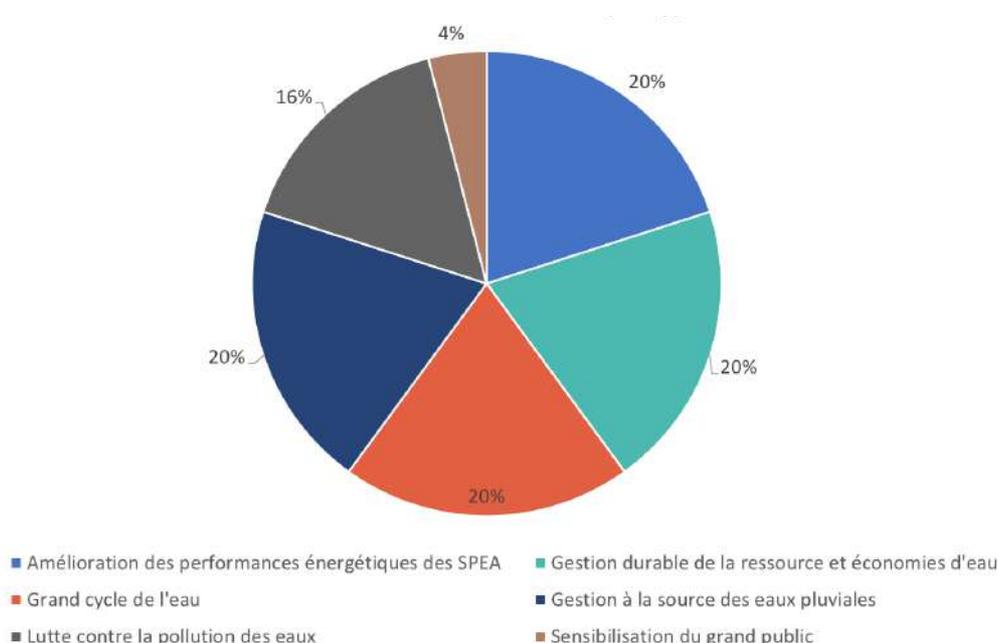


Figure 1 : Les 45 actions 'Eau' des PCAET enquêtés, réparties par type d'action

Lorsque l'on parle de changement climatique, deux approches sont à envisager de façon complémentaire : d'une part des actions visant à atténuer les effets du changement climatique et d'autre part une stratégie d'adaptation. L'**adaptation** est l'ajustement pour modérer ou éviter les nuisances liées au climat présent et futur. L'**atténuation** au contraire selon la définition de l'ADEME consiste à stabiliser les concentrations de Gaz à Effet de Serre (GES) dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. D'après l'OCDE, il s'agit des activités permettant de réduire ou limiter les émissions de gaz à effet de serre et permettant la protection et l'amélioration des puits et réservoirs de GES (ex : forêts et sols), c'est-à-dire la captation du carbone.

L'atténuation du changement climatique dans le domaine de l'eau passe principalement par la réduction des consommations énergétiques des services d'eau, en agissant à la fois sur :

¹ Projet de loi Énergie

² Cas de la Métropole de Lyon : 7% des émissions de CO2 par les services d'eau et d'assainissement, loin derrière la collecte et le traitement des déchets (61%) et les réseaux de chaleur (26%) mais devant les ERP, la gestion de la voirie ou le patrimoine administratif – source PCAET de la Métropole de Lyon



- La réduction des volumes prélevés sur la ressource et mis en distribution afin de limiter les dépenses énergétiques liées à la production et au traitement de l'eau : les actions portent alors sur la diminution des fuites des réseaux et la limitation de nos consommations en eau (consommations individuelles, au niveau des collectivités, des entreprises, de l'industrie et de l'agriculture ;
- La mise en place d'équipements de distribution, collecte et traitement plus sobres en énergie ;
- La valorisation du potentiel de l'eau potable et des eaux usées pour la production d'énergie renouvelables : valorisation de la chaleur, de l'énergie potentielle, utilisation du patrimoine comme support pour des équipements d'ENR électriques, production de gaz renouvelable....

Ce guide vous accompagne pour mettre en place des actions concrètes d'atténuation dans vos services d'eau et d'assainissement.

1. Le poids des services d'eau et d'assainissement dans le bilan carbone des collectivités

Jusqu'à 18% de l'électricité consommée dans les zones urbaines est utilisée pour traiter et transporter l'eau potable et les eaux usées³. Bien que ce ne soit pas le plus gros poste de dépense énergétique des collectivités, des moyens relativement simples et opérationnels peuvent être mis en œuvre pour en améliorer l'efficacité énergétique et donc limiter les coûts de fonctionnement. Avant tout projet de réduction ou de limitation des consommations énergétiques au sein des SPEA, il est important de connaître et comprendre sa consommation pour pouvoir identifier les leviers de réduction des consommations. Ainsi la connaissance des données nationales et moyennes de consommations des différents postes n'empêche pas une démarche de mesure de l'efficacité énergétique de son service d'eau.

1. Les principaux postes contributeurs en GES des services d'eau et d'assainissement

Ce rapport traitera principalement du petit cycle de l'eau, qui va du pompage de l'eau en vue de sa potabilisation, l'acheminement puis la collecte et le traitement des eaux usées en station d'épuration (voir Figure 2).

Au sein de ces différents postes, les consommations énergétiques les plus élevées sont :

- en premier lieu, le traitement des eaux usées et des boues d'épuration
- dans un second temps, le prélèvement des eaux souterraines par pompage (env. 65% des ressources utilisées en France sont souterraines) et le traitement de l'eau pour la rendre potable (variable selon le niveau de traitement nécessaire)
- Puis les différents pompages en réseau d'eau potable et d'assainissement

La chronologie du petit cycle de l'eau est respectée dans les paragraphes suivants.

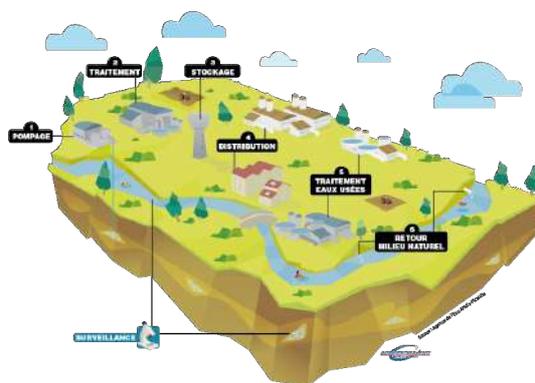


Figure 2: Le petit cycle de l'eau (source : Agence de l'eau Artois-Picardie)

1.1.1 Production d'eau potable

1.1.1.1 Les stations de pompage pour le prélèvement

Le pompage est bien souvent la première étape du petit cycle de l'eau : il consiste à puiser l'eau en plus ou moins grande profondeur dans des nappes souterraines (appelés aquifères ou nappe phréatique pour les moins profondes) ou en surface (provenant de rivières ou plans d'eau). Les captages souterrains demandent évidemment plus d'énergie pour relever l'eau à niveau, mais la distance à l'usine de traitement intervient également. Ainsi, la puissance nécessaire au fonctionnement d'une pompe dépend du débit et de la pression

³ Marc Florette, Léon Duvivier, *Eau et Énergie sont indissociables*, Disponible sur : https://www.mediachimie.org/sites/default/files/energie_Florette.pdf



à appliquer au fluide, mais aussi des pertes de charge linéaires et singulières du réseau qu'il faut prendre en compte pour le dimensionnement.

L'énergie nécessaire au pompage varie de 0,04 kWh/m³ (limite basse en Suède) à 4,2 kWh/m³ (limite haute en Californie). Au Royaume-Uni, on estime que l'énergie de pompage de l'eau à potabiliser représente 60% de l'ensemble de l'électricité consommée sur le cycle de l'eau.⁴

1.1.1.2 Les usines de potabilisation de l'eau

L'eau brute une fois prélevée dans le milieu naturel peut être si nécessaire traitée dans une usine de production d'eau potable avant d'être mise en distribution aux usagers : les traitements nécessaires à sa potabilisation peuvent être très simples (désinfection) comme très poussés selon son origine et sa composition. On recense quatre types de traitement :

- **Physiques** : dégrillage, tamisage, décantation, filtration, flottation
- **Chimiques** : traitement à la chaux, oxydation au chlore, chloration ou ozonation
- **Physico-chimique** : coagulation ou floculation
- **Biologiques** : filtres à sable

Généralement, l'eau brute pompée en nappe souterraine subit moins de traitement que l'eau captée en surface. En usine de traitement d'eau potable, ces filières de traitement sont couplées selon le niveau de traitement à atteindre⁵. La Figure 3 présente le cas d'une station intensive qui associe plusieurs traitements poussés (ce qui représente environ un quart des usines françaises⁶) :

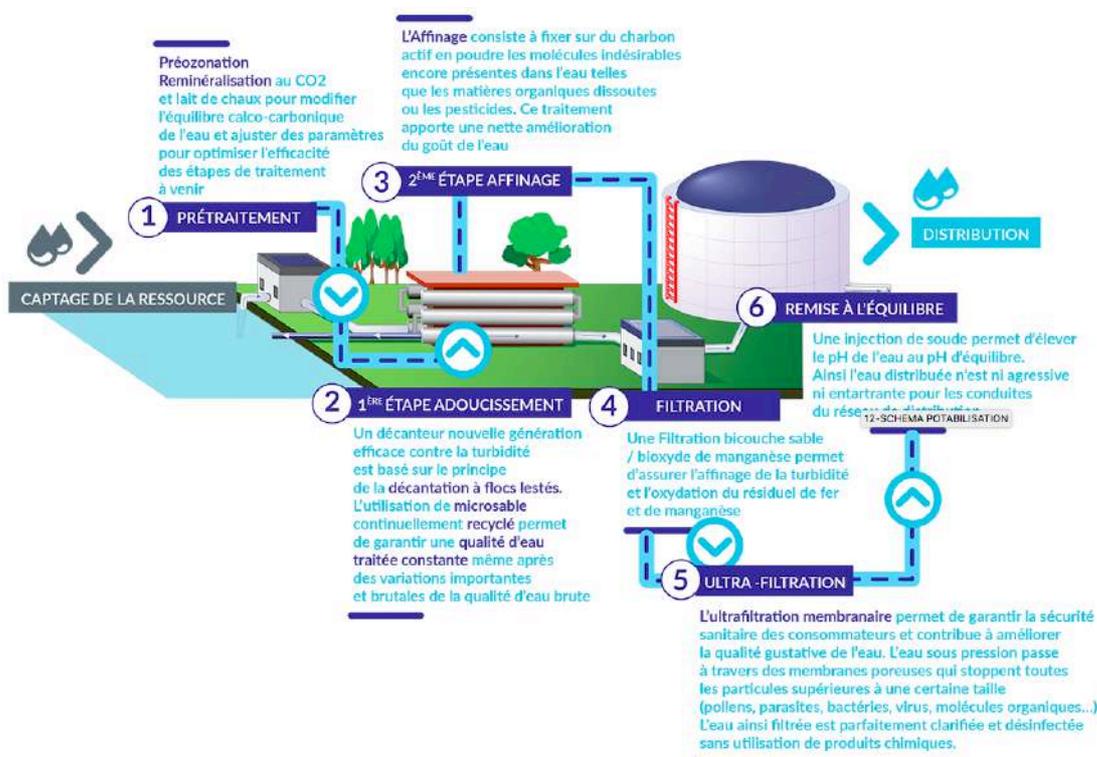


Figure 3 : Les étapes de la potabilisation de l'eau (source : SMPGA)

⁴ Eau et énergie sont indissociables, Marc Florette et Léon Duvivier (GDF Suez)

⁵ Ferial Belchadi sur Usine Nouvelle, *Approvisionnement en eau potable : enjeux et solutions*, 2017

⁶ Cieau. Quels traitements sophistiqués pour rendre l'eau potable ?

ZOOM SUR LE DESSALEMENT D'EAU DE MER

Le dessalement représente 2 à 3% de l'alimentation en eau potable à l'échelle mondiale⁵. Sur des **territoires isolés** où la ressource en eau potable est difficile d'accès, le dessalement d'eau de mer peut être une solution pour palier à la pénurie d'eau. Néanmoins, cette solution très **énergivore** doit rester un dernier recours pour la production d'eau potable, d'autant plus qu'elle est très polluante (le flux de rejet de saumure est deux fois plus important que celui d'eau potable).

Il existe deux techniques de dessalement de l'eau de mer : la distillation en chauffant l'eau pour la séparer du sel et l'osmose inverse qui consiste à faire passer l'eau à travers une membrane filtrante en lui appliquant une forte pression. La consommation réelle de la distillation est en moyenne de 15 kWh/m³ alors que l'osmose inverse, beaucoup plus économe en énergie, consomme environ 3,5 kWh/m³.

En théorie, dessaler 1 m³ d'eau moyennement salée à température constante nécessite une quantité d'énergie estimée à 536 Wh, mais les consommations sont en pratique 6 à 30 fois plus importantes⁷.

La potabilisation d'eau potable est le deuxième poste des SPEA en termes de consommations énergétiques⁸, avec une moyenne à 0,5 kWh/m³ d'eau potable produite : ce poste devient très énergivore dès lors que les traitements sont poussés.

L'énergie représente effectivement 25% des charges de production d'eau potable dans le monde⁹. On peut tout de même faire la distinction entre les traitements de potabilisation d'eau douce et ceux de dessalement, dont la demande en énergie peut-être plus de 100 fois plus couteuse en énergie (voir tableau 1 ci-dessous).

Tableau 1 Consommation électrique moyenne par filière de production d'eau potable (hors pompage)
(source : Veolia eau)

Filière de production d'eau potable	Consommation électrique en Wh/m ³ d'eau potable
Traitement conventionnel	50 - 150
Traitement membranaire	100 - 200
Traitement membranaire avancé d'eau de surface ou de nappe	250 - 700
Dessalement d'eau saumâtre	600 - 1500
Dessalement d'eau de mer avec système de récupération d'énergie	3 000 – 5 000
Dessalement d'eau de mer sans système de récupération d'énergie	5 500 – 8 000
Dessalement thermique (distillation)	>6 000
Recyclage d'eau usée (reuse)	25 – 1500

⁷ Connaissance des énergies, *Combien d'énergie faut-il pour dessaler l'eau de mer ?*, Septembre 2015

Disponible sur : <https://www.connaissancedesenergies.org/combien-denergie-faut-il-pour-dessaler-de-leau-de-mer-150923>

⁸ Cercle Français de l'eau, *L'eau pour l'énergie, l'énergie pour l'eau, quelles synergies pour demain ?*, 2010

⁹ UN Water. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau*, 2014



1.1.2 Le stockage et la distribution

Une fois passée l'étape de potabilisation, l'eau est acheminée vers les abonnés domestiques et industriels, grâce au réseau de canalisations. Elle est souvent stockée dans des châteaux d'eau ou des réservoirs avant d'être distribuée.

Les besoins en énergie correspondent alors aux consommations des pompes permettant de relever les niveaux d'eau et de maintenir une pression de service acceptable aux points de livraison (robinets...). Ces deux étapes sont tributaires de la topographie locale mais en général relativement peu coûteuses en énergie : la distribution consomme en moyenne $0,1 \text{ kWh/m}^3$ ⁴.

1.1.3 Le traitement des eaux usées et des sous-produits d'assainissement

1.1.3.1 Les consommations énergétiques par type de process de la file EAU

Le traitement des eaux usées est le premier poste le plus énergivore des SPEA. En France, 30 à 55%¹⁰ de la consommation d'un SPEA est dédiée à l'assainissement dont environ 90% est affecté au traitement des eaux résiduaires urbaines. En effet, la collecte et le transport des eaux usées, autant que possible gravitaire, consomme en général peu d'énergie ($0,06 \text{ kWh/m}^3$ en moyenne).

On comprend dans le terme « traitement de eaux usées » aussi bien les différentes étapes du traitement en station d'épuration (STEP ou STEU), mais aussi la valorisation et l'élimination des déchets produits lors du processus (refus du dégrillage et boues d'épuration principalement). De même que pour les traitements de potabilisation, les techniques de traitement des eaux usées sont plus ou moins poussées selon la charge à traiter et les objectifs de rejet au milieu naturel.

Les traitements les plus rustiques sont les traitements extensifs comme les filtres plantés ou le lagunage naturel : ils sont en général peu énergivores. A contrario, les traitements intensifs physico-chimiques ou biologiques consomment beaucoup plus.

Pour le traitement par boues activées à faible charge en aération prolongée, qui est le plus répandu en France, on distingue plusieurs étapes ¹¹ :

- Les **prétraitements** : ils consistent à éliminer les éléments grossiers (dégrillage), à enlever le sable (dessablage) ainsi que les graisses (désgraissage).
- La **décantation primaire** : elle permet la capture des éléments en suspension, accumulés au fond du bassin dans les boues primaires. Cette étape est optionnelle.
- La **digestion aérobie ou traitement biologique** : réduction de la charge en matière organique de l'eau usée par des micro-organismes regroupés en « floccs » et production de boues dites « activées ». Cette phase nécessite une aération conséquente. L'aération est prédominante en termes de consommation avec $0,2 \text{ kWh/m}^3$.
- La **clarification** : elle permet la séparation du « flocc » bactérien de la phase aqueuse.

¹⁰ A.E Stricker et al., *Consommation énergétique des filières intensives de traitement des eaux résiduaires urbaines*, 2018

¹¹ Eau Artois Picardie, *La station d'épuration*, 2017

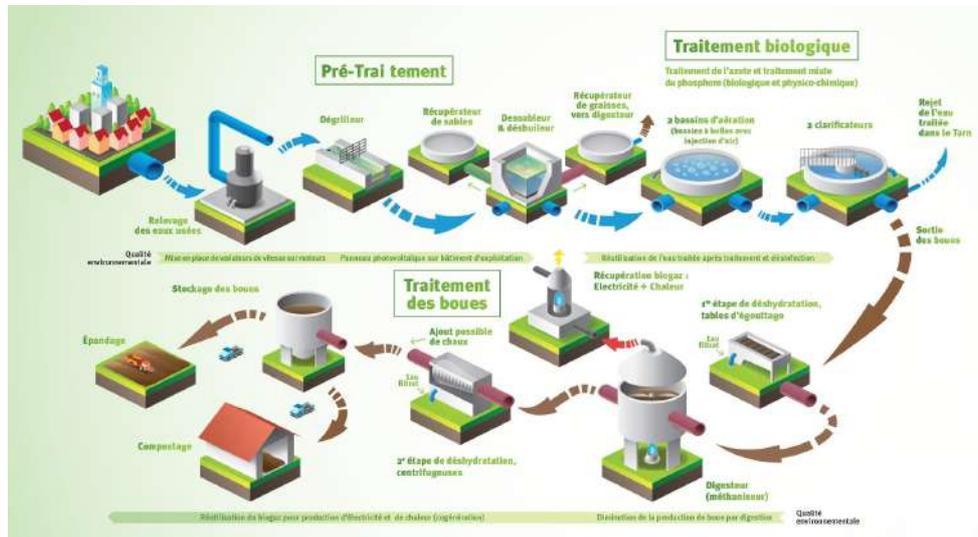


Figure 4 : Étape de l'assainissement et du traitement des boues
(Source : grand-albigeois.fr)

D'après une étude de l'IRSTEA¹² sur les stations du bassin RM&C, la filière intensive adaptée aux grosses stations d'épuration la moins énergivore est le traitement biologique par boues activées et ce pour tous les indicateurs étudiés : c'est aussi le traitement le plus répandu en France.

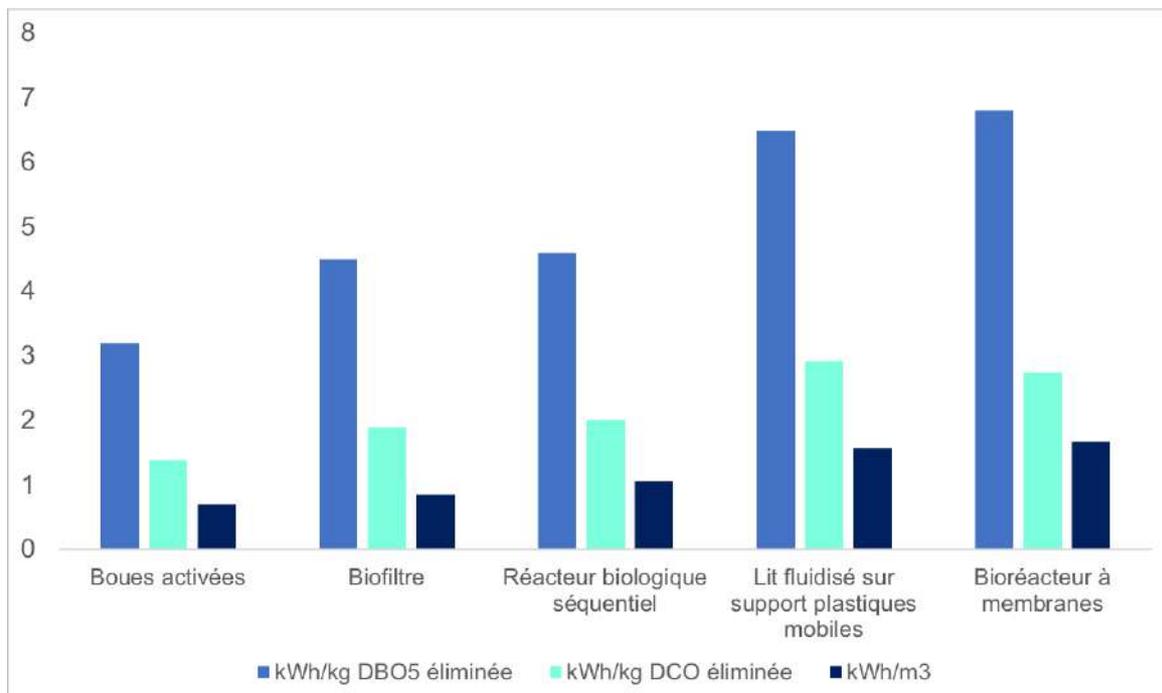


Figure 5 : Consommation énergétiques moyennes des stations d'épuration françaises
(en kWh/kg DBO₅ éliminé)
Données Irstea

¹² Irstea et AERMC : 'Consommation énergétique des filières intensives de traitement des eaux résiduaires urbaines', 2017
AMORCE

Nota : Ce tableau se concentre sur des techniques adaptées pour de grosses stations d'épuration. Pour de plus petites stations, certains traitements extensifs ne consomment quasiment aucune énergie, c'est le cas du traitement par filtres plantés de roseaux ou par lagunage naturel.

ZOOM SUR LES FILTRES PLANTÉS DE ROSEAUX

Le traitement par filtres plantés de roseaux repose sur le principe de filtration biologique en milieu granulaire. Conçus pour l'épuration des eaux usées domestiques, ces filières de traitement extensives concernent les petites stations d'épuration (de 50 à 1000 ou 2000 EH). Ce mode de filtration consomme très peu d'énergie et est donc une très bonne voie d'évolution en faveur de l'atténuation au changement climatique pour des petites communes.



Source : Cemagref

1.1.3.2 Les consommations énergétiques pour la file BOUES

Boues épaissies
Siccité : autour de 5 %

Boues déshydratées
Siccité : 20 à 30%

Boues séchées
Siccité : plus de 50%



Au-delà du traitement de l'eau, il faut aussi prendre en compte la gestion des boues avant leur valorisation par épandage, compostage, méthanisation, incinération etc. L'épaississement, la stabilisation, la déshydratation et le séchage ont pour but de diminuer le volume des boues et leur teneur en eau (dans des proportions différentes), afin de réduire les coûts de transports et de faciliter leur valorisation. Les consommations énergétiques de ces différentes étapes dépendent de la technique utilisée (voir figure 6).

Néanmoins une simple analyse des consommations des installations ne peut suffire à choisir le système de traitement sans une mise en regard de l'efficacité des techniques concernées et des rendements atteints.

Le **séchage thermique**, très énergivore n'est volontairement pas représenté sur la figure 6 pour une meilleure lisibilité du graphique. La consommation d'une telle technique de séchage est comprise entre 850 et 1000 kWh/tMS (source : Irstea).

Il est aussi possible de sécher les boues par **lit de séchage**, bassins peu profonds, remplis de sable et de gravier et équipés d'un système de drainage pour recueillir le percolat : cette technique rustique, peu énergivore, nécessite un foncier important et peu parfois rencontrer des problèmes d'efficacité qui vont nuire aux performances globales du traitement des eaux usées.

Si les filières les plus performantes sur le graphique ci-dessous sont les filtres à plateaux et à bandes, les performances sont à nuancer car les consommations et la siccité atteinte sont très dépendantes des intrants du procédé, en l'occurrence des caractéristiques des boues d'épuration. Ces chiffres sont donc donnés à titre indicatif. Dans tous les cas, le choix d'une filière doit s'adapter au process de l'ensemble de la station et de la destination des boues, avec une analyse poussée des possibilités lors de l'étude de faisabilité.

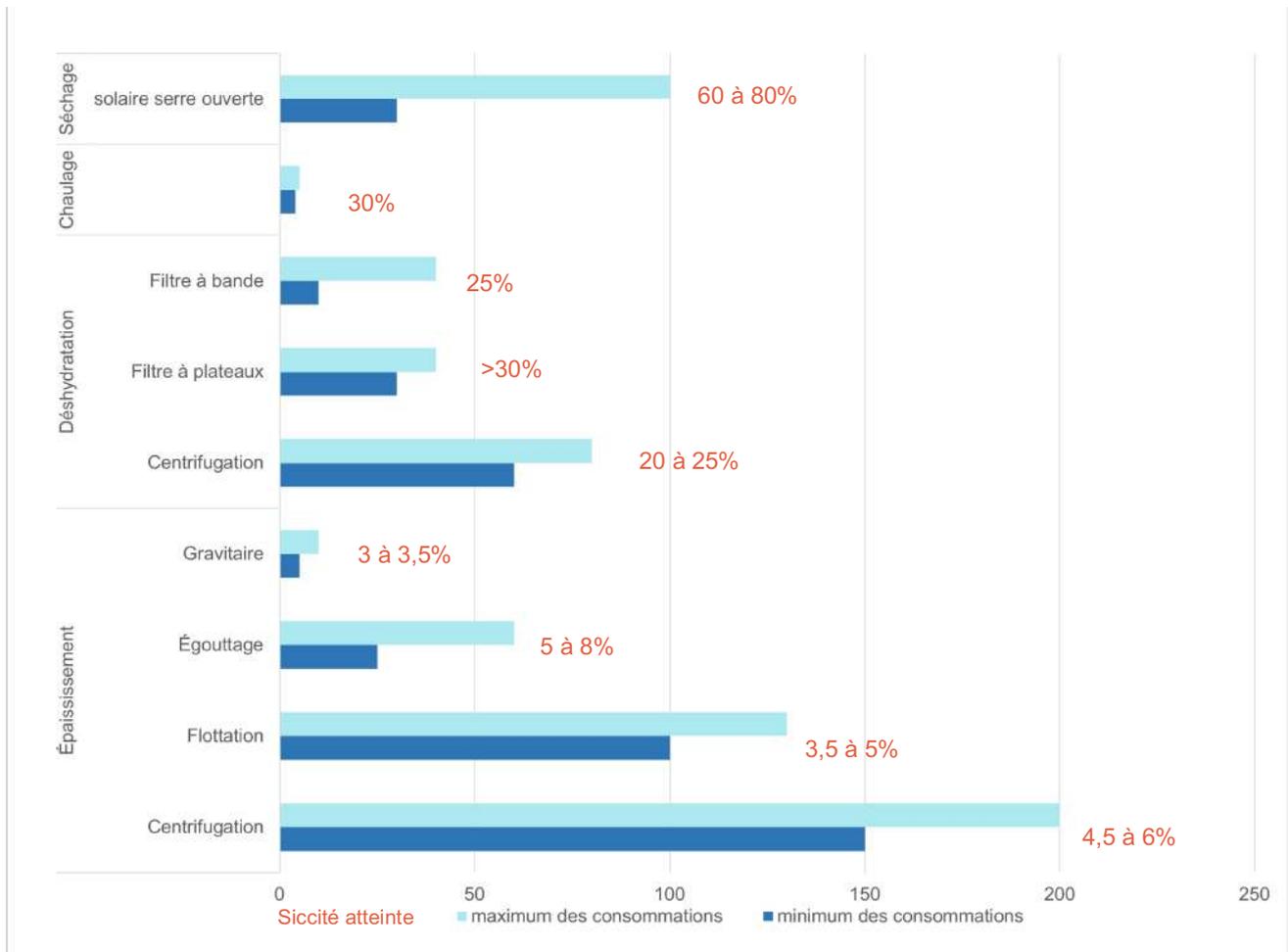


Figure 6 : Consommations énergétiques des différents postes du traitement des boues d'épuration (en kWh/tMS)

Siccité = pourcentage massique de matière sèche. Une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 %.

1.1.3.3 Les émissions de GES des STEU

Les stations d'épuration sont émettrices de gaz à effet de serre en raison de la dégradation de l'azote présent dans les eaux usées. Le gaz produit, le protoxyde d'azote, a un potentiel de réchauffement 300 fois plus élevé que le CO₂. D'après le GIEC, l'épuration des eaux usées contribuerait à 3,5% des émissions de ce gaz au niveau mondial, d'autant plus que ce chiffre est à revoir à la hausse car il a été calculé à partir de données des États-Unis où l'azote n'est pas traité, et où les rejets du gaz concerné sont donc moins élevés.

Le projet N₂Otrack, de l'INSA Toulouse, vise à l'analyse et la réduction des émissions de N₂O dans les procédés biologiques de traitement des effluents. L'approche choisie est plutôt mathématique avec une modélisation du fonctionnement dynamique des stations et des émissions de protoxyde d'azote¹³.

Le SIAAP a pu tester ses émissions de protoxyde d'azote, qui se produisent lors du processus de nitrification et de dénitrification en station d'épuration. Différents tests ont mis en avant deux paramètres déterminants : la

¹³ Site du projet : N₂O Track, Analyse et Réduction des émissions de N₂O dans les procédés Biologiques de traitement des effluents

carence en air et la surcharge en nutriments. Toutefois compte tenu du poids énergétique de l'aération, les exploitants doivent trouver un compromis entre le poids environnemental et le bilan carbone.



Pour aller plus loin que le simple bilan carbone, l'Irstea a développé un logiciel de quantification des émissions de GES des STEU dans le cadre d'un partenariat avec le Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et l'ONEMA. Intitulé **Gestaboues**, le logiciel comptabilise les émissions annuelles de 3 gaz (dioxyde de carbone CO₂, méthane CH₄ et protoxyde d'azote N₂O) sur toute la filière boues, du traitement à la valorisation, et prend aussi en compte les émissions évitées lors d'une production d'énergie à partir de la valorisation des boues (méthanisation, incinération...).

À RETENIR

En moyenne, en France, l'assainissement est donc le plus gros contributeur aux dépenses énergétiques du cycle de l'eau en raison des postes d'aération et de désodorisation de la filière « boues activées », qui est le process le plus répandu. Le deuxième poste de consommation d'énergie est le traitement de l'eau en vue de sa potabilisation.

Ces tendances ne doivent pas faire oublier l'impact des contraintes locales (qualité de la ressource, topographie, sensibilité du milieu naturel...) mais aussi que les filières extensives (réservées aux petites unités, sans sensibilité du milieu récepteur notable) permettent de traiter les eaux de manière beaucoup plus sobre en énergie.

2. Évaluation de l'efficacité énergétique d'un SPEA

Afin d'optimiser l'efficacité énergétique de son service d'eau et d'assainissement, il est nécessaire de bien connaître les consommations poste par poste pour identifier les facteurs clés de la consommation énergétique du système d'eau et d'assainissement et de mettre en lumière les leviers d'amélioration et de réduction des consommations. Ainsi, certaines agences de l'eau prennent des mesures incitatives pour que les collectivités mettent en place un système de mesure des consommations énergétiques des systèmes de production et de traitement de l'eau. La méthodologie détaillée ici pour la mise en œuvre d'un projet d'optimisation des traitements et pour l'audit énergétique est volontairement commune aux usines d'eau potable et aux stations de traitement des eaux usées. La différence entre les deux services réside dans les leviers d'action à mettre en œuvre.

1.2.1 La mise en œuvre d'un projet d'optimisation énergétique

Un projet d'optimisation énergétique d'une station de traitement de l'eau (eau potable ou eaux usées) peut être scindé en 6 étapes :

- Mettre en place un **comité de pilotage** en réunissant les acteurs impliqués ou impactés par le projet, former une équipe énergie avec différentes fonctions représentées (réseaux/STEP, opération, management, finances...)
- Réaliser un **bilan sur la consommation** et la **production d'énergie** actuelle afin de comparer avec d'autres collectivités.
- Effectuer un **audit énergétique** de certains ouvrages/du procédé en identifiant les gains potentiels, notamment la consommation électrique, les ressources et besoins thermiques de l'installation.
Dans le cas d'une STEU : il faut aussi prendre en compte la valorisation potentielle de la charge organique qui peut servir à une autoconsommation (type méthanisation)
- Fixer les **objectifs** du projet : diminuer les coûts ? les consommations ? produire de l'énergie ? pour quels retours sur investissement ?
- Choisir les **mesures** d'économies d'énergie et les **planifier**
- Évaluer leur impact pour **capitaliser** et **communiquer** sur le projet

1.2.2 La démarche d'audit énergétique

1.2.2.1 La méthodologie de l'audit énergétique

Trois méthodes à différentes échelles de complexité permettent d'estimer ou de mesurer les consommations énergétiques d'un système d'eau et d'assainissement :

- La solution la plus simple mais qui ne permet pas de connaître en détail sa consommation est de regarder la consommation annuelle en électricité et gaz sur les factures de chaque poste de la collectivité.
- Il est possible d'utiliser des modèles de calcul de sa consommation en connaissant les appareils utilisés et les caractéristiques de l'eau à traiter (charge, débits etc.).
- Une approche de mesure sur le terrain des consommations par poste. Cela nécessite de mettre en place une métrologie adaptée comme l'installation de sous comptage sur chaque étape de traitement d'une STEU.

Une fois les consommations énergétiques connues, l'audit énergétique vise à identifier les pertes des systèmes pour caractériser leur efficacité et leur rendement. Pour cela, il faut mettre en regard les consommations énergétiques avec les caractéristiques de l'eau traitée et des équipements électromécaniques utilisés. Les différentes pertes des installations peuvent être classées dans différentes catégories : **pertes électriques** dans les conducteurs, transformateurs et moteurs ; **pertes de charge** singulières et linéaires dans les canalisations et les pompes.

Afin de connaître les consommations énergétiques de sa station d'épuration et de pouvoir les comparer aux données nationales il est nécessaire de faire un **bilan annuel** en prenant en compte : les paramètres de fonctionnement (débits traités, performances de traitement, siccité des boues) et les factures d'énergie en mettant en regard les caractéristiques des équipements installés, notamment les puissances installées et les temps de fonctionnement.

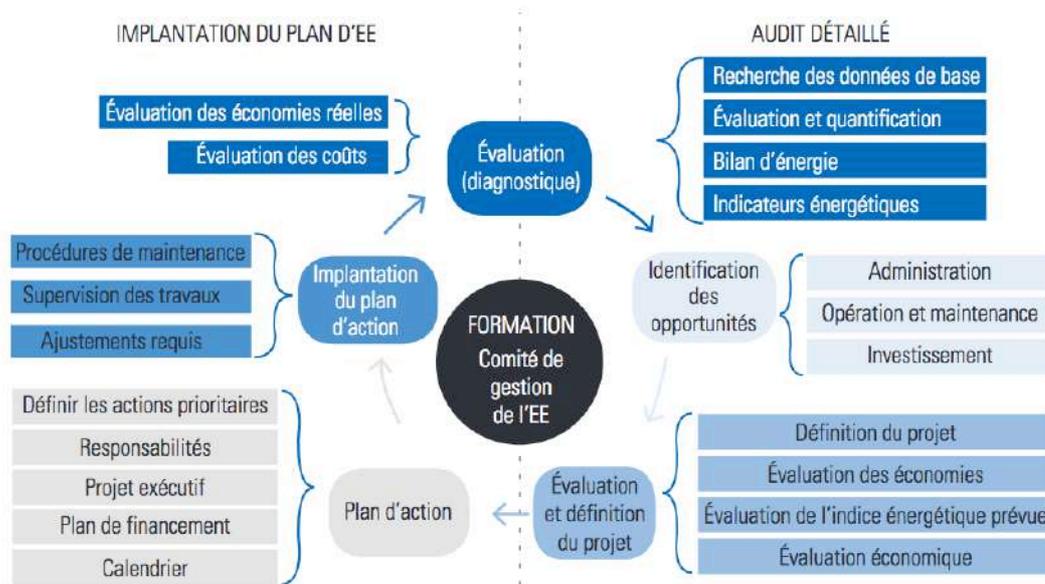


Figure 7 : Jalons et étapes d'un projet d'Efficacité Énergétique d'un SPEA
Source : BID, « Efficacité Énergétique pour les compagnies des eaux et d'assainissement des caraïbes »

Des modèles de consommation énergétique ont été développés par l'Irstea pour les stations d'épuration dont les traitements sont les suivant : boues activées, biofiltres et bioréacteurs à membranes¹⁴. Le document final de cette étude donne les méthodes de calcul des puissances absorbées par les installations pour les moteurs électriques, les moteurs à fréquence variable, la consommation du local d'exploitation (chauffage, éclairage, eau chaude sanitaire, bureautique...).

¹⁴ Irstea et RMC, Consommations énergétiques des stations d'épuration françaises, Janvier 2018
AMORCE

Le schéma suivant détaille l'approche utilisée pour les calculs des consommations (retrouvez en Annexe 1 la méthodologie détaillée du bilan des consommations) :

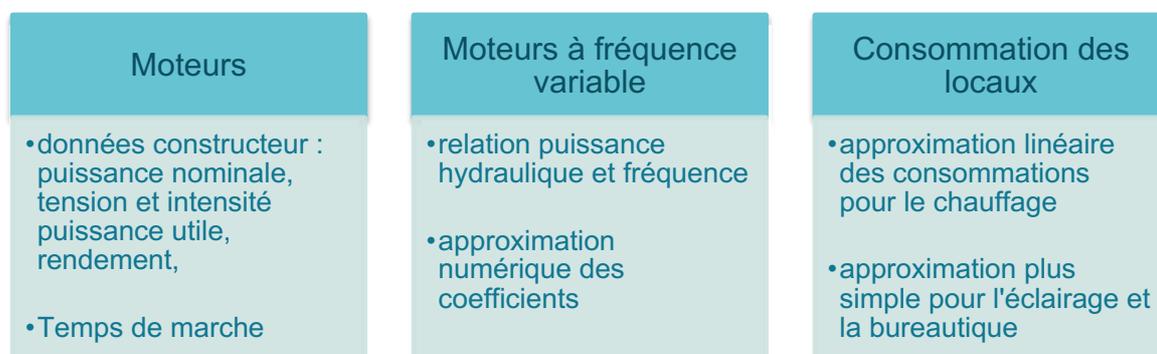


Figure 8 : Principales données et calculs nécessaire à l'audit énergétique d'une station

Ensuite, une comparaison des performances entre les postes grâce à des consommations spécifiques et pour un poste avec les consommations moyennes françaises d'un process (cf ci-dessous) ou les consommations attendues par le constructeur permet de mettre en lumière les axes d'amélioration.

QUAND REALISER UN AUDIT ENERGETIQUE ?

L'agence de l'eau Rhin Meuse demande désormais un diagnostic énergétique des STEU pour toute demande de subvention pour une rénovation (subvention à hauteur de 70%). L'agence de l'eau aide les stations dans leur démarche de diagnostic énergétique, par le biais de la prochaine publication (fin 2019) d'un guide au diagnostic énergétique et de fiches de synthèse.

La réalisation d'un schéma directeur d'assainissement est également la période idéale pour réaliser un audit énergétique de sa STEU.

1.2.2.2 Focus sur les unités de consommations spécifiques

A partir de la puissance consommée (en kWh), qui est l'unité universelle de mesure des consommations énergétique, il faut construire des indicateurs afin de pouvoir comparer les installations similaires entre elles. Il est alors judicieux de ramener les consommations énergétiques au volume d'eau ou de boues traitées, la comparaison de puissances consommées par des SPEA de capacités très différentes n'ayant pas réellement d'intérêt. On parle dans ce cas de **consommations spécifiques**. La consommation spécifique utilisée varie alors selon le poste auquel on s'intéresse. Il est néanmoins possible de trouver des valeurs dans d'autres unités que celles indiquées dans le tableau 2.

Tableau 2 : unité de consommation spécifique utilisée selon le poste

Poste	Unité de consommation spécifique	Description
Pompage, potabilisation, distribution	kWh/m ³	-
Assainissement en STEP (biologique)	kWh/kDBO ₅ traitée	La DBO ₅ est fondée sur la quantité de pollution émise par personne et par jour. Elle évalue la capacité de traitement d'une STEU. On entend aussi parfois parler de Demande Chimique en Oxygène (DCO)
Traitement des boues	kWh/tMS produite	La matière sèche correspond aux matières en suspension et aux sels dissous dans les boues.

La correspondance entre les trois unités spécifiques détaillées dépend de la capacité de traitement de la station et de la siccité des boues. Malgré ces définitions, on utilisera la puissance consommée en kWh pour comparer différents postes au sein du même réseau (et pouvoir identifier les postes les plus consommateurs).

ZOOM SUR L'ÉQUIVALENT HABITANT

L'équivalent habitant (EH), unité de mesure de la capacité des stations d'épurations est défini par la **directive européenne du 21 mai 1991** comme la charge organique biodégradable ayant une demande biochimique d'oxygène en cinq jours (DBO₅) de 60 grammes d'oxygène par jour.

1.2.2.3 Se comparer pour mieux diagnostiquer ses installations

La comparaison entre sa consommation énergétique et une consommation énergétique de référence, ou les données nationales permet de caractériser son efficacité énergétique et de localiser les leviers d'actions, mais doit être étudié avec recul : la consommation dépend des débits et de la charge à traiter, d'où l'intérêt de comparer les consommations spécifiques.

Plusieurs sources peuvent permettre de comparer et situer son SPEA par rapport aux moyennes françaises ou mondiales des consommations des traitements. Tout d'abord, les chiffres donnés en première partie (page 9 à page 12) permettent de se situer approximativement par rapport aux moyennes des consommations.

Il est possible d'évaluer plus finement les consommations d'une station d'épuration grâce à une étude de l'Irstea sur les 'Consommations énergétiques des filières intensives de traitement des eaux résiduaires urbaines' menée avec l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, qui donne non seulement les moyennes de consommation du panel de stations étudiées mais aussi la répartition autour de cette moyenne, pour 5 filières intensives :

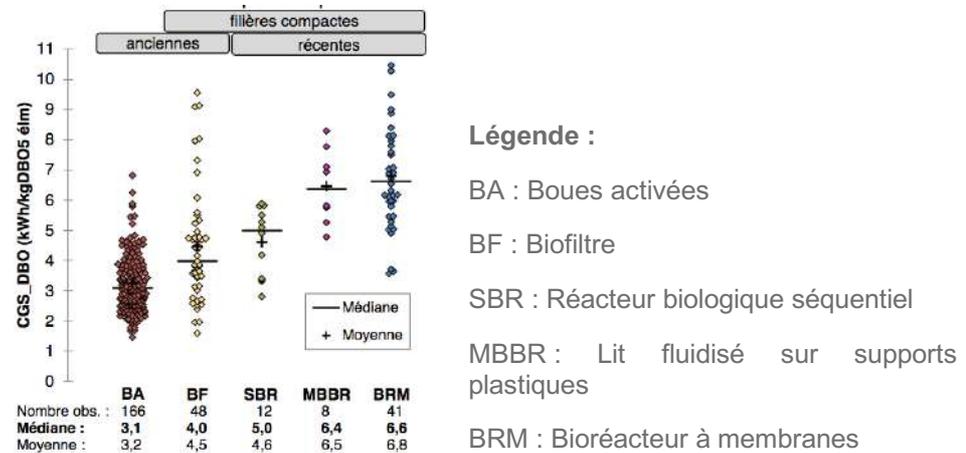


Figure 9 : Effet de la filière eau sur la consommation globale spécifique (CGS) en DBO₅ (source : Irstea)

1.2.3 La surveillance des consommations du systèmes au-delà de l'audit énergétique

Comme dans le domaine de l'énergie, les réseaux d'eau et d'assainissement voient apparaître des systèmes dits 'intelligents' de mesures et contrôles du réseau, que l'on appelle SmartWater¹⁵. Les fonctionnalités proposées par ces réseaux permettent notamment :

- De **surveiller** le réseau en temps réel et à distance les débits et pressions dans les canalisations et les consommations. Une meilleure gestion et optimisation du réseau est alors possible notamment l'identification et la régulation par modulation de pression des fuites dans le réseau.
- De **respecter** le cadre réglementaire concernant la température et l'éventuelle déformation des canalisations d'eau.
- D'**informer** les particuliers sur leur consommation et de leur donner des clés pour comprendre et réduire leur consommation, par le biais d'un suivi en temps réel de leur consommation, ou de données journalières. Certains systèmes permettent aussi d'avertir les abonnés en cas de fuite dans leur maison (par détection d'un débit constant).

L'importance des moyens techniques nécessaires à la mise en place de tels système est variable selon le maillage du réseau, qui peut se faire graduellement, pour aboutir à l'installation de compteurs d'eau communiquant chez les particuliers, avec des systèmes de transmission à courte et grande distance.

Le coût des installations Smart Water est le premier frein à leur développement, à l'heure actuelle la majorité des collectivités déjà équipées sont de grandes métropoles (Paris, Lyon, Grenoble...) qui sont aussi favorisées en raison de leur densité. La mutualisation des moyens pour la relève des données avec d'autres applications (gaz, déchets ou autres) peut permettre un schéma économique viable

Relevé à distance des compteurs d'eau par les camions poubelles du Grand Belfort (90)

À l'horizon 2020 ou 2021, les 27 000 abonnés à l'eau du territoire du Grand Belfort seront équipés de compteurs « nouvelle génération » permettant un relevé à distance et un suivi en temps réel de leurs consommations pas les utilisateurs, qui sont alertés par SMS ou mail en cas de suspicion de fuite. Les compteurs seront d'ailleurs télérelevés par les camions poubelle de la voirie, qui passent par chaque rue de la collectivité, permettant de limiter les coûts et le transport supplémentaire auparavant nécessaire au relevé au porte à porte.



Une vigilance sur l'interopérabilité des technologies employées en cas de changement de gestionnaire (fin de contrat de DSP par exemple) est indispensable pour assurer la continuité du monitoring et éviter des couts inutiles.

¹⁵ Cre, du Smart Water au Smart Energy, Disponible sur : <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=reseaux-eau-smart-water-energy>



2. Vers plus de sobriété énergétique : réduire les émissions de gaz à effet de serre des SPEA

Une fois les consommations énergétiques du SPEA connues, poste par poste, et l'efficacité énergétique caractérisée, il convient de mettre en place des points d'actions adaptés aux surconsommations et pertes énergétiques ou pertes d'étanchéité du réseau mesurées.

1. Une bonne gestion patrimoniale, le préalable indispensable

Une bonne gestion du patrimoine permet déjà en soi de réaliser des économies d'énergies en s'assurant de la bonne étanchéité des réseaux.

En effet, les SPEA se trouvent confrontés à 2 types de phénomènes :

- Des **pertes et fuites** sur les réseaux d'eau potable : on est alors confronté à des consommations inutiles pour pomper voire traiter de l'eau pour la perdre ensuite avant de la distribuer aux usagers. Au-delà du gaspillage énergétique, on est également face à un problème environnemental si l'eau perdue ne peut pas se réinfiltrer pour recharger la nappe d'où elle vient.
- Des **intrusions d'eaux claires** dans les réseaux d'assainissement qui surchargent inutilement les stations d'épuration augmentant les consommations énergétiques mais aussi baissant ainsi les performances de traitement.

2.1.1 Lutter contre les fuites d'eau potable

En France, environ 20%¹⁶ de l'eau potable circulant dans les réseaux de distribution est perdue, avec de grandes disparités selon les services.

Depuis 2012, le **décret n°2012-97** fixe un objectif réglementaire de rendement pour les réseaux d'eau potable. Il faut atteindre le plus petit seuil entre :

- Seuil 1 = 85%
- Seuil 2 = $R0 + ILC/500$
Avec $R0 = 70\%$ en ZRE (zone de répartition des eaux) ou 65% dans les autres cas
 $ILC = \text{Indice Linéaire de Consommation} = (\text{volume consommé mesuré} + \text{volume non mesuré estimé} + \text{volume service} + \text{volume vendu}) / (\text{linéaire de réseau hors branchements} \times 365)$, en m³/km/j

Lorsque le rendement est inférieur à cette objectif, les services d'eau doivent établir un **plan d'actions** incluant au besoin un **projet de programme pluriannuel** de travaux d'amélioration du réseau d'eau. Un guide de l'ASTEE¹⁷ détaille les mesures pouvant être mise en œuvre pour limiter les pertes et améliorer son rendement.

La première étape consiste à quantifier et localiser ces fuites, avant d'enclencher les travaux de réparation. Ces actions se basent sur :

¹⁶ Indicateur P104.3 du RPQS en 2015 : 79,7% - données SISPEA – ce chiffre exclu les pertes en eaux brutes

¹⁷ Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable, ASTEE, 2013 : <https://www.astee.org/publications/gestion-patrimoniale-des-reseaux-deau-potable/>



- Une sectorisation et une quantification obtenue à partir du suivi des débits nocturnes, à partir de compteurs sur le réseau de distribution (compteurs de sectorisation) mais aussi éventuellement complétée par une recherche active sur site, de nuit sur les réseaux maillés, avec manœuvre de vannes.
- Une prélocalisation suivi d'une localisation fine ; les localisations se basent sur plusieurs technologies :
 - **Acoustique** : l'écoulement d'eau par un orifice génère une onde qui se propage à une vitesse spécifique et constante dans un milieu homogène. La mesure peut se faire par écoute directe mécanique, écoute électronique amplifiée, corrélation acoustique ou hydrophone mobile.
Ex : On voit se développer des outils depuis quelques années comme la SmartBall de Pure Technology (capteur mobile à l'intérieur des canalisations) ou le poteau incendie Sentinel de chez Bayard qui inclue une corrélation acoustique permanente
 - Utilisation de **gaz traceur** : cette technique consiste à introduire un gaz plus léger que l'air, inerte vis-à-vis de l'eau, qui va s'échapper par la fuite ; cette technique très précise mais aussi longue est à adopter pour des recherches sur des zones réduites.
 - **Géoradar** : qui utilise les propriétés de réflexion des ondes magnétique par les corps.
 - **Thermographie**, qui analyse le spectre infrarouge d'une canalisation
Ex : La start-up Leakmited propose une identification par satellite à l'aide d'une intelligence artificielle

Ces actions de localisation doivent s'accompagner de travaux rapides et efficace allant du tubage /chemisage au renouvellement des canalisations.

Une vraie **gestion patrimoniale** prédictive permet également d'anticiper ces fuites et de cibler au mieux les investissements de la collectivité : elle tient compte de l'âge de la canalisation, de l'historique des casses mais aussi des conditions auxquelles la canalisation est soumise : nature du sol, conditions de charge (trafic routier, pression interne..) etc. De nombreux bureaux d'études et les fermiers sont en mesure de mener ce type de démarche. L'IRSTEA met à disposition un logiciel prédictif appelé CASSES¹⁸ et le bureau Altereau a récemment développé un outil appelé HpO qui s'appuie sur une intelligence artificielle.

Au-delà des actions positives sur la ressource et l'amélioration de la performance globale, ces actions de lutte contre les fuites sont l'un des postes les plus efficaces pour améliorer la performance énergétique de son système d'eau potable.



ZOOM SUR LES AQUA-PRÊTS

Depuis Janvier 2019, la **Banque des territoires** propose une offre 'Aqua-prêt' qui est destinée aux collectivités territoriales et EPCI, régies locales dotées de la personnalité morale, Sociétés Publiques Locales (SPL), des entreprises publiques locales œuvrant pour un marché de partenariat ou des délégations de service public (DSP)¹⁹. L'aqua-prêt est destiné à trois secteurs dont celui de l'eau et de l'assainissement ; dans ce cadre tout projet de rénovation en vue de limiter les consommations ou d'optimiser les procédés de traitement peut être éligible, à condition de respecter les bonnes pratiques de gestion patrimoniale. Un couplage avec les agences de l'eau pour proposer en addition des subventions est d'ailleurs envisagé par la banque des territoires.

Pour tout renseignement concernant les montants proposés, consulter [le site](#) de la banque des territoires

¹⁸ <https://casses.irstea.fr/>

¹⁹ La banque des territoires. Offre 'Aqua prêt' : financer vos projets d'eau et d'assainissement dès janvier 2019

2.1.2 Réduire les infiltrations d'ECPP dans les réseaux d'assainissement

Les **eaux claires parasites permanentes (ECPP)** proviennent d'infiltration de l'eau des nappes dans le réseau d'eau et d'assainissement. Leur présence dans le réseau n'est pas sans conséquences : surcharges, débordements et usures prématurées des canalisations, consommations énergétiques des postes de relevage et bien sûr surconsommation énergétique et de réactifs au niveau des stations d'épuration.

En premier lieu, la présence d'eaux claires parasites peut-être identifiée par plusieurs méthodes qu'il est recommandé de réaliser simultanément pour une meilleure analyse :

- **Comparaison entre le débit sanitaire** (correspondant à la part de la consommation d'eau potable rejetée au réseau d'assainissement, souvent estimée entre 70 et 90%) et le **débit en entrée de station d'épuration**. Généralement les intrusions d'ECPP sont plus importantes en période de nappes hautes, d'où une variabilité saisonnière.
- **Observation des courbes de débit nocturne**, s'appuyant sur le principe que les abonnés domestiques ne rejettent que très peu d'eaux usées sur la période nocturne (entre minuit et 6h du matin). En zone dense, avec une part importante d'entreprises pouvant fonctionner 24h/24h ou si le réseau est très vaste ce qui induit de longs temps de parcours, cette méthode peut être compliquée à mettre en œuvre.
- **Des analyses de charge polluante** qui permet de mettre en avant un **coefficient de dilution** par comparaison avec des valeurs guide

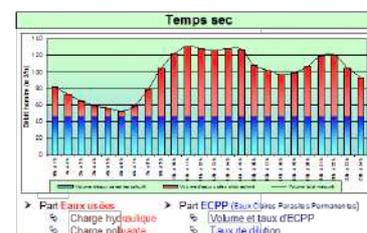


Figure 10 : Courbe de débit
Source : IRH

	DBO ₅	DCO	MES	NK	N-NH ₄	NGL	P _t
Moyenne	265,0	645,7	288,1	67,3	54,9	72,6	9,4

Tableau 3 : Valeur moyenne et gamme de variation pour différents paramètres indiquant un niveau de dilution acceptable

Source : Qualité des eaux usées domestiques produites par les petites collectivités, Cemagref et ONEMA, 2010 – établi sur sur plus de 10000 analyses

Cette quantification s'accompagne ensuite d'une sectorisation fine pour localiser les secteurs sur lesquels des travaux doivent être entrepris :



Figure 9 : Vue d'une caméra d'inspection

Source : CEREG

- **Inspections nocturnes** pour cibler les tronçons qui voient des enrichissements entre 2 regards
 - **Passage caméra** (avec curage préalable pour identifier précisément les défauts)
- De la même manière que pour les fuites sur les réseaux d'eau potable, les travaux de réparation (chemisage ou remplacement) doivent ensuite être rapidement réalisés.

Cette démarche est à réaliser a minima dans le cadre d'un **schéma directeur d'assainissement** (qui doit être actuellement au plus tous les 10 ans) mais on peut aussi suivre les débits dans le cadre du diagnostic permanent et identifier au fil de l'eau la survenue d'une casse pour réagir rapidement.



ZOOM SUR LES EAUX CLAIRES METEORIQUES

Les **ECPP** correspondent à des eaux de nappes qui s'introduisent en périodes de nappes hautes dans les canalisations mais d'autres eaux claires indésirables peuvent venir surcharger inutilement les systèmes d'assainissement : il s'agit d'eaux en lien avec les précipitations :

- **Eaux Claires météoriques** : c'est-à-dire des eaux pluviales qui s'introduisent dans les réseaux séparatifs (strictement eaux usées) par de mauvais branchements
- **Eaux de ressuyage** : c'est-à-dire des eaux pluviales qui s'infiltrent dans le sol et qui rejoignent, dans les 2 – 3 jours qui suivent la pluie, les réseaux par les mêmes défauts d'étanchéité des canalisations ou regards (drainage des sols) que pour les ECPP.

2. Optimiser les paramètres de fonctionnement de son système

Les deux types d'installations sur lesquelles il faut travailler à optimiser le rendement dans un SPEA sont les moteurs et les pompes. L'optimisation de la pression et des systèmes de relevage passent souvent par un asservissement et des fonctionnements plus souples, ce qui est possible en couplant les moteurs existants avec des variateurs de vitesse.

2.2.1 Améliorer les rendements des moteurs

L'énergie représente 80% des coûts d'installation et d'exploitation d'un moteur électrique²⁰. Limiter les pertes électriques et magnétiques des moteurs est alors un enjeu d'économie (énergétique et financière). Pour cela, l'investissement dans des moteurs hauts rendements est très rapidement rentabilisé. Depuis le 1^{er} Janvier 2017, les moteurs à faible rendement énergétique ne peuvent plus être mis sur le marché. Cela concerne les moteurs de classe IE1 et les moteurs de classe IE2 qui ne sont pas équipés de variateurs de vitesse. Il existe néanmoins certaines exceptions à cette interdiction²¹.

L'achat d'un moteur à haut rendement IE3 peut être financé en partie par un Certificat d'Économie d'Énergie (CEE).

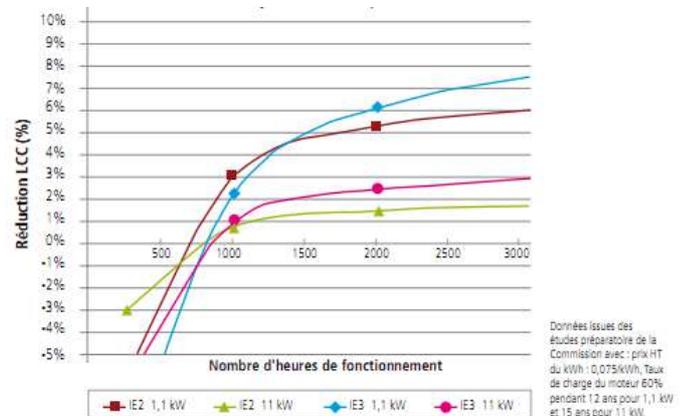


Figure 12 : Réduction du coût de cycle de vie pour des moteurs IE1 et IE3 (source : Gimelec)



ZOOM SUR LE CEE

Le CEE est un dispositif mis en place par l'état pour réaliser des économies d'énergie. Certaines entreprises appelées obligés doivent respecter des quotas d'économies d'énergie fixés selon leur volume de vente, ces niveaux d'obligations sont matérialisés par des CEE. Les éligibles dont font partie les collectivités locales peuvent obtenir ces CEE pour leurs opérations d'économies d'énergie et les vendre sur le marché.

²⁰ Techno sans frontière, Guide d'achat : Les moteurs électriques, Jean Guilhem,

Disponible sur : <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/techniques/6780/6780-191-p6.pdf>

²¹ SNECOREP. Installations de pompage, guide technique, 2010

2.2.2 Optimisation la pression de service et les stockages d'eau

Entre la station de production d'eau potable et la distribution auprès des usagers, l'eau potable produite transite le plus souvent dans des réservoirs ou des châteaux d'eau où elle est stockée, en attendant d'être utilisée. Le recours à un modèle numérique permet parfois de mettre en avant des optimisations dans cette gestion pour minimiser les besoins énergétiques sans pour autant trop allonger la durée de stockage (pour une problématique de qualité) ; elle est recommandée en cas de construction d'un nouveau site de stockage.

Par ailleurs, si [l'article R. 1321-58 du Code de la santé publique](#) impose une hauteur piézométrique "au moins égale à trois mètres, à l'heure de pointe de consommation", ce qui représente 0,3 bars, la gamme de pression confortable dans les installations privées est plus généralement aux alentours de 3 bars. Baisser un peu la pression de service peut permettre de faire quelques économies énergétiques mais aussi de limiter un peu les fuites.

2.2.3 Bien calibrer les systèmes de relevage

Sur les réseaux, notamment d'assainissement, on peut observer des dépenses énergétiques inutiles au niveau de **postes de relevage** : déclenchements trop rapides des pompes suite à un mauvais réglage des poires de niveaux, puissance des pompes non adaptées au flux hydraulique.... Une analyse du temps de fonctionnement des postes et du nombre de déclenchement permet de diagnostiquer ces problématiques et d'identifier les actions curatives à mettre en place.

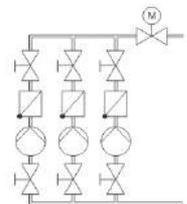
Dans certains cas, le pompage en ligne (ou pompage DIP) offre une alternative à étudier. Ce système n'a pas besoin d'être équipé de bâches de stockage et permet un contrôle régulé du débit en fonction de la charge entrante.

2.2.4 Améliorer les systèmes de pompage

Tout comme pour la réduction des fuites, le premier point d'action concernant la réduction des consommations des installations de pompage est leur **maintenance** : des canalisations vieillissantes et des tuyaux entartrés augmentent les pertes de charge et donc les consommations des pompes. Cependant plusieurs aspects sont à prendre en compte lors du dimensionnement et du choix d'un système de pompage.

La demande hydraulique d'une station de pompage varie dans le temps en fonction des usages (fonctionnement de l'industrie en journée, consommations des ménages le matin et le soir). Connaître le profil de charge de l'installation est très important pour pouvoir faire fonctionner le système au plus proche de son point de fonctionnement, avec un rendement hydraulique et électrique optimisé. Plusieurs techniques sont alors possibles¹¹ :

- La régulation de débit par **cascade de pompes** : les débits de chaque pompe en parallèle s'additionnent. Lorsque la demande hydraulique augmente, on enclenche une deuxième pompe en parallèle de la première. La gamme en débit pour laquelle le rendement de la pompe est maximal est d'autant plus large que l'on installe de pompes en parallèles
- La régulation de débit par variateur de vitesse : le moteur coupé à la pompe par l'intermédiaire de l'arbre est associé à un **variateur de vitesse** asservi selon le débit à pomper. Cela offre un gain de 10 à 70% de la consommation pour des circuits hydrauliques à fort débit.



D'autres solutions pour améliorer le rendement et réduire les consommations énergétiques existent. Plus particulièrement, la régulation de débit par combinaison de pompes en parallèles et pompes en vitesse variable, ou encore le rognage de roue au plus juste pour les systèmes avec un point de fonctionnement fixe sont des moyens de réduire les consommations du pompage.

Type d'optimisation du rendement	avantages	inconvénients
Cascade de pompes	Intéressant pour les courbes de réseau plates avec une Hmt statique importante, faible niveau d'automatisation, rendement élevé	Coût d'installation plus élevés, mal adapté aux variations importantes de pression à l'aspiration
Variation de vitesse	Hmt pas trop élevée, usure moindre des composantes mécaniques, économies d'énergie, fiabilité accrue	Coûts plus élevés de la régulation (installation électronique)

Tableau 4 : Comparaison de l'optimisation du rendement par cascade de pompage et variation de vitesse²²

L'optimisation du niveau d'eau entre l'entrée et la sortie de l'usine et donc du différentiel qui correspond à la hauteur d'eau à pomper joue sur la puissance nécessaire de la pompe et donc sur sa consommation énergétique.

3. Optimiser des traitements de potabilisation

Le traitement de l'eau pour sa consommation peut être très simple comme très complexe selon la qualité de l'eau prélevée. Il est tout de même possible d'agir sur les traitements poussés, beaucoup plus énergivores. Certains points d'actions sont plutôt des aides à la décision pour le choix d'une filière de traitement (en jaune dans le tableau 5) lors de la création ou de la rénovation d'une station de traitement, mais d'autres peuvent être mise en place sur des stations déjà existantes (en bleu).

	Filtration par charbon actif	Désinfection UV	Ultrafiltration	Chloration	Neutralisation des eaux agressives
Procédé	Optimiser le nombre de filtres et la quantité d'eau utilisée pour le lavage	Choisir des réacteurs basse pression plutôt que moyenne ou haute pression (dont les lampes ont une meilleure EE)	Choisir une ultrafiltration à basse pression (1 bar) qui consomme moins d'énergie. Optimiser la consommation d'eau du rétro-lavage	Optimiser les organes d'injection	-
Réactifs	Choisir un charbon actif de meilleure qualité : influe sur les quantités d'eau utilisées pour le lavage des filtres	-	-	Réguler les doses de chlore injectées	Réduire le volume de réactifs utilisés
Eaux de lavage	Réutiliser les eaux de lavage des filtres	-	Réutiliser les eaux de lavage des filtres	-	-

Tableau 5 : Points d'actions concernant l'optimisation des filières de traitement de l'eau potable

²² KSB, Régulation des pompes/Automatisation de pompes, Janvier 2019

Réduction de l'émission des GES pour Eau de Paris

Eau de Paris a lancé en 2015 un bilan carbone de sa production d'eau potable. Le traitement de l'eau en vue de sa potabilisation se fait selon deux filières dans ce service public : une filière biologique et une filière physico-chimique. Dans les deux cas l'eau traitée passe par une étape d'ozonation et de filtration sur charbon actif en grains. Les émissions de GES s'élevaient à 20 094 tonnes de CO₂ en 2005²³. L'étude conclue sur les moyens de réduire les niveaux d'émission de GES :

- **Remplacer** les équipements électriques par du matériel plus faiblement consommateur d'énergie
- Équiper la station de **sources d'énergie renouvelable** (éolien, photovoltaïque, turbinage)
- **Limiter les pertes** du réseau au niveau de la production et de la distribution
- Travailler sur le **niveau d'émission des réactifs** notamment le charbon actif en grain : augmenter le volume d'eau traitée avant la régénération ou le changement du charbon.

4. Limiter l'impact des STEU

Selon le type de process de la station d'épuration, un projet de rénovation énergétique peut impliquer de nombreux acteurs : exploitants, élus, usagers et voisinage, professionnels du secteur... Une concertation de tous ces acteurs est nécessaire pour la prise de décision.

En moyenne, les stations d'épuration sont les plus gros postes de dépense énergétique des SPEA. Cela est principalement lié aux besoins en énergie des postes d'aération et de traitement des boues de la filière par boues activées, la plus répandue en France pour les grandes stations. Les petites stations d'épuration utilisent très souvent des traitements rustiques (filtre planté de roseaux ou lagunage naturel, filtres à sable) ou qui nécessitent peu d'énergie (par disques biologiques). L'optimisation d'une station d'épuration concerne les moyennes à grandes stations d'épurations, dont la capacité dépasse 2 000 EH (ce qui ne concerne que 18% du parc français).

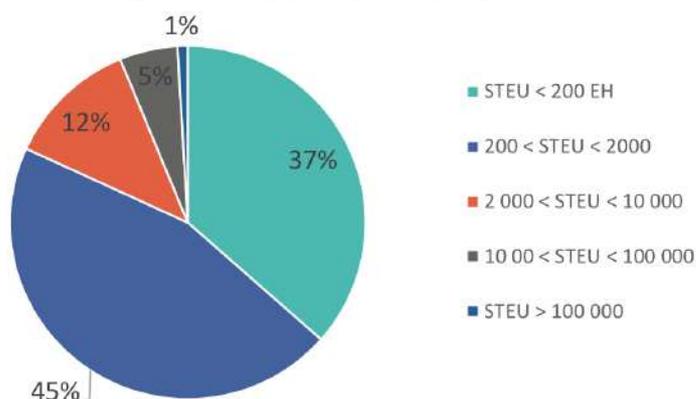


Figure 13 : Répartition des stations d'épuration selon leur taille
(source : Base de Donnée sur les Eaux Résiduaire Urbaines, 2017)

²³ TMS (J.P Duguët, S.Gripois), Le bilan carbone de la production d'eau de consommation : l'exemple d'Eau de Paris, 2007



L'Irstea en collaboration avec l'Onema a développé un logiciel intitulé ACV4E permettant à des non spécialistes de l'analyse du cycle de vie (ACV) d'en réaliser pour des systèmes d'assainissement d'une capacité inférieure à 10 000 EH. Le logiciel tient compte des paramètres du réseau et de la filière de traitement choisie. Il permet notamment de comparer plusieurs scénarios sur le volet de l'impact environnemental.

Télécharger le logiciel sur [le site](#) de l'ACV4E

Une grande partie du parc de stations d'épuration fonctionnent en **sous-charge**, notamment pour la pollution. En effet, elles sont dimensionnées lors de leur conception pour tenir compte d'une évolution de la démographie sur leur durée de vie (à minima 20 à 30 ans, souvent complété d'une marge de sécurité) mais aussi pour pouvoir gérer les sur-débits de temps de pluie, car les réseaux sont rarement complètement et réellement séparatifs.

S'il est normal que la collectivité anticipe pour ce type d'investissement dans certains postes comme le GC ont une durée de vie de l'ordre de 30 voire 50 ans, il est important de veiller à garantir dès la mise en service une plage de fonctionnement optimale, notamment pour des équipements à durée de vie plus courte comme l'électromécanique.

Il est donc recommandé de penser des stations d'épuration **modulables et évolutives**, dont les équipements sont en cohérence avec la charge et les débits à traiter. On peut ainsi s'inspirer des stations en zone touristique qui fonctionne avec plusieurs files en parallèle ou plus simplement ajuster les équipements à faible durée de vie (électromécanique) à la réalité de la charge.

Concernant les stations boues activées, plusieurs points d'action d'optimisation ou de rénovation de stations déjà existantes sont référencées dans le tableau suivant :

<p>Aération (représente 40 à 70% des besoins énergétiques de la station BA)</p>	<p>Diminuer le taux de boues. -> baisser le taux de boues d'1g/L peut faire gagner jusqu'à 10% des consommations du poste d'aération ²⁴.</p>	<p>Mettre en place un système d'aération asservie selon la charge organique (mesure des concentrations en nitrate et ammonium) -> réduction de 5 à 15% des consommations électriques</p>	<p>Utiliser des soufflantes moins énergivores pour l'aération</p>
<p>File Boues</p>	<p>-> diminuer les volumes de boues à traiter (séchage, épaissement, hygiénisation...)</p>	<p>Remplacer les centrifugeuses par des tables d'égouttage -> réduire jusqu'à 8 fois la consommation électrique</p>	<p>Sécher les boues grâce à l'énergie solaire au lieu d'utiliser des sècheurs thermiques (toute fois cette technique est moins efficace)</p>

Tableau 6 : Optimisation des stations d'épuration boues activées

Une autre piste est de limiter ou prioriser la **désodorisation** en station d'épuration. Les pré traitements de l'eau et le traitement des boues ainsi que le chaulage sont responsables de l'émission d'odeurs fortes associées au sulfure d'hydrogène H₂S ou à l'ammoniac. La désodorisation en station est de plus en plus répandue malgré sa faible évolution technique depuis plusieurs dizaines d'année. Il serait cependant plus intéressant de traiter des effluents très concentrés plutôt qu'une charge très diluée. D'autant plus que la désodorisation consomme beaucoup de réactifs. Une voie d'amélioration est de pouvoir faire varier le niveau de traitement

²⁴ Suez (tout sur mes services), *L'optimisation Énergétique, un défi pour tous*, Octobre 2015



(asservissement), de mieux extraire les gaz odorants et de cibler les zones à désodoriser en ciblant les plus odorantes.

Nota : Au niveau réglementaire, les stations n'ont pas l'obligation de traiter les odeurs hormis l'obligation de respecter les seuils d'exposition (le sulfure d'hydrogène est un gaz toxique).

Hormis l'optimisation et la réduction des consommations de réactifs, des projets innovants et audacieux fleurissent²⁵. Des recherches concernant le processus de traitement des eaux usées sont en cours pour élaborer un traitement biologique moins consommateur en oxygène. En France, de grands groupes (IFP, Total, le CEA...) comme des petite PME travaillent sur le sujet. Plusieurs projets ont vu le jour ces dernières années tels que ProBio3 ou Greenstars.

Le SDEA Alsace-Moselle accompagne les travaux de performances énergétiques des STEU

Suite au diagnostic énergétique des stations d'épuration de Valff et Saverne mené dans le cadre du travail de recherche sur les consommations énergétiques des stations d'épuration de l'Irstea, le **SDEA Alsace-Moselle** a co-piloté des travaux de rénovations pour améliorer les performances énergétiques des stations. Ces mesures étaient guidées par une préconisation de l'étude sur les projets à amorcer : remplacement d'un sécheur thermique au profit d'un sécheur solaire sous serre, passage de 3 filières de traitement à 2 filières, remplacement des surpresseurs à lobes rotatifs pour des compresseur à vis basse pression (pour aboutir à 30% de réduction des consommations électriques du poste), l'ajout de variateurs de vitesse sur les moteurs pour mieux adapter la puissance du traitement au débit à traiter, sous-comptage de l'énergie... Autant de mesures qui permettent aux stations de baisser leurs factures énergétiques.

Pour l'instant le syndicat a préféré axer la rénovation sur les systèmes d'assainissement qui représentent 50% des consommations énergétiques. Le traitement de l'eau potable qui contribue à hauteur 30% aux consommations apparaîtra dans une deuxième étape du projet.

Néanmoins, le changement climatique aura comme impact dans les prochaines décennies de réduire les débits d'étiages des cours d'eau, rivières et fleuves. Associé à l'augmentation des pollutions (domestiques, agricoles, industrielles etc.), les stations d'épuration sont déjà en cours de réflexion sur les moyens à mettre en œuvre pour filtrer et traiter les micropolluants afin d'éviter de les rejeter dans le milieu naturel ou de les épandre par l'intermédiaire des boues. Ces moyens sont souvent le recours à des traitements poussés beaucoup plus énergivore (Filtration sur charbon actif, par osmose inverse, ozonation etc..), comme l'a démontré une étude de l'Irstea²⁶ a ce sujet. Il faut donc établir un compromis entre niveau d'abattement de la pollution et consommations énergétiques.

²⁵ Site du Consulat de France à Honk Kong et Macao, *Des algues pour nettoyer l'eau et produire du biocarburant*, 2014

²⁶ Projet ARMISTIQ : « *Optimisation des équipements de traitement des eaux résiduaires vis-à-vis des micropolluants* »

3. Économiser l'eau à toutes les échelles

1. La lutte contre le gaspillage

Nous avons vu au paragraphe précédent que la limitation des fuites par une bonne gestion de son patrimoine est le principal poste d'économie d'énergie des réseaux d'eau potable.

La baisse des consommations inutiles est également un axe fort :

- Optimisation des **pratiques d'exploitation** lors des purges ou des lavages des réservoirs,
- Limitation des points d'eau non équipés de **compteurs**
- **Contrôle des branchements** de chantier
- Suivi des **poteaux incendie** pour éviter les poteaux fuyards, les vols d'eau voire les phénomènes de street pooling

Enfin, si les consommations domestiques diminuent fortement depuis plus de 10 ans après un pic au début des années 2000²⁷, notamment grâce à une plus grande sobriété des appareils électroménagers, il est important de poursuivre les messages de préventions et les incitations aux économies d'eau auprès des particuliers, notamment en informant sur les consommations.

Ex : La Société Eau de Marseille a organisé en 2017 des sessions d'information et de sensibilisation aux écogestes et une animation pour redonner confiance en l'eau du robinet, l'ADEME a lancé un guide « 40 trucs et astuces pour économiser l'eau et l'énergie » en Janvier 2019

Quelques ordres de grandeurs des consommations individuelles et des gestes économes :



Vaisselle à la main : 15 litres (remplissage de bacs) à 50 litres (eau courante)
Lave-vaisselle : environ 10 litres par lavage, selon la machine



Chasse d'eau traditionnelle : 6 à 12 litres à chaque utilisation
Chasse d'eau double commande : 3 à 6 litres à chaque utilisation



Douche (4 à 5 min) : 60 à 80 litres
Bain : 150 à 200 litres
Brossage des dents : 1 litre
Lave-linge : 40 à 90 litres par lessive, selon la machine et le programme.



Certaines collectivités ont même été plus loin dans la sensibilisation à l'économie d'eau, jusqu'à proposer des solutions hydro économes aux particuliers. L'Association des **îles du Ponant** regroupant élus et responsables socio-professionnels des îles a ainsi diffusé 900 kits comprenant des mousseurs et des systèmes pour économiser l'eau au niveau des pommeaux de douches, pour une économie d'énergie estimée de 729 MWh, soit la consommation électrique annuelle d'environ 1 160 lave-vaisselle ²⁸.

²⁷ Consommations domestiques : 106 l/j/hab en 1975 ; 165 l/j/hab en 2004 ; 148 l/j/hab en 2017, source Observatoire SISPCA

²⁸ Selectra, *Appareils électriques : quelle consommation en kWh et en euros ?*

2. La seconde vie des eaux usées

Du fait de la très bonne couverture des réseaux d'eau potable en France, nous utilisons cette eau pour des usages qui pourraient se satisfaire d'une qualité moindre, tant à domicile (seulement 7% de la consommation des ménages est un usage alimentaire : boisson et cuisine) que pour des usages non domestiques (propreté de l'espace public, arrosages des espaces verts...).

La réutilisation des eaux usées traitées permet de supprimer certaines étapes du cycle de l'eau potable, comme le pompage des eaux brutes. Toutefois, le traitement est alors parfois moins coûteux en énergie (voir Tableau 1). Les eaux usées sont déjà bien recyclées dans le cadre des industries et on voit se développer des projets en agriculture pour de l'irrigation. A l'échelle d'une collectivité, les eaux usées traitées peuvent être réutilisées par les services de la collectivité pour :

- L'**irrigation** et l'arrosage des espaces verts
- Le **nettoyage** de l'espace public ou des équipements municipaux
- La **recharge de la nappe**

[Pour aller plus loin :](#)

Consultez notre publication sur l'utilisation des eaux non conventionnelles :

[Favoriser le recours aux eaux non conventionnelles pour mieux économiser la ressource](#)

3.2.1 Irrigation et arrosage



Malgré le développement de techniques d'irrigation plus économes de la ressource (irrigation localisée par goutte à goutte ou bien irrigation intelligente par ordinateur) qui permettent de réduire notablement les besoins en eau, on voit que les situations de stress hydriques se multiplient au fil des étés.

La réutilisation des eaux usées traitées permet d'une part de palier à ses situations de sécheresse car elles constituent une ressource relativement stable sur l'année. De plus, les eaux usées traitées possèdent de bonnes **qualités agronomique** puisqu'elles sont riches en minéraux et peuvent donc se substituer aux engrais.

L'arrosage des espaces publics, y compris parcs & pelouses ou stades est aujourd'hui possible en respectant des règles d'usages de l'arrête du **25 Juin 2014**.

3.2.2 Nettoyage de l'espace public et des équipements municipaux

Aujourd'hui ce type de projet est encore limité en raison de crainte des services sanitaires centraux sur les risques de contamination par inhalation des populations riverains et des travailleurs.

Pourtant on voit des projets aboutir, dans le **cadre de dérogation préfectorale**, pour substituer des eaux usées traitées à de l'eau potable :

- Alimenter des balayeuses de voirie
- Alimenter des camions de curage de réseau d'assainissement
- Nettoyer des flottes de véhicules de service
- ...



3.2.3 Recharger les nappes phréatiques

Pour pallier au **stress hydrique** qui caractérise plusieurs pays (Australie, pays du Moyen Orient), des tests sont en cours pour étudier la réinjection d'eaux usées traitées dans le sol pour remonter le niveau des nappes aquifères. Les sols possèdent des propriétés physico-chimique et géologique qui leur permettent de filtrer l'eau, qui pourrait alors être récupérée en aval lors des périodes de forte demande en eaux²⁹.

En France le projet JOURDAIN, de Vendée Eau envisage la création d'un démonstrateur visant à alimenter indirectement un vaste réservoir d'eau potable par des eaux usées traitées.

Les positions d'AMORCE

- Amorce se bat pour qu'un cadre réglementaire soit donné aux usages des eaux usées traitées au-delà de l'irrigation et de l'arrosage.
- En l'absence d'expérimentations sur le sujet malgré les craintes sur de potentielles contaminations liées au REUSE, AMORCE pense qu'il faut renforcer la connaissance sur l'impact sur la santé des populations en missionnant des organismes de recherche sur le sujet

²⁹ Veolia. Le cahier des chroniques scientifiques n°17. 20



4. Les SPEA producteurs d'énergies renouvelables et acteurs de l'économie circulaire

Eau et énergie sont interconnectées : l'eau peut permettre de produire de l'énergie autant que son traitement en vue de sa potabilisation et son assainissement sont consommateurs d'énergie. Les principaux projets de développement des nouveaux modèles d'assainissement reposent sur l'idée de passer d'une logique d'élimination (c'est-à-dire un logique déchets) à une logique de valorisation, en considérant le potentiel de gisement comme les boues d'épuration, les eaux usées traitées ou la chaleur des effluents...

On voit ainsi se multiplier les initiatives comme le projet STEPDUFUTUR soutenu par l'AERM&C, la création du laboratoire RESEED (RESsourcEs Eaux & Déchets) par l'INSA Lyon et l'IRSTEA...

Les paragraphes suivants présentent les nombreuses possibilités des systèmes d'eau et surtout d'assainissement : toutes les solutions ne sont pas déployables partout mais il existe de nombreuses actions possibles pour toute taille de service.

1. Valorisation de la chaleur des effluents

La **cloacothermie** est le nom scientifique donné au potentiel de récupération d'énergie sur le réseau d'eaux usées. Des projets voient ainsi le jour afin de récupérer l'énergie fatale des eaux usées pour alimenter des **réseaux de chaleur** (en pied d'immeuble, sur le réseau d'assainissement public ou au sein même de la STEP). L'eau joue alors le rôle de source chaude pour alimenter une pompe à chaleur (PAC). L'utilisation de la chaleur fatale des eaux usées est rendue possible grâce à des réglementations plus strictes sur l'isolation thermique qui rendent les bâtiments de plus en plus performants et ne nécessitent alors que des réseaux basses températures ou très basses températures.

POUR QUELLES INSTALLATIONS ?



Sur un réseau **d'eaux usées** ou d'eaux usées traitées ou en station d'épuration



Un **gisement à proximité** d'une zone de besoin pour une consommation directe (moins de 300 mètres) : la station ou le réseau d'assainissement ou d'eau potable doit être assez proche d'un équipement public (gymnase, bâtiment public) ou d'un projet urbain (logements, commerces, tertiaire). Dans le cas d'un réseau de chaleur, des distances plus grandes sont acceptables.



Les bâtiments consommateurs doivent être équipés d'un **chauffage à basse température** (ou pouvoir être équipés de chauffage basse température si une rénovation est envisagée).



Des **acteurs motivés** et volontaires, des exploitants aux promoteurs immobiliers



Au niveau d'une STEU : La STEU doit avoir une **capacité nominale** supérieure à 4 000 EH pour garantir un débit supérieur à 43m³/h³⁰, la température des eaux usées en entrée de STEU ne doit pas passer sous la barre des 10°C.

Sur un réseau : Un débit suffisamment important pour prévenir l'apparition de biofilm sur l'échangeur de chaleur (des recherches suisses estiment à 1 m/s la vitesse minimale de l'écoulement à la surface de l'échangeur¹)

4.1.1 Cadre juridique

Dans la **loi Transition énergétique pour la croissance verte** votée le 17 Juillet 2015 l'état a affirmé la volonté de multiplier par 5 la quantité de chaleur et de froid renouvelable et de la récupération de cette énergie dans des réseaux de chaleur entre 2012 et 2030. L'utilisation des eaux usées pourraient contribuer à cette ambition : en considérant uniquement les rejets résidentiels (soit un rejet moyen de 130 L d'eau par habitant), le potentiel de récupération est estimé à 45 GWh. La **directive européenne 2012/27/UE** relative à l'efficacité énergétique oblige les états membres à réaliser sur leurs installations de production d'énergie thermique nouvelle ou existante une analyse coûts-avantages de la valorisation de la chaleur fatale disponible.

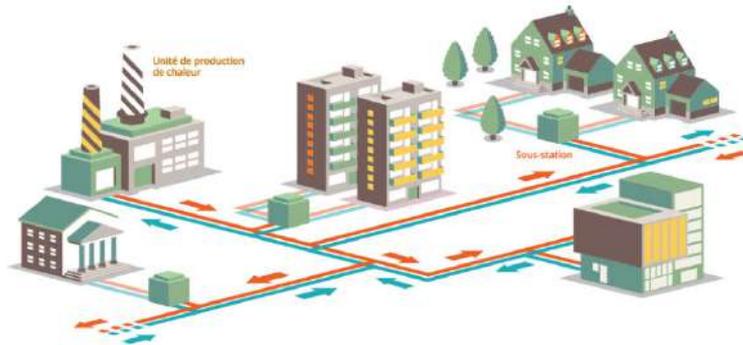


Figure 14 : Schéma d'un réseau de chaleur (source : ADEME)

4.1.2 Un vaste panel d'installations possibles

La récupération de la chaleur sur eaux usées peut se faire de trois manières différentes³⁰ :

- Récupération dans le bâtiment en **amont du réseau d'eaux usées** (échangeur intégré aux équipements ou en pied d'immeuble). L'échangeur intégré directement sur les équipements est le procédé avec les meilleurs résultats car les eaux grises utilisées sont assez chaudes (30°C).
- Récupération **sur le réseau d'eaux usées brutes**. Plusieurs procédés ont été développés concernant cette technique, certains s'adaptent aux canalisations existantes (Degré Bleu), mais d'autres nécessitent d'installer de nouvelles canalisations (Saunier et Associé, Frank).
- Récupération à la **station d'épuration** sur eaux épurées

A nouveau pour le choix de la pompe à chaleur deux options sont envisageables. La première est de placer la **pompe à chaleur** directement **après l'échangeur**, donc proche du captage de la chaleur sur les eaux usées, la chaleur est ensuite acheminée via un réseau de chaleur dont la température a été rehaussée. À l'inverse **chaque bâtiment** peut disposer de **sa propre PAC** alimentée depuis l'échangeur via un réseau basse température. Permettant de puiser ou rejeter des calories sur le réseau basse température ou la boucle tempérée.

La récupération de la chaleur des eaux en vue d'une autoconsommation est aussi envisageable en **station de potabilisation**.

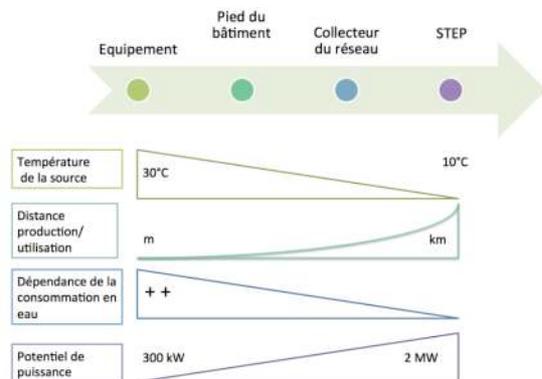


Figure 15 : Avantages et inconvénients des différents types de récupération de chaleur des eaux usées (source : La cloacothermie ou l'énergie renouvelable des eaux usées³⁰)

³⁰ Marie Héléne AZAM et Héléne HORSIN MOLINARO. La cloacothermie ou l'énergie renouvelable des eaux usées. Septembre 2017



QUELLES AIDES POSSIBLES ?

Un projet de récupération de la chaleur fatale des eaux usées peut être subventionné par le **Fonds chaleur** qui finance les nouveaux moyens de production de chaleur renouvelable et de récupération, les installations nouvelles de réseaux de chaleur, de froid et de boucles tempérées. La demande de subvention est faite sur dossier et instruite par la direction régionale de l'ADEME ; la décision des projets retenus passe par l'ADEME. Un réseau de chaleur est aussi éligible aux **CEE** (mentionné page 21) et à une aide au niveau européen à travers le **FEDER**. Enfin les collectivités disposent de **prêts à taux bonifiés**.



ZOOM SUR LES COEFFICIENTS DE PERFORMANCE

Les PAC sont caractérisées par un coefficient de performance intitulé **COP** (Coefficient de Performance). Ce COP mesure le rapport entre la quantité d'énergie produite et la quantité d'énergie consommée pour le fonctionnement de l'installation. Les PAC eau-eau sont celles présentant les meilleures performances avec un COP pouvant aller jusqu'à 6. Pour comparaison, les PAC air-air ou air-eau ont des COP de 2 à 3.

Ex : L'installation de chauffage à partir des eaux usées urbaines traitées à Belleville en beaujolais (69) possède un COP global de production de 4,02 (l'évaluation par le bureau d'étude lors de l'avant-projet était de 3,49). Cela signifie que pour produire 1 kWh d'énergie pour le chauffage, il suffit de 0,25 kWh d'énergie primaire au niveau des pompes de circulation.

4.1.3 Multiplicité des modes de gestion

La création d'un réseau de chaleur destiné à la vente depuis une station d'épuration ou un réseau d'assainissement nécessite pour la collectivité maître d'ouvrage d'élargir ses compétences.

Le réseau de chaleur d'une collectivité est un service public industriel et commercial dès lors qu'il fournit plusieurs abonnés. Ce titre lui confère des obligations sur la qualité du service : continuité du service, adaptation au besoin, contrôle de la mise en œuvre et égalité de traitement des usagers.

Le réseau de chaleur peut s'organiser de trois façons différentes :

- en **régie internalisée** ou **externalisée via un marché**
- en **délégation de service public (DSP) sous affermage**
- en **DSP sous concession**. L'investissement de la collectivité, dans le cas de la DSP en affermage ou de la régie est parfois souhaitable car le service public profite de prêts bancaires à taux plus bas.

Pour aller plus loin :

Consultez notre [Guide L'Élu et les Réseaux de Chaleur \(RCP25\)](#)

Ainsi que la note sur [Le Fonds Chaleur 2019 : Instructions générales](#) de l'ADEME et le [Fonds Chaleur](#)

L'Uem et le syndicat des eaux de la région Messine s'associent dans un projet de chauffage grâce à l'eau potable

L'UEM est une entreprise locale de distribution (ELD), possédée à la fois par la ville de Metz (à 85%) et par la Caisse des dépôts et Enedis. La fourniture de chaleur et de froid fait partie de ses compétences, s'est ainsi qu'elle s'est intéressée au projet de production de chaleur à partir de ressource en eau pour une implantation particulièrement favorable : le gymnase de la grange au bois de la ville de Metz est situé juste à côté de 4 réservoirs d'eau potable. Le projet s'est chiffré à 187 000€, dont deux tiers ont été affectés à l'équipement hydraulique et 35 000€ à l'équipement électrique. Deux pompes à chaleur sont installées, une pour chauffer l'eau chaude sanitaire, d'une puissance de 110 kW, et l'autre de 270 kW pour chauffer l'eau nécessaire au chauffage.



4.1.4 La vente d'énergie : une compétence à acquérir

La création d'un réseau de chaleur s'accompagne généralement de la vente d'énergie aux particuliers ou entreprises fournis par le réseau. De la décision du prix de vente jusqu'à l'élaboration du contrat, les **compétences** à mobiliser par l'exploitant de la station d'épuration ou du réseau d'eaux usées sont bien différentes de son cœur de métier habituel. En raison des contraintes juridiques et fiscales du réseau de chaleur, le montage du projet de fourniture d'énergie peut parfois se révéler compliqué et nécessiter une **aide juridique** pour la création des contrats vente de chaleur.

Le prix de vente de la chaleur est à fixer en tenant compte de l'alternative disponible pour les potentiels abonnés. En concurrence du raccordement sur le réseau de gaz naturel, le réseau de chaleur devra réduire le prix au minimum pour rester attractif, pour une alternative au fioul, combustible plus cher, le prix de vente sera moins contraint. Recettes et dépenses d'un service public industriel ou commercial doivent s'équilibrer. Ainsi il peut être judicieux de créer un budget annexe réservé au réseau de chaleur. C'est la solution qu'a choisi CITEAU, la station d'épuration de Belleville-en-Beaujolais (69) pour se doter de la compétence syndicat fournisseur d'énergie, lors de son projet d'alimenter un éco-quartier en chaleur et en froid à partir de ses effluents traités.

Chauffage du centre aquatique d'Arras à l'aide de la chaleur des eaux usées

Le centre aquatique d'Arras a été conçu à proximité d'un bassin d'assainissement et est alimenté en chauffage, eau chaude sanitaire et pour le maintien en température des bassins par la récupération de la chaleur sur les canalisations des eaux usées. L'installation ENERGIDO est composée d'une part de la récupération de chaleur sur le bassin d'eaux usées et d'un réseau glycolé pour acheminer la chaleur du bassin au centra aquatique, où sont installées deux PAC. Sur l'année 2016, l'installation a permis de récupérer 1GWh pour un gain de CO₂ annuel de 250 tonnes, pour aboutir à un taux d'approvisionnement en énergies renouvelables de 60%.



Efficacity, Institut français de R&D fédérant plus de 30 acteurs publics et privés autour de la problématique de la transition énergétique de la ville a créé récemment RECOV'HEAT qui est un outil pour estimer rapidement le potentiel d'une source de chaleur fatale et le mettre en regard des besoins de chauffage d'un quartier. Il est destiné aux stations d'épuration, data-centers, gares, centres commerciaux, UVE, industries... Dans le cas des stations d'épuration, les informations à renseigner sont le débit, la température de l'eau et son pouvoir calorifique.

L'algorithme calcule :

- la quantité d'énergie annuelle récupérable (MWh)
- le taux de couverture annuelle en fonction des besoins du quartier paramétré
- les conditions de valorisation de la source étudiée (compatibilité avec les températures d'usages).



LES AVANTAGES DE CETTE VALORISATION

La récupération de chaleur sur eaux usées une synergie entre le SPEA et d'autres acteurs du territoire, y compris les particuliers. C'est une solution de fourniture d'énergie 100% renouvelable qui permet une réduction de 75% des émissions de GES liées au chauffage. La chaleur produite peut aussi alimenter les locaux, ce qui réduit les factures d'énergie de la STEU.

Une multiplicité d'implantations différentes est possible, pour une installation adaptée au cas par cas. Le changement des canalisations n'est pas toujours nécessaire, ce qui permet une phase de travaux moins contraignante.

Le réseau de chaleur peut aussi produire du froid pour des solutions de climatisation, permettant un service haut de gamme.

2. Valorisation de l'énergie potentielle du réseau

4.2.1 Production d'énergie par micro-turbinage

Le micro-turbinage peut théoriquement être installé à quasiment tous les niveaux du réseau d'eau et d'assainissement, aussi bien lors du captage de l'eau potable que lors de la collecte des eaux usées. Cette technique permet de récupérer l'énergie potentielle fatale de l'eau potable qui est sinon dissipée par l'utilisation de brises-charge servant à réguler la pression hydraulique.

Pour autant, le seul exemple en France sur eaux usées non traités, à Valloire a été stoppé en raison de trop de problématiques de maintenance (présence de filasses). Si la configuration de la STEU le permet on peut imaginer en installer sur la chute en aval de la STEU.



Source : Lucid Energy

POUR QUELLES INSTALLATIONS ?

- ✓ Sur le réseau **d'eau potable** (brute ou traité) en aval de la STEU. Des dispositions particulières sont à prendre pour le turbinage sur eau potable, pour des raisons sanitaires
- ✓ Un débit :
 - très important en cas de dénivelé faible : ne concerne alors que les grosses canalisations de transport des **grosses agglomérations**
 - Un dénivelé important sinon : solution bien adaptée en **zone de montagne**



4.2.1.1 Quelles aides tarifaires pour un projet de micro-turbinage ?

Les installations hydroélectriques sont régies par la **loi du 16 octobre 1919** relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique qui instaure un régime de concession pour une puissance installée sur site supérieure à 4,5 MW et un régime d'autorisation pour les puissances inférieures. Elles sont aussi soumises à la réglementation **IOTA** (l'ensemble de la réglementation est disponible dans le **livre V du code de l'énergie**)³¹. Le régime de concession rend l'état propriétaire des installations d'une puissance installée supérieure à 4,5 MW, l'état

³¹ Site du ministère de la transition écologique et solidaire, rubrique hydroélectricité



délègue alors la construction à un concessionnaire par un arrêté préfectoral voire un décret en conseil d'état pour une puissance de plus de 100 MW (ces régimes de concession ne concernent cependant que très rarement les petits producteurs).

Les titres I et II de l'arrêté du 13 décembre 200 fixent les conditions d'achat et de complément de rémunération pour l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie hydraulique des lacs, des cours d'eau et des eaux captées gravitairement (que l'on appelle communément « contrat H16 »)²⁶ :

- Les **obligations d'achat** sont accessibles pour les producteurs dont l'installation a une puissance installée inférieure à 500 kW et qui n'ont pas au préalable bénéficié d'aide de la part de l'état, de collectivités ou d'établissements publics pour la construction de l'installation. Deux tarifs sont alors possibles : un prix d'achat constant sur l'année ou bien un prix plus élevé en hiver qu'en été (voir tableau 7). La plupart des installations (localisées en montagne) utilisent néanmoins le tarif unique car les débits élevés sont plutôt concentrés au printemps lors de la fonte des neiges et ne profitent pas du tarif élevé.

	Tarif pour les installations mentionnées au 1° de l'article 12	Tarif pour les installations de haute chute mentionnées au 2° de l'article 12	Tarif pour les installations de basse chute mentionnées au 2° de l'article 12
Tarif à 1 composante	80	120	132
Tarif à 2 composantes			
- été	58	88	96
- hiver	110	166	182

**Tableau 7 : Tarif d'achat applicable à l'énergie fournie (€/MWh hors TVA)
(source : Légifrance)**

- Dans le même cadre, le **complément de rémunération** est accessible aux producteurs dont l'installation a une puissance installée inférieure à 1 MW
- Sont exclu de ces aides les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) en raison de l'avantage économique de l'installation (on utilise de l'électricité lorsqu'elle est abondante et peu chère pour stocker de l'énergie potentielle et restituer l'électricité lorsqu'elle fait défaut et est chère).
- L'aide peut aussi s'organiser sous la forme **d'appels d'offres** organisés par la commission de régulation de l'énergie (CRE)
- Les installations soumises à **concession** peuvent aussi recevoir un soutien par le biais d'un complément de rémunération décidé lors de l'octroi de la concession.



ZOOM SUR L'ATTESTATION DE CONFORMITÉ SANITAIRE DES TURBINES

Le turbinage d'eau potable nécessite quelques démarches additionnelles par rapport aux réseaux d'eaux usées. Le matériel utilisé en contact de l'eau doit recevoir une Attestation de Conformité Sanitaire délivrée par un laboratoire qui étudie l'installation à partir d'un dossier descriptif : des constituants et matériaux utilisés mais aussi de l'huile pour la lubrification qui doit être de qualité alimentaire. Bien que cette démarche d'attestation soit classique pour les pompes usuellement conçues pour fonctionner sur de l'eau potable, elle peut être **plus complexe** pour des turbines. Cette accréditation a ainsi été un point de blocage de l'ARS pour l'installation de turbinage d'eau potable à Nice.

4.2.1.2 Une technique à adapter au cas par cas

Une étude sur le potentiel du turbinage des eaux usées pour la Suisse a révélé deux critères de rentabilité concernant la production d'électricité à partir de micro-turbinage, d'une part les plus grandes puissances (ce qui correspond aux plus hauts débits ou au dénivelés les plus importants) sont très rentables en raison des volumes mis en jeu, d'autre part les petites chutes peuvent aussi être viables économiquement car les faibles puissances concernées permettent d'avoir recours à des vis hydrauliques, technologie assez bon marché³².

Les turbines utilisées peuvent être directement insérées dans les canalisations ou bien nécessiter le raccordement à une machine. Plusieurs machines hydrauliques sont envisageables pour du micro-turbinage, dont les plages de fonctionnement des turbines sont référencées dans des abaques qui tiennent compte des caractéristiques du site (débit et chute d'eau) (voir Annexe 7). Les techniques de turbinage sont donc très différentes selon les caractéristiques du site et du réseau à turbiner.



Le bureau d'étude Altéréo spécialisé dans l'environnement, s'est lancé récemment dans l'étude de production d'électricité par micro-turbinage. À l'aide d'audit énergétique pour identifier les potentiels d'énergie et d'une analyse poussée du réseau (à l'aide notamment d'outils SIG), le BE se propose de réaliser une étude technique et économique du potentiel de micro-turbinage d'une collectivité.

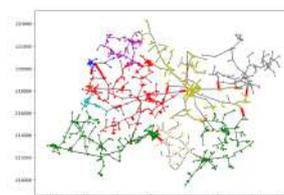


Figure 16 : Réseau d'eau potable sur SIG

Turbinage d'eau potable à Annonay

Une installation de turbinage sur le réseau d'eau potable à Annonay a été inaugurée en octobre 2018 dans l'usine de production d'eau potable de la ville. La production électrique attendue de 137 MWh/an (puissance installée de 26 kW) représente 30% des besoins électriques de l'usine. Le projet s'est articulé autour de nombreux acteurs : il a été proposé par SAUR qui exploite la station d'épuration et réalisé pour la partie étude par Hydrowatt et pour la partie installation par PAM. Les autorisations à l'ARS ont été demandées par la collectivité.



LES AVANTAGES DE CETTE VALORISATION

L'installation est possible sur tout le réseau dès lors que le potentiel est suffisant. La technique est adaptée aussi bien pour de grandes agglomération (ex : Nice) que pour des communes rurales en zone de relief (ex : Barcelonnette dans les Hautes Alpes). Les formes d'aides tarifaires envisageables sont nombreuses : tarifs d'achats, compléments de rémunération, appel d'offre... Afin de choisir entre autoconsommation et revente de l'énergie, un examen au cas par cas doit être mené.

³² France Hydro Électricité. Les différents types de contrat

4.2.2 Stations de transfert d'énergie par pompage STEP

L'eau peut servir de moyen de stockage pour des centrales solaires ou éoliennes, c'est le système de transfert d'énergie par pompage. Cette technique qui repose sur du turbinage pompage consiste à utiliser l'électricité produite en excès (dans des heures creuses de consommation) pour alimenter des pompes qui acheminent l'eau jusqu'à des bassins en altitude. Lors des périodes de forte demande, l'eau est relâchée et passe par des turbines qui génèrent de l'électricité. Historiquement, cette technique est utilisée en zone de montagne, on parle alors de centrale hydro-électriques, mais le système peut aussi s'adapter en milieu urbain en utilisant comme ressource de l'eau usée. Le turbinage pompage offre la possibilité de stocker de l'énergie produite par des sources intermittentes (éolien ou photovoltaïque).

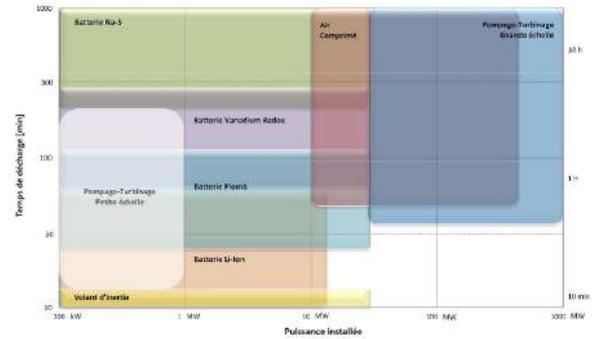


Figure 17 : Comparaison des différents modes de stockage de l'énergie (source : HES-SO Valais-Wallis)

On parle de pompage-turbinage à petite échelle pour des installations d'une puissance inférieure à 1MW, elles ont généralement un temps de décharge de l'ordre de la minute jusqu'à quelques heures (voir Figure 17). L'avantage de cette solution de stockage est son coût compétitif ainsi que l'utilisation d'une source renouvelable et facile d'accès.

Une étude du **potentiel de stockage par turbinage-pompage de la commune suisse d'Arbaz** en Suisse (1260 habitants) vise à produire un **guide de mise en place** d'une station de pompage-turbinage à petite échelle³³. Le potentiel de production évalué sur ce site constitué de deux étangs est de 250 kWh pour une utilisation de 90% du volume du plus petit des deux étangs servant de réservoir (les 10% restants servent à préserver la faune et la flore). Le rapport²⁷ conclut sur la nécessité d'étudier l'impact environnemental de l'installation.



Nature and people first, une start-up française, a développé l'idée de micro-steps urbaines intégrées. Ces micro-stations de pompage-turbinage peuvent fournir une puissance de 400 kW à 4 MW/unité, avec un rendement de 70 à 80%. Une unité peut alors servir à l'alimentation de centaines voire milliers de familles. Ce réseau d'eau fermé pourrait servir aussi de stockage pour l'arrosage, de réserve incendie etc. Il est tout à fait possible de pomper de l'eau usée, des eaux grises, de récupération de pluie ou encore de l'eau potable.

Source : Nature&People First



3. Valoriser le patrimoine bâti des SPEA

La production d'électricité renouvelable en utilisant le bâti des stations d'épurations ou de station de potabilisation comme support permet de **revendre de l'énergie** ou de l'utiliser en **autoconsommation**. Ceci permet soit un complément de revenu pour l'exploitant soit une réduction des factures d'électricité de l'équipement.

Le petit éolien implique des procédures d'instruction beaucoup plus simples mais une rentabilité moins avantageuse que celle du grand éolien : pour ces projets complexes et coûteux à mettre en œuvre, il est préférable de réaliser un appel à manifestation d'intérêt. Les installations d'éoliennes sont soumises à certains périmètres réglementaires (distances aux habitations, radars, centrales nucléaires etc.) précisés dans **l'arrêté du 26 août 2011**.

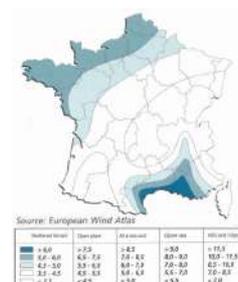


Figure 18 : Carte française des vents

4.3.1 Éolien

POUR QUELLES INSTALLATIONS ?



Sur un **champ captant**, une **usine de traitement de l'eau potable** ou **station d'épuration**, en respectant les distances de sécurité (500 mètres de distance par rapport aux habitations, nécessité de réaliser une étude d'ombre projetée pour les bureaux à proximité) . Toutefois, une parcelle localisée en **zone rurale est plus favorable**, les zones rurales urbaines ou péri-urbaines ne correspondant que rarement aux exigences de rentabilité de l'éolien.



Un **territoire favorable** : une vitesse moyenne du vent supérieure à 3 m/s à 50 mètres du sol sur le site de l'implantation (voir la carte du potentiel éolien pour une première approximation, figure 18).



Une **puissance installée** supérieure à 50 kW est recommandée pour garantir l'intérêt financier du projet (le temps de retour sur investissement est assez long et les démarches administratives lourdes).



Un **voisinage impliqué** et favorable du projet.

4.3.1.1 Étapes du montage de projet

La complexité du montage d'un projet éolien dépend de la hauteur et de la puissance des éoliennes installées. Pour un projet de petit ou moyen-éolien (éoliennes dont la taille ne dépasse pas 50 mètres), les démarches administratives sont relativement rapides. Un projet éolien peut se dérouler comme suit :

- Identifier le potentiel éolien du site, en réalisant une **étude des vents**. La consultation de cartes des vents ne peut se substituer à l'appel d'un professionnel pour définir le potentiel de production et donc la rentabilité du projet
- Si l'évaluation est positive, le choix du type d'éolienne est déterminant pour la suite :
 - pour des éoliennes de hauteur inférieure à 12 mètres, aucune démarche administrative n'est nécessaire.
 - En revanche pour des éoliennes comprises entre 12 et 50 mètres de puissance installée inférieure à 20 MW, il faut alors réaliser une **notice d'impact** du projet éolien sur son environnement (voir encadré). Cette notice d'impact, très coûteuse, doit être réalisée par des professionnels pour être ensuite incluse dans la demande de **permis de construire**. Le projet doit passer ensuite par une **déclaration** en préfecture.
 - Pour une installation de 12 à 50 mètres de puissance supérieure à 20 MW ou supérieure à 50 mètres, l'instruction passe par une **demande d'autorisation unique**, qui regroupe une lourde notice d'impact, la demande de permis de construire etc..
- Suite à l'obtention du permis de construire, il faut effectuer la **demande de raccordement** au réseau, généralement au réseau de distribution de l'électricité (donc auprès du fournisseur local d'électricité) et non pas sur le réseau de transport (géré par RTE), qui ne concerne que les grands parcs éoliens.



4.3.1.2 Soutien financier de la filière



De 2000 jusqu'à 2015, la filière éolienne était soutenue par une obligation d'achat : EDF OA ou les entreprises locales de distribution d'énergie étaient obligées de racheter l'électricité produite par les éoliennes si le producteur en faisait la demande, pour un prix fixé par arrêté préfectoral.

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a fait évoluer dès le 1^{er} Janvier 2016 le soutien financier de l'énergie éolienne vers un **complément de rémunération**. L'électricité est alors vendue par intermédiaire sur le marché par le producteur. La différence entre ce prix moyen de l'électricité sur le marché et un prix fixé par arrêté est reversée au producteur par EDF, c'est le complément de rémunération. Le cadre du complément de rémunération est prévu pour une durée de 20 ans (15 ans dans la loi initiale élevés à 20 ans en 2017)³⁴. Il est plafonné par une valeur P dont les caractéristiques sont données en Annexe 11. Le complément de rémunération tient compte de la différence entre le tarif de référence fixé par un arrêté et le prix moyen mensuel de l'électricité éolienne ; d'une prime de gestion fixée à 2,8 €/MWh ; et des garanties de capacité (voir Figure 19).

Pour les plus grosses installations (plus de 6 éoliennes dont la puissance unitaire dépasse 3 MW), le projet doit passer par un appel d'offre.

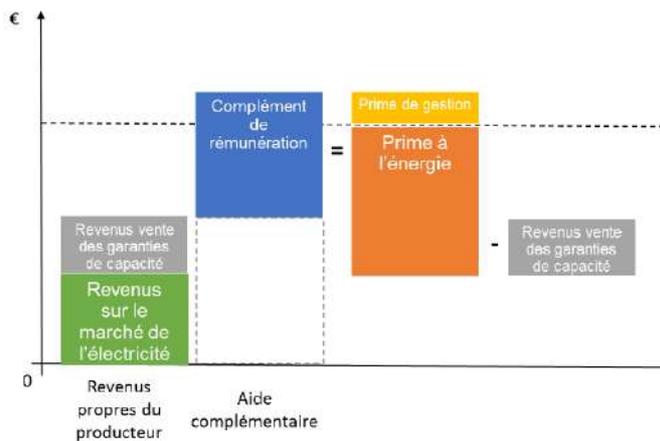


Figure 19 : Détail du complément de rémunération (source : Enercoop Languedoc Roussillon)



ZOOM SUR LA NOTICE D'IMPACT

La notice d'impact est un outil qui permet de prendre en compte les impacts indirects ou directs, temporaires ou permanents liés à l'implantation d'éoliennes. Le document comporte 6 parties dont : la description de l'état initial du site, la description du projet, l'analyse des impacts, une description des incidences négatives sur l'environnement, les solutions et mesures envisagées pour réduire ces impacts etc

Installation d'une éolienne à Wasmuël (Belgique)

L'installation d'une éolienne de taille moyenne (hauteur du mat : 32 mètres) sur le site de la station d'épuration de Wasmuël en Wallonie d'une capacité de 250 000 EH permet à la station l'autoconsommation de l'énergie produite pour alimenter le chauffage des locaux et l'alimentation des machines. L'investissement s'est chiffré à 250 000 euros pour une prévision de production maximale à 85 000 kWh, sachant que l'installation a une puissance de 50kW. La rentabilité du projet est estimée à 18 ans. Ce projet permet une économie de 44 tonnes de CO₂/an.



Crédit : IDEA

Pour aller plus loin :

Consultez nos différentes publications sur l'implantation de l'éolien par les collectivités : [Guide l'Élu et l'Éolien \(ENP37\)](#), [Les recettes perçues par les collectivités au titre de la fiscalité éolienne : règles générales, montants et répartition \(ENE13\)](#) etc...

³⁴ France Énergie Éolienne (FEE), La réglementation en France

4.3.2 Photovoltaïque

La production d'énergie solaire sur le bâti des SPEA est relativement marginale et ne concerne que quelques stations d'épuration actuellement ; il représente cependant un potentiel intéressant. De manière assez simplifiée, 10 m² de panneaux photovoltaïques peuvent représenter jusqu'à une production annuelle de 1000 kWh²⁸. En réalité, ce potentiel de production dépend de l'inclinaison des panneaux, de leur orientation, de l'ensoleillement annuel du site d'implantation, de la surface des panneaux solaires...



Source : Provence éco énergie

POUR QUELLES INSTALLATIONS ?

- ✓ En **usine de traitement de l'eau potable, sur des réservoirs / châteaux d'eau** ou en **station d'épuration de taille moyenne à grande, sur des bassins d'irrigation, retenues, lacs artificiels etc.**
- ✓ Une toiture de superficie assez grande. Il est conseillé d'installer les panneaux PV sur le toit car les installations sur sol ne profitent pas d'aides tarifaires et posent des problématiques en matière de ruissellement pluvial.
- ✓ Un potentiel de production suffisant. Ce **potentiel est maximal** pour :
 - Une irradiation solaire de 1000 W de lumière/m² (le niveau d'ensoleillement est référencé dans des cartes, voir Annexe 13)
 - Une orientation des panneaux solaires plein sud et d'inclinaison à 30°C
 - Zéro ombrage

4.3.2.1 Étapes du projet

Une fois le projet défini et sa viabilité assuré par une étude détaillée, quelques démarches administratives sont nécessaires afin d'obtenir des autorisations. Usuellement, l'installateur des panneaux photovoltaïque se charge de ces démarches référencées dans le tableau ci-dessous.

Pour aller plus loin :

Consultez le site internet PhotoVoltaire.info, centre de ressource photovoltaïque

Tableau 8 : Démarches à mettre en œuvre pour un projet d'installation de panneaux photovoltaïques

Quelle démarche ?	Quel délai ?	Auprès de quel acteur ?
Autorisation d'urbanisme pour l'installation d'un système photovoltaïque	1 à 2 mois	Mairie ou DREAL
Avoir le droit de raccorder un système photovoltaïque	1 à 18 mois	Gestionnaire de réseau
Bénéficier d'un contrat d'achat	2 mois après la mise en service	Acheteur obligé (fournisseur d'électricité local, ex : EDF OA)



4.3.2.2 Quels revenus pour l'électricité produite ?

Il existe **deux modalités** de vente de l'énergie photovoltaïque : en vente totale ou en vente du surplus (l'énergie est produite pour une autoconsommation mais le surplus peut être racheté par le distributeur local d'énergie. Dans les deux cas, le tarif d'achat dépend de la puissance totale installée et du type d'installation (sur bâtiment ou au sol).

- Dans le cas de la vente en surplus, une **prime à l'investissement** est reversée étalée sur 5 ans. Des coefficients de dégressivité et d'indexation selon le nombre de projets sont également prévus pour réévaluer chaque trimestre la prime et le tarif d'achat en cas de vente. Retrouvez les tarifs d'achat actuels en Annexe 12
- En vente totale, l'électricité produite par des panneaux photovoltaïque est éligible aux **obligations d'achat** dès lors que la puissance installée ne dépasse pas 100 kW. EDF est chargé de racheter pendant 20 ans les KWH photovoltaïques produits. Néanmoins les installations d'une puissance de crête comprise entre 500 kW et 8 MW peuvent bénéficier du **contrat de rémunération**.

Le **tarif d'achat** est fixé à chaque début de trimestre par un arrêté tarifaire suite à une délibération de la CRE transmise au gouvernement. Pour donner un ordre d'idée, le tarif d'achat du 2^{ème} trimestre de 2019 est fixé à 0,1873€/kWh pour les installations sur bâtiment d'une puissance inférieure à 3 kWc. Retrouvez les tarifs d'achat actuels en Annexe 12.

La station d'épuration de Châteaurenard (13) s'équipe en photovoltaïque

La station de 5 000 EH s'est équipée de 9 000 panneaux solaires en vue d'auto consommer l'énergie produite, pour une réduction de 20 à 30% des consommations d'électricité. Ce projet s'inscrit dans un vaste programme en faveur du solaire mené par la ville.

Mais les projets de photovoltaïque ne sont pas réservés aux communes du Sud. D'autres stations de la région du grand Est se sont aussi équipées pour produire leur propre énergie, comme la station d'épuration de Rosenmeer (11 000 EH) dont les 250 m² de panneaux solaires permettent la production de 45 MWh/an pour une puissance maximale délivrée de 47,6 kW.

4.3.2.3 Parcs photovoltaïques flottants

Plusieurs projets d'installation de parcs photovoltaïques flottants voient le jour en France. Envisageables sur des sites artificiels (zones dégradées types carrières) comme pour le projet d'Akuo Energy dans le Vaucluse, sur des bassins d'irrigation pour le projet de la CNR à Mornant (69) voir même sur des barrages grâce à la proximité avec la centrale électrique (projet de la Société du canal de Provence sur le Vallon Dol), une attention particulière doit être portée sur l'impact du projet sur le milieu en raison de la zone d'ombre créée par les panneaux photovoltaïques. *Le projet du CNR a intégré à son parc des dispositifs encagés pour favoriser la fixation de nutriments et la biodiversité.* Le potentiel français de ces parcs flottants est estimé à 22 GW.

Il est d'autre part possible de construire des parcs photovoltaïques en terrains inondables ou sur des bassins d'orage, les panneaux doivent alors être surélevé par rapport à la hauteur habituelle des pieds des installations.



LES AVANTAGES DE CETTE VALORISATION

Le photovoltaïque implanté sur toit ne nécessite pas de place supplémentaire en station. Il permet une production énergie verte utilisable pour une autoconsommation avec vente du surplus ou bien une vente en totalité. Le photovoltaïque est assez répandue et est adapté quel que soit le territoire (aussi bien en zone urbaine qu'en zone rurale)

4. Valorisation énergétique des sous-produits d'assainissement

Les boues d'épuration sont un réel gisement en termes de valorisation d'énergie. Les boues d'épuration sont riches en matières organiques, donc sont facilement dégradables, ce qui favorise le recours à la méthanisation ou à leur incinération, mais d'autres filières de valorisation plus innovantes permettent de recycler les boues en d'autres sous-produits : biochar, engrais, matériaux de construction ou plastique... Ce volet sur la valorisation des boues d'épuration ne concerne donc que les stations d'épuration.

4.4.1 Méthanisation des boues

En sortie de station d'épuration, les matières organiques issues du traitement de l'eau sont concentrées dans les boues d'épuration. Ces boues peuvent être digérées en absence d'oxygène dans un digesteur : c'est la méthanisation. Des micro-organismes se nourrissent de la matière organique présente dans les boues d'épuration et produisent du gaz. Le méthaniseur produit alors du biogaz, qui peut être épuré et transformé en biométhane, et un digestat correspondant aux boues dont la siccité a été réduite et certaines caractéristiques agronomiques ont été modifiées.

POUR QUELLES INSTALLATIONS ?

- ✓ Un **gisement** suffisamment **important** en boues d'épuration pour la méthanisation sur site. Les procédés de méthanisation sont actuellement développés pour des stations d'épuration d'une capacité nominale supérieure à 30 000 EH ; une étude de l'ADEME³⁵ avait même placé le seuil de rentabilité à 50 000 EH.
- ✓ En cas de co-méthanisation en méthaniseur territorial, la **proximité** du méthaniseur réduit les coûts de transports élevés ; cependant actuellement la réglementation est peu favorable à ce type de projet.
- ✓ Le projet doit tenir compte du **potentiel du territoire** pour la **valorisation** de l'énergie produite par la méthanisation, au-delà de l'autoconsommation :
 - Présence d'un réseau de chaleur ou d'une industrie à proximité en cas de valorisation thermique
 - Passage du réseau de gaz à proximité de la station pour l'injection sur le réseau
 - Flotte de voirie fonctionnant au bioGNV pour la production de carburant

4.4.1.1 Techniques de valorisation du biogaz

Le biogaz produit a un Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) de 5 à 7 kWh/Nm³, qui est la quantité théorique d'énergie contenue dans un combustible Il est possible de le valoriser de plusieurs manières différentes ce biogaz :

- Par **valorisation thermique** : le biogaz produit sert dans ce cas à alimenter une chaudière ou un four, sur le site même de la STEU (pour chauffer le digesteur de boues) ou à proximité (industrie, réseau de chaleur), par incinération spécifique ou co-incinération en four de cimenterie ou co-incinération avec des ordures ménagères.



Site de méthanisation agricole à Évian (source : Medium)

³⁵ ADEME, Évaluation du potentiel de production de biométhane à partir des boues issues des stations d'épuration des eaux usées urbaines, 2014

- Par **valorisation électrique**, cogénération ou production alternée : cette technique permet de valoriser le biogaz à la fois en électricité et en chaleur.
La production de biogaz est d'environ 7 Nm³/h/EH, la production équivalente après cogénération est de 17 kWh/an/EH d'électricité et de 10 kWh/an/EH de chaleur excédentaire après chauffage du digesteur³⁶.

Méthanisation et cogénération à Besançon



La station d'épuration de Besançon d'une capacité de 188 000 EH est l'une des premières à avoir traité ses boues par méthanisation (début en 1969). Les 200 m³ de boues primaires et biologiques produites quotidiennement servent à produire 4 000 m³ de biogaz qui étaient utilisés pour le chauffage des procédés et pour l'alimentation du processus de cogénération depuis son installation en 1994.

La réhabilitation de 2 des 3 digesteurs est en cours pour pouvoir injecter le biogaz produit sur le réseau GRDF. Le projet prévoit la construction de 2 méthaniseurs d'une capacité de 3 000 m³ chacun et d'un gazomètre de 1 000 m³.

En parallèle de cette réhabilitation de la file boues, la collectivité a installé en Octobre 2019 des panneaux photovoltaïques sur le toit des bâtiments de la station d'épuration, pour une production totale estimée à 300 000 kWh destinée à l'autoconsommation sur la station (couvrant 20% des besoins en électricité de la station d'épuration).



- **Raccordement au réseau de gaz naturel** : l'injection de biométhane issu de la méthanisation des boues d'épuration a reçu l'approbation de l'ANSES en 2014. En cette année 2019, 7 installations d'injection de biométhane issu de boues de STEU sont en cours de construction et 10 installations injectent déjà sur le réseau. La production annuelle de biométhane injecté dans le réseau est estimée à environ 3,5 Nm³/an/EH soit 35 kWh/an/EH³⁷.
- Utilisation directe sous forme de **biocarburant** (GNV), néanmoins cette solution nécessite de stocker le gaz (ce qui s'accompagne de nombreuses normes de sécurité), car la production est continue mais pas la demande. Il est alors souvent plus judicieux d'injecter le biométhane sur le réseau puis de s'alimenter en bioGNV sur une borne du fournisseur.

Méthanisation et incinération à Grenoble (38)

La station d'épuration d'Aquapole à Grenoble a opté pour la méthanisation en raison de l'incapacité de traiter la totalité des boues sur site en incinération. La station d'une capacité de 650 000 EH s'est donc munie de 2 digesteurs de 25m de diamètre, 3 compresseurs, un gazomètre et une chaudière biogaz pour incinérer les digestats. Le projet dont le coût total est estimé à 13 millions d'euros a été subventionné à hauteur de 5 millions d'euros par l'agence de l'eau RMC et 1 million d'euros par la région. En 2018, la production de boues (après digestion) s'évaluait à 3 903t de matière sèche contre 6 700 t de MS en 2008. Le biogaz est valorisé par injection sur le réseau grâce à une concession à Aquabiogaz qui leur génère 500 000 € de revenus chaque année.

³⁶ Les fiches Synteau, Fiche n°6 : « La méthanisation des boues d'installations de traitement des eaux résiduaires urbaines ou industrielles », 2016



ZOOM SUR LE NORMOMÈTRECUBE

Le débit de gaz produit ou injecté sur le réseau est mesuré en Nm³/h (Normo mètres cubes par heure)³⁷. L'unité de débit m³/h ne tient pas compte de la pression et température à laquelle est injecté le gaz (qui peut être comprimé), donc la donnée seule du volume n'est pas suffisante pour connaître la quantité de gaz injecté. Le Nm³/h est donc une unité normée.



4.4.1.2 Quelles subventions pour l'énergie produite ?

Le procédé de méthanisation est encore très coûteux et l'énergie produite est nécessairement plus chère que celle produite par des procédés plus classiques. Ainsi le biogaz coûte 4 fois plus cher à produire que le gaz naturel. Depuis 2006 un **tarif d'achat spécifique** a été créé pour le biogaz avec un prix différent selon le type d'intrant de l'installation et qui dépend de la capacité maximale de production du méthaniseur (en m³/h). Ce tarif d'achat vise à soutenir la filière étant donné l'objectif d'avoir 10% de gaz renouvelable dans le réseau d'ici 2030.

À terme le **projet PPE 2019** réduit l'aide apporté aux filières de production de biométhane avec un tarif de référence qui passerait de 95 €/MWh en 2018 à 67 €/KWh en 2023 puis 60 €/MWh en 2027, avec donc une subvention des producteurs de biogaz revue à la baisse. Pour bénéficier de ce tarif, il faut que l'outil produisant le biogaz ne soit pas alimenté par des énergies fossiles.

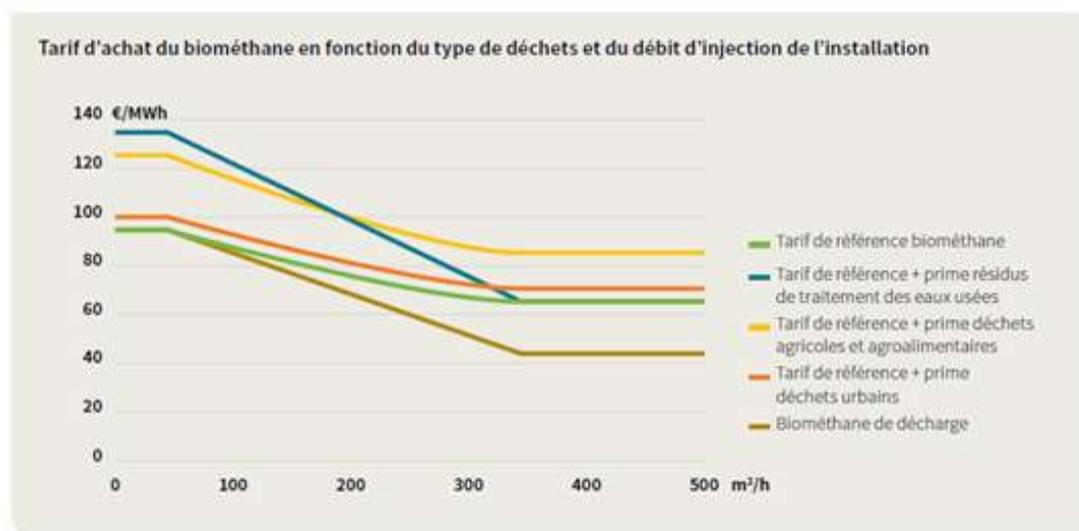


Figure 19 : Tarif d'achat du biométhane en 2018 (en cours d'évolution)

Concernant la production d'électricité à partir du biogaz, de la même manière un tarif d'achat spécifique a été créé en 2006 avec une indexation annuelle et une obligation d'achat qui est passé de 15 à 20 ans suite à **l'arrêté du 30 octobre 2015** (qui concerne uniquement les installations de méthanisation et STEU mais pas les ISDND). **L'article du 9 mai 2017** fixe les conditions d'achat et du complément de rémunération pour l'électricité produite par méthanisation de boues d'épurations. Les installations utilisant en intrant plus de 50% de matière issues du traitement des eaux usées relèvent de cet arrêté STEU.

Pmax de l'installation	<0,2 MW	= 0,5 MW	>1 MW
Tarif d'achat	175,4 euros par MWh	141,8 euros par MWh	70,9 euros par MWh

Tableau 9 : Prix d'achat du biogaz issu de la méthanisation de boues d'épuration pour des installations de puissance inférieure à 500 kWh¹

Tarif dégressif à partir du 1^{er} juillet 2017 à raison de 0,5% par trimestre.

³⁷ ADEME . Guide pratique : débitmètre biogaz. Avril 2017

4.4.1.3 Optimisation de la production de biogaz

Il est possible d'optimiser la production de biogaz de la méthanisation des boues de 3 manières ³⁸ :

- Intégration d'un **décanteur primaire** dans la STEU

Les boues primaire, issues d'un traitement primaire de décantation sont plus chargées en matière organique (MO) que les boues biologiques issues du traitement secondaire de clarification. La production de boues mixtes (c'est-à-dire un mélange des boues primaires et des boues biologiques) a donc un meilleur rendement de production de biogaz. Le traitement primaire était largement répandu il y a 20 ans mais s'est raréfié depuis, il connaît néanmoins une période de recrudescence pour répondre à la fois aux exigences de gestion du temps de pluie et au développement de filières de méthanisation.

- **Dégradation** des boues d'épuration avant digestion

La dégradation des boues d'épuration avant digestion par hydrolyse thermique et ultrasons permet d'augmenter la quantité de matière organique libérée et donc la production de biogaz.

- La **co-digestion** ou **co-méthanisation**

Les boues d'épurations possèdent un pouvoir méthanogène faible qui peut être amélioré pour augmenter la production du digesteur en apportant en intrant d'autres matières dont le pouvoir méthanogène est plus fort : graisses et huiles issus des traitements de déshuilage en station, effluents agricoles ou issus de l'agroalimentaire, FFOM... Néanmoins cette technique vertueuse est remise en cause par différents textes de lois et les projets de mélange en entrée de digesteur sont déjà bloqués depuis 2018 en raison de **l'arrêté dit « 5 flux »** datant de mars 2016 (**décret n°2016-288**) qui dit qu'il est « interdit de mélanger les biodéchets triés par leur producteur ou détenteur avec d'autres déchets n'ayant pas fait l'objet d'un même tri ». Seul serait autorisé le mélange entre des boues de plusieurs stations.

*Nota : Les projets de co-digestion impliquant les boues d'épuration devaient faire l'objet d'une autorisation préfectorale. Lorsque les autorisations étaient encore envisageables, les matières co-digérées devaient néanmoins correspondre à des règles strictes³⁹ : seuils de **l'article 11 de l'arrêté du 8 Janvier 1998** pour les boues et seuils de **l'article 39 de l'arrêté du 2 février 1998** pour les autres intrants (concernant les prélèvements et la consommation d'eau).*

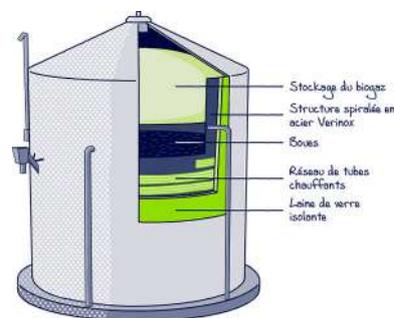


Figure 20 : Schéma d'un méthaniseur
(source : Suez)

Les positions d'AMORCE :

- AMORCE demande à ce que soit redéfini la notion de « biodéchets » en distinguant plusieurs sous-catégories.
- AMORCE demande à ce que les mélanges en entrée de méthaniseur des boues avec des effluents agricoles ou des biodéchets non ménagers soit autorisés sous procédure d'autorisation préfectorale.



LES AVANTAGES DE CETTE VALORISATION

La méthanisation des boues d'épuration permet d'hygiéniser les boues, de réduire leur volume (et donc les coûts de transport associés) et aussi d'améliorer certaines de leurs qualités agronomiques. Le biogaz produit peut selon sa valorisation permettre une autoconsommation d'électricité ou de chaleur, un revenu complémentaire dans le cas d'injection ou une économie si le biogaz est transformé en bioGNV.

³⁸ SYNTEAU, *La méthanisation des boues d'installations de traitement des eaux résiduaires urbaines ou industrielles*, 2016

³⁹ ATEE Club Biogaz, *Mélanges d'intrants : biodéchets, boues et autres déchets*, Avril 2019

4.4.2 Incinération des boues et MIATE

Les boues d'épuration possèdent un faible pouvoir calorifique comparées à d'autres déchets, mais leur incinération, sur site ou en co-incinération permet de valoriser l'énergie produite.

POUR QUELLES INSTALLATIONS ?

-  Si l'incinérateur est sur site, l'installation est rentable pour des stations d'une capacité de plusieurs milliers d'EH
-  Si la station d'épuration se trouve à proximité **d'un incinérateur territorial (UVE)** ou d'une **cimenterie** : le transport des boues est coûteux et doit être limité au maximum
-  Dans le cas où les autres voies de valorisation des boues (méthanisation, compostage, épandage qui sont à prioriser) ne sont pas possibles sur ce territoire

Plusieurs filières d'incinération sont envisageables selon la taille de la STEU et les opportunités du territoire :

- La **mono-incinération**, qui consiste à brûler uniquement des boues d'épuration. Les boues doivent dans ce cas subir des traitements préalables de déshydratation pour atteindre une siccité de 25 à 45% et pouvoir être brûlées. Cette technique permet une valorisation de l'énergie sous forme de chaleur, pour une autoconsommation (chauffage des locaux ou de certains procédés), mais ne concerne que des stations d'épuration de taille importante (plusieurs dizaines de milliers d'EH).

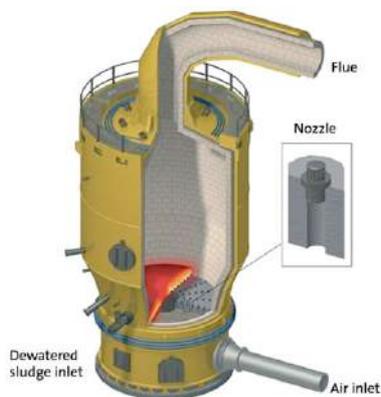


Figure 21 : Exemple de mono-incinérateur PyrofluidTM
(Source : Photothèque Véolia Eau)

- La **co-incinération** avec des **ordures ménagères**. Cette technique a pour principal avantage de ne pas nécessiter de coûts d'installation, mais dépend du territoire. En effet le coût de transport des boues est assez important et il fut donc avoir une UVE à proximité de la station d'épuration. De la même manière que pour la mono-incinération, la réduction de volume des déchets entre les intrants et les matières produites est de 90%. Les boues peuvent être ajoutées soit séchées soit déshydratées :
 - Les boues séchées sont à prendre en compte dans le volume des déchets brûlés, et peuvent représenter 65 à 90% de ce volume.
 - Les boues déshydratées peuvent être ajoutées en plus des déchets brûlés mais ne doivent pas dépasser 10% de la capacité du four.

- La **co-incinération** dans les **fours de cimenterie**. Les boues de siccité supérieure à 90% ont un fort pouvoir calorifique et peuvent servir de combustible dans les fours pour diminuer la consommation d'énergie fossile. Néanmoins cette alternative nécessite une implantation territoriale particulière, avec une cimenterie à proximité de la STEU, et le potentiel de cette voie de valorisation est assez limité puisqu'on compte à l'heure actuelle 28 cimenteries en France⁴⁰. De plus, un trop fort taux de phosphore (au-delà de 0,5% des boues) peut dégrader la résistance mécanique du ciment produit.

⁴⁰ Annuaire des Usines. Cimenteries



4.4.2.1 Cadre juridique sur l'incinération

Les deux directives européennes relatives à l'incinération (**N° 89 - 369 CEE du 8 juin 1989** et **N° 89 - 429 CEE du 20 juin 1989**) ont été révisées par la **directive 2000/76/EC** du 4 décembre 2000 (modifiée en 2008) sur l'incinération des déchets. L'objectif de cette directive est de limiter les effets négatifs de l'incinération et de la co-incinération. Par rapport aux précédentes directives, elle rassemble déchets dangereux et non dangereux, abaisse les valeurs limites des différents polluants et intègre des valeurs limites sur les oxydes d'azote et sur les dioxines et furannes. Ces nouvelles contraintes étaient applicables à toutes les installations neuves et aux installations existantes à échéance 2007 (voir Annexe 14).

Il n'existe pas de réglementation spécifique à l'incinération des boues d'épuration en France. Le seul arrêté applicable est celui du **20 septembre 2002** (modifié en 2010) relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux qui transpose la directive incinération de 2000. Il crée en particulier une contrainte sur le taux d'imbrûlés ainsi que sur la valeur seuil journalière pour l'ammoniac (NH_3). Les boues d'épuration sont incinérées dans les mêmes conditions que les autres résidus urbains car la **circulaire du 28 avril 1998** relative aux plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés (PDEDMA, remplacé par le plan départemental de gestion des déchets non dangereux (PDGDND) dans l'article R541-14 du code de l'environnement), assimile les boues à des déchets ménagers.

L'ensemble des dispositions applicables aux installations d'incinération de résidus urbains, au titre de la protection de l'environnement, sont alors à prendre en compte (domaine d'application, conditions d'incinération, normes d'émissions, mesures de sécurité etc...). En réalité, ce sont plus les contraintes techniques (taux d'humidité et pouvoir calorifique) que réglementaires qui conditionnent l'incinération des boues.



LES AVANTAGES DE CETTE VALORISATION

L'incinération permet de réduire drastiquement le volume des déchets, voire de les recycler en matériau de construction et de valoriser la chaleur produite, pour une autoconsommation, ou une vente à un réseau de chaleur ou à un industriel.

4.4.3 Oxydation par voie humide

POUR QUELLES INSTALLATIONS ?



Rentabilité pour un gisement de boues important correspondant à des STEU d'une capacité nominale de plus de 50 000 EH.



Nécessité d'une voie de valorisation ou d'élimination du résidu minéral produit par l'OVH à proximité : pour la construction ou pour la production de faïences.

L'oxydation par voie humide est un procédé de traitement thermique des boues au même titre que l'incinération. L'oxydation par voie humide consiste à traiter thermiquement des boues en s'affranchissant des étapes de déshydratation et de séchage. Il s'agit de chauffer les boues à 200-250°C, sous pression (jusqu'à 50 bars) et en présence d'oxygène pur, pour éviter une évaporation de l'eau. Le temps de séjour varie entre 30 et 60 minutes. La réaction détruit jusqu'à 95% de la matière organique en la transformant principalement en dioxyde de carbone et en ammoniac. On obtient ainsi :

- Une **solution aqueuse**, renvoyée en tête de station pour être recyclée,
- Des **gaz de combustion** traités ultérieurement dans un réacteur catalytique,
- Un **résidu solide minéral** à 50% de siccité contenant moins de 5% de MO appelé technosable⁴¹.

⁴¹ La gazette des communes, *Les boues de la station d'épuration recyclées en céramique et en matériau routier*, 2016



LES AVANTAGES DE CETTE VALORISATION

Cette technique permet de traiter des boues sortant directement de l'épaississeur (siccité inférieure à 10%). Elle présente également les avantages de simplifier le traitement de l'air par rapport à l'incinération (diminution de moitié des émissions de CO₂ et de fumées dépourvues de poussières, de métaux lourds et de dioxines).

4.4.4 Pyrolyse ou Thermolyse

La pyrolyse, la thermolyse et la gazéification présentée après reposent toutes les trois sur un traitement thermique en absence d'oxygène (ou présence en faibles quantités).

POUR QUELLES INSTALLATIONS ?



Adapté pour des stations d'épuration moyennes (entre 10 000 eh et 100 000 EH).

Ce procédé correspond à une dégradation des boues séchées en l'absence d'air (O₂ < 2%) et à une température comprise entre 400 et 700°C. A la fin de ce procédé, un gaz combustible, de l'huile et un composé solide (cendres), aussi appelé **biochar**, sont obtenus.

	Valorisation
Gaz combustible	Alimentation de chaudières, turbines, moteurs à gaz ; en subissant au préalable un traitement complémentaire
Huile	Lubrification de moteurs ou turbines, valorisation énergétique sur site
Biochar	Alimentation de procédé de valorisation thermique ou valorisation organique par retour au sol

Tableau 10 : Valorisations possibles des sous-produits de la pyrolyse

La thermolyse se distingue de la pyrolyse par le fait que la chaleur nécessaire à la réaction est apportée par une source extérieure à la charge à pyrolyser. La chaleur est alors souvent produite par la combustion des gaz de pyrolyse, auquel cas le procédé s'auto alimente.



LES AVANTAGES DE CETTE VALORISATION

Le **biochar** est utilisable pour l'**amendement des sols** dans le cadre de **l'arrêté du 8 Janvier 1998** car il améliore les propriétés pédologiques des sols (propriétés chimiques, physiques et biologiques) et permet de retenir l'eau dans les sols.



Le **procédé** en lui-même est assez **souple** et supporte des variations assez importantes des volumes de boues (fonctionnement jusqu'à 50% de la capacité nominale du four), adapté dans certains territoires qui rencontrent des variations saisonnières des volumes d'eaux et de boues à traiter à cause du tourisme.

4.4.5 Gazéification

La gazéification est un processus de réduction de la fraction organique des boues à des températures comprises entre 900 et 1200 °C. Le procédé produit un gaz combustible (méthane) ou un gaz de synthèse riche en dihydrogène et en monoxyde de carbone, ainsi que des cendres. Le gaz combustible peut-être valorisé énergétiquement par alimentation d'une chaudière ou par co-génération. Les boues d'épuration doivent être préalablement séchées pour atteindre une siccité de 90% ou être mélangées avec de la matière sèche.

La gazéification génère un sous-produit constitué de la fraction non combustible de l'intrant du procédé. Ce sous-produit peut éventuellement être valorisé après un traitement complémentaire (extraction des métaux notamment).



LES AVANTAGES DE CETTE VALORISATION

La gazéification est un processus autonome énergétiquement et dont les émissions de GES sont limitées par rapport à celles de l'incinération.

Unité pilote du procédé de gazéification étagée à Avignon (STEU de Courtine)

La station d'épuration de Courtine à Avignon d'une capacité de 177 000 EH a servi d'unité de test du processus de gazéification étagée. Les boues d'épuration étaient mélangées en amont à des déchets de bois pour apporter la matière sèche nécessaire. Le syngaz (un gaz de synthèse) est produit par l'oxydation de la matière. Fin 2016, les chercheurs de Veolia ont conclu à une faisabilité du processus en termes de rentabilité économique.

Les traitements thermiques des boues permettent la production d'énergie à partir des boues d'épuration. Ils produisent néanmoins d'autres déchets : résidu solide minéral, biochar, huile, cendres etc. qui doivent être traitées et trouver à leur tour leur voie de valorisation ou d'élimination.

[Pour aller plus loin :](#)

Consultez notre publication
« Quelles valorisations
pour les boues
d'épuration ? »

4.4.6 Autres valorisations des boues dans le cadre de l'économie circulaire

Au-delà de la valorisation énergétique des sous-produits d'assainissement, des voies de valorisation matières sont également possibles. La valeur agronomique des boues a depuis plusieurs années conduit à l'épandage des boues d'épuration sous forme de boues liquides (dans le cadre de plan d'épandage) soit sous forme de compost (il existe une norme dédiée, **NFU 44-095**).



Actuellement d'autres valorisations matières sont envisagées :

- **Extraction de phosphore et production de struvite** : L'azote, le phosphate et la potasse sont devenus indispensables à l'agriculture ; Or une partie des ressources mondiales se situent dans des pays à l'autre bout de la planète, avec des contextes géopolitiques incertains. L'extraction des minéraux valorisables des boues d'épuration se pose alors comme une alternative à la production d'engrais par la chimie qui implique des processus coûteux en énergie. Plusieurs méthodes d'extraction du phosphore sont aujourd'hui disponibles : le passage à l'état supercritique (entre le liquide et le gaz) grâce à une pression et une température élevées (procédé EPFL – TreaTech) pour extraire jusqu'à 90% du phosphore contenu dans les boues, utilisation d'un réacteur à lit fluidisé pour produire de la struvite (Suez), un minéral de la famille des phosphates hydratés, mais le procédé ne concerne pour l'instant que les stations d'épurations de plus de 40 000 EH.
- **Production de biopolymères** : The Cella Technology (projet Veolia Environnement) travaille sur un prototype de production de bioplastique par des bactéries chargées de la digestion de la charge organique des boues. Ces bactéries se nourrissent du carbone présent dans les eaux usées et synthétisent des polymères qui sont ensuite récupérés grâce à une déshydratation des cellules et l'utilisation de solvants verts. Le potentiel de production de PHA de cette technique reste tout de même modeste et concerne des STEU importantes, avec une prédiction de 500 tonnes de biopolymères par an pour une station d'épuration de 100 000 EH. Au-delà de la viabilité des matières produites, la technologie doit encore arriver à s'insérer sur le marché, et pâtit d'un prix de vente encore trop élevé pour concurrencer la filière pétrochimique⁴².

Demander à Veolia -> attente retour

⁴² Bioplastics Magazine, 'PHA from Waste water' Avril 2012

5. Captation du carbone

Jusqu'à présent ont été abordées, dans ce document, uniquement les moyens de réduire les consommations énergétiques et donc les émissions de GES. Il est cependant aussi possible en réaction aux émissions de tenter de capter le dioxyde de carbone (ou les autres gaz) relâchés dans l'atmosphère.

En parallèle, les collectivités sont de plus en plus confrontées à des problématiques de gestion des eaux pluviales urbaines et de ruissellement, car l'artificialisation des sols limitent l'infiltration des eaux de pluie dans le sol mais aussi à des étés canicules qui s'accompagne de phénomènes d'Ilots de Chaleur Urbaine (ICU).

Ces deux problèmes trouvent une solution commune dans la désimperméabilisation et la revégétalisation des villes ou l'épandage des boues d'épurations.

1. Végétalisation en zone urbaine

POUR QUELLES INSTALLATIONS ?



Sur les terrains annexes des **stations d'épuration** et **stations de traitement de l'eau potable** en zone urbaine et pré-urbaine (en mesure de contribution à un plan de végétalisation urbain).



Plus généralement, sur l'ensemble de l'espace public

Les végétaux absorbent du dioxyde de carbone pour la photosynthèse, donc permettent de capter et stocker des GES. Mais ils permettent aussi d'aider à la gestion des eaux pluviales : absorption d'eau par les plantes puis évapo-transpiration qui entraîne une réduction des débits d'eau de pluie à traiter et permet la filtration des eaux de pluie en amont des stations d'épuration. Ce type de projet a aussi d'autres externalités positives comme la réduction des îlots de chaleur pour permettre de palier au réchauffement des villes, l'amélioration de la qualité de l'air, la création d'un habitat pour la faune et la flore... *Plusieurs grandes villes ont déjà lancé des projets de ce type : La métropole de Lyon a mis en place un Plan Canopée dans son PCAET qui vise à passer de 12% à 20% de surface de voirie ombragée.*

Pour aller plus loin :

Consultez ce [Guide](#) de mise en œuvre de l'arbre en milieu urbain



Un outil d'évaluation de l'impact du patrimoine arboré (existant ou en projet) a été développé par l'organisme Arbre en Ville. Intitulé Arbo Climat, il permet de mesurer les impacts d'un projet de végétalisation à partir de 6 indicateurs :

- stockage du carbone
- impact sur les îlots de chaleur urbains
- résilience au changement climatique
- impact pour la biodiversité
- lutte contre la pollution atmosphérique
- potentiel non allergisant

Consulter [leur site internet](#)



Crédit : Drew Coffman

2. Épandage des boues d'épuration



La filière traditionnelle de valorisation des boues d'épuration reste tout de même l'épandage qui représentait 62% des boues en 2004. L'épandage des boues, au-delà de son intérêt agronomique, permet aussi d'augmenter la teneur en carbone des sols à hauteur de 250 kg par tMS de boues. Cette valorisation apparaît alors comme un réel maillon de l'économie circulaire et améliorer de plus la teneur en eau des sols.

D'autre part, la part du carbone des boues qui permet d'augmenter le stock de carbone des sols est bien plus importante lorsque les boues d'épurations ont été compostées (40% contre 25% pour des boues brutes⁴³) en raison des apports de structurants nécessaire au compostage.

Néanmoins, si la filière de compostage des boues est bénéfique car elle permet de les stabiliser et d'augmenter leur qualité agronomique, elle est remise en question lors de demande d'autorisation par l'interprétation stricte de **l'arrêté 5 flux** qui s'oppose aux mélanges de déchets triés à la source avec des déchets n'ayant pas fait l'objet d'un même tri (ce qui empêche alors le mélange des boues d'épuration avec des déchets verts pour l'apport de structurant, indispensable au compostage).

Les positions d'Amorce :

- AMORCE demande une lecture plus juste de l'arrêté 5 flux qui semble concerner les gros producteurs de déchets plus que les particuliers. A ce titre, il est abusif de l'appliquer à tous les bio-déchets pour s'opposer à l'ajout de DV comme structurant pour le compost.

⁴³ Astee, Fiches sur le compostage des boues d'épuration



CONCLUSIONS

Les systèmes publics d'eau et d'assainissement représentent jusqu'à 18% des consommations énergétiques des collectivités. Tout au long du cycle de l'eau au sein des SPEA il est possible d'agir pour réduire les consommations. Les systèmes de pompage, traitements de potabilisation et traitements d'assainissement peuvent être optimisés pour consommer moins. En amont de la construction des installations, le dimensionnement peut avoir un impact non négligeable : les STEU fonctionnent bien trop souvent en sous-charge ; s'il est indispensable d'anticiper l'évolution démographique pour le génie civil, les équipements électromécaniques doivent être optimisés à la charge réelle. L'exploitant joue également un rôle en optimisant les traitements. Sur tout le cycle, des optimisations des moteurs et des systèmes de pompage réduisent les surconsommations.

Au-delà de l'optimisation des traitements existants, il est intéressant de comparer les différentes techniques de traitement, certaines étant bien plus énergivores que d'autres. Aussi bien pour l'eau potable que les eaux usées, les traitements poussés demandent souvent un apport d'énergie bien plus important : osmose inverse, traitement sur charbon actif... Un réel arbitrage entre les différentes clés de lecture environnementales (bon état des cours d'eaux, bilan énergétique etc.) doit être arbitré. Autre point d'action : limiter les dépenses gâchées en réduisant les niveaux de fuite dans les réseaux, représentant parfois 25% du débit d'eau potable alors pompé et traité inutilement. Dans la même optique, la réutilisation d'eaux usées traitées permet d'économiser des ressources par rapport au pompage mais nécessitent tout de même de l'énergie pour le traitement.

La mise en œuvre d'un projet d'optimisation énergétique du SPEA/ d'une station d'épuration etc. ne peut s'affranchir d'un diagnostic énergétique de l'installation qui permet d'identifier les postes les plus consommateurs et de souligner les points d'action à mettre en œuvre pour réduire les consommations énergétiques. Un comité de pilotage doit alors décider et orienter le projet selon les objectifs définis : amélioration de la qualité du traitement, réduction des factures énergétiques, production d'énergie pour une autoconsommation... Les SPEA sont aussi de véritables gisements d'énergie (voir Figure 22). Beaucoup de stations se lancent dans l'autoconsommation pour réduire leurs factures énergétiques, par méthanisation, micro-turbinage etc. La vente d'énergie est de plus un complément de revenu qui peut venir amortir plus rapidement les installations.

La démarche de réduction des consommations du SPEA doit être menée en concertation avec les acteurs de la ressource et nécessite parfois une implication particulièrement forte des usagers ou bien une volonté prononcée de la part des autres acteurs, c'est le cas pour l'implantation d'un réseau de chaleur ou d'éoliennes en stations. Dans le cas de la valorisation des effluents d'épuration, la pérennité d'une filière dépend bien souvent de la possibilité d'insertion de la filière choisie dans un territoire donné : en cas de traitement en dehors de la station d'épuration, la proximité de l'unité de co-traitement conditionne le choix en raison des coûts de transport des boues.

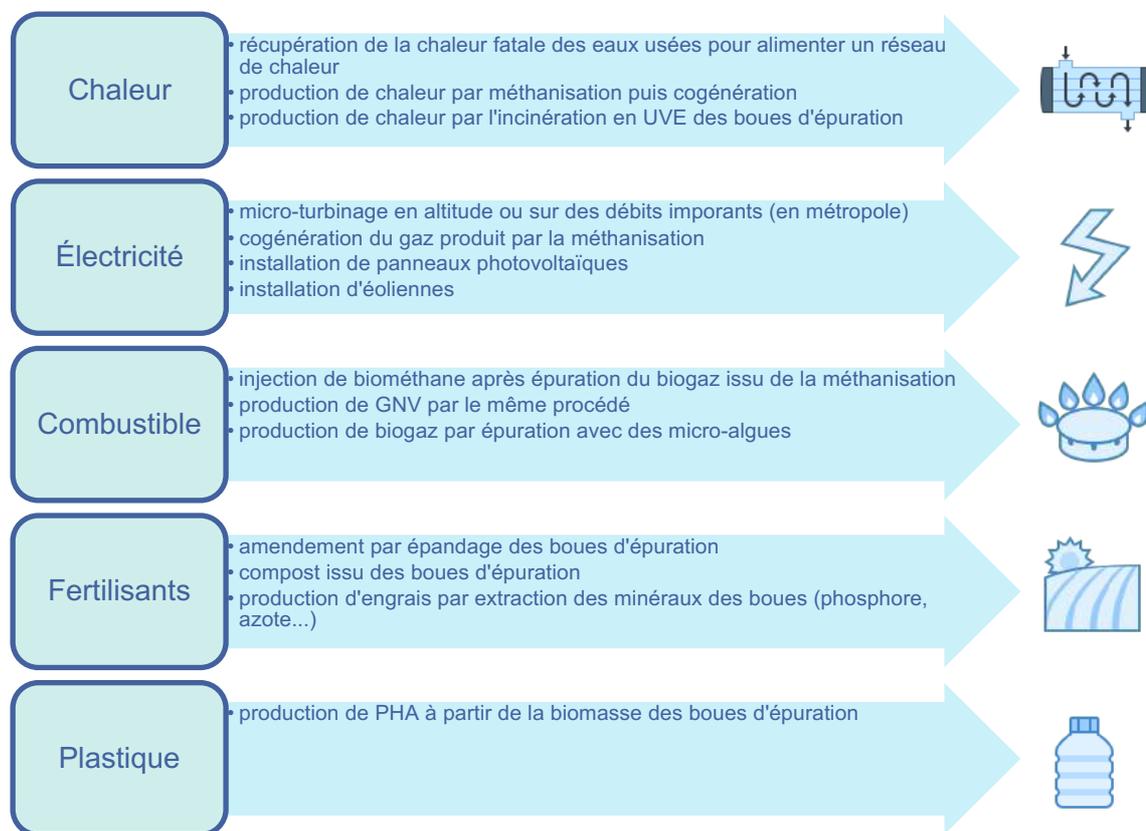


Figure 22 : Production d'énergie ou de sous-produits depuis les SPEA

Diminuer les consommations des postes au sein du SPEA ou produire de l'énergie (aussi bien pour la vente que pour la consommation), doit être mené en parallèle d'actions de sensibilisation des usagers aux économies de la ressource qui est d'autant plus menacée par le changement climatique. De nombreuses actions ont un double impact en jouant à la fois sur l'atténuation et sur l'adaptation au changement climatique. C'est le cas des économies d'eau potable qui réduisent les consommations énergétiques liées à la production de l'eau potable et réduisent aussi le stress sur la ressource. De même la revégétalisation influe sur la gestion de l'eau pluviale ainsi que sur les îlots de chaleur urbains. Des mesures d'adaptation sont nécessaires à l'heure où les scientifiques du GIEC annoncent un scénario probable d'une hausse des températures de +1,5°C qui modifierait profondément la répartition et l'accès à la ressource en eau. Plus d'informations sur ce volet adaptation dans la deuxième partie de ce guide, axée sur les mesures d'adaptation au changement climatique



Glossaire

B

Bassin versant : portion de territoire délimité par des lignes de crêtes et irrigué par un même réseau hydrographique

C

CEE : Certificat d'Économie d'Énergie

CRE : Commission de Régulation de l'Énergie

D

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DSP : Délégation de Service Public

E

Eaux aquifères : ce sont les eaux souterraines stockées dans les roches en sous-sol

ECPP : Eaux Claires Parasites Permanentes

EE : Efficacité Énergétique

EH : Équivalent Habitant

G

GES : Gaz à Effet de Serre

H

Hauteur manométrique : la hauteur totale sur laquelle une pompe doit élever l'eau

L

Liner : revêtement plastique en PVC recouvrant les piscines ou certains tuyaux des canalisations

M

MS : Masse Sèche, utilisée pour caractériser les boues d'épuration

P

Pmax : Puissance maximale

PPE : Programmation Pluriannuelle de l'Énergie

S

Saumure : solution aqueuse de sel

SCIC : Société Coopérative d'Intérêt Public

SEM : Société d'Économie Mixte

SEMOP : Société d'Économie Mixte à Opération Unique

SPEA : Système Public d'Eau et d'Assainissement

SPL : Société Publique Locale

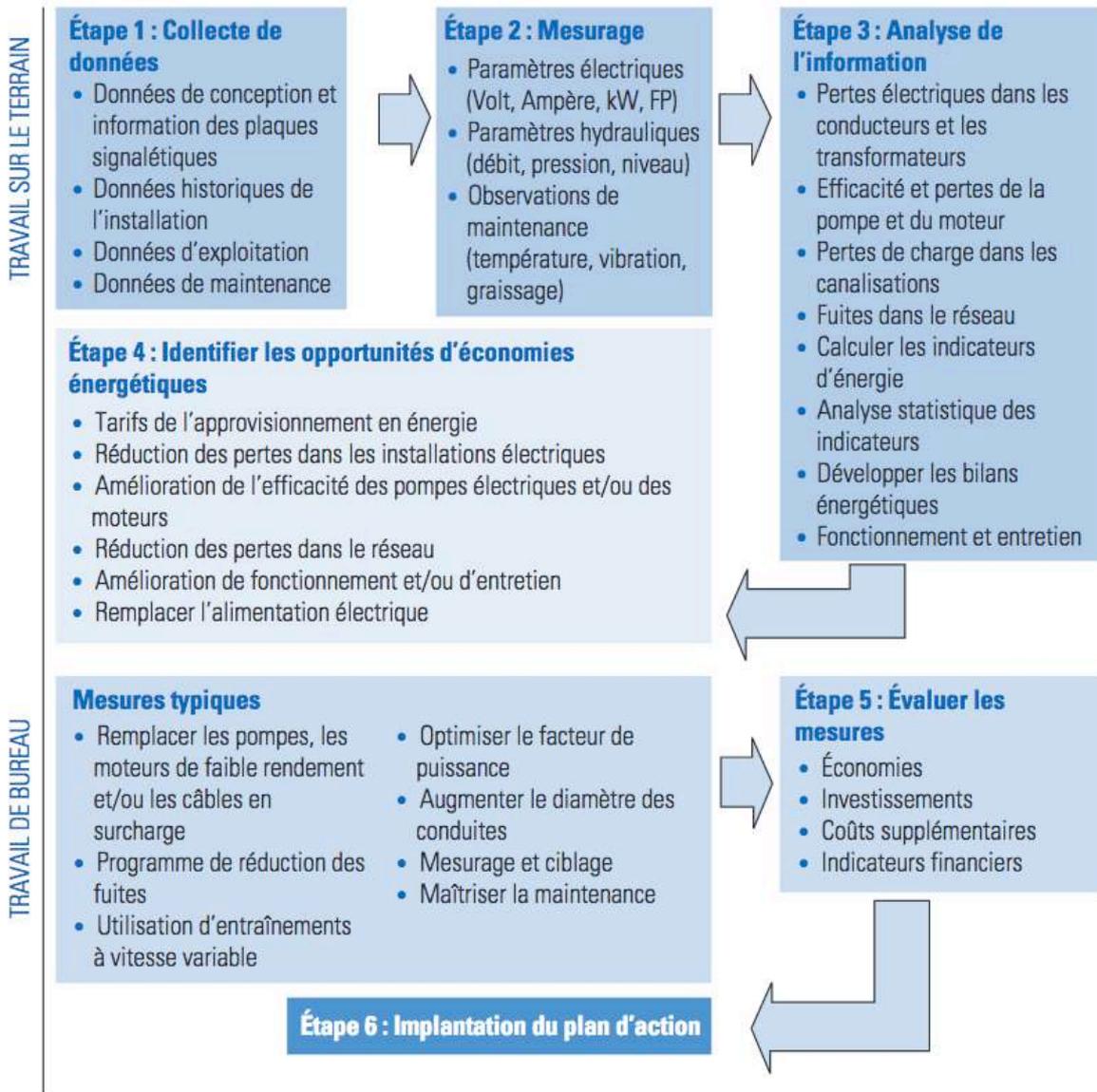
STEU : STation d'Épuration des eaux Urbaines

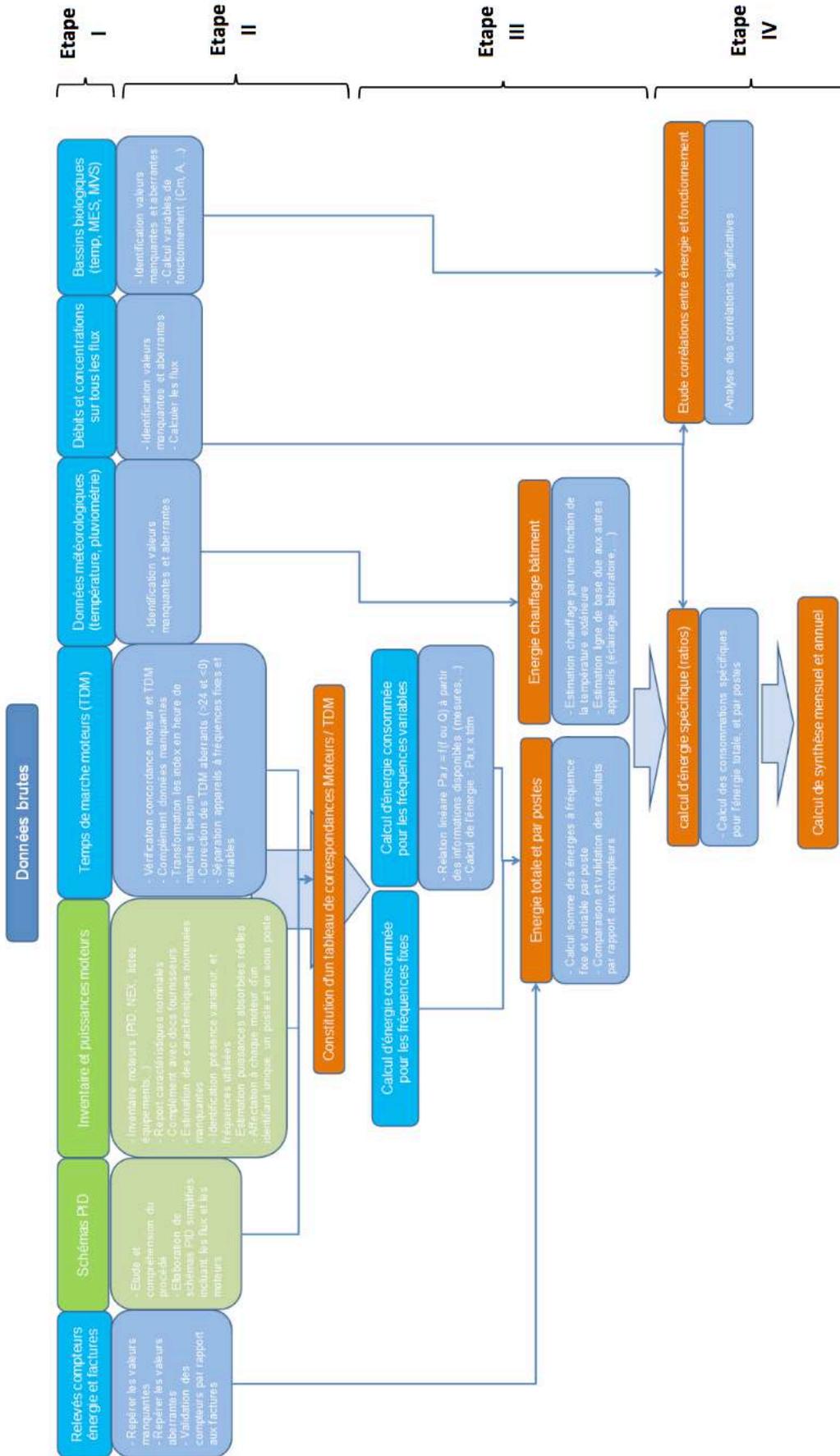


Annexes

Annexe 1 : Méthodologie d'audit énergétique (source : BID)

Méthodologie d'audit énergétique de catégorie investissement





Annexe 2 : Méthodologie d' Audit Énergétique des stations d' épuration (source : Irstea)

Annexe 3 : Indices de perte sur le réseau

L'indice de perte linéaire est calculé comme suit :

$$IPL = \frac{VP}{L}$$

L'indice de perte par abonné (IPA) utilisé plutôt par les organismes publics est calculé comme suit :

$$IPA = \frac{VP}{365 * Na}$$

Avec : **VP** le volume des pertes égal au volume introduit dans le réseau moins le volume exporté moins le volume de consommation accepté

Na le nombre d'abonnés du service de distribution d'eau

Cet indicateur est accompagné de référentiels et qui permet de se situer par rapport au niveau français. Ces référentiels sont définis pour les zones urbaines ou rurales et diffèrent selon les agences de l'eau.

Niveau de pertes faible	IPA < 0,08
Niveau de pertes modéré	0,08 < IPA < 0,15
Niveau de pertes élevé	0,15 < IPA < 0,29
Niveau de pertes très élevé	0,29 < IPA

Tableau 11 : référentiel basé sur les valeurs d'IPA applicable aux services ruraux et intermédiaires (moins de 45 abonnés par kilomètre)
(source : Onema et Irstea, 2011)

Annexe 4 : Tables des pertes de charge régulières dans les tuyaux d'acier et singulières selon l'accessoire hydraulique (source : Calpeda)

Tuyau		Q m³/h	1	3	6	9	12	18	24	30	36	42	48	60	90	120	180	240	300	360	420
G	fl mm	Q l/min	16	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000
G 1	DN 25	2,7 0,6	21 1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/4	DN 32	0,7 0,35	5,5 1	22 2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/2	DN 40	-	1,8 0,7	7 1,35	14 1,9	23 2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2	DN 50	-	0,5 0,4	2,2 0,8	4 1,25	8 1,5	17 2,5	28 3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2 1/2	DN 65	-	-	0,6 0,5	1,2 0,75	2,1 1	4,2 1,4	8 2	12 2,5	17 3	22 3,4	28 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DN 80	HL	-	-	-	0,8 0,7	1,6 0,95	2,8 1,25	4,2 1,6	6,5 2,1	7,5 2,6	10,5 3,3	15	-	-	-	-	-	-	-	-
	DN 100	v	-	-	-	-	0,55 0,6	0,9 0,8	1,4 1,1	2 1,25	2,4 1,4	3,5 1,6	5 2	11 3,2	20 4	-	-	-	-	-	-
	DN 125	m/100m	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9 0,95	1,2 1,1	1,8 1,4	4 2	6,5 2,7	15 4	-	-	-	-	-
	DN 150	m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6 0,9	1,5 1,4	2,5 1,7	5 2,7	8 3,5	14 4,8	-	-	-
	DN 200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 0,8	0,6 1	1,3 1,6	2 2	3,5 2,6	4,6 3	6,5 3,5	-
	DN 250		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 1	0,7 1,3	1,1 1,6	1,6 2	2 2,3	-
	DN 300		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3 0,9	0,45 1,25	0,7 1,4	0,9 1,6	-

Q Débit. HL Pertes de charge en m pour 100 m. v = Vitesse de passage max 1,5 m/s pour l'aspiration et 3 m/s pour le refoulement.

Vitesse de l'eau m/sec.	Courbes à angle vif α					$\alpha = 90^\circ$ Courbes à angle arrondi					Vannes standard	Clapet de pie	Clapet de non-retour
	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 80^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\frac{d}{R} = 0,4$	$\frac{d}{R} = 0,6$	$\frac{d}{R} = 0,8$	$\frac{d}{R} = 1$	$\frac{d}{R} = 1,5$			
0,4	0,43	0,52	0,71	1,0	1,2	0,11	0,13	0,16	0,23	0,43	0,23	32	31
0,5	0,67	0,81	1,1	1,6	1,9	0,18	0,21	0,26	0,37	0,67	0,37	33	32
0,6	0,97	1,2	1,6	2,3	2,8	0,25	0,29	0,36	0,52	0,97	0,52	34	32
0,7	1,35	1,65	2,2	3,2	3,9	0,34	0,40	0,48	0,70	1,35	0,70	35	32
0,8	1,7	2,1	2,8	4,0	4,8	0,45	0,53	0,64	0,93	1,7	0,95	36	33
0,9	2,2	2,7	3,6	5,2	6,2	0,57	0,67	0,82	1,18	2,2	1,20	37	34
1,0	2,7	3,3	4,5	6,4	7,6	0,7	0,82	1,0	1,45	2,7	1,45	38	35
1,5	6,0	7,3	10	14	17	1,6	1,9	2,3	3,3	6	3,3	47	40
2,0	11	14	18	26	31	2,8	3,3	4,0	5,8	11	5,8	61	48
2,5	17	21	28	40	48	4,4	5,2	6,3	9,1	17	9,1	78	58
3,0	25	30	41	60	70	6,3	7,4	9	13	25	13	100	71
3,5	33	40	55	78	93	8,5	10	12	18	33	18	123	85
4,0	43	52	70	100	120	11	13	16	23	42	23	150	100
4,5	55	67	90	130	160	14	21	26	37	55	37	190	120
5,0	67	82	110	160	190	18	29	36	52	67	52	220	140

Annexe 5 : Règlementation applicable à la réutilisation des eaux usées traitées (REUSE)

Les différentes classes de qualité (Source : Arpe PACA)

Classe de qualité	A	B	C	D
Traitement complémentaire à une STEU classique nécessaire	Oui Traitement complémentaire poussé	Oui Traitement complémentaire relativement simple	Non (dépend des traitements en STEU)	Non
Usages autorisés	Tout type d'arrosage (dont maraîchage, irrigation par aspersion, sous certaines conditions...)	Tout type d'arrosage (sous certaines conditions) Sauf fruits/légumes consommés crus et espace vert ouvert au public	Arrosage sous certaines conditions Pépinières, céréales et fourrages, vergers et taillis (très) courte rotation (TtRC)	Arrosage de taillis (très) courte rotation uniquement

L'irrigation est néanmoins complètement proscrite pour :

- Des eaux usées brutes
- Des eaux usées traitées dans une STEU réceptionnant des **effluents à risque** (issus de sous-produits animaux par exemple)
- Des eaux usées émanant de STEU dont les boues ne **respectent pas les valeurs seuils** de l'arrêté du 8 Janvier 1998 concernant l'épandage
- Sur un sol non conforme à l'épandage de boues d'épuration
- Une zone liée à une **activité sensible** d'un point de vue **sanitaire** (captage eau potable, baignade...) ou en forêt



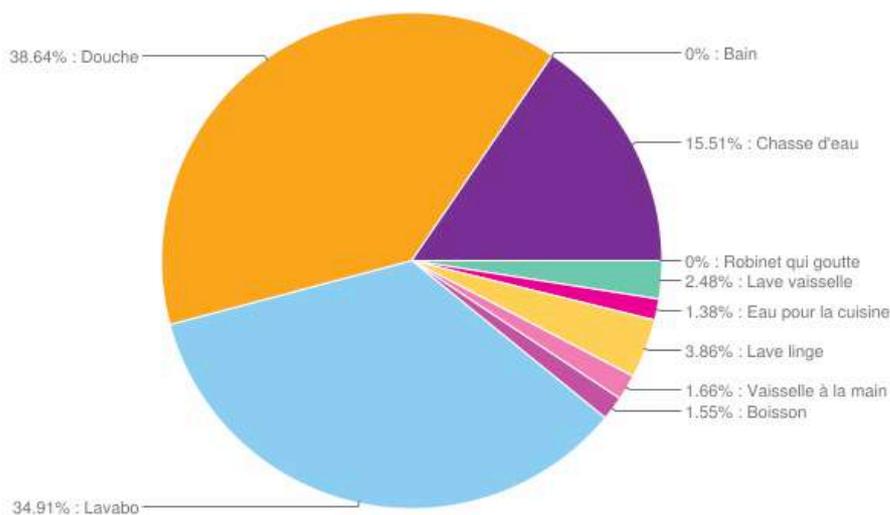
Annexe 6 : Résultat de la simulation du calcul pour une famille de 4 personnes, sur la base d'une douche/personne/jour et de 2 chasses d'eau/personne/jour
(Source : eau de paris)

RÉSULTATS



VOTRE CONSOMMATION EST DE

15686.76 Litres par mois **48.79** euros par mois
soit



A Paris,

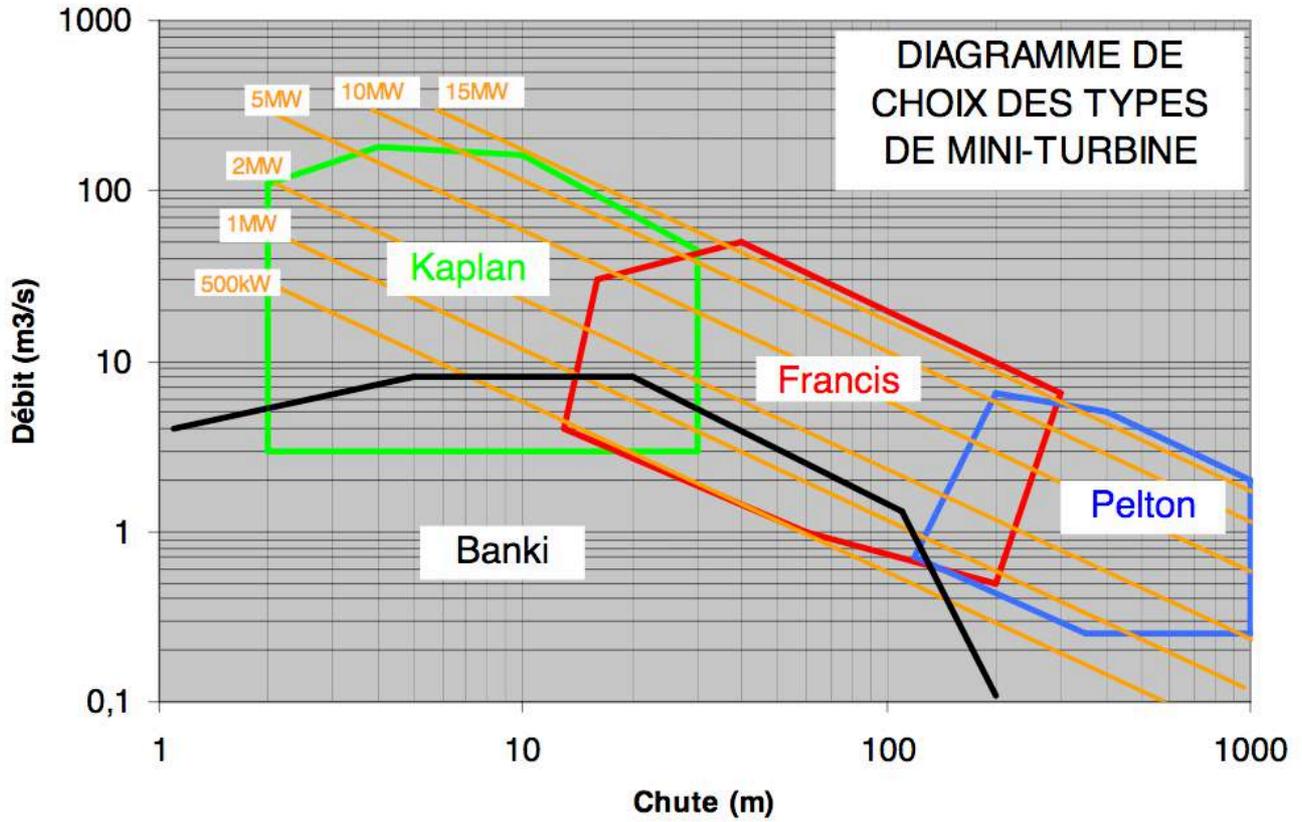
la consommation moyenne d'une famille de 4 personnes est comprise entre 9500 Litres & 10500 Litres par mois

Attention,

vosre consommation est supérieure à la moyenne française.

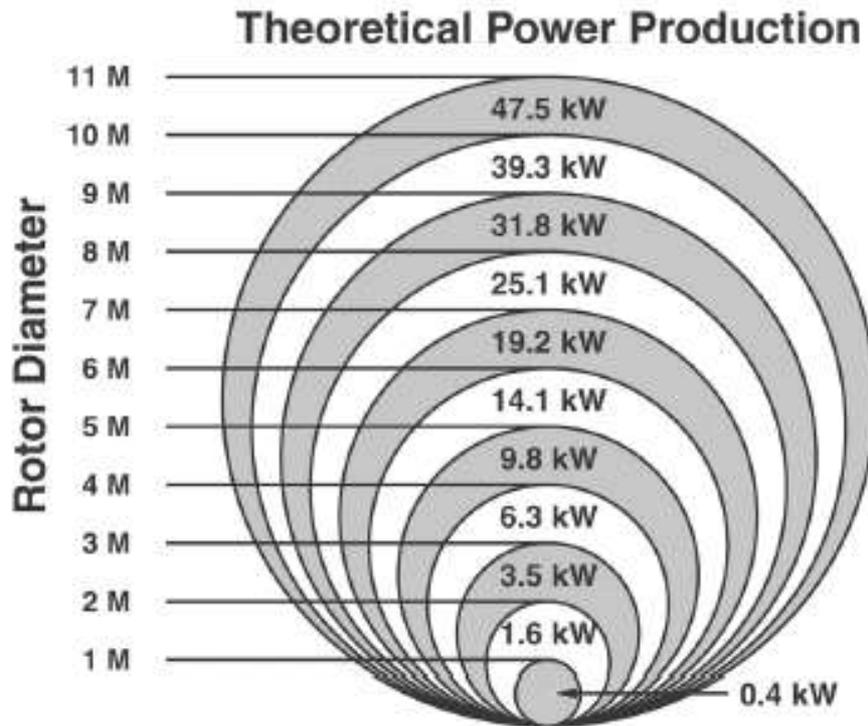


Annexe 7 : Abaque des plages de fonctionnement des 4 turbines Pelton, Francis, Kaplan et Banki
(source : SHEMA et EDF, Dimensionnement des turbines, 2010)



Annexe 8 : Puissance théorique d'une éolienne en fonction du diamètre du rotor (cercle produit par le bout des pâles)

(Source: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs)



Annexe 9 : Production du parc éolien français en 2018

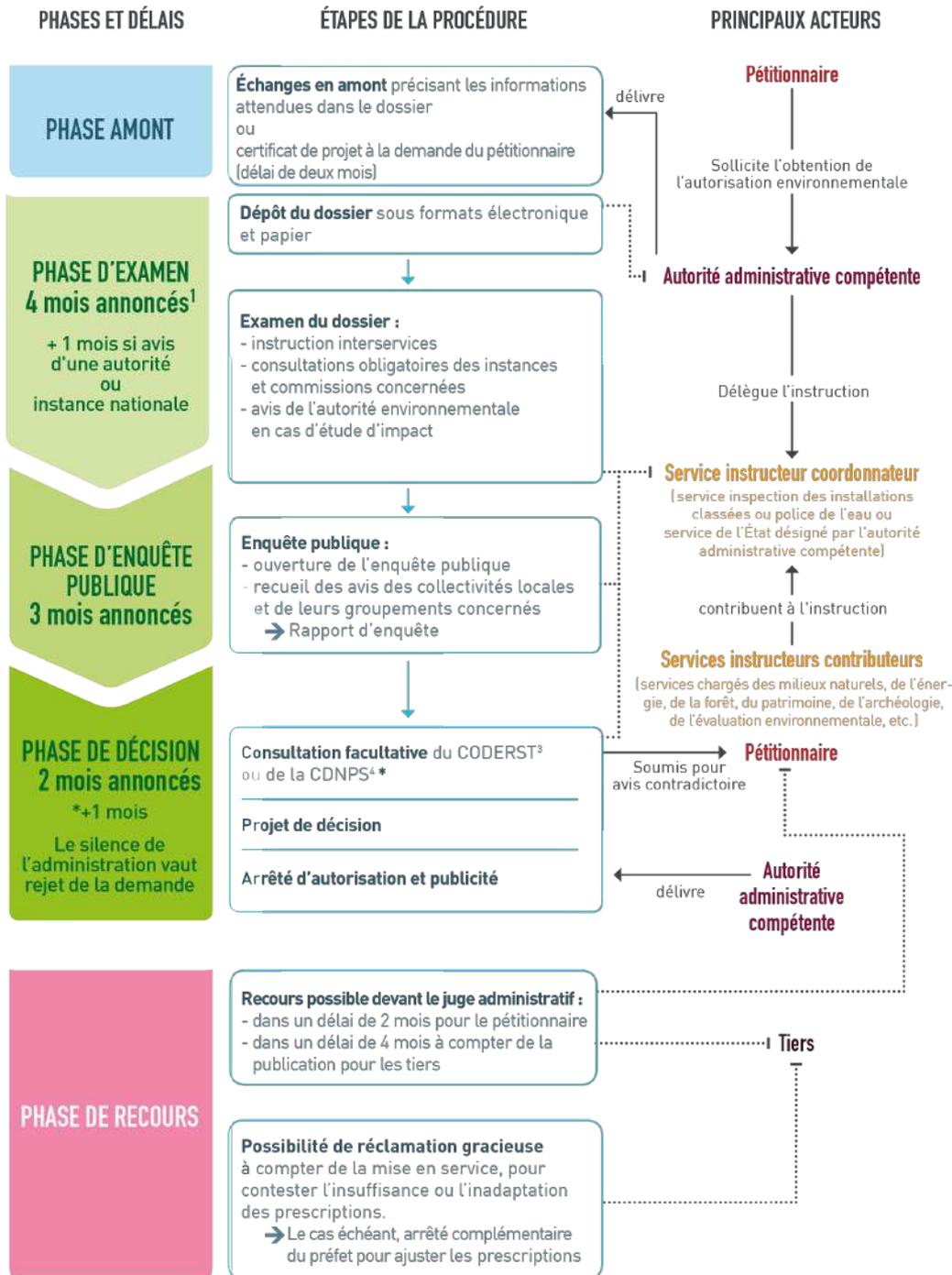
(source : FEE)





Annexe 10 : Démarches pour une autorisation environnementale d'un projet ICPE
(source : Ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer, « L'autorisation environnementale : des démarches simplifiées, des projets sécurisés »)

LES ÉTAPES ET LES ACTEURS DE LA PROCÉDURE



DICOM-SFES/PLA/16269 - Janvier 2017 - Crédits photos : page 1 : Thierry Diegen [cours d'eau x2], Arnaud Bouissou/Terra (éolienne), page 2 : Aurélien Miralles, page 3 : Arnaud Bouissou/Terra, Laurent Mignaux/Terra

1. Ces délais peuvent être suspendus, arrêtés ou prorogés : délai suspendu en cas de demande de compléments ; possibilité de rejet de la demande si dossier irrecevable ou incomplet ; possibilité de proroger le délai par avis motivé du préfet. 2. CNPN : Conseil national de la protection de la nature. 3. CODERST : Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques. 4. CDNPS : Commission départementale de la nature, des paysages et des sites.

**Annexe. 11 : Calcul du plafond du complément de rémunération
(source : Arrêté du 6 mai 2017 sur les compléments de rémunération)**

$$P = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^n K_i * \Pi * \left(\frac{D_i}{2}\right)^2$$

Où : n correspond au nombre de générateurs
Di est le diamètre du rotor du générateur i

Ki est un facteur dépendant du diamètre du rotor : $K_i = \frac{13}{D_i * 110}$

**Annexe 12 : Tarifs d'achat des trois derniers semestres pour l'énergie photovoltaïque
(source : Hespul)**

Tarif d'achat pour la vente de la totalité (c€/kWh)

Type de tarif	Type de l'installation	Puissance totale (P+Q)	01/10/18 au 31/12/18	01/01/19 au 31/03/19	01/04/19 au 30/06/19
Ta	Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation	≤ 3 kWc	18,59	18,72	18,73
		≤ 9 kWc	15,8	15,91	15,92
Tb	Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation	≤ 36 kWc	12,07	12,07	12,07
		≤ 100 kWc	11,19	11,19	11,12
		>100 kWc	0	0	0
Au sol		-	0	0	0

Tarif d'achat et prime de vente en surplus (€/Wc)

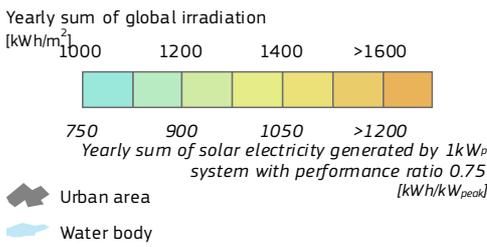
Type de tarif	Type de l'installation	Puissance totale (P+Q)	Prime à l'investissement			Rémunération de l'énergie injectée
			01/10/18 au 31/12/18	01/01/19 au 31/03/19	01/04/19 au 30/06/19	
Prime Pa	Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation	≤ 3 kWc	0,39	0,4	0,4	0,10
		≤ 9 kWc	0,29	0,3	0,3	0,10
Prime Pb	Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation	≤ 36 kWc	0,19	0,9	0,19	0,6
		≤ 100 kWc	0,09	0,09	0,09	0,6
		>100 kWc	0	0	0	0
-	Au sol	-	0	0	0	0

Annexe 13 : Niveau d'ensoleillement en France (source : Commission européenne)



Global irradiation and solar electricity potential
Horizontally mounted photovoltaic modules

FRANCE



Projection: Lambert Azimutal Equal Area, WGS84, lat: 52° lon: 10°
Source of ancillary data: CORINE Land Cover
DEM SRTM-30
GISCO database
Geonames
Natural Earth



Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
European Commission - Joint Research Centre
Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Annexe 14 : Valeurs seuils des émissions atmosphériques issues de l'incinération

Valeurs limites des émissions atmosphériques		
	Moyennes journalières (mg/m ³)	Moyennes sur une demi- heure (mg/m ³)
Poussières totales	10	30
Substances organiques à l'état de gaz ou de vapeur, exprimées en carbone organique total (COT)	10	20
HCl	10	60
HF	1	4
SO ₂	50	200
NOx pour les installations existantes de capacité >6t/h, ou les nouvelles installations	200	400
NOx pour les installations existantes de capacité <6t/h	400	-

Valeurs limites des émissions atmosphériques	
Cadmium et ses composés, exprimés en cadmium (Cd) + thallium et ses composés, exprimés en thallium (Tl)	0,05 mg/m ³
Mercures et ses composés, exprimés en mercure (Hg)	0,05 mg/m ³
Total des autres métaux lourds (Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V)	0,5 mg/m ³
Dioxines et furannes	0,1 ng/m ³ (6h < période échantillonnage < 8h)



AMORCE

18, rue Gabriel Péri – CS 20102 – 69623 Villeurbanne Cedex

Tel : 04.72.74.09.77 – Fax : 04.72.74.03.32 – Mail : amorcer@amorcer.asso.fr

www.amorcer.asso.fr -  @AMORCE