

OBSERVATOIRE DE L'EAU 2016

SEINE & MARNE
LE DÉPARTEMENT

ENVIRONNEMENT



Les enjeux énergétiques de l'eau potable et de l'assainissement en Seine-et-Marne

2016

seine-et-marne.fr  

SEINE & MARNE 
LE DÉPARTEMENT

Table des matières

Préface	3
Synthèse	4
I. Description du contexte et des enjeux	6
A. Contexte et enjeux dans le domaine de l'eau potable.....	6
B. Contexte et enjeux dans le domaine de l'assainissement	9
1) Au niveau des réseaux de collecte des eaux usées.....	9
2) Au niveau du traitement des eaux usées dans les stations d'épuration	10
II. Les coûts énergétiques dans le domaine de l'eau potable	11
A. Méthodologie de l'étude	11
1) Recueil de données et échantillonnage	11
2) Élaboration de l'analyse statistique	12
B. Exploitation des données et résultats obtenus	13
1) Identification des critères influençant la consommation énergétique.....	13
2) Mise en œuvre d'un outil de simulation de la consommation d'énergie.....	16
3) Extrapolation à l'échelle départementale et interprétation.....	18
C. Optimisation et leviers d'amélioration.....	25
1) Optimisation lors de la conception et l'exploitation du réseau.....	25
2) Optimisation grâce à l'amélioration du rendement de réseau d'eau.....	26
III. Les coûts énergétique dans le domaine de l'assainissement	29
A. Méthodologie de l'étude	29
B. Consommation énergétique pour la collecte des eaux usées.....	30
1) Exploitation des données et résultats obtenus.....	30
2) Économie d'énergie sur les réseaux.....	32
3) Énergie renouvelable des réseaux d'assainissement.....	32
C. Consommation d'énergie pour le fonctionnement des stations d'épuration	33
1) Répartition des dépenses énergétiques.....	33
2) La consommation électrique globale en quelques chiffres	35
3) La consommation électrique moyenne par âge des stations d'épuration	38
4) La consommation électrique moyenne par taille et par procédés	39
5) L'approche des causes de la surconsommation électrique	40
6) Recommandations pour l'optimisation des consommations énergétiques	42
7) Les énergies renouvelables	52

Depuis sa production jusqu'au traitement des eaux usées, en passant par sa collecte ou sa distribution, l'eau nécessite des ouvrages qui fonctionnent généralement 24h/24 - 7j/7. En conséquence, l'énergie consommée par les services d'eau et d'assainissement constitue l'un des premiers postes de consommation électrique pour les collectivités.

Du fait de la loi sur la Transition énergétique pour la croissance verte (TECV) du 17 août 2015, les EPCI de plus de 20 000 habitants ont l'obligation d'élaborer un Plan climat air énergie territorial (PCAET) avant le 31 décembre 2018. En Seine-et-Marne, cela concerne 23 Établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) sur 25 qui seront alors les coordinateurs de la transition énergétique sur leur territoire. Ces EPCI vont être amenés à développer une stratégie d'optimisation énergétique basée sur :

- la sobriété, c'est-à-dire la suppression des gaspillages et des surconsommations ;
- l'efficacité, c'est-à-dire faire la même chose (ou plus) avec moins d'énergie ;
- le recours aux énergies renouvelables et de récupération.

Au regard des consommations énergétiques des services d'eau et d'assainissement, un important travail d'efficacité énergétique doit être engagé sur ces ouvrages. Cela repose sur la réalisation de diagnostics énergétiques et la planification de mesures d'économie d'énergie adaptées.

En outre, ces ouvrages peuvent également être des sources de récupération de chaleur (sur les réseaux d'eaux usées, sur les bassins de boues activées, etc.) et contribuer à la production d'énergie locale (par la méthanisation des boues en particulier). Certains procédés peuvent par ailleurs être modifiés pour utiliser des énergies renouvelables plutôt que des énergies fossiles (par exemple, le séchage des boues par énergie solaire).

L'Observatoire de l'eau s'est donc intéressé aux coûts énergétiques liés aux infrastructures d'assainissement et de production d'eau potable. L'identification des postes de dépenses a permis de faire émerger des leviers d'amélioration qui vont conduire à l'optimisation des consommations énergétiques des systèmes d'assainissement, de traitement et de distribution d'eau potable.

Méthodologie de l'analyse dans le domaine de l'eau potable

Les données sont essentiellement issues des rapports d'activités des exploitants ou des services d'eau potable (RAD ou RPQS) sur une période allant de 2010 à 2014. Elles ont également été collectées auprès des maitres d'ouvrages, comme par exemple le Syndicat du Nord-Est. Enfin, certaines d'entre elles proviennent des bases de données établies chaque année par la Département dans le cadre de l'Observatoire départemental de l'Eau.

Une analyse statistique a été ensuite menée en définissant dans un premier temps le critère influençant le plus la consommation, puis en définissant la formule de calcul reliant le critère technique à la consommation énergétique. Enfin, un modèle de simulation des dépenses énergétiques a pu être construit.

Chiffres et données eau potable

L'outil de simulation établi grâce à l'analyse statistique a permis de réaliser des extrapolations à l'échelle départementale et d'établir les résultats suivants :

- **Consommation énergétique annuelle simulée par commune (en kWh) :** On constate une échelle de consommation très étendue, d'environ 1 000 kWh à 1 800 000 kWh consommés annuellement, ce qui s'explique par les contextes variés rencontrés en Seine-et-Marne (taille des communes, population desservies, nature des infrastructures...).
- **Coût énergétique sur une facture de 120 m³ par commune (en euros) :** Le coût énergétique varie entre 5 et 27 euros annuels, sur une facture de 120 m³.
- **Part théorique du coût énergétique dans le prix de l'eau par commune (en %) :** On constate que les coûts énergétiques varient de 1,6 % à 16,5 % de l'assiette de facturation de l'eau potable, liée à l'exploitation des réseaux d'eau potable. La part énergétique n'est donc pas prépondérante dans les coûts liés à l'eau potable.
- **Gain énergétique théorique pour un rendement de 80 % par commune (en kWh) :** On constate que ce gain peut être nul pour les communes disposant déjà d'un réseau performant, et atteint jusqu'à 135 000 kWh par an dans le cas le plus défavorable.
- **Gain économique potentiel annuel sur le budget fonctionnement de la commune (en euros) :** On constate que ce gain financier peut atteindre 20 000 euros pour les communes les plus consommatrices d'énergie, et ayant un rendement de réseau d'eau potable qui pourrait être optimisé.

Leviers d'optimisation

Des leviers techniques ont pu être trouvés pour optimiser au mieux la consommation énergétique des services communaux, notamment en travaillant sur différentes caractéristiques du réseau d'eau : son architecture (en favorisant une alimentation gravitaire), ses pompes (en adaptant au mieux le dimensionnement des pompes), le type de traitement de l'eau appliqué et le rendement de l'unité de traitement, et son exploitation (temps et horaire de pompage, remplissage optimisé des réservoirs de stockage)...

Le levier d'optimisation le plus important pour baisser la consommation énergétique reste cependant l'amélioration du **rendement de réseau** qui permet de diminuer significativement les volumes pompés.

Méthodologie de l'analyse dans le domaine de l'assainissement

Les données relatives aux stations d'épuration proviennent pour l'essentiel des résultats d'autosurveillance de l'année 2015 qui intègrent les consommations énergétiques par dispositif. Le traitement des informations porte donc sur la totalité des stations d'épurations sous maîtrise d'ouvrage publique de la Seine-et-Marne. Par contre, pour celles relatives aux ouvrages présents sur les réseaux de transport des eaux usées, les informations sont issues des Rapports annuels des délégataires (RAD), des Rapports sur le prix et la qualité des services d'assainissement (RPQS) et sur certains fichiers récapitulatifs remis par les exploitants. Deux années ont été prises (2014 et 2015) pour avoir un nombre significatif de systèmes d'assainissement. L'échantillon obtenu a été jugé comme assez représentatif pour permettre une extrapolation à l'échelle départementale.

Chiffres et données assainissement

Le fonctionnement d'un système d'assainissement type requiert naturellement de l'énergie, celle-ci étant répartie de la façon suivante :

- 7 % pour le transport des effluents, soit 5 310 MWh représentant 710 « équivalents français »;
- 82 % pour le traitement des effluents et des boues, soit 63 297 MWh représentant 8 481 « équivalents français »;
- 11 % pour l'élimination finale des boues (compostage et incinération), soit 8 735 MWh représentant 1 170 « équivalents français ».

Les ratios de consommation énergétique présentent une forte variabilité et ceci en adéquation avec la diversité de la typologie des réseaux et des systèmes de traitement des eaux usées. Ramené à l'équivalent habitant traité par les stations d'épuration situées en Seine-et-Marne, cela représente en moyenne 102 kWh. Ce ratio représente environ 1,4 % de la quantité d'énergie moyenne consommée annuellement par Français (source : bilan 2015 Réseau de Transport d'Electricité).

Ces quatre dernières années, il a été relevé une forte augmentation (+ 25 %) des besoins énergétiques liée principalement à la mise en fonctionnement de nouvelles unités d'élimination des boues (incinération principalement) et ceci malgré la mise en place de plans d'efficacité énergétique sur des stations d'épuration de grosse capacité.

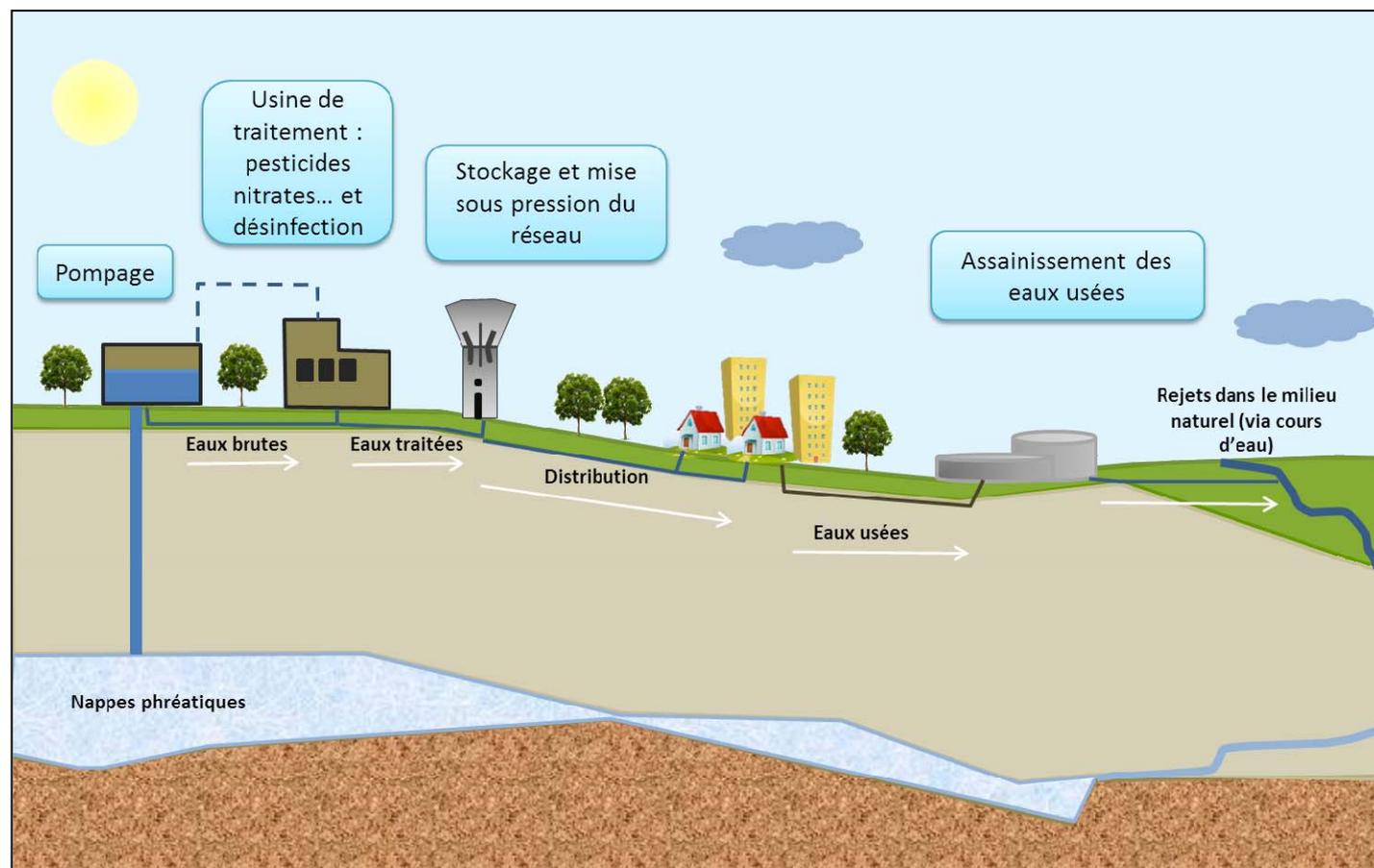
Le potentiel énergétique théorique pouvant être valorisé à partir des effluents est estimé à 200 kWh/EH. Mais, le contenu énergétique des eaux usées est difficilement mobilisable. En 2015, les dispositifs épuratoires ont eu peu recours aux énergies renouvelables (1,1 MWh soit 1,5 % de la consommation totale des stations), la plus utilisée étant celle issue du séchage solaire. A moyen terme, le développement de la méthanisation sur les sites les plus adaptés pourrait induire une production d'énergie verte (biogaz) importante et pouvant atteindre 19 % de cette consommation totale.

Les économies d'énergies sont possibles comme le montrent les actions menées sur la station d'épuration de Boissettes (-24 %) et de Saint-Thibault des Vignes (-15 %). Cela nécessite l'élaboration d'une stratégie globale à l'échelle du système d'assainissement en prenant en compte, notamment, la conception et l'exploitation des unités de traitement des effluents.

I. Description du contexte et des enjeux

A. Contexte et enjeux dans le domaine de l'eau potable

Le petit cycle de l'eau est le cycle qui permet de prélever puis d'apporter de l'eau potable aux consommateurs, avant de la rejeter, après dépollution, dans le milieu naturel.



L'eau destinée à la consommation humaine suit les étapes suivantes :

- **Etape 1 - Le captage ou le pompage de l'eau brute** : L'eau destinée à la consommation provient du milieu naturel. Elle est le plus souvent prélevée dans les nappes souterraines ou bien dans des cours d'eau. Les ressources utilisées pour l'alimentation en eau font l'objet d'une surveillance particulière afin de limiter les risques de distribution d'une eau de mauvaise qualité.
- **Etape 2 - Le transport** : Une fois prélevée, l'eau brute peut être refoulée vers une usine de traitement en cas d'eau non conforme aux normes sanitaires.
- **Etape 3 - La production et le traitement** : Une fois acheminée à l'usine, l'eau brute pompée subit des traitements physiques, chimiques et parfois biologiques. Elle est clarifiée, filtrée, et désinfectée afin d'être rendue potable.
- **Etape 4 - Le stockage et la distribution** : Rendue potable par l'usine de traitement, l'eau part dans des lieux de stockage comme les châteaux d'eau et les réservoirs. Elle peut ainsi être distribuée aux consommateurs grâce à un réseau de canalisations qui fait l'objet d'une surveillance particulière pour préserver la qualité de l'eau.

- **Etape 5 - La collecte et la dépollution** : Après usage, l'eau est récupérée grâce aux canalisations du réseau d'assainissement. Elle est ensuite conduite vers les stations d'épuration ou usines de dépollution des eaux usées pour être ensuite rendue à la nature. Les stations d'épuration dépolluent les eaux sales (domestiques, et parfois industrielles) pour éviter qu'elles dégradent les cours d'eau.

A chacune de ces étapes, des infrastructures sont nécessaires afin d'assurer un service satisfaisant pour les administrés. Ces infrastructures doivent être entretenues, et l'exploitation des réseaux d'eau potable génère des coûts qui peuvent impacter les budgets des collectivités.

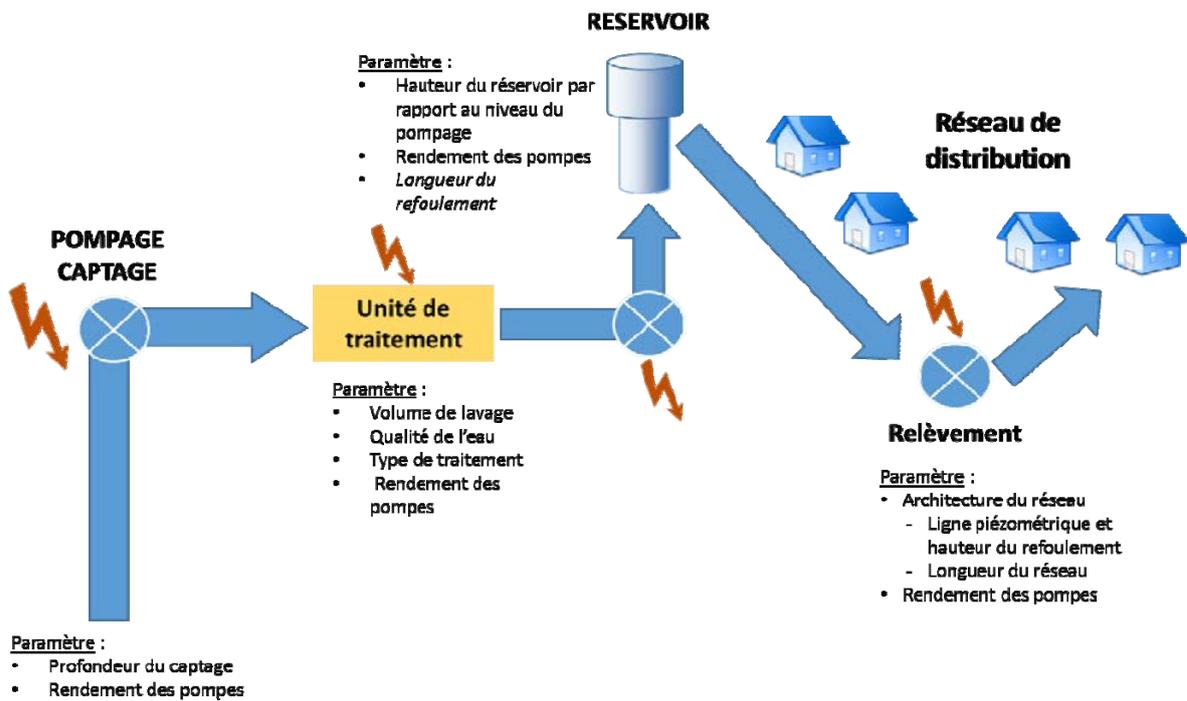
Les coûts d'exploitation sont variables, et peuvent être répertoriés de la façon suivante :

- **les frais énergétiques** : électricité le plus souvent, ou carburant pour un groupe électrogène
- **les consommables** : produits chimiques (réactif) pour le traitement de l'eau, lubrifiants pour les équipements électromécaniques, etc.
- **les frais d'entretien, de réparations et fournitures de pièces de rechange** : pour le remplacement de compteurs défectueux, pour la réparation de fuites, pour l'entretien des infrastructures (nettoyage de réservoir, purges de réseaux etc...)
- **les charges de rémunération du personnel,**
- **les charges de suivi technique et financier** (édition et envoi des factures d'eau, ...)
- **les frais d'amortissement des investissements.**

Cette étude s'intéresse plus particulièrement au premier poste des dépenses de fonctionnement, les dépenses énergétiques, en s'intéressant plus particulièrement à la part qu'elles prennent au sein des dépenses du service d'eau et d'assainissement d'une collectivité.

Les différents postes de dépenses énergétiques dans un réseau d'eau potable sont les suivants :

Les postes de dépenses énergétique sur un réseau de distribution d'eau potable



Dans tous les cas, les dépenses énergétiques sont avant tout liées au volume d'eau fourni aux usagers. Cependant, d'autres paramètres peuvent également influencer le poste de dépenses, selon l'étape de la production d'eau :

- **Le captage :** Le captage d'eau se fait le plus souvent par un pompage directement dans la nappe exploitée. La dépense énergétique sera plus importante en fonction de la profondeur du captage.
- **Le traitement :** Les usines de traitement sont également composées de pompages pour alimenter les différents ouvrages spécifiques de traitement (filtres, clarificateur etc...). Les dépenses énergétiques seront plus importantes en fonction de la complexité du traitement appliqué sur l'eau brute. La qualité des eaux brutes est donc un facteur indirect de dépenses énergétiques. En effet, selon le procédé de traitement, la consommation énergétique peut être multipliée par un facteur 10 (traitement classique versus ultrafiltration membranaire). Cependant, le traitement pour la production d'eau potable est relativement peu consommateur d'énergie.
- **L'alimentation des châteaux d'eau :** Afin de distribuer de l'eau potable sous une pression suffisante, l'eau transite par des châteaux d'eau afin de remonter la ligne piézométrique et alimenter un maximum d'usager en mode gravitaire. Selon la topographie du réseau de distribution, le château d'eau devra être plus ou moins élevé, ce qui conditionnera le type de pompe à mettre en place, et par rebond, les dépenses énergétiques liées.
- **Les pompages sur la distribution :** Du fait de la topographie du terrain, certaines parties du réseau doivent être alimentées grâce à des pompes de relevage. L'architecture du réseau (longueur, la topographie, etc...) conditionneront le nombre de pompes à mettre en place, et les dépenses qui en découlent.

B. Contexte et enjeux dans le domaine de l'assainissement

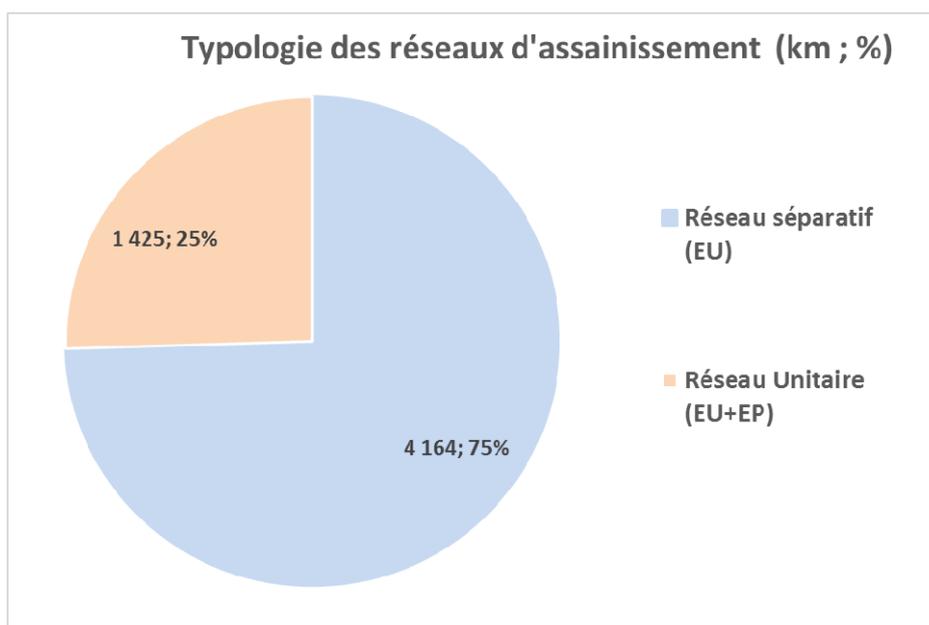
1) Au niveau des réseaux de collecte des eaux usées



Poste de relèvement situé sur la commune de Melun (CAMVS)

Le réseau de collecte est équipé de différents ouvrages et équipements électriques nécessaires à son fonctionnement tels que les pompes de relevage, essentiellement au niveau des postes de relèvement ou de refoulement. Les autres équipements de type dégrilleurs, hydroéjecteurs (bassins d'orage), surpresseurs pour le traitement de l'hydrogène sulfuré (H_2S) sont plus minoritaires.

Les réseaux de collecte sont surtout de type **séparatif** (réseau ne collectant que les eaux usées). Sur le département, ils représentent 75 % du linéaire global estimé à environ 5 600 km de réseaux gravitaires. La séparation des eaux usées et des eaux pluviales est systématique dans les nouvelles zones urbanisées, les eaux pluviales ayant pour vocation à être infiltrées au plus près du lieu de production. Les programmes de réhabilitation des réseaux peuvent aussi intégrer des travaux de mise en séparatif pour réduire les volumes traités sur les dispositifs.



Le linéaire de réseau ramené à l'habitant varie en fonction de la densité du bâti, la moyenne étant de 7,3 ml/EH traité pour la Seine-et-Marne.

2) Au niveau du traitement des eaux usées dans les stations d'épuration



Station de Rouvres (1100 EH)

La consommation d'énergie est un impact indirect de l'assainissement sur l'environnement après les eaux rejetées et les boues d'épuration.

Les contraintes de plus en plus sévères sur la qualité des rejets tendent à augmenter les dépenses énergétiques des traitements, notamment avec les procédés membranaires. Actuellement, la majorité des stations d'épuration utilisent un traitement par boues activées, pour lequel l'aération des bassins est l'une des clés de la qualité du traitement, mais aussi le principal poste de dépense énergétique de la station (entre 40 et 80 % de la consommation totale).

Une station d'épuration récente de taille moyenne est composée, en principe, de trois files, plus ou moins développées en fonction des objectifs fixés :

- **File « eau »** qui assure le traitement des eaux (prétraitements, bassin d'aération et clarificateur) ;
- **File « boue »** pour concentrer et déshydrater les boues qui sortent de la file « eau » sous forme liquide, des processus complémentaires pouvant être mis en place (chaulage, séchage, compostage) en fonction de la destination finale retenue pour le produit;
- **File « air »** pour maîtriser les nuisances olfactives pouvant être générées par les différentes étapes de l'épuration. Contrairement aux années passées, même sur des sites sans contrainte de voisinage, l'air vicié le plus chargé en pollution odorante est capté et traité sur filtre à charbon actif.

II. Les coûts énergétiques dans le domaine de l'eau potable

A. Méthodologie de l'étude

1) Recueil de données et échantillonnage

Source de données

Les données sont essentiellement issues des rapports d'activités des exploitants ou des services d'eau potable (RAD ou RPQS) sur une période allant de 2010 à 2014. Elles ont également été collectées auprès des maîtres d'ouvrages, comme par exemple le Syndicat du Nord-Est. Enfin, certaines d'entre elles proviennent des bases de données établies chaque année par le Département dans le cadre de l'Observatoire départemental de l'Eau.

Nature des données recueillies

L'objectif était de recueillir une consommation électrique, la plus détaillée possible, pour chaque unité de distribution (UD) qui peut se définir par une ressource (forage, interconnexion, captage...), une unité de traitement le cas échéant, un réseau de distribution avec ou non des postes de surpression.

Ainsi, pour constituer la base de données, aux consommations énergétiques recueillies ont été associées : les données de rendement, de prix de l'eau, de consommation d'eau, de production d'eau.

Description de l'échantillon

Échantillon	Nombre de dossiers examinés	200
	Nombre de dossiers retenus	150
	Taux de refus	25 %
Indicateur technique	Indicateur	Volume pompé (en m ³ /jour)
	Indicateur : valeur minimum	11 m ³ /jour
	Indicateur : valeur maximum	3 919 m ³ /jour
Coûts énergétiques	Montant mini	3,8 €
	Montant maxi	1 746 €
	Médiane	89 €
	Moyenne	201 €

L'échantillon comprend 150 dossiers retenus. Le taux de refus est de 25 %, ce qui est satisfaisant.

Les coûts énergétiques s'échelonnent entre 4 et 1 700 euros par an.

On constate que la médiane est assez éloignée de la moyenne, ce qui indique que la répartition des montants n'est pas complètement symétrique autour de la valeur moyenne (présence de montants particuliers qui pourraient « tirer » la moyenne vers le haut ou vers le bas).

Au vu de ces éléments, on peut considérer l'échantillon représentatif et ainsi exploiter statistiquement les données pour une analyse et extrapolation à l'échelle départementale.

2) Élaboration de l'analyse statistique

Détermination du critère qui influence le plus la consommation

Afin de procéder à une analyse statistique simple, différents critères ont été étudiés afin de mettre en évidence celui qui influence de manière la plus significative la consommation énergétique du réseau d'eau potable.

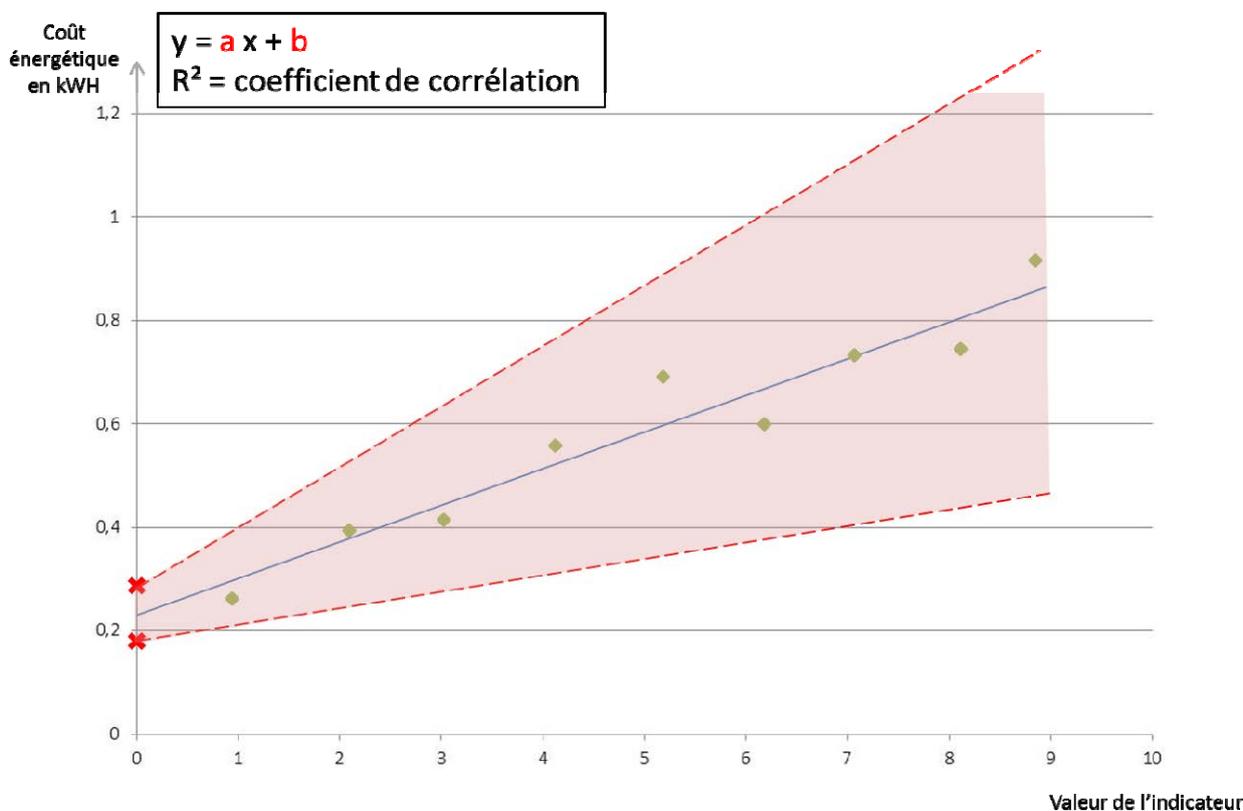
Définition de la formule de calcul reliant le critère technique à la consommation énergétique

L'analyse statistique des données permet ainsi de déterminer une corrélation entre la valeur de l'indicateur technique et la dépense énergétique et ainsi obtenir une formule mathématique, pouvant être représentée graphiquement par une courbe, permettant de faire ce lien.

Dans la plupart des cas, cette courbe de tendance est une régression linéaire, sous la forme « $y = a.x + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables. Le modèle de régression linéaire est utilisé pour chercher à prédire un phénomène et pour chercher à l'expliquer. Pour chaque courbe, un coefficient de corrélation est calculé (R^2) permettant de juger de la qualité de cette corrélation : plus R^2 est proche de 1 plus la relation entre le coût et la variable technique est forte.

Graphiquement, le coefficient « a » est le coefficient directeur de la droite, autrement dit sa pente. Le coefficient « b » est l'ordonnée à l'origine, c'est-à-dire la dépense énergétique lorsque l'indicateur technique choisi est égal à zéro.

S'agissant d'une simulation, il existe inévitablement une marge d'erreur qui s'applique sur les coefficients « a » et « b ». Cette variation a été calculée statistiquement et se traduit par une valeur « d'erreur type » qui peut se schématiser sous la forme graphique ci-après.



La formule de calcul finale obtenue sera de la forme suivante :

$$Y = a (+ \text{ou} - \text{erreur-type sur } a).X + b (+\text{ou} - \text{erreur-type sur } b)$$

Avec Y = prix et X = valeur de l'indicateur technique

L'objectif est de déterminer, pour une valeur donnée de l'indicateur, une **fourchette de consommation énergétique** la plus proche de la réalité possible, tout en laissant une marge d'erreur suffisante.

Afin d'obtenir une telle fourchette, on se place donc dans les deux cas les plus extrêmes :

Estimation basse : $Y = (a - \text{erreur-type sur } a).X + (b - \text{erreur type sur } b)$

Estimation haute : $Y = (a + \text{erreur-type sur } a).X + (b + \text{erreur type sur } b)$

Construction d'un modèle de simulation des dépenses énergétiques

L'analyse statistique permet ensuite de mettre en place un outil de simulation des dépenses énergétiques en fonction du critère technique le plus significatif.

B. Exploitation des données et résultats obtenus

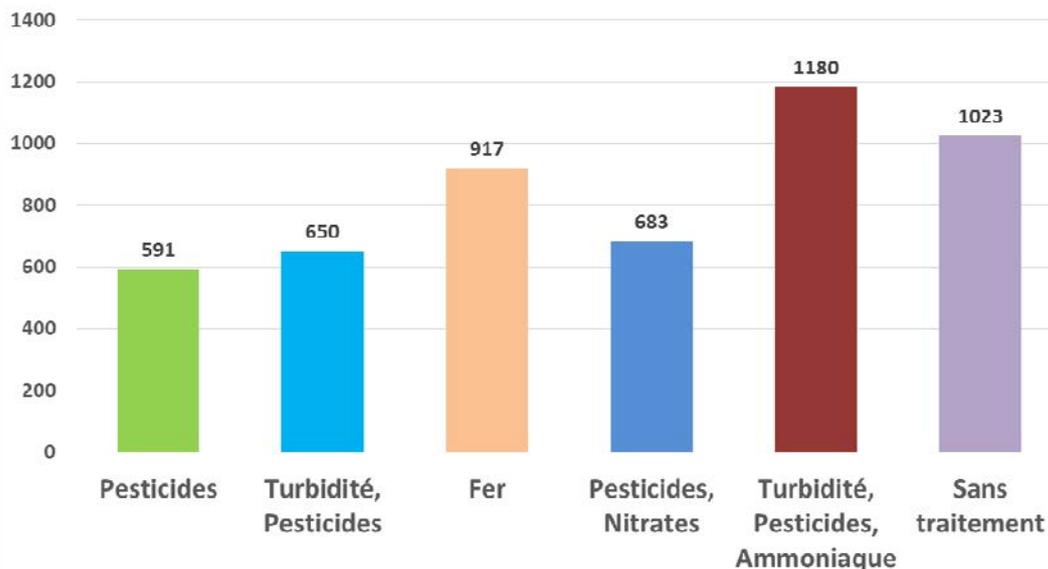
1) Identification des critères influençant la consommation énergétique

Différents critères techniques ont été identifiés comme pouvant influencer les dépenses énergétiques sur un réseau d'eau potable. Ils sont répertoriés de manière non exhaustive dans la liste ci-dessous :

- **Volume pompé pour alimenter la collectivité :** Pour ce critère, les données ont été acquises et sont directement exploitables.
- **Profondeur du captage, en fonction du type de ressource captée :** Pour ce critère, les données ne sont pas suffisamment précises, l'aquifère prélevé n'indiquant pas la profondeur réelle du captage.
- **Typologie du réseau AEP (longueur, topographie, surpression réseau...):** Pour ces critères, quelles que soient les caractéristiques du réseau, le seul élément déterminant réside dans les volumes refoulés ou surpressés, soit pour alimenter le château d'eau depuis le forage, le reste étant en gravitaire, soit ponctuellement sur le réseau.
- **Présence de traitement de l'eau ou non et type de traitement en fonction de la qualité des eaux brutes :** Pour ce critère, les éléments sont connus. En revanche, les unités de traitement sont souvent si proches du captage que les pompes de celui-ci alimentent l'usine gravitairement. Il arrive également qu'il soit impossible de dissocier l'énergie nécessaire au pompage de celle nécessaire au traitement, du fait de la présence d'un seul compteur électrique pour l'ensemble de l'usine.
- **Temps de pompage :** Pour ce critère, les données ont été acquises et sont directement exploitables.

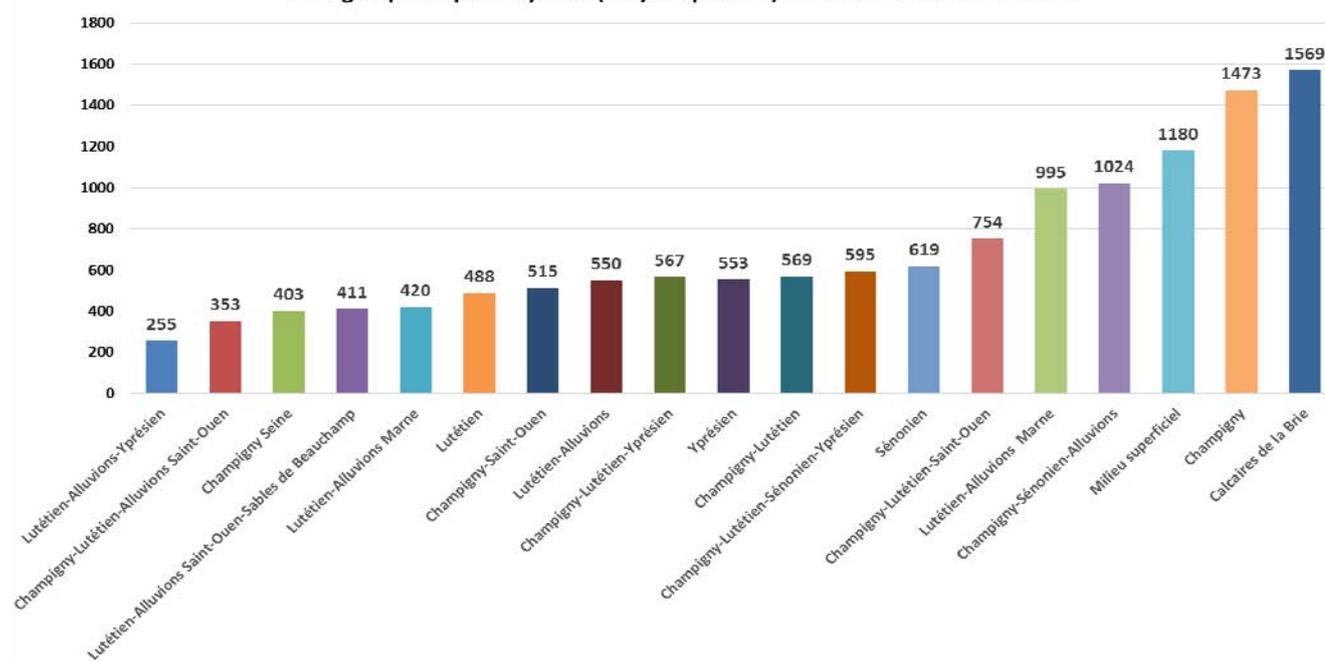
Pour les différents critères, des analyses graphiques et statistiques ont été réalisées pour déterminer et si possible pondérer les différents critères sur les coûts énergétiques générés. Pour les critères où les données ont pu être exploitées, un graphique de répartition a été réalisé.

Énergie spécifique moyenne (Wh/m³ produit) par unité de traitement



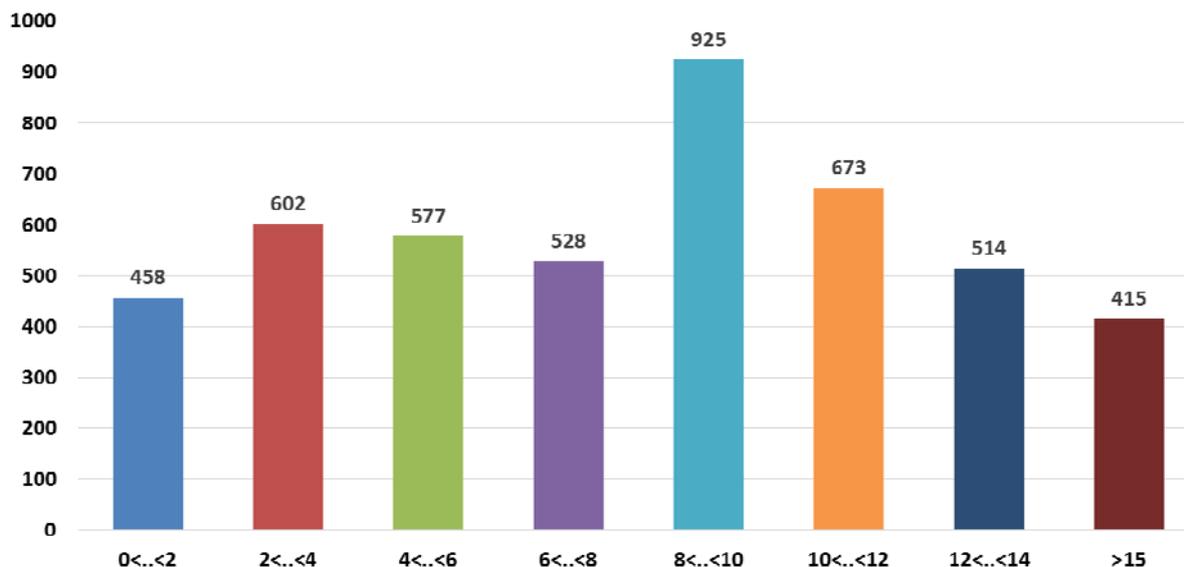
Dans l'étude de l'énergie spécifique en fonction du type de traitement, on constate une incohérence des données puisque, sans traitement, le m³ d'eau produite est plus cher que les volumes qui subissent un traitement. D'autres paramètres entrent donc en jeu, et ils ont probablement un impact plus important sur la consommation énergétique du réseau.

Énergie spécifique moyenne (Wh/m³ produit) en fonction de la ressource



Comme indiqué plus haut, seul l'aquifère capté a pu être recensé, mais la profondeur réelle du captage n'est pas connue. On constate également une incohérence, puisque les coûts énergétiques sont les plus importants pour les ressources captant dans les calcaires de la Brie, alors que c'est la nappe la plus superficielle. Par conséquent, la profondeur du captage n'apparaît pas être un bon indicateur expliquant la variation du coût énergétique. Il ne sera donc pas retenu pour l'analyse statistique.

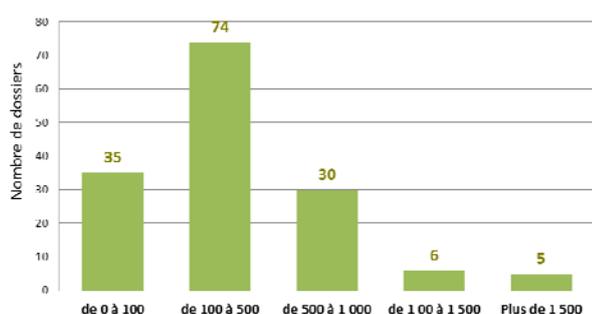
Énergie spécifique moyenne (Wh/m³) en fonction du temps (h/j) de fonctionnement des pompes



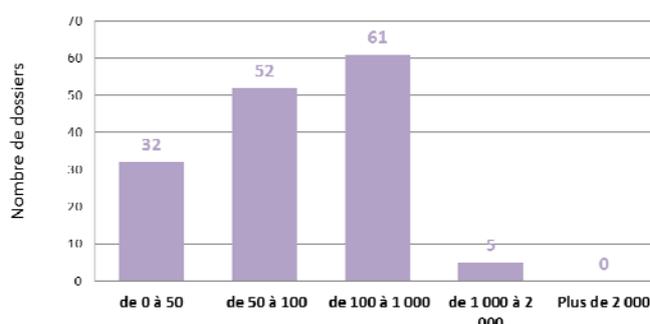
Lorsque l'on étudie la répartition de l'énergie spécifique en fonction du temps de fonctionnement des pompes, aucune tendance nette ne se dégage. En effet, les caractéristiques des pompes sont également à prendre en compte : rendement, âge, etc... Il est donc difficile de prendre ce critère pour l'analyse statistique.

Il est apparu que seul le volume total pompé peut être exploité et comparé d'une unité de distribution à l'autre. Du fait des cycles de pompage, le pas de temps utilisé sera le mètre cube (m³) moyen produit par jour.

Repartition des dossiers échantillonnés en fonction des classes de consommation



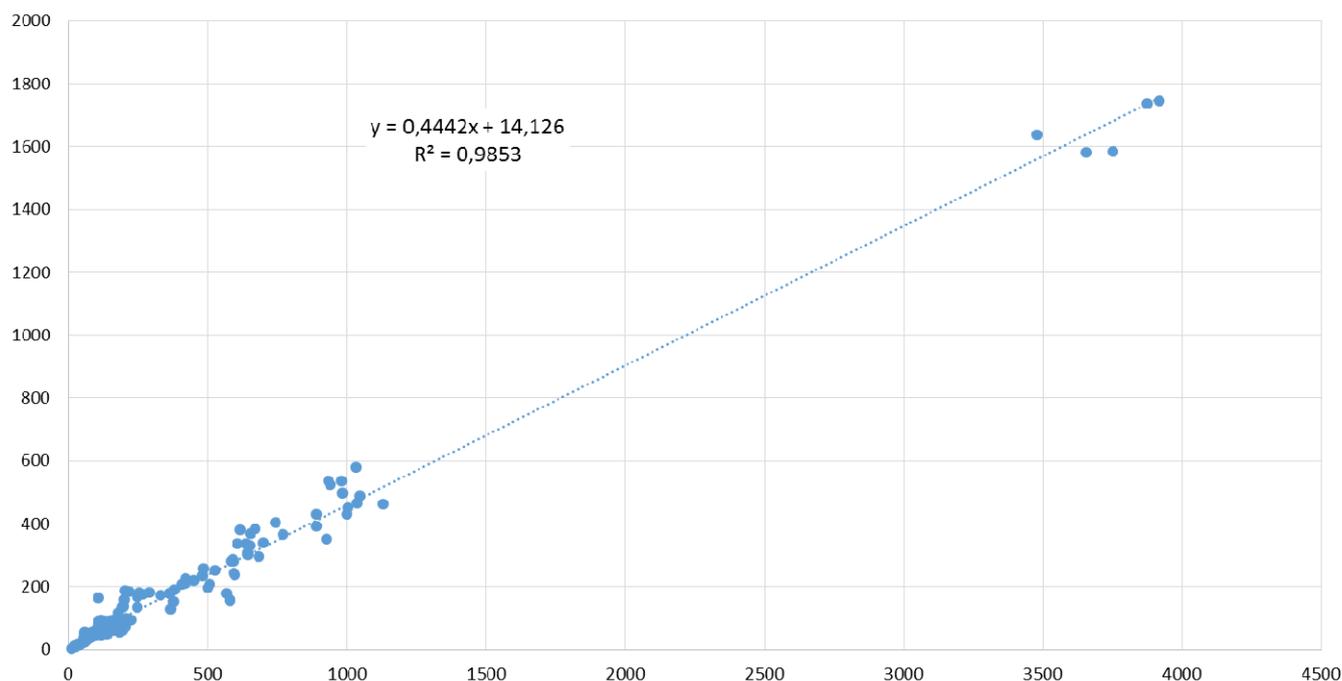
Repartition des dossiers échantillonnés en fonction des classes de coûts



Le volume pompé en m³/jour a été identifiée comme l'indicateur principal influençant le coût énergétique global. De par la distribution du nombre de dossiers en fonction soit des coûts énergétiques, soit du volume pompé journalier, les tendances sont relativement proches. Il semble donc qu'il y ait une bonne cohérence entre l'indicateur technique choisi et les coûts observés.

2) Mise en œuvre d'un outil de simulation de la consommation d'énergie

Consommation énergétique (en kWh) en fonction du volume pompé journalier (en m³/jour)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient un coefficient de corrélation R^2 de 0,98, ce qui montre une **relation directe très forte entre le volume pompé et l'énergie dépensée**. Statistiquement et en analysant le nuage de point, on ne constate aucune influence significative des autres paramètres sur la dépense énergétique : profondeur, présence ou non d'unité de traitement, longueur du refoulement...

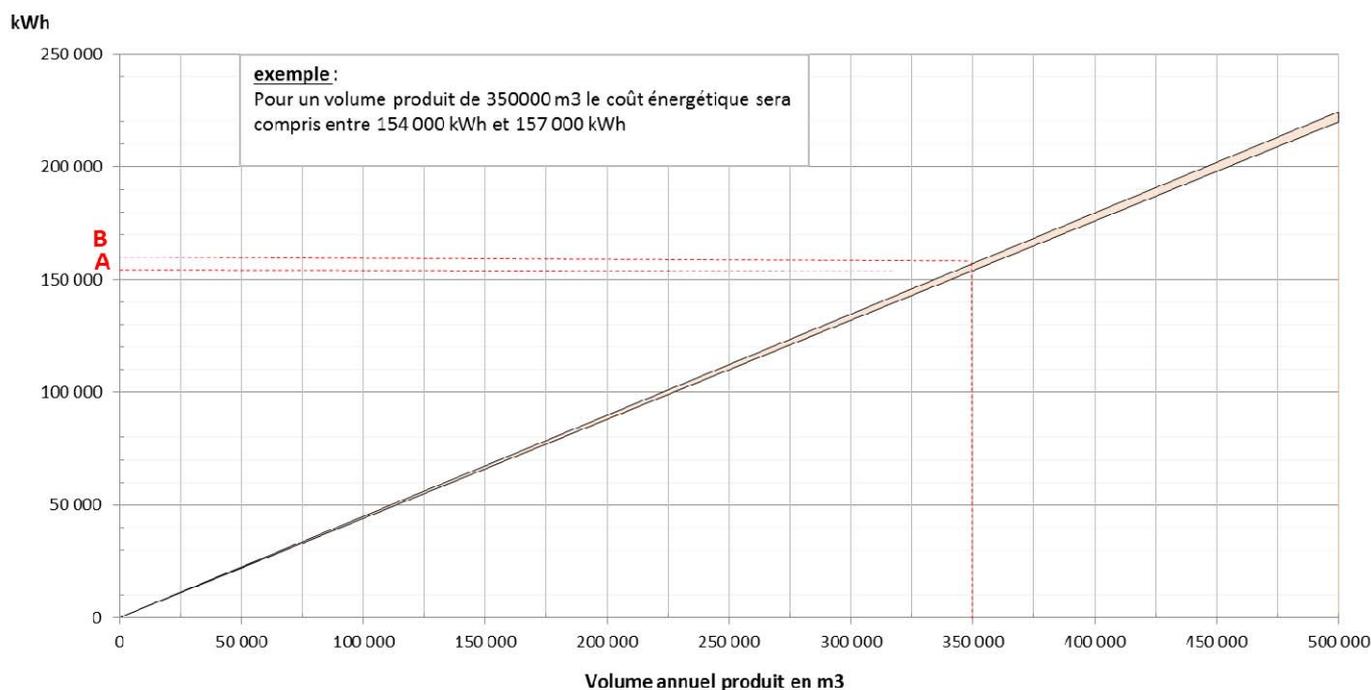
Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les dépenses énergétiques d'un réseau d'eau potable en fonction du volume pompé et ce quels que soient les autres caractéristiques du système d'alimentation en eau potable.

On obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Consommation énergétique théorique = 0,444 (+ ou - 0,0045) x volume pompé + 14,13 (+ ou - 3,5)
Formule estimation haute	(0,444 + 0,0045) x volume pompé + (14,13 + 3,5)
Formule estimation basse	(0,444 - 0,0045) x volume pompé + (14,13 - 3,5)
Variable technique	Volume pompé (en m ³ /jour)

Le graphe de simulation suivant visualise la simulation des coûts énergétiques, en prenant en compte l'erreur-type permettant d'obtenir une fourchette de valeurs intégrant les incertitudes statistiques.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE EN FONCTION DU VOLUME PRODUIT



A titre d'exemple, pour un volume produit de 350 000 m³, le coût énergétique serait compris entre 154 000 kWh et 157 000 kWh.

Rentrer le volume produit	350 000 m³		
Estimation haute	<i>157 060 kWh</i>	<i>arrondie à</i>	<i>157 000 kWh</i>
Estimation basse	<i>153 931 kWh</i>	<i>arrondie à</i>	<i>154 000 kWh</i>
La consommation énergétique sera comprise entre	154 000 kWh	et	157 000 kWh

3) Extrapolation à l'échelle départementale et interprétation

L'outil de simulation établi grâce à l'analyse statistique a permis de réaliser des extrapolations à l'échelle départementale sur les consommations énergétiques théoriques de chaque commune.

Dans un second temps, il a ensuite été possible de simuler les coûts théoriques liés à la consommation énergétique pour un volume d'eau consommé de 120 m³ (équivalent à la consommation en eau annuelle d'un ménage), de déterminer la part des coûts énergétiques sur une facture d'eau et enfin de déterminer quels pourraient être les gains énergétiques et financiers si les communes optimisaient au maximum leurs dépenses énergétiques.

Ces résultats sont synthétisés sous forme cartographique et sont présentés ci-dessous.

Carte 1 : Consommation énergétique annuelle simulée par commune (en kWh)

La consommation énergétique à l'échelle de la commune a pu être établie grâce à la formule de régression linéaire déterminée précédemment. Ces valeurs restent une extrapolation, directement liée au volume mis en distribution par chaque commune. De fait, cette exploitation met en évidence une consommation énergétique théorique, ne correspondant pas exactement à la réalité des communes qui par exemple achètent de l'eau à d'autres collectivités et de fait n'ont pas de pompages sur leur territoire. Pour autant, cette extrapolation permet d'avoir une idée, en fonction des volumes mis en distribution sur l'ensemble du département, des consommations énergétiques en jeu.

On constate une échelle de consommation très étendue, d'environ 1 000 kWh à 1 800 000 kWh consommés annuellement, ce qui s'explique par les contextes variés rencontrés en Seine-et-Marne (taille des communes, population desservies, nature des infrastructures...).

Carte 2 : Coût énergétique sur une facture de 120 m³ par commune (en euros)

Le coût énergétique a été déduit de la carte précédente, en appliquant aux consommations énergétiques le prix moyen du kWh constaté, ramené sur l'assiette du volume consommé à la commune et rapporté à une consommation annuelle de 120 m³ (équivalente à la consommation annuelle d'un ménage).

Le coût énergétique varie entre 5 et 27 euros annuels, sur une facture de 120 m³.

Carte 3 : Part théorique du coût énergétique dans le prix de l'eau par commune (en %)

Des résultats précédents a été déduit la part théorique du coût énergétique dans le prix de l'eau, ramené à chaque commune, pour visualiser la place que prennent les coûts liés à l'énergie dans l'ensemble des montants facturés pour financer l'exploitation des réseaux d'eau potable.

On constate que les coûts énergétiques varient de 1,6 % à 16,5 % de l'assiette de facturation de l'eau potable, liée à l'exploitation des réseaux d'eau potable. La part énergétique n'est donc pas prépondérante dans les coûts liés à l'eau potable.

Carte 4 : Gain énergétique théorique pour un rendement de 80 % par commune (en kWh)

La quatrième carte présente le gain énergétique qui pourrait être envisagé si toutes les communes seine-et-marnaises affichaient un rendement minimum de 80 %. Cette carte a été réalisée à partir du volume économisable déterminé lors de l'étude des performances des réseaux sur les données de 2014, et permet de quantifier l'énergie qui pourrait être économisée si l'ensemble des réseaux de distribution d'eau potable était performant.

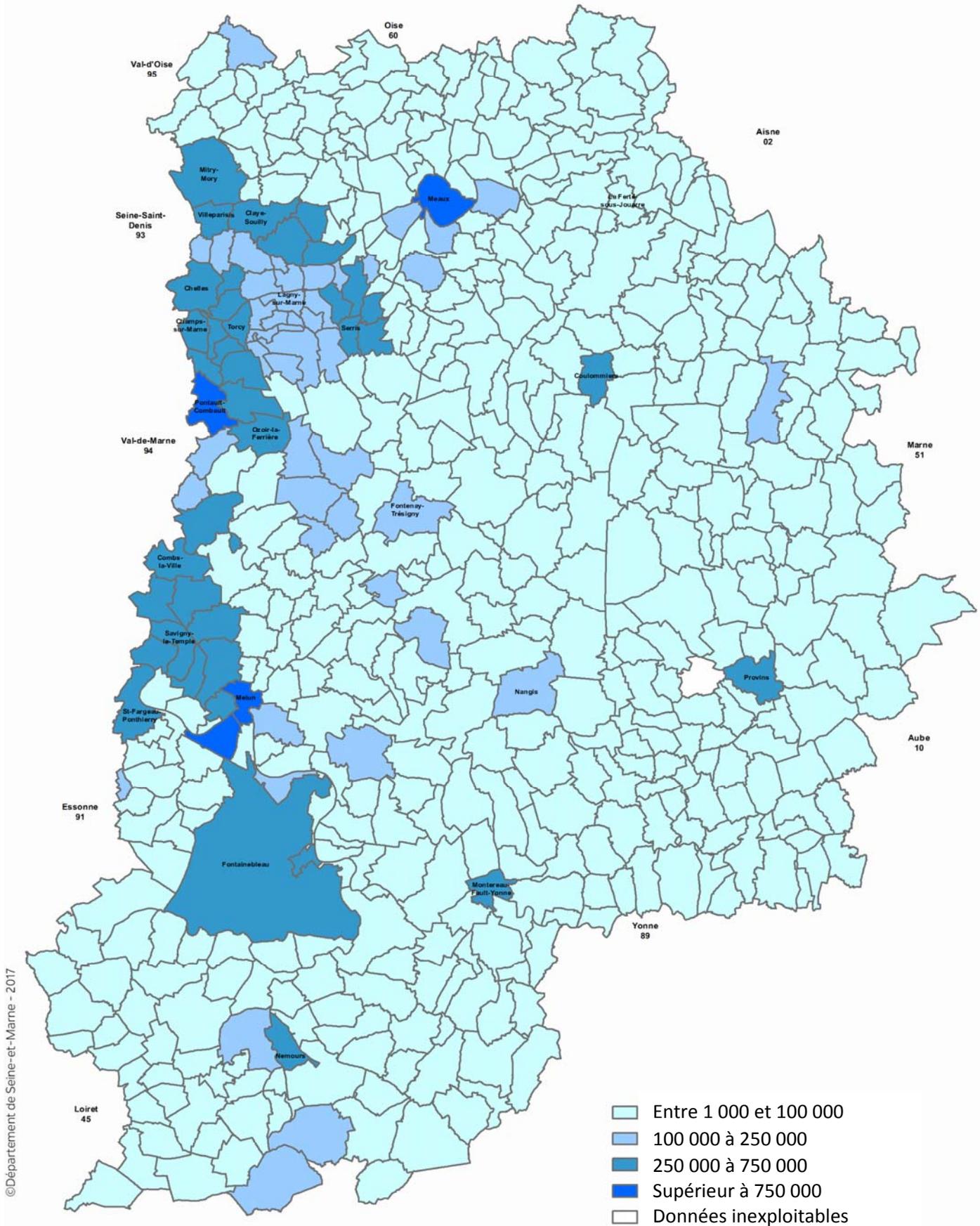
On constate que ce gain peut être nul pour les communes disposant déjà d'un réseau performant, et atteint jusqu'à 135 000 kWh par an dans le cas le plus défavorable.

Carte 5 : Gain économique potentiel annuel sur le budget fonctionnement de la commune (en euros)

La cinquième carte est liée à la précédente, et fait correspondre le gain énergétique au gain financier annuel que pourrait espérer une commune sur l'ensemble de ses dépenses. Il a été déterminé grâce à la tarification de l'eau établie à la commune dans le cadre des rapports de l'Observatoire de l'eau.

On constate que ce gain financier peut atteindre 20 000 euros pour les communes les plus consommatrices d'énergie, et ayant un rendement de réseau d'eau potable qui pourrait être optimisé.

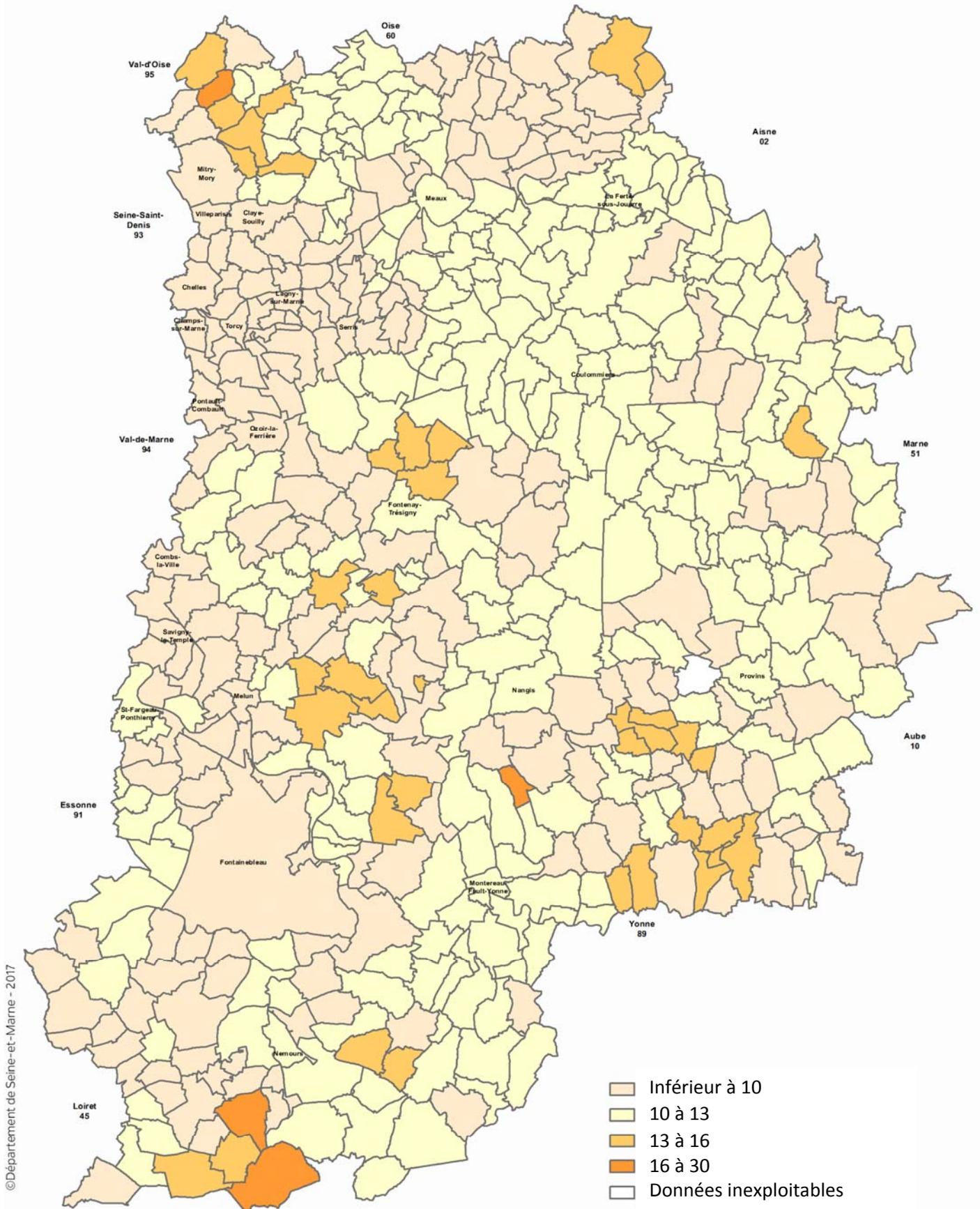
Consommation énergétique annuelle simulée par commune (en kWh)



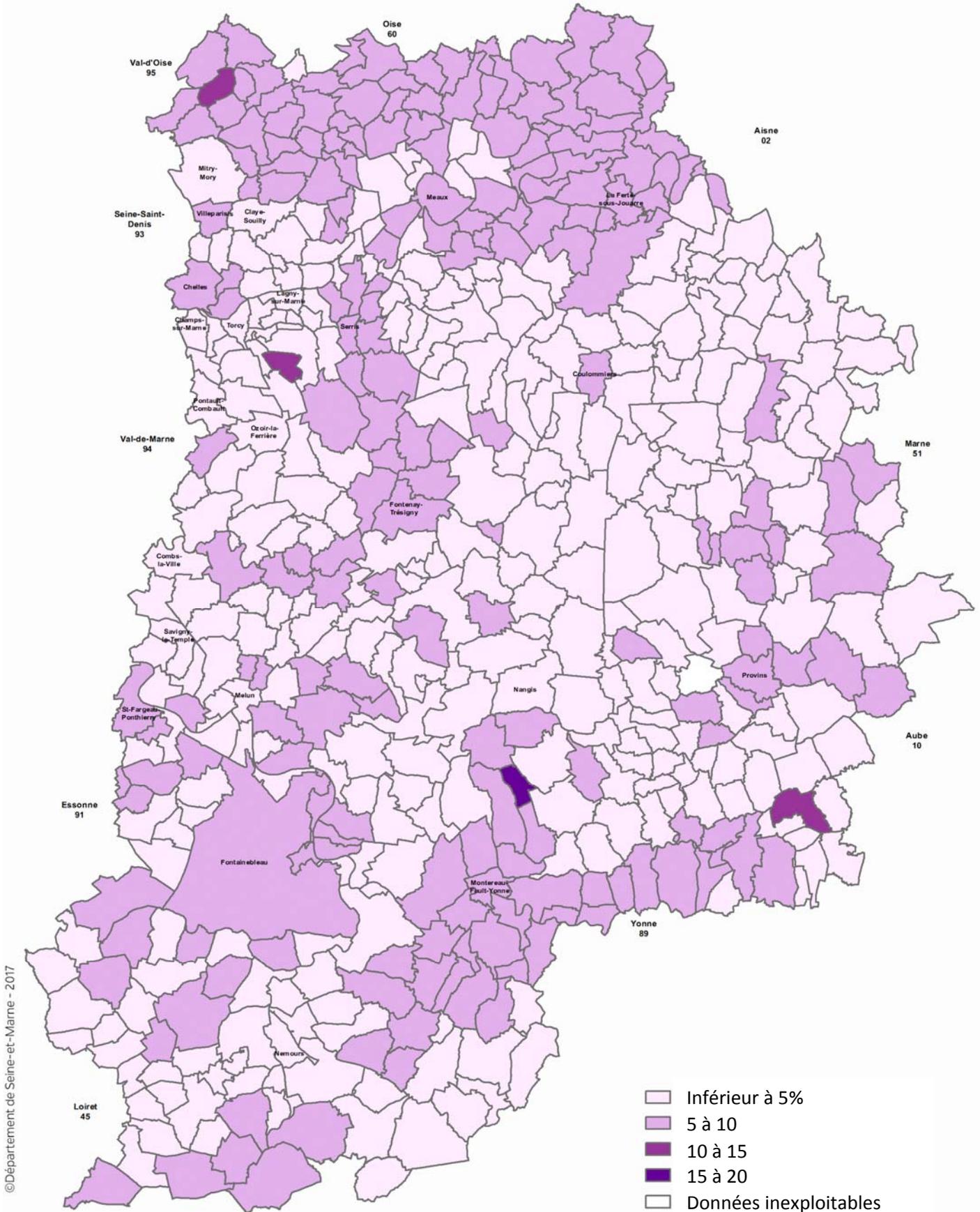
Cartographie : Département de Seine-et-Marne - 2017
Sources : Département de Seine-et-Marne - SIG -



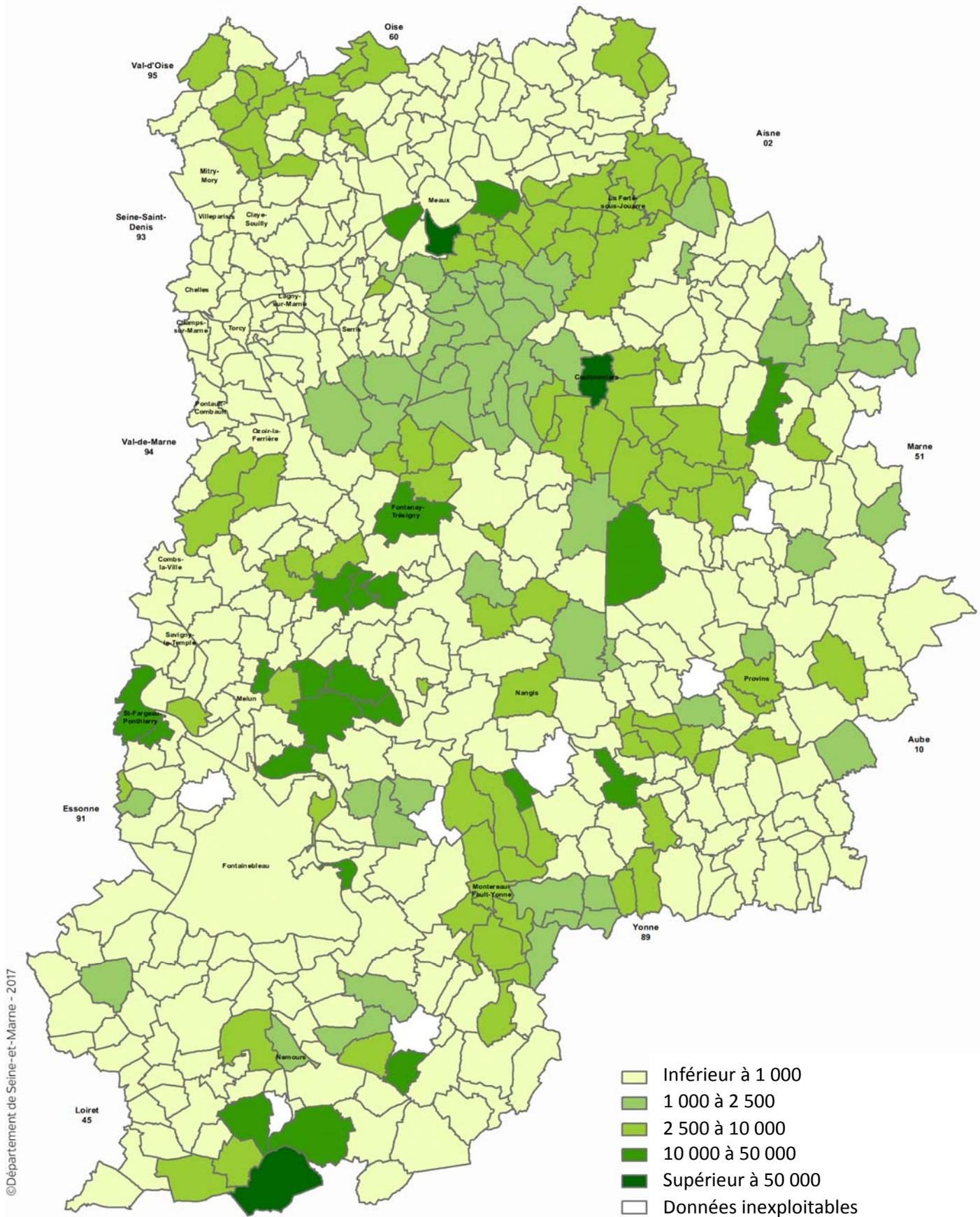
Coût énergétique sur une facture de 120 m³ par commune (en euros)



Part théorique du coût énergétique dans le prix de l'eau par commune (en %)



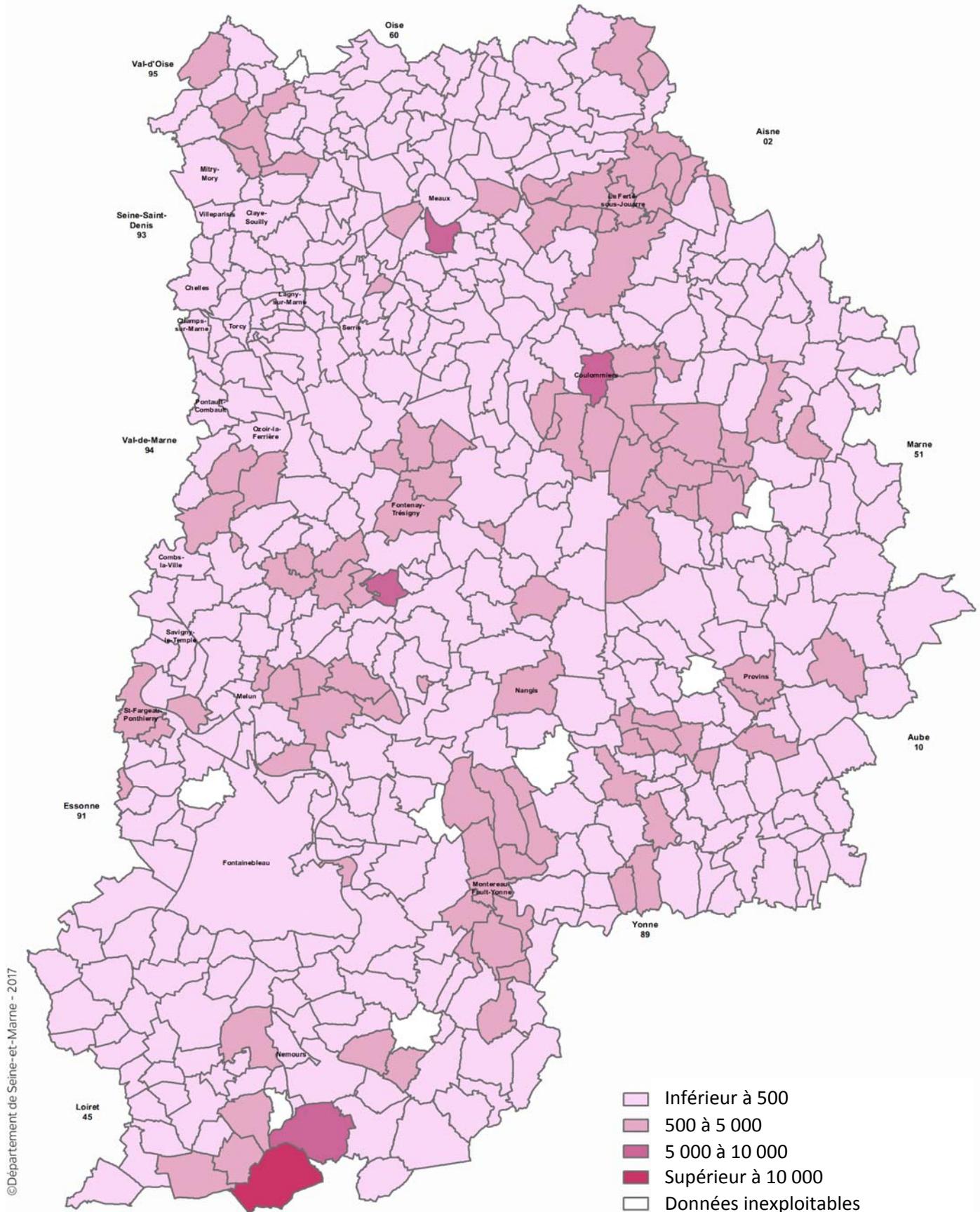
Gain énergétique théorique pour un rendement de 80 % par commune (en kWh)



Cartographie : Département de Seine-et-Marne - 2017
Sources : Département de Seine-et-Marne - SIG -



Gain économique potentiel annuel sur le budget de fonctionnement de la commune (en euros)



- Inférieur à 500
- 500 à 5 000
- 5 000 à 10 000
- Supérieur à 10 000
- Données inexploitable

C. Optimisation et leviers d'amélioration

1) Optimisation lors de la conception et l'exploitation du réseau

Architecture du réseau

Il est important de se préoccuper de la consommation d'énergie dès la conception des réseaux d'eau potable, même si la marge de manœuvre peut s'avérer limitée d'un point de vue technique (adaptation aux conditions topographiques pour fournir une eau sous pression suffisante aux usagers). Il faut donc favoriser dans la mesure du possible un réseau de distribution en gravitaire.

En effet, l'optimisation de la ligne piézométrique permet d'optimiser la mise en place de pompage et ainsi réduire les coûts inhérents à la surpression.

Pompages

Il faut également choisir des pompes dont le dimensionnement est le mieux adapté au contexte, et dont le rendement est optimal pour correspondre aux besoins de pompage. En effet, une pompe mal dimensionnée ou mal réglée peut entraîner une surconsommation énergétique. Le dimensionnement des pompes devra prendre en compte les temps de pompage les plus adaptés, ainsi que jouer sur les heures de pompages. Réduire le débit de pompage permet également de réduire les pertes de charges.

Traitement de l'eau

Le traitement de l'eau potable est relativement peu consommateur d'énergie. D'un point de vue fonctionnel, ce sont principalement les pompages, en amont et en aval de la station qui consomment le plus, plutôt que les équipements de traitement. Comme pour la conception du réseau, ces dépenses sont optimisables par l'implantation de l'unité de potabilisation et des équipements pour minimiser les coûts associés aux refoulements.

Concernant la part du traitement à proprement parler, les besoins en énergies peuvent passer de 20-30 Wh/m³, pour des traitements classiques, à 200 Wh/m³ pour un traitement par ultrafiltration membranaire (*source Suez-Degrémont*). Le choix du procédé de traitement n'est donc pas transparent dans les coûts énergétiques associés. De même, l'optimisation du rendement de l'installation (diminution des pertes en eau liées au lavage et non recyclées) permet in fine de limiter la consommation énergétique globale. Cet aspect peut entrer dans les critères de choix pour des installations complexes traitant plusieurs paramètres déclassants.

Pour aller plus loin, des technologies comme les variateurs de vitesse peuvent être pris en considération, afin d'éviter le dimensionnement des équipements uniquement dans le cas le plus défavorable, qui est défini pour correspondre aux besoins de pointe et non aux besoins moyens, ce qui engendre un surdimensionnement des infrastructures et un fonctionnement sur-consommateur.

Exploitation de réseau

De même que pour les temps de pompages, la logique de l'exploitation de réseau peut rationaliser les dépenses énergétiques. Par exemple, les remplissages de réservoir habituellement déclenchés lorsque le niveau bas est atteint, quel que soit le moment de la journée, pourraient être modulés pour favoriser un remplissage pendant les heures creuses de facturation (mise en place de deux niveau bas, choisis selon l'heure de la journée, avec une baisse de niveau plus importante aux heures pleines, et un maintien du niveau haut lors des heures creuses).

2) Optimisation grâce à l'amélioration du rendement de réseau d'eau

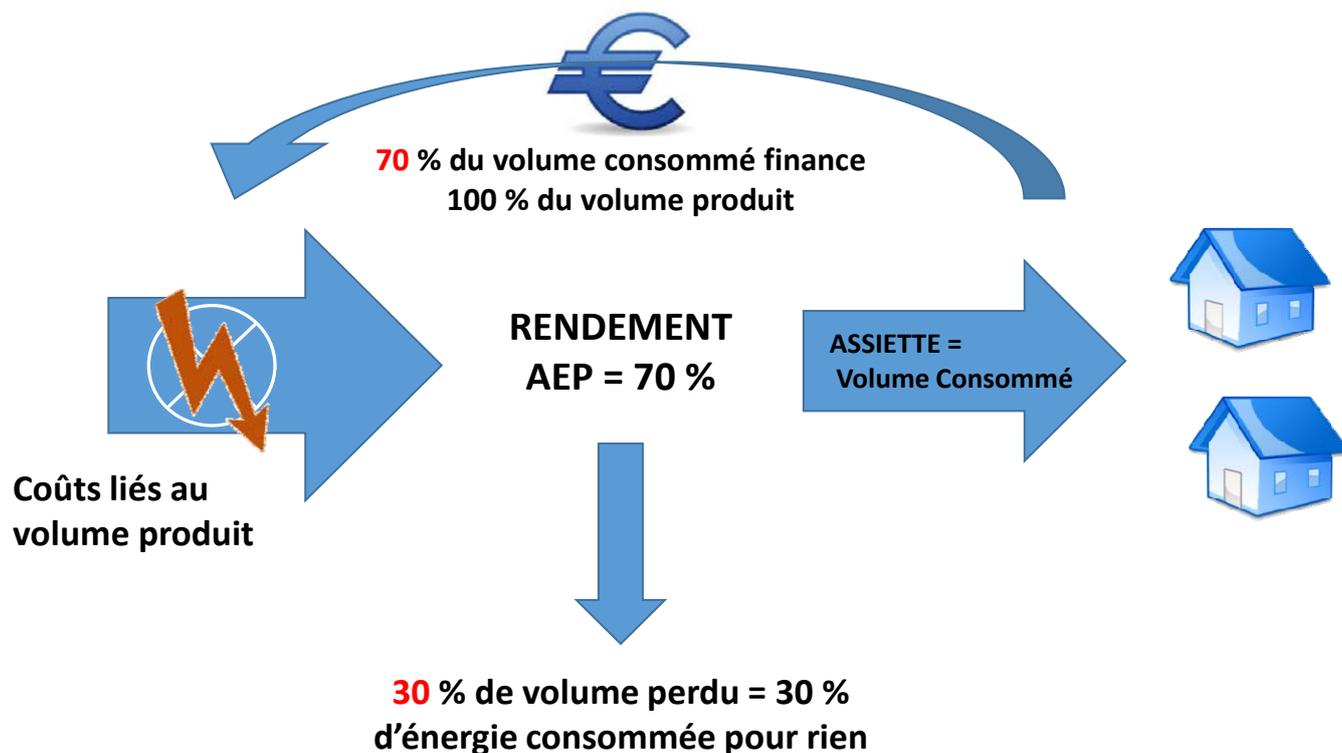
Le principal levier d'optimisation pour réduire les coûts énergétiques sur un réseau d'eau potable reste de réduire au maximum le volume pompé, prélevé dans la ressource.

Au-delà des baisses de consommation, **l'amélioration du rendement de réseau d'eau potable** est un facteur déterminant dans la baisse des prélèvements sur la ressource en eau, et de fait sur les volumes pompés. Chaque mètre cube d'eau produit consomme de l'énergie, dont une partie se perd dans les fuites de réseau.

L'amélioration des performances des réseaux d'eau potable est donc un levier sur lequel les communes peuvent agir et dont elles pourraient directement bénéficier. En effet, comme le montre le schéma suivant, les surcoûts liés aux pertes sur réseau sont financés par la même assiette de facturation. Pour atteindre l'équilibre, le prix de l'eau est directement impacté, et de fait les usagers.

Impact du rendement sur la consommation énergétique et sur le prix de l'eau au m³

Exemple pour un rendement à 70 %

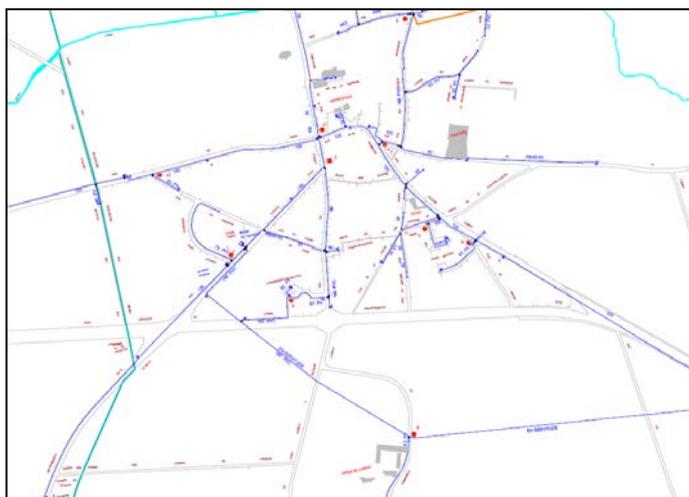


Pour améliorer le rendement, la commune dispose de plusieurs solutions techniques, soutenues financièrement par l'Agence de l'eau et le Département.

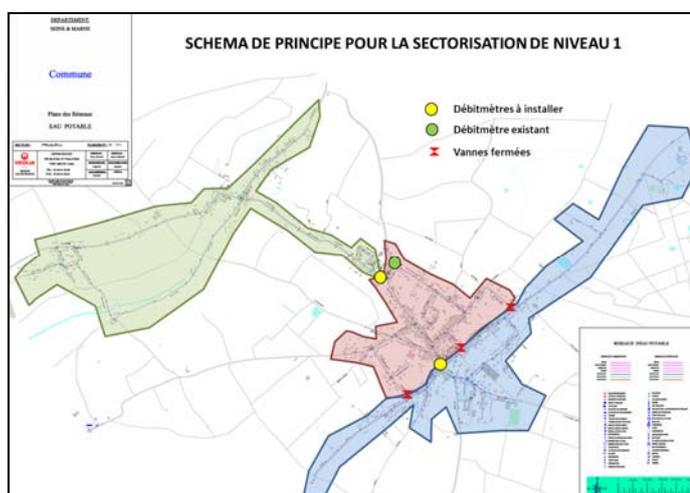
Elle peut mettre en œuvre un **diagnostic de réseau d'eau**, qui permet de rassembler l'ensemble des informations nécessaires à sa gestion. Il contient en général les éléments suivants :

- **Un audit global du réseau** : il comprend la réalisation de plans détaillés et d'un synoptique des réseaux (canalisations, ouvrages et objets constitutifs), une analyse patrimoniale qui permet de faire le point sur l'état du patrimoine réseau (fonctionnement du réseau, volume de stockage,

historique des incidents, ...) et enfin une analyse des consommations qui permet de faire le bilan entre les besoins de la commune et les ressources disponibles, de recenser les usages de l'eau et d'étudier le détail de la tarification en vigueur sur la commune.



- Un **bilan hydraulique associé à une recherche de fuite** : le bilan hydraulique permet d'équiper le réseau afin d'assurer sa surveillance par secteur et de le modéliser avec des données de terrain, afin de repérer les dysfonctionnements qui peuvent se produire (problèmes de pressions, capacité de stockage selon les situations de consommation moyenne ou de pointe, ...) et quantifier les fuites sur réseau. Les équipements installés permettent de mettre en place des campagnes de recherche de fuite et d'assurer des interventions plus ciblées et plus rapides sur le réseau.



- La **mise en place d'un programme d'actions** : synthétisant toutes les données récoltées sur le réseau d'alimentation en eau potable, le programme d'actions permet de proposer une programmation des différentes opérations favorisant l'amélioration du rendement du réseau. Le programme d'actions fait également un bilan financier des différents investissements à prévoir et comment la collectivité peut les impacter sur son budget.

Ce diagnostic peut mettre en évidence plusieurs causes de mauvais rendement : réseaux en mauvais état et nombreuses fuites, nombreux volumes non comptabilisés ou non facturés. Il permet ainsi d'établir des programmes d'actions pour mettre notamment en œuvre des opérations de renouvellement de réseau.

La **gestion de la pression** dans les réseaux constitue un facteur important d'économie. En effet, une forte pression sur réseau implique que les fuites génèrent plus de pertes en eau. Le contrôle permanent de la pression en réseau permet donc également de réduire les pertes en eau et en énergie sur les réseaux.

On peut présenter les chiffres suivants pour illustrer l'influence de la pression sur les volumes perdus. En effet, pour un trou de 5 mm dans une canalisation :

- à une pression de 3,5 bars, cela correspond à une perte de 16m³/jour
- à une pression de 7 bars, cela correspond à une perte de 28 m³/jour, soit 75 % de plus.

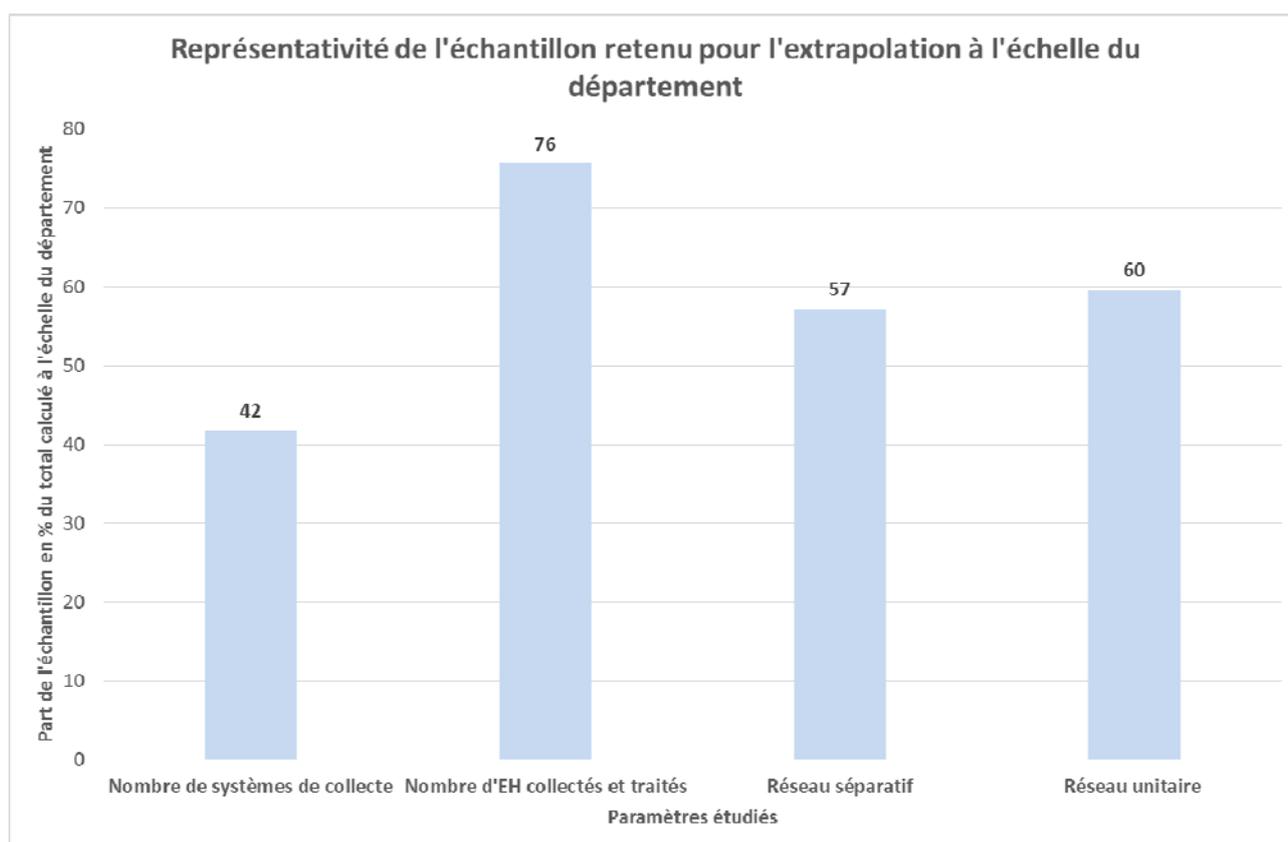
Le développement des technologies dans le domaine de la **télésurveillance** permet aujourd'hui de mettre en place des outils performants pour gérer au mieux les réseaux : surveiller les débits et intervenir au plus vite sur les réseaux pour éviter les pertes, monitorer les pressions pour éviter les surpressions et les casses et dysfonctionnements qui y sont liés etc...

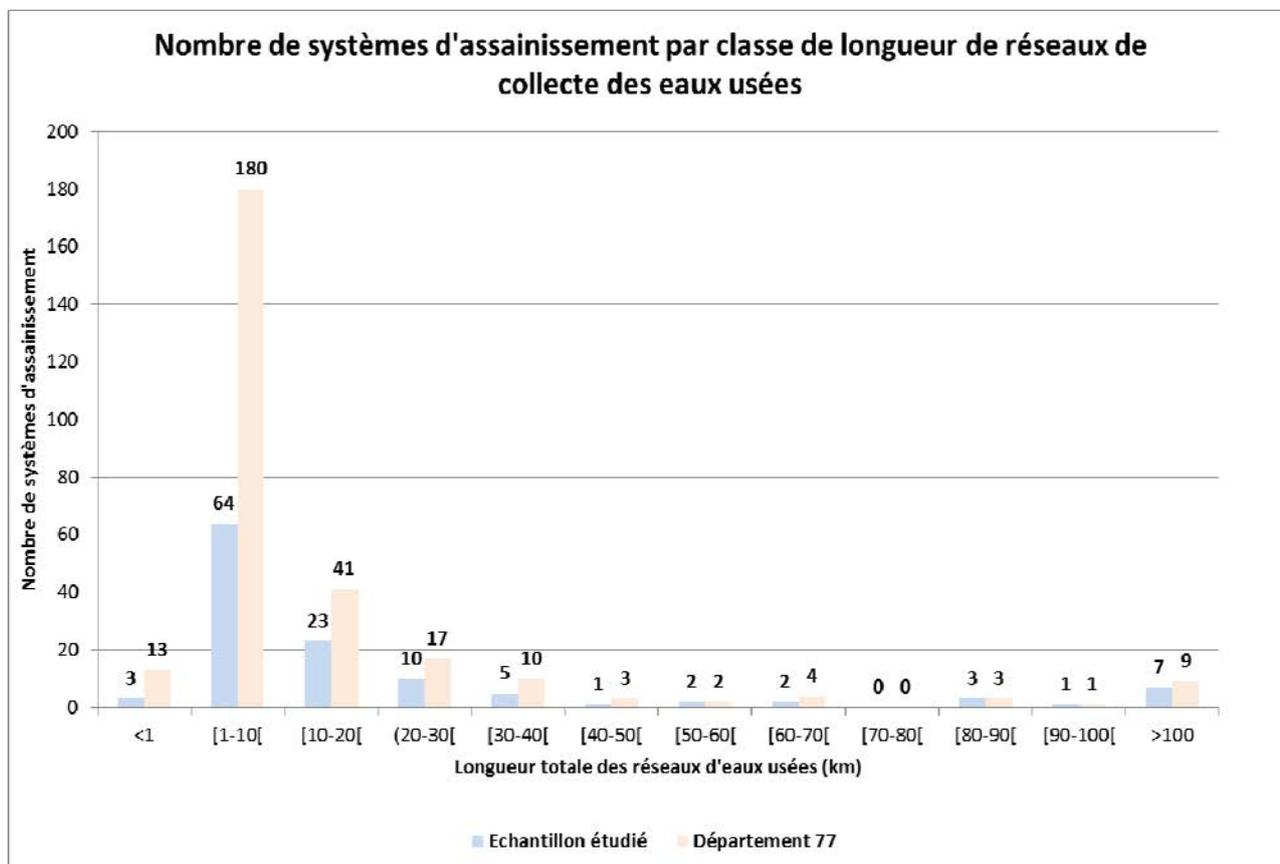
III. Les coûts énergétique dans le domaine de l'assainissement

A. Méthodologie de l'étude

Contrairement aux stations d'épuration où la collecte des données relatives à la consommation d'énergie est exhaustive et annuelle, les informations liées aux ouvrages situés sur les réseaux ne font l'objet d'aucune collecte régulière. Celles-ci ont dû être récupérées auprès des exploitants par le biais des RAD, des RPQS ou des demandes spécifiques formulées par le SATESE. Après deux mois de collecte, il a été possible de constituer un échantillon de **121 systèmes d'assainissement** représentant 43 % des systèmes d'assainissement dont les eaux usées sont traitées sur le département.

Les deux graphes suivants montrent que les données récupérées concernent plus les dispositifs de taille supérieure à 2 000 EH que les stations rurales. Par contre, l'échantillon couvre un nombre élevé d'habitants (76 % de la quantité de pollution collectée et traitée sur les stations d'épuration situées en Seine-et-Marne) avec un bon niveau de représentativité pour les autres paramètres étudiés et permet de réaliser une extrapolation fiable à l'échelle départementale.





B. Consommation énergétique pour la collecte des eaux usées

1) Exploitation des données et résultats obtenus

a) Chiffres principaux

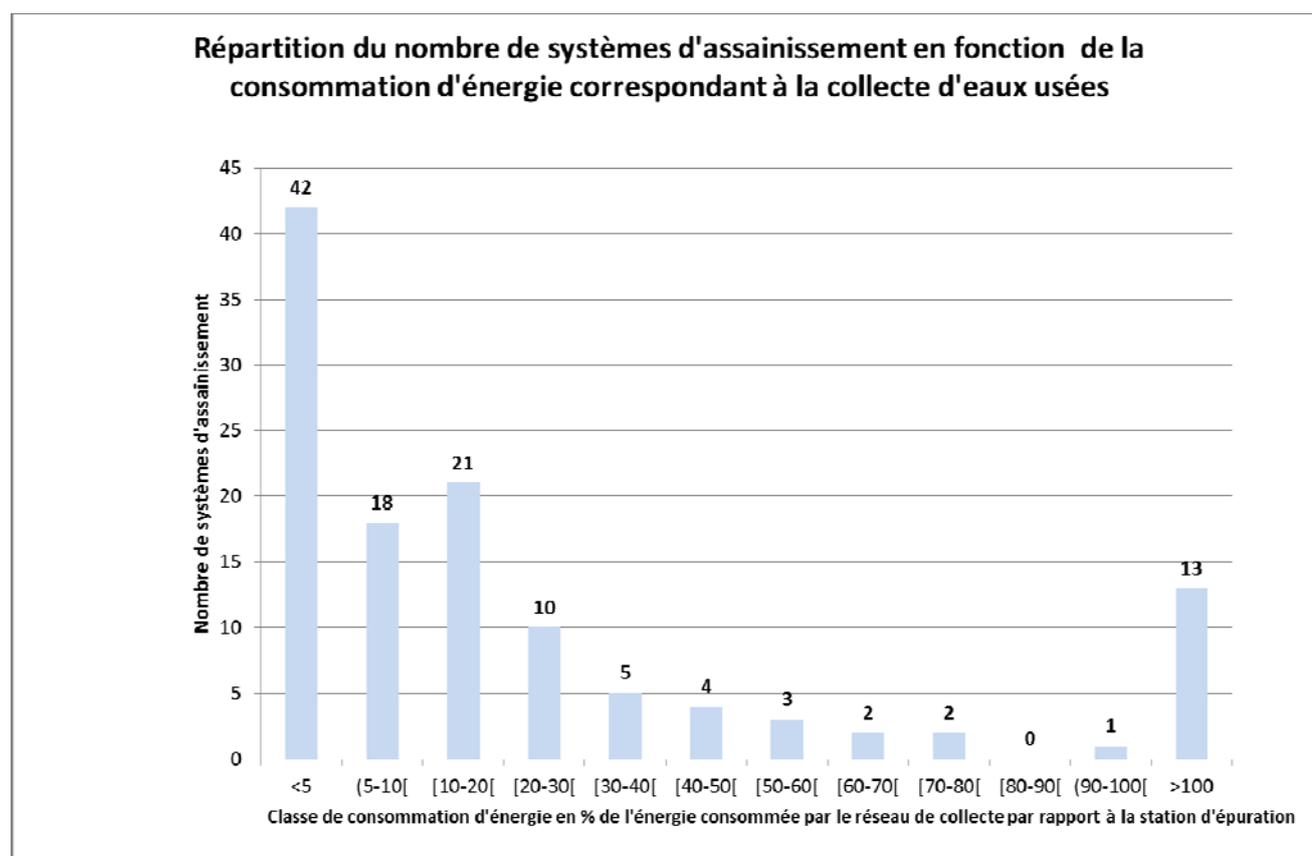
Sur le département, on compterait environ 720 postes de relèvement avec **une consommation électrique annuelle de 5 300 000 kWh représentant 8 % de la consommation énergétique totale** des systèmes d'assainissement, hors filières d'élimination des boues. Au regard des chiffres relevés dans la littérature, ce pourcentage peut être considéré comme fiable, les valeurs étant comprise entre 6 et 10 % de la consommation totale.

Année 2015	Echantillon étudié	A l'échelle départementale
Nombre de systèmes d'assainissement	121	290
Nombre d'EH collectés et traités	580 208	767 490
Nombre de postes de relèvement	541	716
Consommation d'énergie des sites de traitement (kWh/an)	52 406 627	63 297 000
Consommation électrique des réseaux de collecte (kWh/an)	4 014 042	5 309 711
Consommation totale (kWh/an)	56 420 669	68 606 711
Consommation électrique des réseaux de collecte (kWh/EH)	7	7
Part du réseau dans la consommation énergétique totale en %	7	8

b) Analyse détaillée des consommations énergétiques des réseaux

Une analyse plus approfondie des données montre une grande variabilité des niveaux de consommation d'énergie (voir tableau suivant).

Niveau de consommation énergétique du réseau de collecte	% de l'échantillon concerné	Origine	Exemple
Faible (<5 % de la consommation du système d'assainissement)	35	Arrivée gravitaire des effluents prédominante	Saint-Souplets La-Chapelle-La-Reine Avon-Fontainebleau
Moyen à élevé (5 à 80 %)	54		Vernou-la-Celle Souppes-sur-Loing Othis
Très élevé (>80 %)	12	Réseaux sous vide et/ou stations peu énergivores couplées à des postes de relèvement en série se situant sur le réseau	Précy-sur-Marne Arbonne-la-Forêt Tousson



2) Économie d'énergie sur les réseaux

En matière de conception, il faut privilégier la création d'un réseau à écoulement gravitaire, si la topographie le permet, avec une localisation de la station d'épuration au point bas et proche de l'exutoire permettant le rejet des eaux épurées.

La consommation d'énergie est souvent le premier poste de dépense des stations de pompage après le renouvellement et la maintenance d'où l'importance qui doit être apportée à ces ouvrages. Les paramètres à prendre en compte sont nombreux :

- Limiter les volumes d'eaux usées à pomper en réduisant les intrusions d'eaux claires parasites (eaux de nappe et eaux de pluie). Le choix du réseau séparatif est judicieux, les eaux pluviales devant être infiltrées à la source.
- Réduire les pertes de charge dans les conduites de refoulement (conception et entretien) ;
- Dimensionner les pompes en fonction des besoins ;
- Définir l'opportunité d'équiper les pompes de variateurs de vitesse et choix adapté du système de pilotage associé ;
- Choisir des moteurs à haut rendement ;
- Suivre en continu le fonctionnement des postes via la télésurveillance pour détecter rapidement les dysfonctionnements ;
- Définir une politique de maintenance curative et préventive. Le rendement d'une pompe baisse d'environ 2 % par an. Cela témoigne de l'intérêt de la maintenance préventive de ce type d'équipement

3) Énergie renouvelable des réseaux d'assainissement

Il est possible de récupérer de l'énergie sur les réseaux d'assainissement par deux moyens :

- Production d'énergie hydroélectrique par l'emploi d'une turbine hydraulique, souvent installée sur le trajet des eaux traitées (canalisation d'évacuation vers le milieu naturel). Cela nécessite au minimum une chute d'eau de 7 m. A priori, cette technique semble peu applicable sur la Seine-et-Marne
- Production d'énergie thermique basse température. Les canalisations d'assainissement véhiculent des eaux dont la température varie entre 13 et 20 °C tout au long de l'année. Cette ressource en énergie est disponible en permanence et peut être utilisée pour le chauffage ou le rafraîchissement de bâtiment via un échangeur de chaleur couplé à une pompe à chaleur.

La mise en place de ces techniques est récente. Elle reste expérimentale sur le territoire national et en attente des retours d'expériences. Les projets concernent les très grosses collectivités, à l'instar de la Communauté urbaine de Bordeaux.

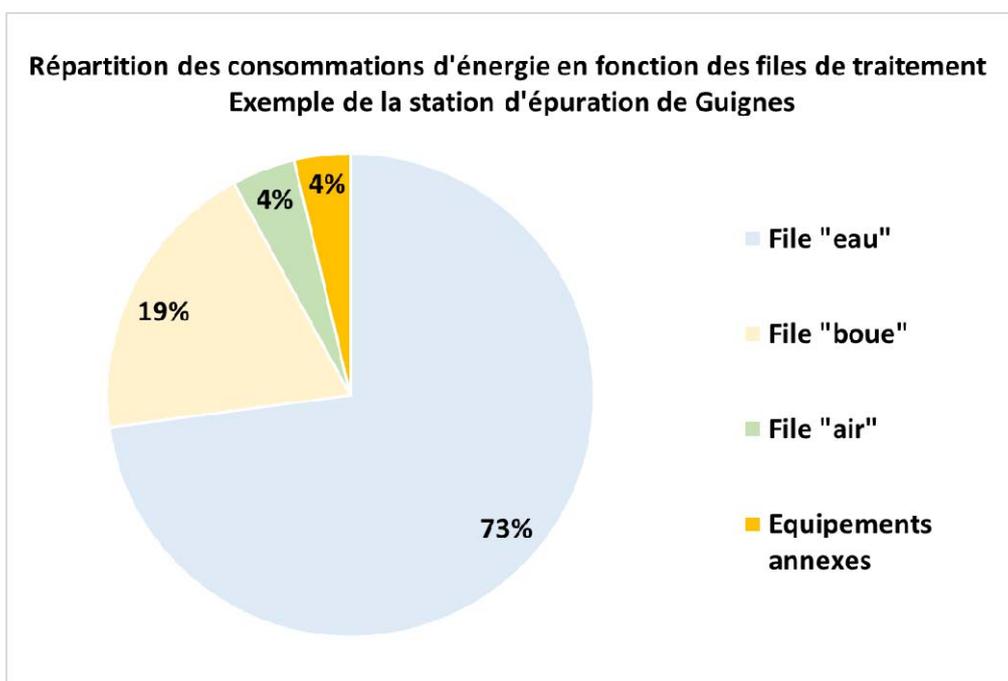
A notre connaissance, aucun projet n'a été mis en œuvre sur le département de Seine-et-Marne. Par contre, le Syndicat intercommunal d'assainissement Marne La Vallée (SIAM) envisage la mise en place d'un système de récupération d'énergie des effluents sur un des réseaux de collecte du syndicat. Cette approche est d'autant plus envisageable que l'on est en face du système d'assainissement le plus important du département en termes de volume d'effluents collectés.

C. Consommation d'énergie pour le fonctionnement des stations d'épuration

1) Répartition des dépenses énergétiques

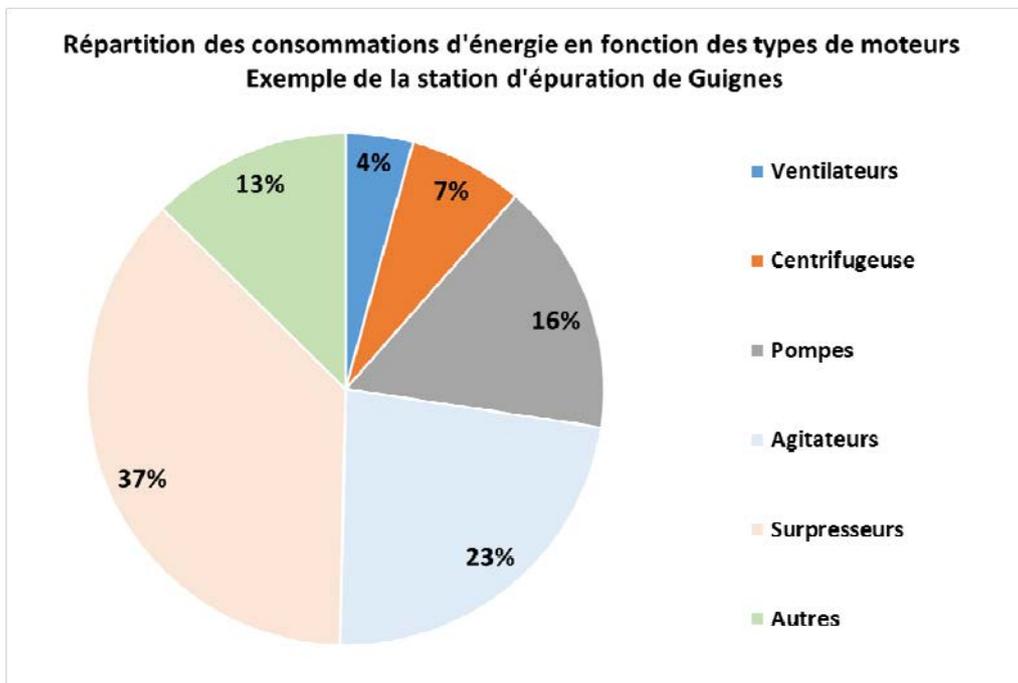
L'exemple suivant traite d'un dispositif épuratoire de 4 500 EH (Guignes) : station d'épuration de type boue activée en aération prolongée équipée d'une centrifugeuse, d'une unité de chaulage et d'une aire de stockage. Les prétraitements et l'atelier de traitement des boues sont confinés avec extraction et désodorisation de l'air sur charbon actif.

La file « eau » représente la majorité de la consommation d'énergie (73%), l'aération nécessitant beaucoup d'énergie. La consommation de la file « air » reste modeste dans la mesure où elle se limite à un volume ciblé. Pour les dispositifs des années 1980, la part de la file « eau » est encore plus importante (93 %) puisque les filières de traitement des boues étaient sobres en énergie (filtres-à-bandes, boues liquides ou séchage naturel) et le traitement des odeurs n'était pas pris en compte.

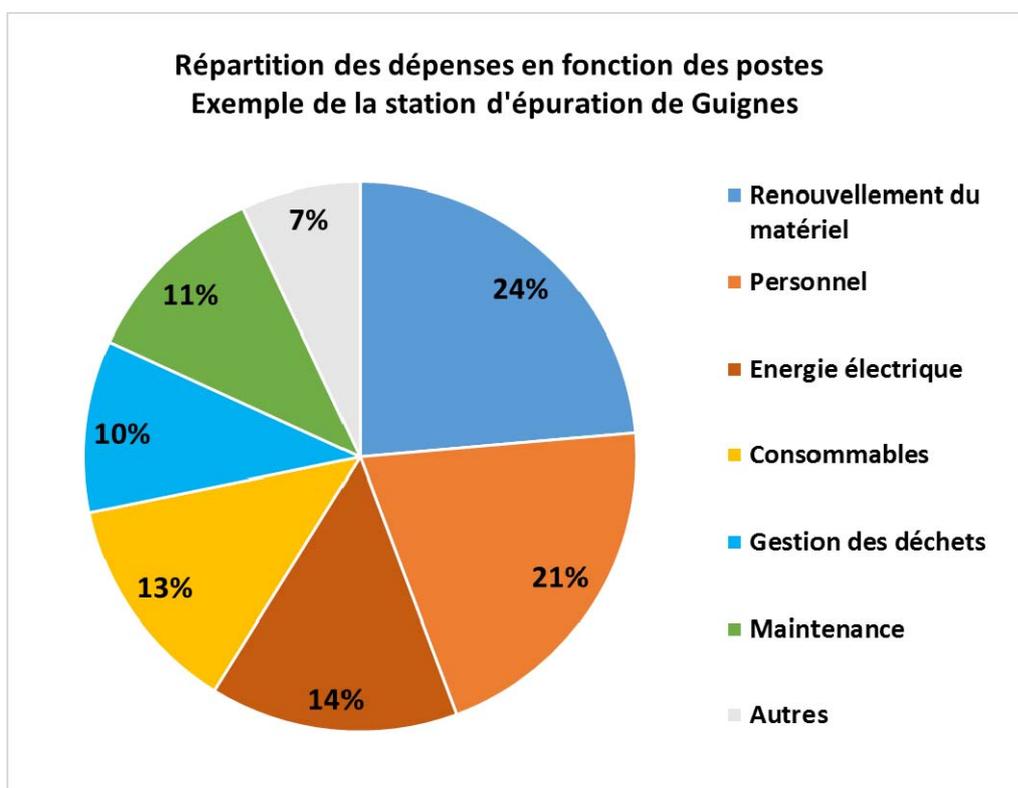


Le graphique suivant qui détaille les consommations par typologie d'équipements électriques montre que les postes les plus consommateurs sont pour ce même dispositif :

- Les surpresseurs pour l'aération des ouvrages de traitement de pollution ;
- Les agitateurs présents dans les différents ouvrages (fonctionnement permanent pour maintenir un mélange homogène des boues) ;
- Les pompes, et tout particulièrement le poste de relèvement des eaux usées ;
- La centrifugeuse pour la déshydratation des boues.



Dans le cas présent, l'énergie représente le troisième poste (14 %) de dépense de la station d'épuration après le renouvellement et le personnel. Cette répartition est très variable et dépend des filières de traitement des eaux, des filières de traitement et d'élimination des boues et des modalités de calcul de chaque poste. Cette part, minimisée en France par un coût de l'énergie électrique plus faible que la moyenne Européenne ne pourra qu'augmenter dans les années à venir pour tenir compte des nouveaux impératifs en matière de sécurité nucléaire (mise aux normes des anciens réacteurs, meilleure gestion des déchets nucléaires, démantèlement des centrales fermées...).



2) La consommation électrique globale en quelques chiffres

a) Bilan 2015

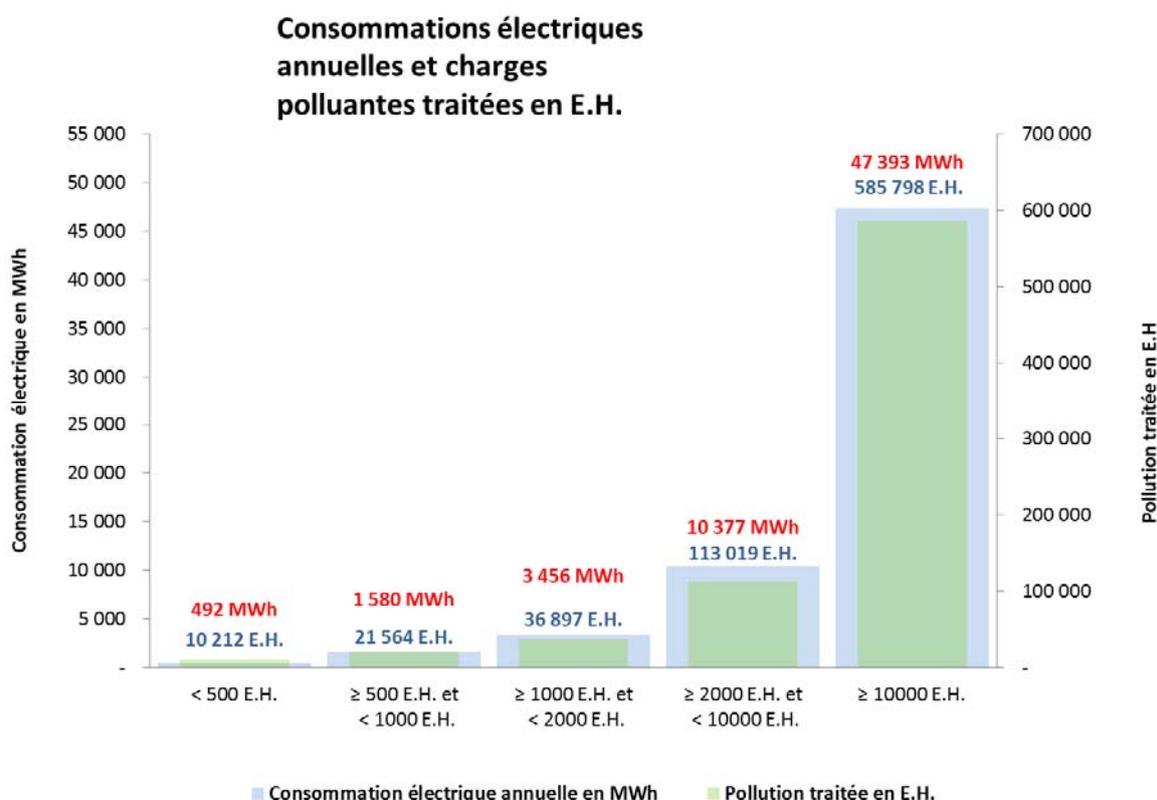
Les stations d'épuration seine-et-marnaises ont consommé 63 297 MWh en 2015 (contre 67 638 MWh en 2014). 90 % de cette baisse s'explique par une modification des modalités de calcul de la consommation d'énergie électrique sur deux stations d'épuration. La consommation énergétique du four servant à brûler les boues de Boissettes et Dammarie-lès-Lys avait été intégrée dans la consommation énergétique de la station et ceci au prorata du tonnage de boues produites. De manière générale pour travailler à périmètre constant, à partir de 2015, l'énergie nécessaire pour les filières d'élimination des boues ne sera plus prise en compte.

D'après le bilan de RTE (Réseau de transport d'électricité), la consommation moyenne par français est de 7 463 kWh pour 2015 (sur la base de la consommation totale de la France divisée par le nombre d'habitants).

La consommation des stations d'épuration de Seine-et-Marne correspond donc à celle de 8 481 « équivalents français ».

Le nombre de Seine-et-Marnais dont le traitement des eaux usées est réalisé par des stations d'épuration implantées dans le département est estimé à 991 441 habitants, ce qui donne le **ratio de 68 kWh/habitant traité/an ou 83 kWh/EH/an**.

Le graphique suivant présente la consommation électrique annuelle par taille de station d'épuration :

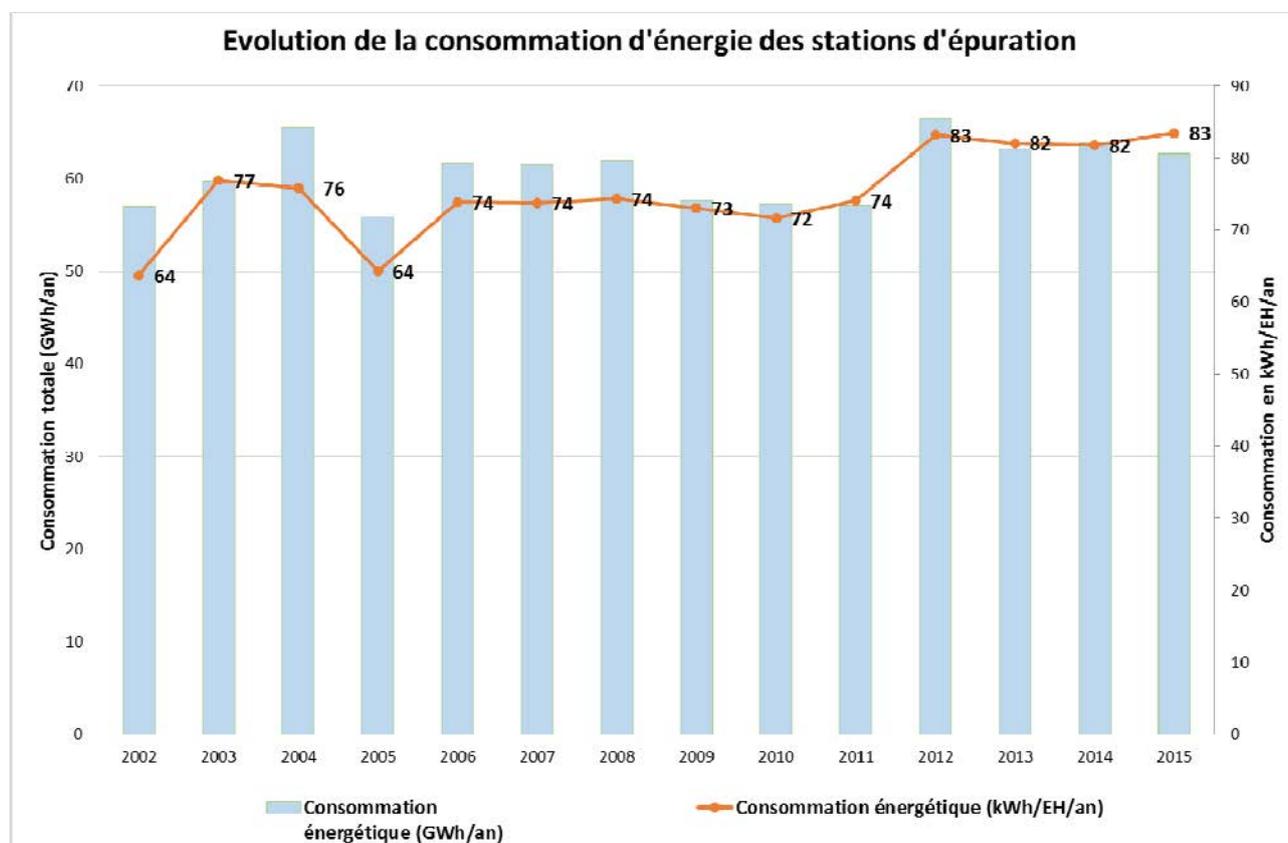


Les stations d'épuration de 10 000 EH et plus, traitent 76 % de la pollution et consomment 75 % de l'électricité. La part énergétique des dispositifs les plus petits (< 1 000 EH) est très faible, avec 3 % de la consommation totale.

b) Évolution depuis 2002

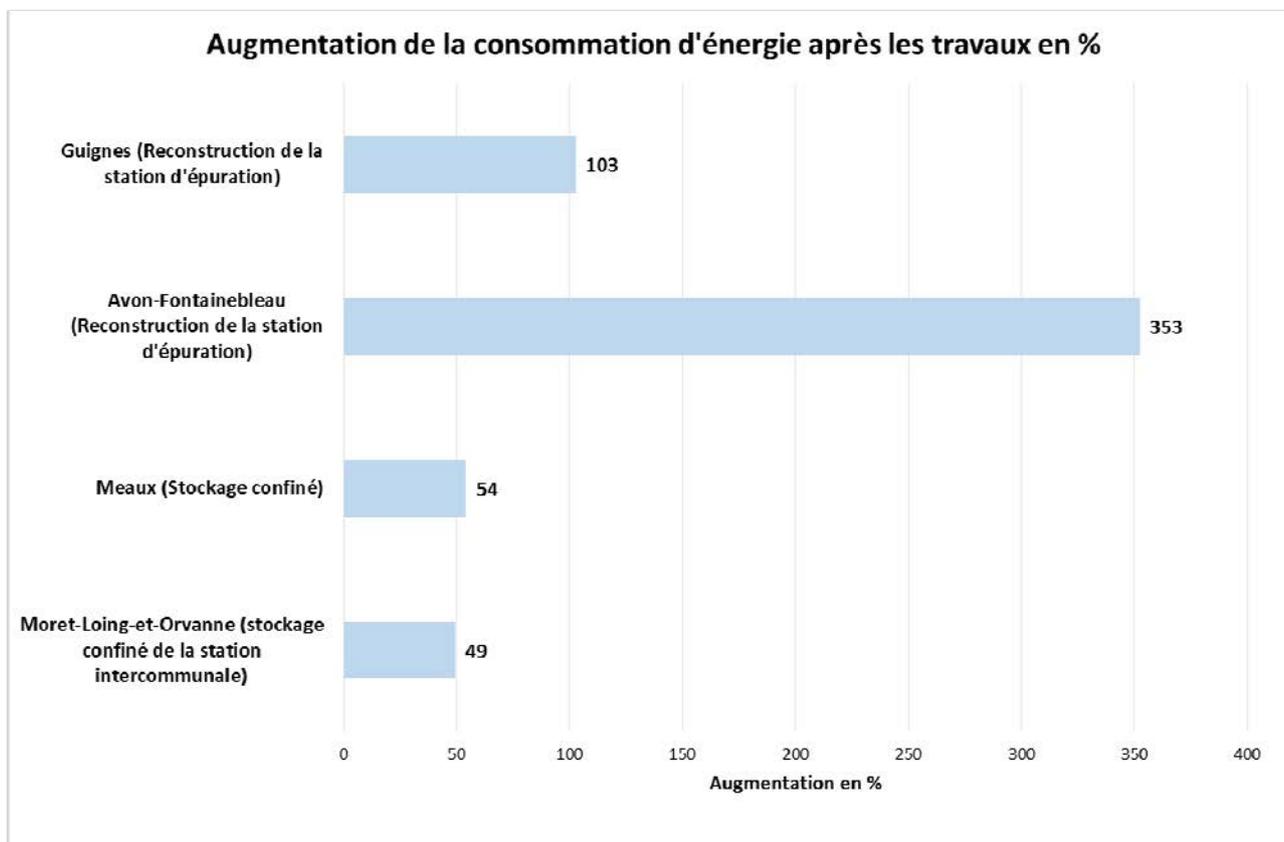
Les données relatives à l'énergie des stations d'épuration sont issues des informations transmises par les exploitants à partir des relevés des compteurs électriques. La consommation énergétique annuelle est établie à périmètre constant (unité de traitement des eaux usées à laquelle est associée la filière de traitement des boues). Elle n'intègre pas les consommations d'énergie des systèmes de collecte et les consommations dédiées aux nouvelles filières d'élimination des boues intégrées aux dispositifs épuratoires (fours et sites de compostage). Ces nouvelles unités qui traitent des boues de plusieurs origines font l'objet d'un comptage énergétique spécifique.

Le graphe suivant montre une augmentation significative de la consommation d'énergie par EH liée à la construction d'aires de stockage confinées nécessitant une désodorisation énergivore (mise en conformité des aires de stockage à boues) ou à la construction de nouveaux dispositifs plus performants et plus consommateurs d'énergie. L'augmentation significative de la consommation énergétique constatée entre 2011 et 2012 a pour origine principale la mise en eau de la nouvelle station d'épuration de Fontainebleau et la création d'une aire de stockage désodorisée sur la station d'épuration de la ville de Meaux.



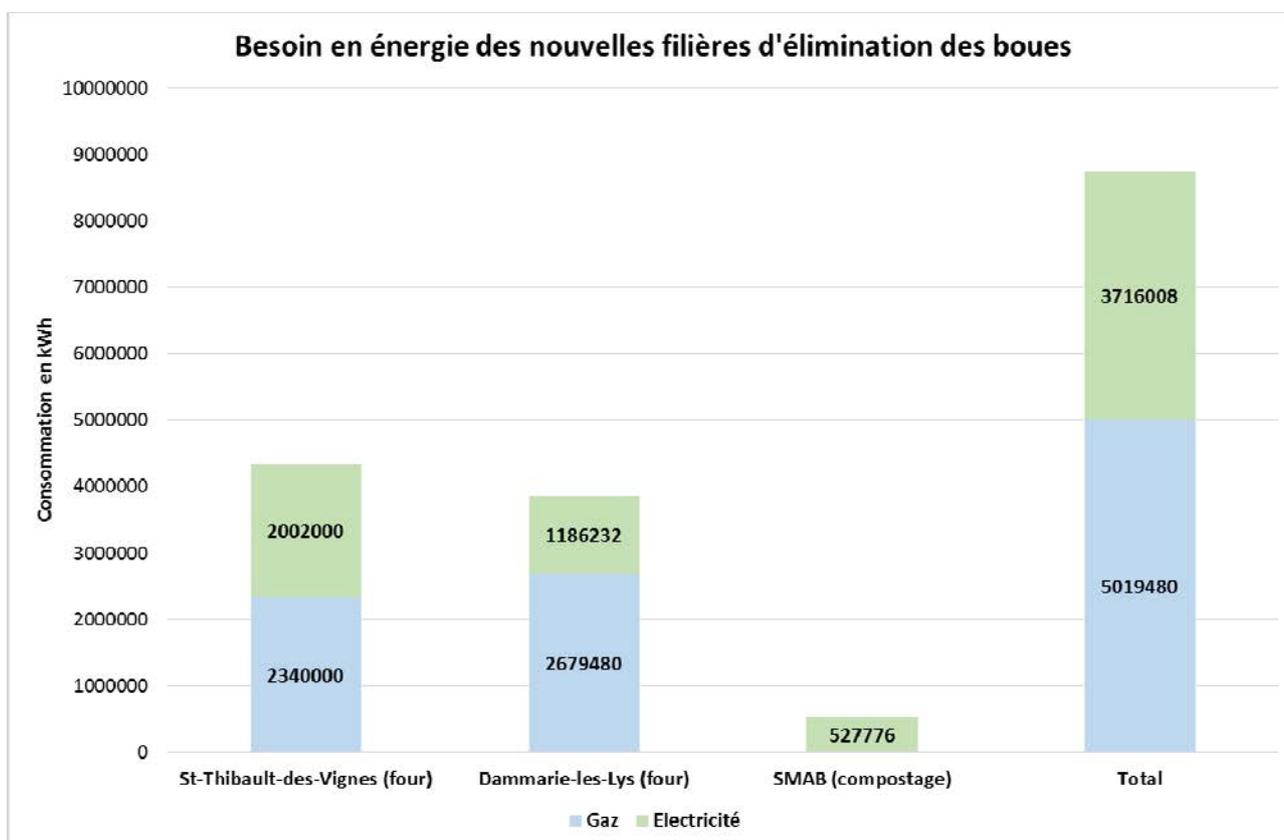
Le graphe suivant illustre la situation avec l'exemple de quatre projets récents.

Augmentation de la consommation d'énergie après les travaux en %



Cette augmentation de 12 % (depuis 2011) est sous-estimée puisque, en intégrant, les consommations liées aux nouvelles unités de traitement des boues (voir graphe suivant), le ratio de consommation d'énergie atteint 95 kWh/EH soit une augmentation réelle de 25 % par rapport à 2011.

Besoin en énergie des nouvelles filières d'élimination des boues



Le four de la Communauté d'Agglomération de Melun-Val-de-Seine (CAMVS) est particulièrement gourmand en énergie puisqu'il est nécessaire d'injecter du gaz de ville pour brûler les boues qui

n'atteignent pas leur point d'autocombustibilité, phénomène en partie imputable à la nature des boues en provenance de Boissettes (boues biologiques avec un taux de matières organiques moindre et une déshydratabilité moins bonne). Le maître d'ouvrage recherche des solutions pour améliorer le bilan énergétique de l'installation : ajout de graisses dans les boues, apport de boues séchées...

Pour la station d'épuration du SIAM sise à Saint-Thibault des Vignes, la situation est bien meilleure et ceci pour deux raisons : boues plus proches de l'autocombustibilité et mise en œuvre d'un plan d'économie d'énergie qui a largement compensé la mise en route du four.

L'unité de compostage du Syndicat mixte d'assainissement des boues (SMAB) a été construite dans un objectif « zéro nuisances » et a nécessité un confinement total des opérations de compostage, avec pour corollaire une forte consommation d'électricité (désodorisation). Les autres unités qui sont implantées sur le territoire de Seine-et-Marne sont rustiques et souvent non raccordées au réseau ENEDIS. Leur localisation permet dans la majorité des cas de minimiser les nuisances par rapport aux riverains.

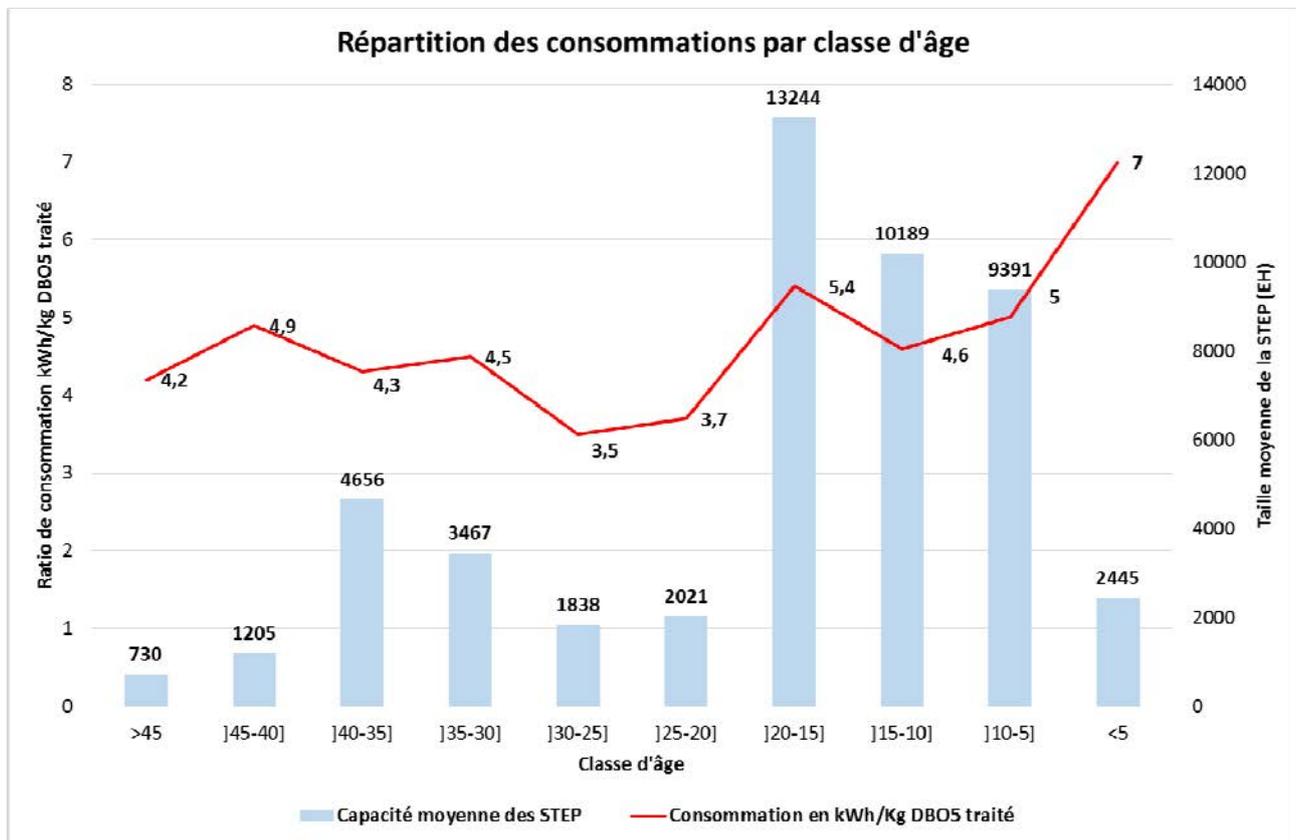
La principale source d'énergie utilisée pour le fonctionnement des stations d'épuration avec leurs filières de destruction des boues est l'électricité (93 %), le gaz étant utilisé pour les besoins en chaleur (incinération des boues, principalement) et le fioul pour les engins roulants servant essentiellement à la manutention des boues et les groupes électrogènes de secours. La quantité de carburant utilisée sur les stations d'épuration n'est pas comptabilisée à l'échelle départementale puisque son utilisation reste limitée aux engins roulants dédiés aux sites servant essentiellement à la manutention des boues.

3) La consommation électrique moyenne par âge des stations d'épuration

Le graphique suivant représente le ratio d'énergie nécessaire pour la dégradation de la pollution carbonée par classe d'âge des stations d'épuration de type boues activées en aération prolongée. Il est constaté une augmentation des besoins pour les dispositifs les plus récents (moins de 5 ans). Ce chiffre est cependant entaché de deux biais statistiques : échantillon constitué de plus petites stations que les 3 classes précédentes et moins bonne représentativité (nombre de STEP concernées inférieur).

Toutefois, à taille moyenne équivalente, les stations d'épuration récentes consomment près de deux fois plus que les anciennes âgées de plus de 20 ans. Deux explications majeures peuvent être formulées :

- Taux de charge des stations neuves plus faibles que les anciens dispositifs puisqu'elles sont en début de vie ;
- Nouvelles stations nettement plus équipées en matériels électriques. Le nombre de moteurs présents a été multiplié par près de 3 en 20 ans.



4) La consommation électrique moyenne par taille et par procédés

Le tableau de la page suivante présente la consommation électrique en kWh/kgDBO₅ éliminé/j par procédé épuratoire et par taille de station d'épuration sur 240 dispositifs.

kWh/kg DBO5 éliminé	< 500 EH	≥ 500 EH < 1000 EH	≥ 1000 EH < 2000 EH	≥ 2000 EH < 10 000 EH	≥ 10 000 EH	Moyenne	Nombre de STEP
Boues activées	5,6	5,5	5,3	4,7	4,4	5,1	200
Biofiltration	-	-	-	-	3,5	3,5	2
Lit bactérien ou disques biologiques	-	3,2	-	-	-	3,2	2
Lagunage aéré	10,4	9,3	-	7,2	-	9,7	7
Filtre à sable	2,4	0,6	-	-	-	1,2	6
Filtre planté de roseaux	3,1	1,7	1,2	-	-	2,6	23
Moyenne par classe	4,7	4,8	5,1	4,8	4,3	4,8	Total 240

Les procédés de type filtres à sable et filtres plantés de roseaux ne sont pas consommateurs d'électricité, à part pour le relèvement des eaux à traiter. Les chiffres correspondants sont donc indicatifs car il existe différentes configurations possibles pour l'implantation de ce types d'ouvrages en fonction de la topographie du terrain.

Le lagunage aéré est très énergivore pour une efficacité épuratoire moyenne.

Pour le procédé de type boues activées, le rendement énergétique évolue clairement avec la taille des stations d'épuration. En effet, l'élimination d'un kg de DBO₅ consomme moins d'électricité pour une installation de grande taille. Certes, les équipements sont plus nombreux sur ces dispositifs importants mais l'instrumentation en place permet une meilleure optimisation du traitement.

Le procédé par biofiltration, présent uniquement dans la catégorie de 10 000 EH et plus, est moins consommateur d'électricité que le procédé par boues activées (de l'ordre de 10 % de moins), et ce malgré le fait que ces dispositifs soient entièrement couverts et désodorisés, en raison des optimisations continues du process de traitement recherchées par les exploitants. Dans les analyses des années antérieures, le constat était inverse.

5) L'approche des causes de la surconsommation électrique

Les stations d'épuration de type boues activées (BA) consommant plus de 30 % de plus d'électricité que la moyenne dans leur catégorie de taille sont comptabilisées dans le tableau suivant :

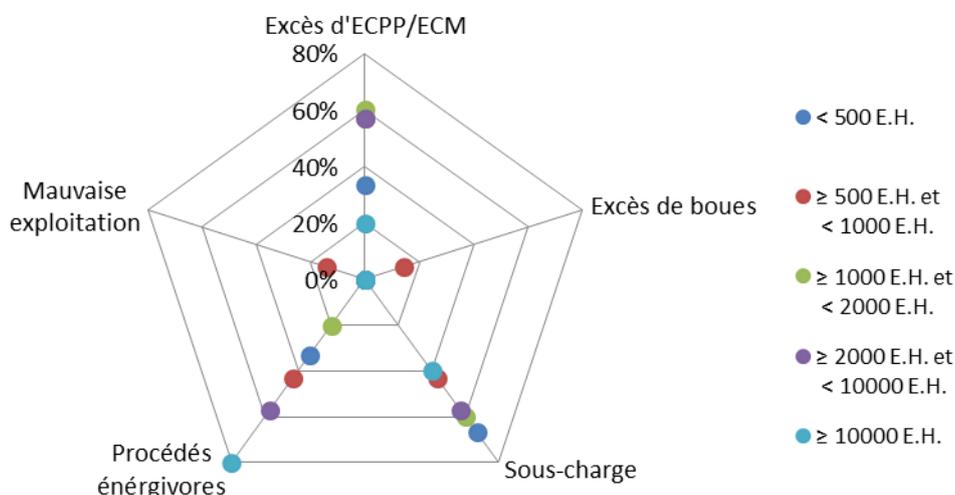
STEP BA en « surconsommation » (+30 %/moyenne)	< 500 EH	≥ 500 EH < 1000 EH	≥ 1000 EH < 2000 EH	≥ 2000 EH < 10 000 EH	≥ 10 000 EH	Total
Nombre	3	7	11	7	5	33
%	16%	16%	18%	13%	22%	Moyenne 16%

Deux approches ont été croisées pour obtenir ces chiffres : l'approche consommation électrique par rapport à la pollution reçue (kWh/kg DBO₅ traité) et l'approche consommation électrique par rapport à la pollution éliminée (kWh/kg DBO₅ éliminé). Ainsi, les stations d'épuration ayant une consommation électrique normale par rapport à la pollution entrante mais sujettes à des dysfonctionnements dans leur traitement (mauvais rendements épuratoires) entraînant un ratio kWh/kg DBO₅ éliminé élevé sont écartées de ce bilan.

Ces chiffres sont à analyser avec précaution car le niveau d'équipements, les performances épuratoires et le traitement des boues (niveau de déshydratation) ne sont pas identiques pour des stations de même taille.

Une analyse des causes probables (ou apparentes) est présentée dans le graphique suivant :

Causes probables des surconsommations électriques en fonction de la taille des dispositifs



La cause majeure de la surconsommation électrique semble être la **sous-charge polluante des stations d'épuration**. En d'autres termes, les installations sont dimensionnées pour les besoins futurs et les équipements en place peuvent donc être surdimensionnés pour les besoins actuels. Les deux exemples suivants illustrent cette problématique. Un agitateur est dimensionné par rapport à la taille d'un bassin, et non par rapport à la pollution entrante, ou un système d'aération est dimensionné par rapport à la charge polluante maximale, et non par rapport à la charge polluante existante lors de la mise en eau. Pour les stations de 10 000 EH et plus, cette cause paraît évidente et cette situation peut néanmoins s'expliquer par une évolution communale souvent difficile à anticiper et la nécessité de prévoir par les décideurs une nouvelle station pour les 30 ans à venir.

La deuxième cause de surconsommation électrique est la **collecte anormale ou excédentaire d'eaux claires** (Eaux Claires Parasites Permanentes et Eaux Claires Météoriques). Dans ces conditions, le poste de consommation énergétique du « relèvement des eaux à traiter », mais aussi du recyclage des boues dans une moindre mesure, est important.

A propos des **procédés énergivores**, il faut distinguer les petits dispositifs (entre 500 et 1 000 EH) qui correspondent à des procédés anciens de type bassins combinés ou bassin unique d'aération et de décantation, et la station du Syndicat intercommunal d'assainissement du confluent du Rebais et de l'École (SIACRE) sise à Perthes-en-Gâtinais d'une capacité de 4 500 EH de type filtration membranaire. Dans le premier cas, la surconsommation est liée à la conception obsolète des stations d'épuration et dans le deuxième cas, la surconsommation vient de la technologie employée et s'explique par les hautes performances épuratoires recherchées (qui a depuis été optimisée sur ce type de filière).

La **mauvaise exploitation** des stations d'épuration est parfois mise en avant sur les petits dispositifs (< 2 000 EH). Celle-ci correspond à des réglages non optimisés de l'aération et de la recirculation des boues. Pour des dispositifs de taille supérieure, ce problème est moins présent car les enjeux économiques liés au coût de l'énergie sont plus importants, ce qui concourt à la recherche de gains énergétiques et à l'amélioration du fonctionnement global des installations. En effet, il existe fréquemment sur ces stations d'épuration de capacité plus importante des systèmes automatiques de gestion et d'optimisation des équipements. Par exemple, les sondes de mesures spécifiques ammonium-nitrates permettent de mieux gérer les besoins en oxygène. La recirculation des boues peut également être asservie à un débitmètre placé en entrée ou en sortie de la station d'épuration (de préférence). Sur les stations d'épuration de capacité très importante, le personnel d'exploitation est affecté au site, ce qui permet une parfaite connaissance des installations et un meilleur suivi.

La dernière cause est **l'excès de boues dans les bassins d'aération**. Les bactéries utilisées pour le traitement des eaux usées sont des organismes vivants qui ont besoin d'oxygène pour respirer. Il faut donc maintenir une quantité de bactéries en rapport avec la pollution à traiter et non excédentaire. Pour rappel, le poste de dépense énergétique de l'aération représente entre 40 et 80 % de la consommation électrique totale d'une station d'épuration. Cette anomalie peut avoir deux origines, soit une exploitation non rigoureuse, soit un sous-dimensionnement de la filière de traitement des boues.

6) Recommandations pour l'optimisation des consommations énergétiques

a) En phase de conception

Il est nécessaire de se préoccuper de la consommation d'énergie des stations d'épuration dès leur conception, le rôle de l'assistance à maîtrise d'ouvrage et du maître d'œuvre étant primordial.

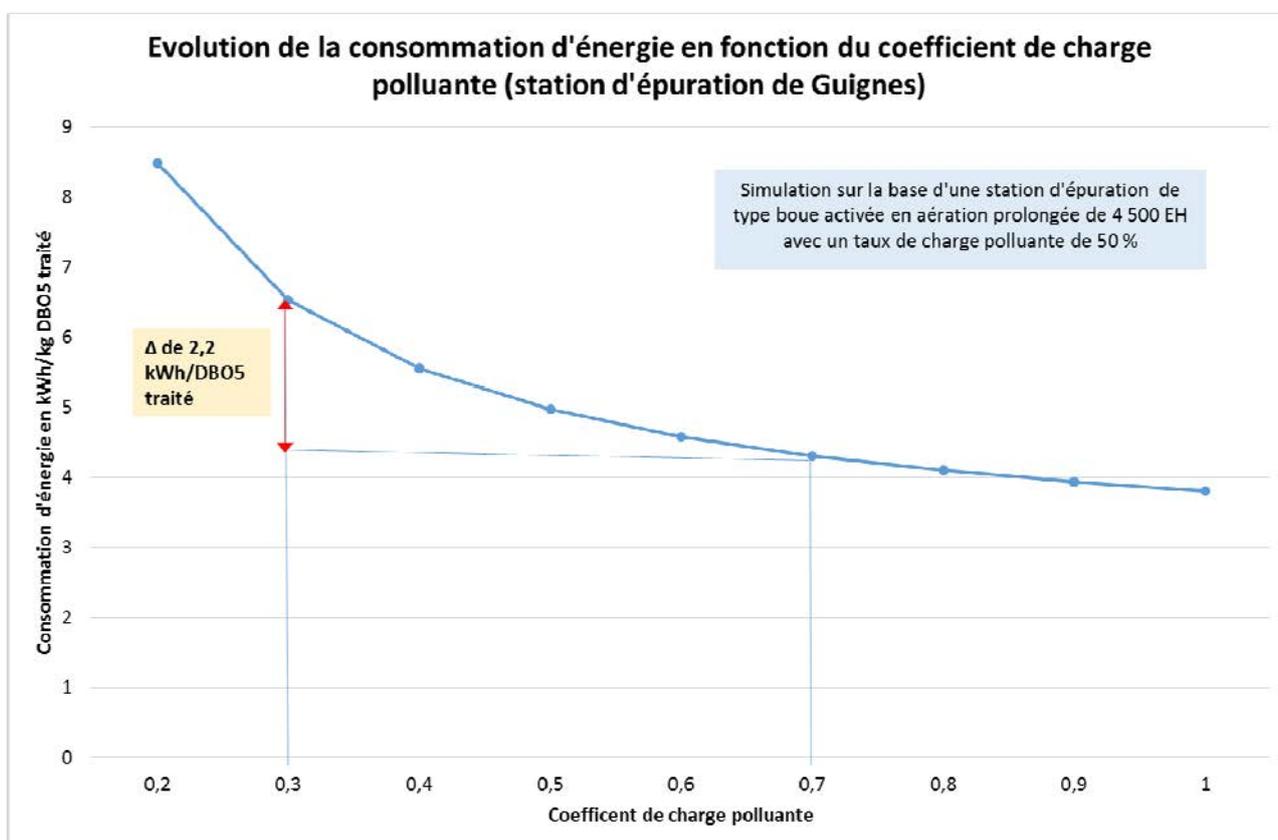
Les études préalables nécessaires à la définition des besoins en matière de dimensionnement, de niveau de traitement des eaux et de la destination des boues vont orienter fortement par la suite les besoins énergétiques du dispositif.

Quatre paramètres majeurs vont jouer sur cette frugalité énergétique :

- **Le juste dimensionnement de la future station.**

Il est calculé sur la base de la pollution existante (charge entrante mesurée ou prise en compte de la population raccordée) à laquelle on rajoute les prévisions démographiques et de développement économique du bassin de collecte pour une trentaine d'année. Il faut bien intégrer au niveau du dimensionnement (hors traitement d'effluents industriels) que 1 habitant équivaut réellement à environ 0,8 Equivalent-habitant (EH). En principe, lors de la mise en eau de la station d'épuration, le coefficient de charge de la station d'épuration devrait se situer autour des 70 % de la capacité nominale. Dans les situations où l'évolution de l'urbanisation est forte, il est préconisé de raisonner avec plusieurs files de traitement des eaux, la mise en eau des files en attente se faisant en fonction du développement réel de la population.

A la mise en eau d'une nouvelle station, le coefficient de charge polluante est souvent nettement plus faible que l'objectif de 0,7 et impacte négativement sur la consommation d'énergie. Le graphique suivant présente une simulation de la consommation d'énergie de la station en fonction du coefficient de la charge en pollution carbonée. Par exemple, une station chargée à 0,3 de sa capacité nominale consommera, par kg de DBO₅ traité, 48 % de plus qu'une station dont le taux de charge est de 0,7.



- **Le bon procédé d'épuration.**

De manière générale, plus le niveau de rejet est contraignant, plus le procédé sera intensif et donc énergivore.

Les procédés rustiques intégrant l'utilisation de lits plantés de roseaux sont économes en énergie, puisqu'ils permettent un abattement de la pollution carbonée important essentiellement par filtration. Au regard des superficies nécessaires pour leurs mises en œuvre, ce type de traitement concerne essentiellement les stations d'épuration de moins de 1 000 EH.

Pour les stations d'épuration de plus grande taille, le procédé de type boue activée en aération prolongée s'impose. De nouvelles technologies (BRM¹, MBBR², SBR³...) sont arrivées sur le marché avec parfois des incidences sur la consommation d'énergie. Elles doivent faire l'objet d'une analyse critique, l'empreinte énergétique étant un critère de sélection à part entière.

- **Le choix d'un système d'aération performant** privilégiant les surpresseurs de nouvelle génération, un dimensionnement précis du système d'aération et de brassage, des systèmes de diffusion haute densité, et un pilotage de l'aération optimisé ;

- **La solution de traitement et d'élimination des boues la plus appropriée.**

La taille du dispositif et le choix de la destination des boues vont déterminer la filière de traitement des boues, celle-ci pouvant être très énergivore : séchage thermique, incinération et stockage confiné avec désodorisation. Il faut donc privilégier les solutions suivantes.

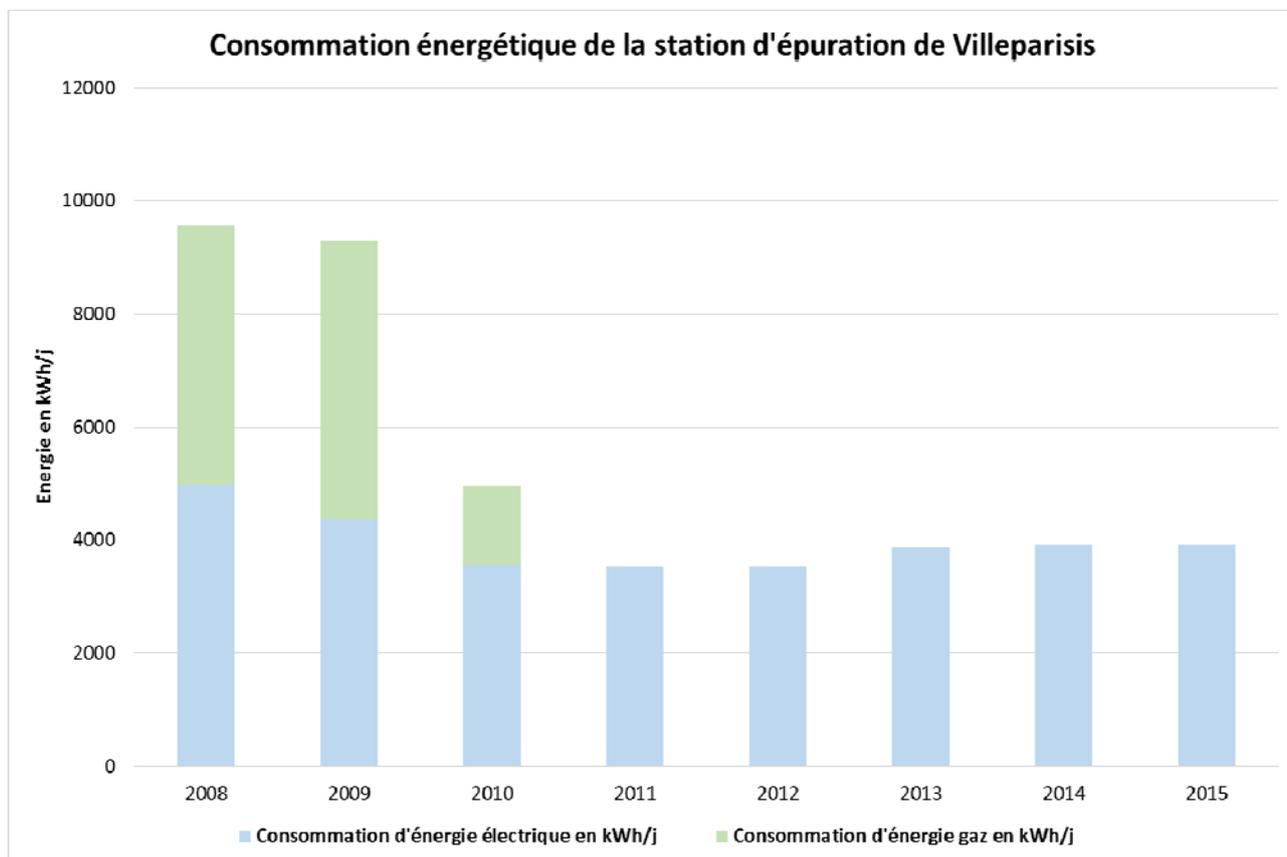
- ✓ Stations rurales de moins de 2 000 EH : filières liquides avec un épandage agricole local ou déshydratation naturelle (lits à macrophytes et géotubes pour les périodes transitoires) suivi d'un compostage rustique.
- ✓ Pour les stations de taille plus importante : boues déshydratées mécaniquement par centrifugeuse pour le compostage, voire recyclage agronomique après chaulage et filtres à plateaux pour les stations de capacité de plus de 10 000 EH avec valorisation agricole.

Dans le cas d'une volonté d'obtenir un produit sec permettant une valorisation multi-filières, l'investissement dans une serre solaire s'impose. Les retours d'expérience départementaux montrent l'intérêt de cette solution comparée au séchage thermique. Le sécheur thermique de l'ex-SIACVIM localisé sur la station d'épuration de Villeparisis consommait en 2009, 1 800 000 kWh (gaz) rien que pour les boues de la station de Villeparisis, ce qui représentait l'équivalent des besoins de la file « eau » et de la déshydratation des boues. Ce matériel a été arrêté en avril 2010 suite à des dysfonctionnements récurrents (voir graphe suivant).

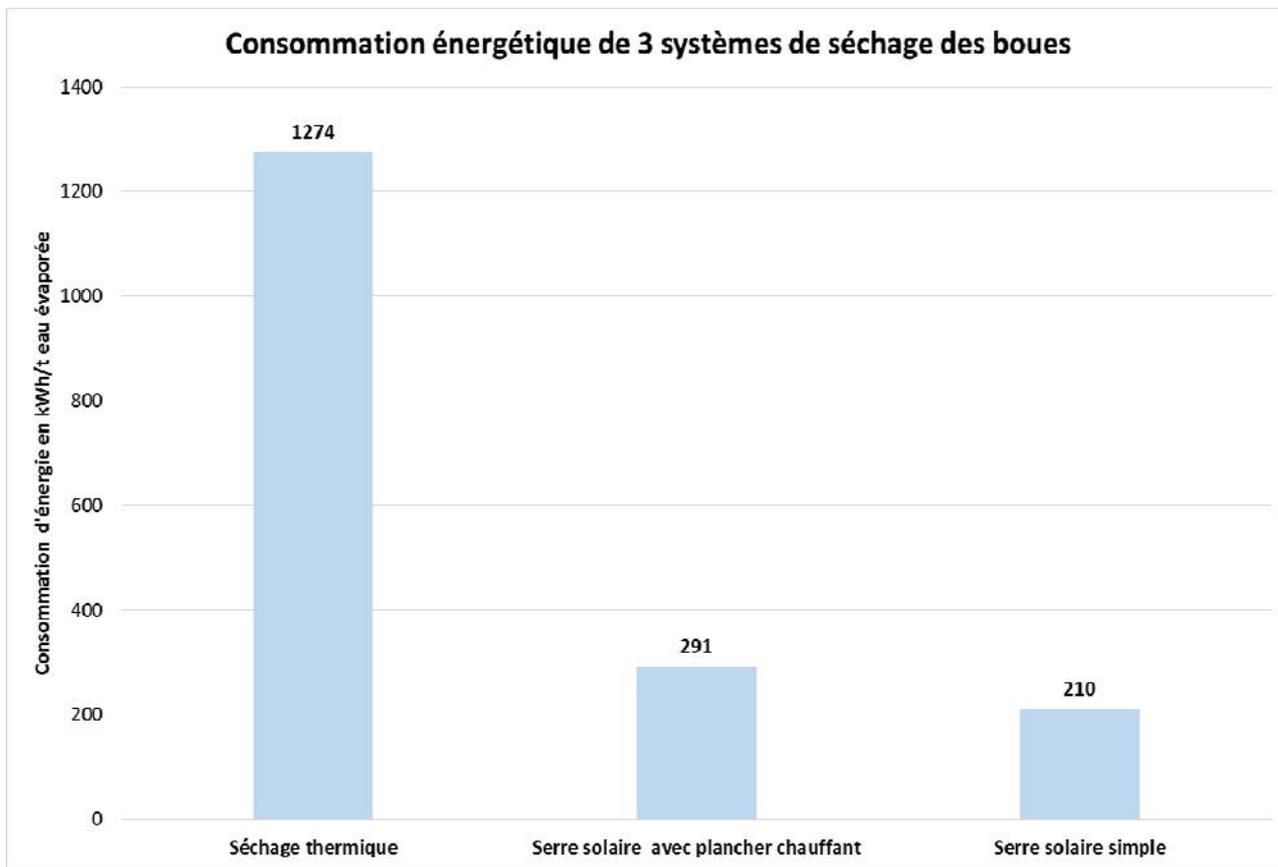
¹ BRM : Bioréacteur à membrane

² MBBR : Moving bed biofilm reactor

³ SBR : Sequencing batch reactor

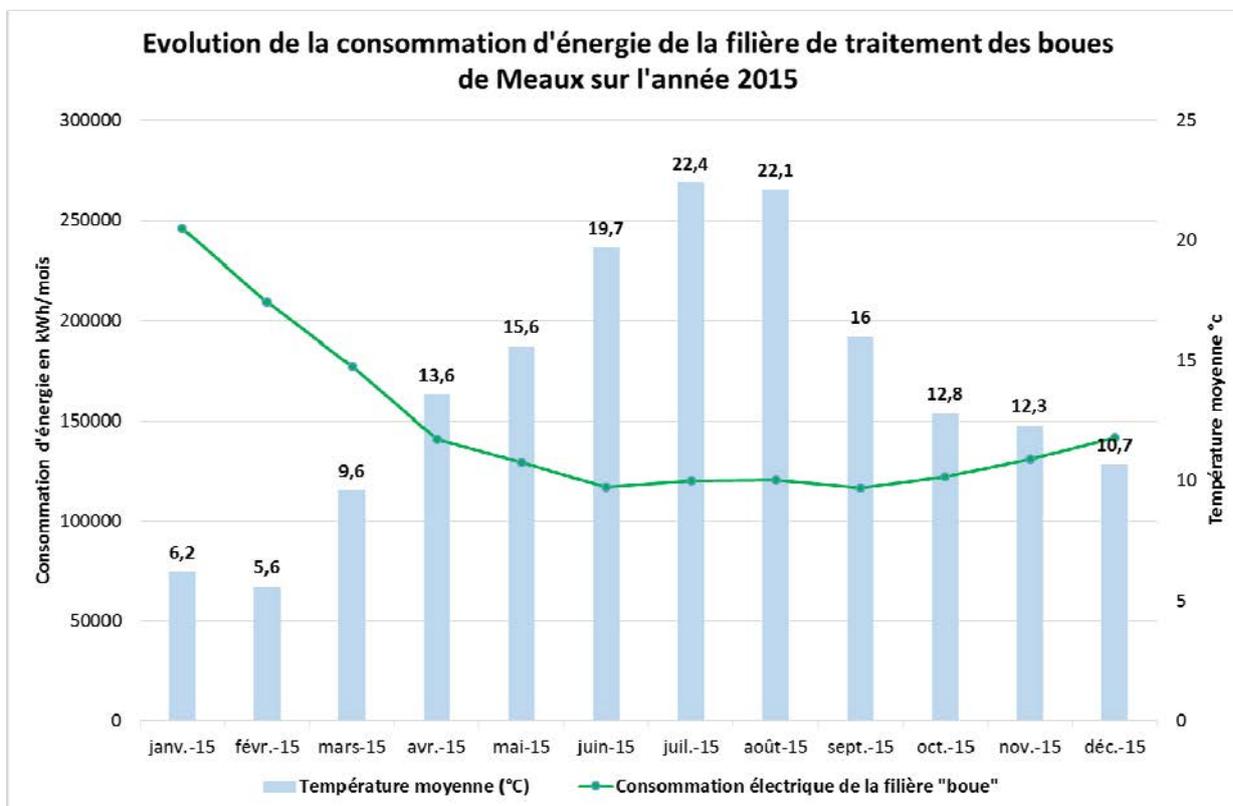


Les serres solaires présentent l'avantage de diviser par 4 à 6 les besoins en énergie pour l'obtention d'un produit de qualité similaire (voir graphique suivant). Par contre, l'exploitation des serres solaires reste compliquée avec souvent de nombreux défauts de fonctionnement. L'investissement dans ce type d'outil doit être murement réfléchi.



Il est aussi nécessaire de se préoccuper de points annexes :

- Equipements électriques les plus efficaces, dimensionnés et pilotés de manière optimale : surpresseurs (à vis), pompes, agitateurs et ventilateurs. Par exemple, il est souhaitable de privilégier les vis convoyeuses au détriment des pompes gavageuses gourmandes en énergie.
- Localisation des ouvrages implantés minimisant la longueur des conduites des effluents;
- Bâtiment d'exploitation qui doit être construit selon les règles de l'art : dimensionnement approprié en fonction des besoins, respect de la RT 2012, celle-ci devant être adaptée à l'usage qui en sera réellement fait (présence de l'exploitant souvent limitée à quelques heures).
- Local technique nécessitant un chauffage devant être isolé du froid et équipé de système de chauffage performant et programmable. Le graphe suivant montre l'impact de la température sur la consommation de la nouvelle filière de traitement des boues de Meaux, les locaux techniques n'étant pas isolés. La consommation liée à l'utilisation des aérothermes représente 30 % des dépenses énergétiques de la filière de traitement des boues.



- Groupes froids des préleveurs en fonctionnement permanent sachant qu'en moyenne les préleveurs sont utilisés moins de 5% du temps. Localisés le plus souvent à l'extérieur, ils sont sujets à de fortes variations de températures avec nécessité de les réchauffer (résistance) ou de les réfrigérer (compresseur).

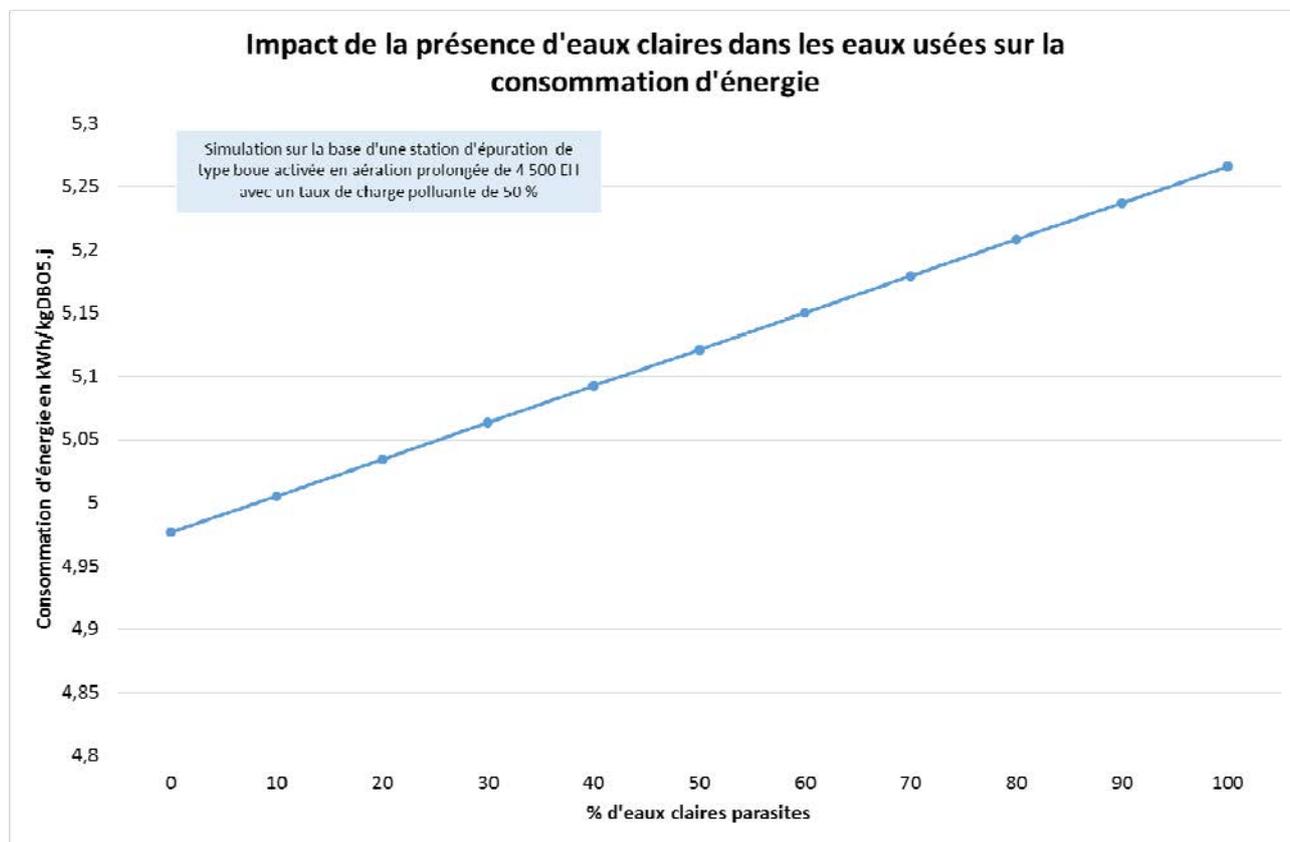
b) En phase d'exploitation

L'exploitant et le maître d'ouvrage peuvent aussi jouer sur certains paramètres pour optimiser la consommation énergétique :

- **Limitation des intrusions d'eaux claires parasites qui augmentent les volumes d'effluents transitant dans la station d'épuration.**

Les unités de pompage, telles que les postes de relèvement et les pompes de recirculation, sont plus sollicitées et induisent une surconsommation d'énergie. Le graphe suivant présente cet impact pour une station d'épuration récente de 4500 EH de type boue activée en aération prolongée. L'augmentation des besoins en électricité est de 6 % avec 100 % d'eaux claires parasites et atteint 12 % pour les cas les plus extrêmes avec un taux de dilution des effluents de 2.

Impact de la présence d'eaux claires dans les eaux usées sur la consommation d'énergie



Le retour ou le maintien d'un réseau de collecte performant nécessite la mise en place d'une stratégie de gestion patrimoniale qui ne concerne aujourd'hui que les systèmes d'assainissement de taille conséquente. Les travaux sont planifiés sur plusieurs années dans le cadre des Schémas directeurs d'assainissement (réhabilitation des réseaux, mise en conformité des branchements ...).

- **Optimiser les paramètres d'aération**

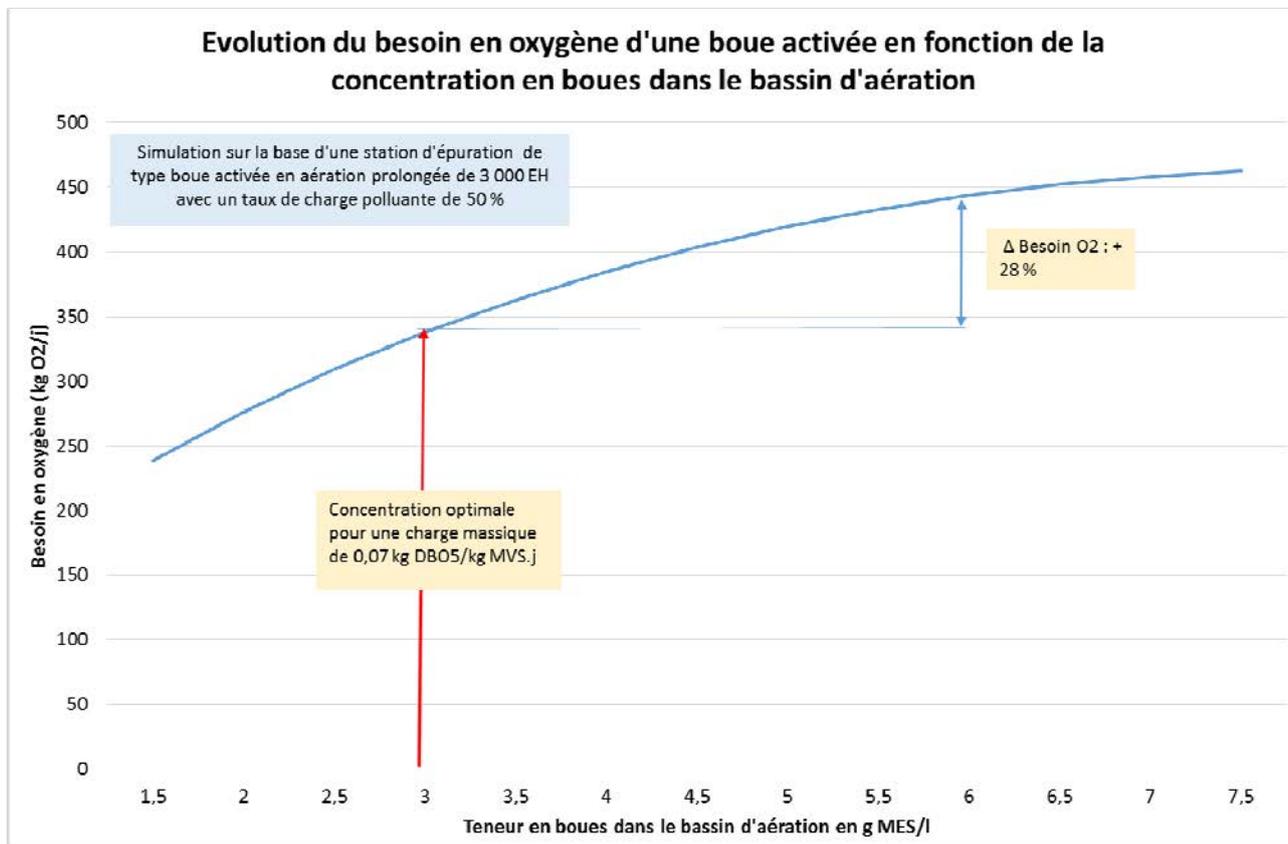
Le gain énergétique peut être important si les deux points fondamentaux suivants sont maîtrisés :

- ✓ **Maintien d'un taux de boues dans le bassin d'aération adapté à la charge polluante traitée par le dispositif** (voir tableau suivant).

Taux de charge	MES (g/l)	Cm ⁴ (Kg DBO5/kg MVS. J)
<30 %	2.5	Ne pas descendre au-dessous de 0.05
Entre 30 % et 60 %	2.5 à 3.5	0.05 à 0.08
>60 %	3.5 à 5	0.08 à 0.12

Par exemple, un doublement de la concentration de boues dans le bassin par rapport à la normale induit une augmentation des besoins en oxygène de 31 % (voir graphique suivant), phénomène lié principalement à une diminution des capacités de transfert de l'oxygène dans la boue et à une consommation accrue d'oxygène par la biomasse.

⁴ Cm = Charge massique



Cette difficulté à maîtriser le taux de boues dans le bassin d'aération provient principalement d'une filière de traitement des boues obsolète ou mal dimensionnée. Par exemple, les petites stations d'épuration équipées de lits de séchage présentent souvent des dysfonctionnements en période hivernale avec une réduction des extractions. De plus, une concentration élevée de boues dans le bassin d'aération induit des risques de dysfonctionnement de l'installation : moussage, pertes de boues...

Aujourd'hui, le choix des filières de traitement des boues est conditionné par leur fiabilité de fonctionnement sur toute l'année et ceci indépendamment des conditions climatiques.

✓ **Apporter la bonne quantité d'oxygène aux bactéries en pilotant de manière automatique l'aération avec des sondes** mesurant en continu la concentration en oxygène et/ou le potentiel rédox.

Ces outils doivent être entretenus et étalonnés régulièrement afin de garantir un fonctionnement optimal. Toute dérive ou régulation inappropriée peut se traduire par une incidence sur la consommation d'énergie et/ou une dégradation de la qualité des eaux traitées. Par exemple, passer d'un résiduel d'O₂ de 1 mg/l (optimal) à 4 mg/l dans le bassin d'aération induit une demande d'oxygène de 32 % supplémentaire.

Les capteurs NH₄⁺/O₂ et NO₃⁻ sont des nouveaux outils de pilotage qui permettent de gérer au plus près les besoins en oxygène de la biomasse avec un résiduel en oxygène < 0,5 mg/l. Son installation sur les dispositifs de plus de 20 000 EH est de plus en plus fréquente. Il s'agit d'un matériel coûteux (8 000 € pour l'ensemble de la chaîne de mesure) nécessitant une maintenance régulière (étalonnage toutes les 3 semaines, voire plus si dérive) et un renouvellement des sondes tous les 12 à 18 mois.

- **Entretenir les diffuseurs d'air**

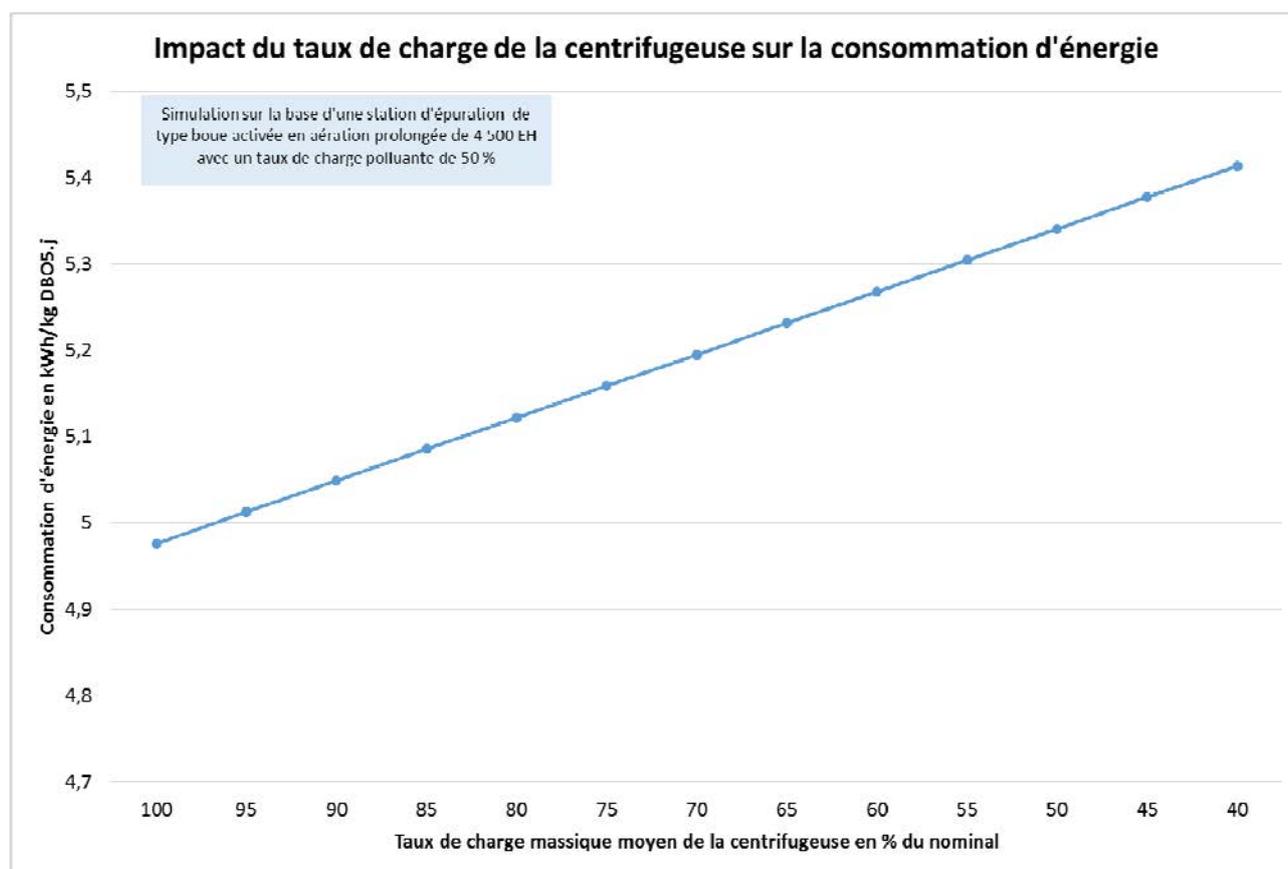
Les diffuseurs d'air constitués de membranes souples subissent un encrassement normal au cours du temps, perdent de leur élasticité, se rompent et s'incrustent. Les capacités d'aération des diffuseurs diminuent avec le vieillissement des membranes.

Pour y remédier, il est préconisé les bonnes pratiques suivantes :

- ✓ Injection d'acide formique pour éliminer les dépôts de calcaire ;
- ✓ Nettoyage mécanique pour enlever les déchets (filasses entre autres) ;
- ✓ Renouvellement des diffuseurs d'air dont la durée de vie est limitée (5-8 ans).

- **Utiliser les matériels de déshydratation des boues à leur capacité nominale**

Aujourd'hui, les dispositifs de plus de 2 000 EH sont équipés de centrifugeuses, solution performante et éprouvée avec permettant l'obtention d'une siccité des boues supérieure à 20 %, mais gourmande en énergie. Pour éviter le gaspillage énergétique, il est nécessaire d'utiliser l'atelier de déshydratation des boues à son nominal (voir graphe suivant). Par exemple, appliquer un taux de charge massique à la centrifugeuse de 40 % au lieu de 100 % induit une élévation de la consommation d'énergie de 50 % pour la filière de traitement des boues et de 9 % pour l'ensemble de la station d'épuration.



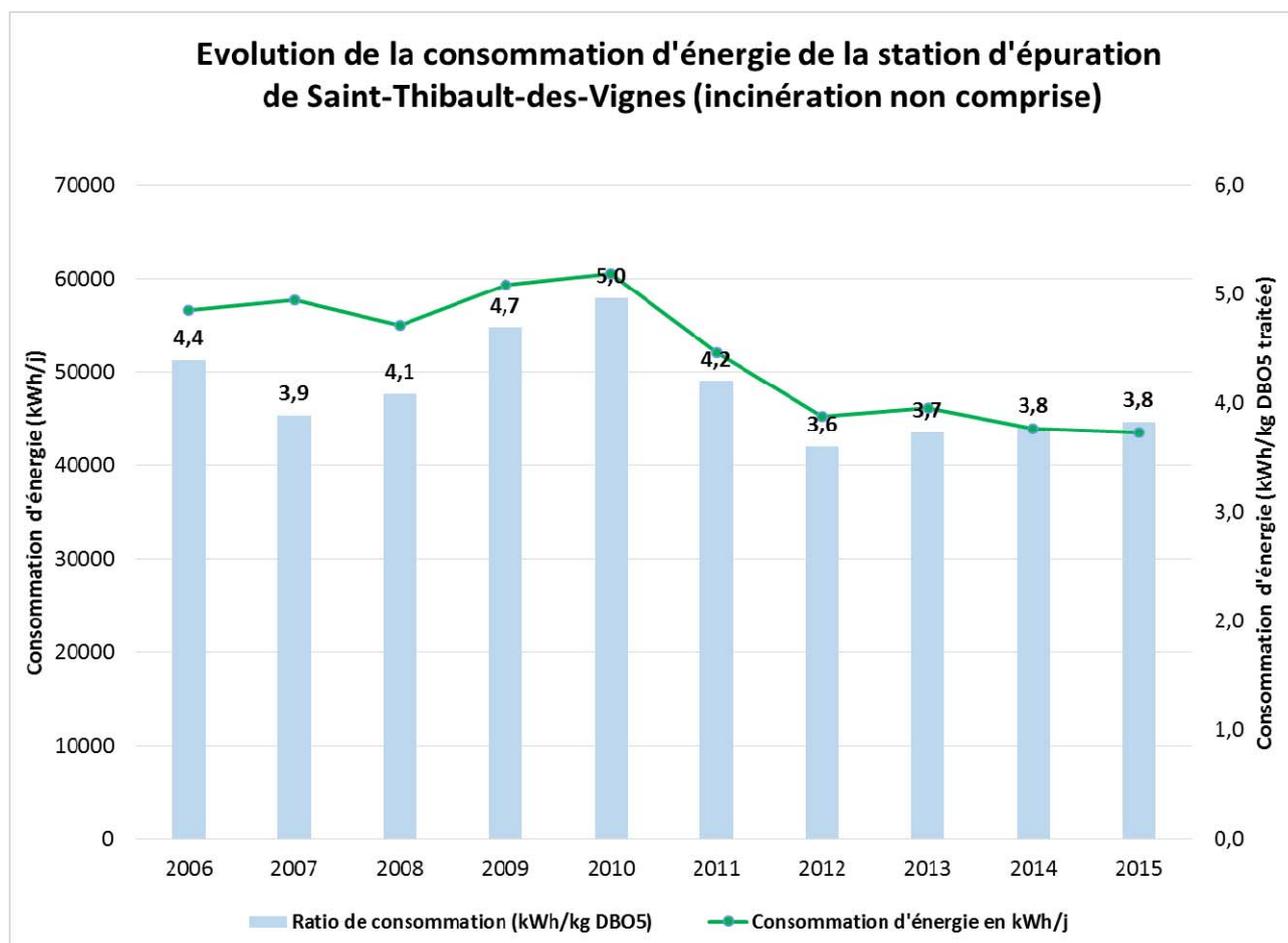
c) Exemples d'optimisation de la consommation énergétique pour deux stations d'épuration

Certains exploitants en lien avec les maîtres d'ouvrage ont mené des plans d'actions pour réduire la consommation d'énergie.

Deux dispositifs ont été retenus pour leur exemplarité avec une diminution significative et confirmée dans le temps :

- Station d'épuration de Saint-Thibault des Vignes (Syndicat intercommunal d'assainissement Marne La Vallée - SIAM) ;
- Station d'épuration de Boissettes (Communauté d'agglomération Melun Val-de-Seine - CAMVS).

La station de Saint-Thibault des Vignes d'une capacité de 350 000 EH est la plus importante de Seine-et-Marne. Elle se caractérise par un système de traitement des eaux particulier de type culture fixée (Biofiltration), les boues étant ensuite centrifugées pour être incinérées ou valorisées directement en agriculture après chaulage. La baisse de la consommation de la filière de traitement des eaux (hors incinération) est significative et atteint 15 % entre la période 2006-2010 et celle de 2012-2015.



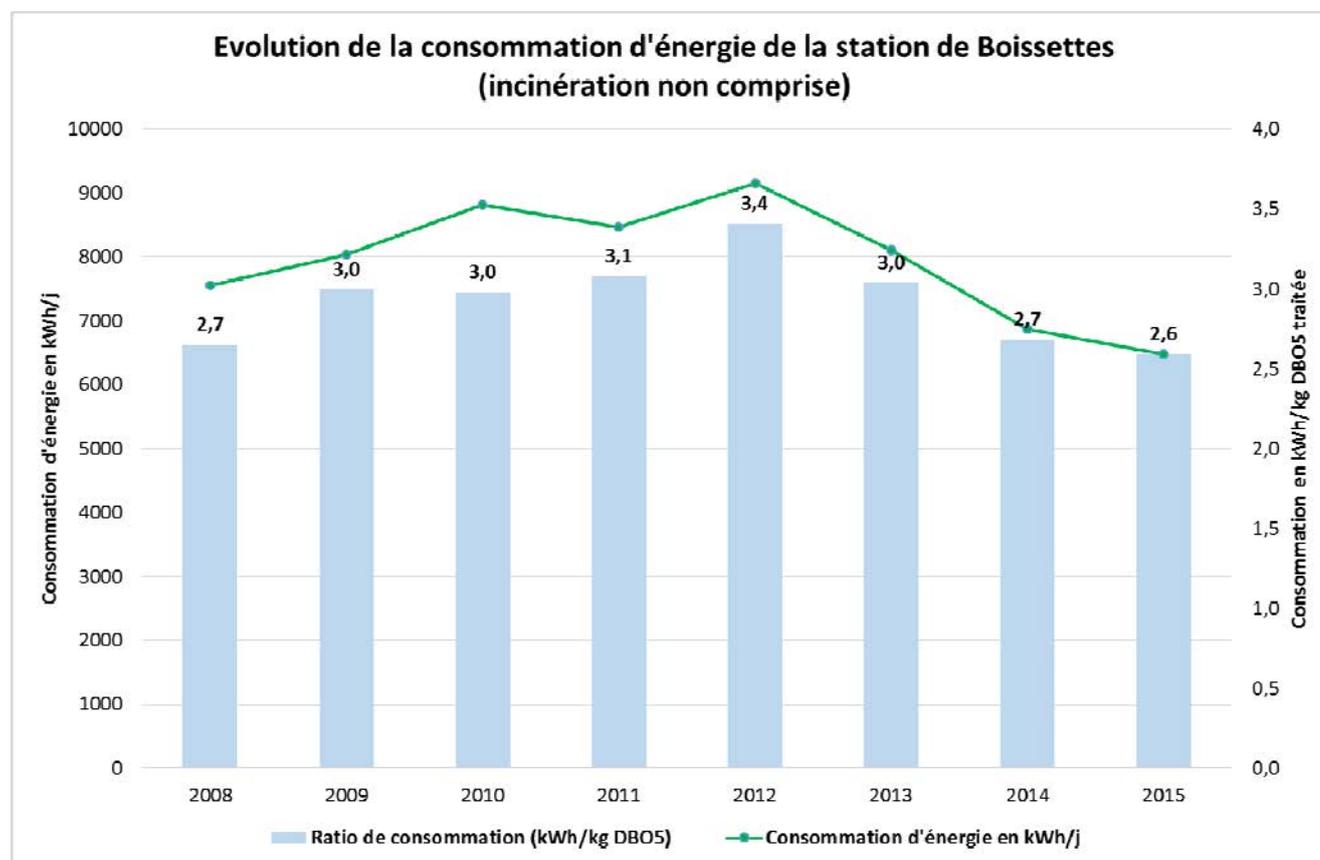
Plusieurs actions ont permis d'obtenir ces résultats :

- Mise en place d'une régulation de la ventilation utilisée pour la désodorisation des bâtiments ;
- Meilleure gestion de l'aération des filtres ;
- Traitement des centrats sur tranche n°4 (BIOFILTRÉS), leurs retours sur la tranche n°3 (BIOCARBONE) étant moins adaptés.

En intégrant l'énergie consommée par le four, le bilan devient moins favorable mais reste positif, la quantité d'énergie nécessaire à l'incinération restant modérée (157 kWh/TPB). En effet, la majorité des boues présente des caractéristiques proches de l'autocombustibilité et le gaz sert essentiellement au maintien du four en température lors des périodes de non alimentation.

Il devrait être possible de réduire encore cette empreinte énergétique puisque la filière était toujours en phase d'optimisation (amélioration de la siccité des boues déshydratées, montée en charge du système avec les boues extérieures, meilleurs réglages, récupération d'énergie ...). D'ailleurs, l'audit énergétique réalisé en 2015 a permis de définir un certain nombre d'actions qui seront mises en œuvre progressivement et, notamment, dans le cadre du renouvellement des équipements.

La station d'épuration de Boissettes d'une capacité de 77 000 EH est de type boue activée en aération prolongée, les boues étant éliminées depuis 2011 sur l'unité d'incinération. L'économie en énergie de 2015 est importante puisqu'elle représente 24 % de la consommation de 2012, la plus élevée des 10 dernières années. Cette tendance à la baisse est à confirmer dans le temps puisque les résultats obtenus par le passé étaient équivalents (2008-2009).

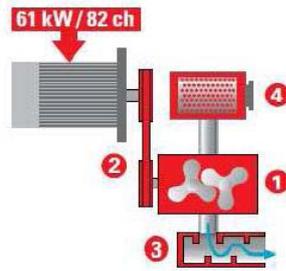


L'exploitant a joué sur plusieurs facteurs :

- Installation d'une régulation avancée de l'aération de la biomasse basée sur la mesure en temps réel des paramètres ammonium/oxygène et nitrates ;
- Renouvellement des surpresseurs (à lobes/compression externe) par des surpresseurs plus efficaces (à vis/compression interne). Le schéma suivant donne un exemple de gain potentiel lié au changement de technologie : réduction des besoins énergétiques de 30 %, soit, à l'échelle de la station, une baisse de 15 % si l'aération représente 50 % de la consommation totale ;
- Mise en place de variateurs de fréquence sur les pompes de relèvement.
- Chauffage des locaux via une pompe à chaleur récupérant une partie des calories des eaux traitées.



Pertes d'énergie dues à la conception



Une grande résistance au débit d'air interne fait fortement chuter la pression et augmente la consommation d'énergie.

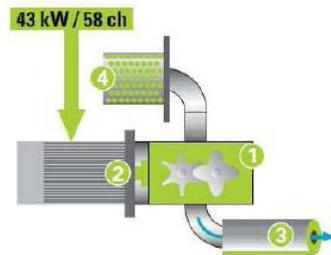
Les pertes sont générées par :

- 1 la compression externe
- 2 l'entraînement poulie/courroie
- 3 le silencieux
- 4 le filtre à l'aspiration

Pour fournir 1 600 m³/h (942 pi³/min) à une pression de 0,8 bar(e) (11,6 psig), un surpresseur trilobe consomme en moyenne 61 kW (82 ch).



Economies d'énergie générées par la conception



Dans le surpresseur à vis ZS, le circuit interne est optimisé pour réduire la perte de charge et les pulsations de l'air.

Economies maximisées par :

- 1 la compression interne
- 2 le carter d'engrenages intégré
- 3 le silencieux adapté
- 4 le filtre à l'aspiration

Pour fournir 1 600 m³/h (942 pi³/min) à une pression de 0,8 bar(e) le surpresseur à vis consomme en moyenne 43 kW (58 ch).

7) Les énergies renouvelables

a) Bilan 2015

L'intégration de la production d'énergie renouvelable sur les stations d'épuration reste anecdotique pour la majorité des projets récents, la substitution aux énergies conventionnelles étant peu significative au regard de la consommation totale en énergie électrique (1,1 MWh soit moins de 1,5 % du total consommé). Le tableau suivant regroupe quelques exemples d'installation d'énergie renouvelable mis en place sur les stations d'épuration, essentiellement dans les dix dernières années.

Station d'épuration	Capacité (EH)	Équipement mis en place	Estimation de l'énergie renouvelable produite en 2015 en fonctionnement optimisé (MWh/an)
Boissettes	77 000	Pompe à chaleur : eau du clarificateur/eau pour le chauffage du local d'exploitation	Inconnue (faible)
La-Grande-Paroisse (Montereau)	21 700	Récupération de l'air chaud du local des surpresseurs pour chauffer les locaux techniques attendant et chauffe-eau solaire	
Claye-Souilly (Bourg)	14 000	Puits canadien et chauffe-eau solaire pour le local d'exploitation	
Nantouillet	3 100	Pompe à chaleur air du local surpresseur/air pour le chauffage du local d'exploitation	
Saint-Souplets	4 500	Serre solaire simple	240
Quincy-Voisins	9 900	Pompe à chaleur : eau du clarificateur/eau du plancher chauffant de la serre solaire	330
Le Châtelet-en-Brie	7 000		290
Bourron-Marlotte	3 300		270

b) Potentiel rapidement exploitable

Cependant, à court terme, le potentiel est important et reposerait principalement sur la production de biogaz issus de la méthanisation de boues mixtes (mélange de boues primaires et de boues biologiques) présentant un pouvoir méthanogène intéressant. Les trois sites concernés sont placés dans le tableau suivant :

Station d'épuration	Capacité (EH)	Potentiel de production nette de gaz en MWh par rapport à la situation actuelle.	Etat d'avancement du projet
Saint-Thibault des Vignes (SIAM)	350 000	7 000	Etude de faisabilité terminée. Engagement dans le projet prévu à moyen terme
Dammarié-lès-Lys et stations associées (CAMVS)	165 000	4 400	Réalisation des études préalables pour 2017 avec une mise en fonctionnement prévue pour 2020
Avon-Fontainebleau (CAPF)	50 000	700	Absence de projet, contraintes d'espace importantes.

Le potentiel de production serait de 12 000 MWh représentant 19 % de la consommation totale d'énergie électrique des stations d'épuration, hors filières d'élimination.

Le contexte réglementaire et économique est devenu favorable au développement de la méthanisation des boues résiduaires urbaines puisque le gaz produit après purification peut-être injecté directement dans le réseau géré par Enedis et ceci à un prix préférentiel plus élevé que le prix du gaz naturel.

Un autre avantage de la méthanisation est la réduction significative de la production de boues (30 à 40 %) et ceci tout particulièrement si les boues sont recyclées en agriculture. Par contre, si les boues sont incinérées, l'avantage se transforme en inconvénient puisque les boues perdent de leur pouvoir calorifique, la matière organique étant transformée en biogaz. Cette problématique se posera pour les 2 projets les plus avancés (CAMVS, SIAM), le bilan final sera à étudier avec intérêt. Le bilan énergétique de ces installations pourrait être encore amélioré en utilisant une pompe à chaleur pour chauffer les digesteurs ou par l'introduction de déchets externes plus méthanogènes (biodéchets et graisses, par exemple). Ce principe a été retenu pour l'un des digesteurs de la CAMVS.

La méthanisation de boues biologiques issues des stations d'épuration de type boue activée en aération prolongée de plus de 30 000 EH reste possible sur le plan technique, mais l'intérêt financier devra être étudié de manière précise puisque le ratio de production de biogaz par tonne de matière sèche est moindre que pour des boues mixtes.

La mise en place d'énergie photovoltaïque peut s'avérer intéressante dans le cas où le site possède une toiture bien exposée et sans masque (local technique, local d'exploitation et aire à boues). Cette énergie pourrait être autoconsommée (consommation énergétique permanente importante) ou vendue à un distributeur d'énergie à un prix préférentiel.

Département de Seine-et-Marne
Direction de l'eau, de l'environnement et de l'agriculture
Hôtel du Département
CS 50377 - 77010 Melun cedex
<http://eau.seine-et-marne.fr>
sde@departement77.fr

seine-et-marne.fr  

