

STATION D'ÉPURATION DU SIAAP, SITE DE SEINE AVAL

Station d'épuration

Contexte

Objectifs

Le site de Seine aval a été mis en place pour faire face aux problèmes d'évacuation et d'assainissement des eaux engendrés par l'accroissement de population de l'agglomération parisienne.



Figure 1 : Vue aérienne actuelle du site – source SIAAP

Historique



Seine aval est composé de deux sites distincts, l'unité de traitement des eaux (**UPEI** : Unité de Production des Eaux et des Irrigations) incluant également les ouvrages de stabilisation des boues, et l'unité de traitement final des boues (**UPBD** : Unité de Production des Boues Déshydratées), composée des unités dédiées à l'épaississement, au conditionnement thermique et à la déshydratation des boues digérées. L'usine est alimentée par 5 grands émissaires qui se regroupent tous en rive droite de Seine (site de la Frette sur la commune de la Frette sur Seine). Les eaux franchissent ensuite la Seine en siphon, pour alimenter le prétraitement commun et les différentes tranches.

L'évolution du site est liée à l'augmentation de la population de la région parisienne. La première tranche de la station d'épuration fut créée en **1940**. Il y a 5 tranches de traitement nommées AI, AII, AIII, AIV et station pilote, complétées par une clarifloculation, une nitrification et une dénitrification partielle.

Une unité complémentaire de post dénitrification des eaux, une unité de traitement des jus de retours de l'UPBD et une unité de fiabilisation des boues sont en cours de réalisation dans le cadre des travaux de mise en conformité DERU (Directive sur les Eaux Résiduaire Urbaines)¹ qui s'achèveront fin 2011.

| | Capacité théorique m ³ /J | Mise en service |
|-------------------|--|---|
| Achères I | 220 000 | 1940 |
| Achères II | 300 000 | 1966 |
| Achères III | 900 000 puis 675 000 | 1972-2006 |
| Achères IV | 600 000 | 1978 |
| Pilotes | 60 000 | 1966 (mise à l'arrêt envisagée en 2016) |
| Total | 1 855 000 | |
| | Capacité théorique de pointe m ³ /s | Mise en service |
| Clariflocculation | 30,5 | 2000 et 2003 |
| Nitrification | 52 | 2007 |
| Dénitrification | 14 | 2007 |

Tableau 1 : Capacités théoriques et dates de mise en service des ouvrages de traitement - source SIAAP



Figure 2 : Vue aérienne de l'Unité de Production des Eaux et des Irrigations (UPEI) – source SIAAP

¹ Ministère de l'écologie, du développement durable, du transport et du logement, « La directive sur les eaux résiduaires urbaines – DERU ». 2011, en ligne sur <<http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-directive-sur-les-eaux,12217.html>>

Particularité du site

Le site se situe à l'aval de l'agglomération parisienne, à une altitude inférieure à celle de la capitale. Les eaux usées peuvent ainsi s'écouler sans pompage jusqu'à la station d'épuration, pour y être traitées puis rejetées dans le fleuve. Le site Seine aval est le premier site épuratoire du SIAAP, tant historiquement qu'en importance.

Depuis la mise en service du site, le biogaz issu de la digestion des boues est valorisé. Ainsi en 2005, le biogaz couvrait les besoins énergétiques de l'usine Seine aval à hauteur de 70 %. La consommation électrique de la nouvelle usine de nitrification/dénitrification partielle mise en service en 2007 a provoqué une forte augmentation de l'énergie importée (+47 % sur l'électricité de 2005 à 2008) et donc une baisse de l'autonomie énergétique du site à hauteur de 61 % en 2009.

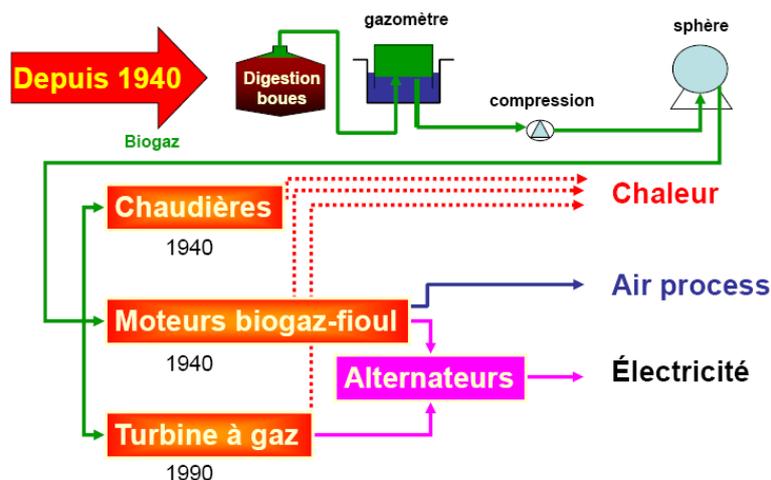


Figure 3 : schéma général de valorisation du biogaz du site Seine aval- source SIAAP

Description technique de l'installation

Le traitement des eaux

Après le prétraitement (dégrillage, dessablage, déshuilage et décantation primaire), les eaux subissent différents traitements.

Les eaux passent par les bassins d'aération où les pollutions carbonées sont éliminées, une insufflation d'air permettant l'activité et le développement de bactéries qui se nourrissent de carbone. Les eaux subissent ensuite une décantation dans des clarificateurs. Les boues biologiques en excès sont, pour la plupart, épaissies par flottation, une faible fraction étant réintroduite en amont de la décantation primaire. Elles sont ensuite envoyées en digestion, puis dirigées vers l'unité de clarifloculation qui permet la déphosphatation des eaux de temps sec et le traitement des eaux excédentaires de temps de pluie. Cette unité est constituée d'un relevage, d'un dégrillage à 10 mm, de décanteurs lamellaires ACTIFLO®. Les boues sont envoyées sur des épaisseurs, puis par temps sec, externalisées en partie (environ 44 tonnes MS/j), le reste étant envoyé en digestion. Par temps de pluie, elles sont envoyées progressivement en digestion, après stockage. Ces ouvrages sont ventilés et désodorisés en partie. L'ensemble des moyens de production de l'air nécessaire au traitement biologique est assuré par des soufflantes électriques, à l'exception de la tranche Achères III où se trouvent 3 soufflantes thermiques.

Le dernier traitement, celui de l'azote, se fait par deux procédés, la nitrification et la dénitrification partielle. L'unité de nitrification est constituée de 84 biofiltres de type BIOSTYR® de 173 m² chacun et 3,50 mètres de hauteur de matériau alimentés par pompage.

Les eaux nitrifiées rejoignent pour partie le poste de dénitrification puis le poste de comptage avant le rejet en Seine. Le reste du débit peut être dirigé sur des turbines hydroélectriques avant rejet en Seine avec les eaux dénitrifiées. Les boues sont flottées puis éventuellement centrifugées avant un envoi en digestion.

Une partie du débit sortant de la nitrification est traitée sur l'unité de post-dénitrification composée de 12 biofiltres BIOFOR® dénitrifiants de 147m² et 3 m de hauteur de matériau. Les boues sont flottées puis éventuellement centrifugées. Une deuxième partie sera dirigée vers l'unité de post-dénitrification DERU en cours de réalisation. Elle sera composée de 18 biofiltres dénitrifiants BIOSTYR® de 173 m² et 3,50 m de hauteur et d'une décantation lamellaire (1+1, Ø15 m) des eaux sales, concentrées à 25 g/L minimum.

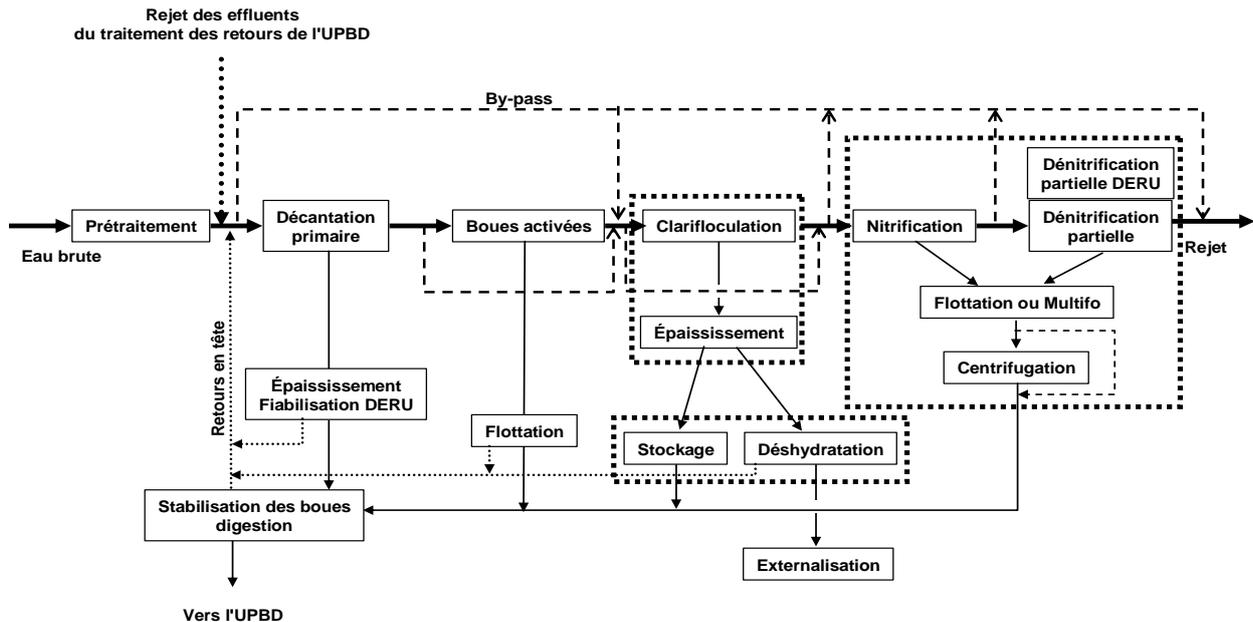


Figure 4 : schéma actuel de principe de fonctionnement de l'UPEI – source SIAAP

Prétraitement des boues

Les ouvrages de digestion reçoivent les boues primaires, les boues biologiques épaissies sur flottateurs (Achères IV et S), les boues de la nitrification, dénitrification ainsi qu'une partie des boues de la clarification-floculation.

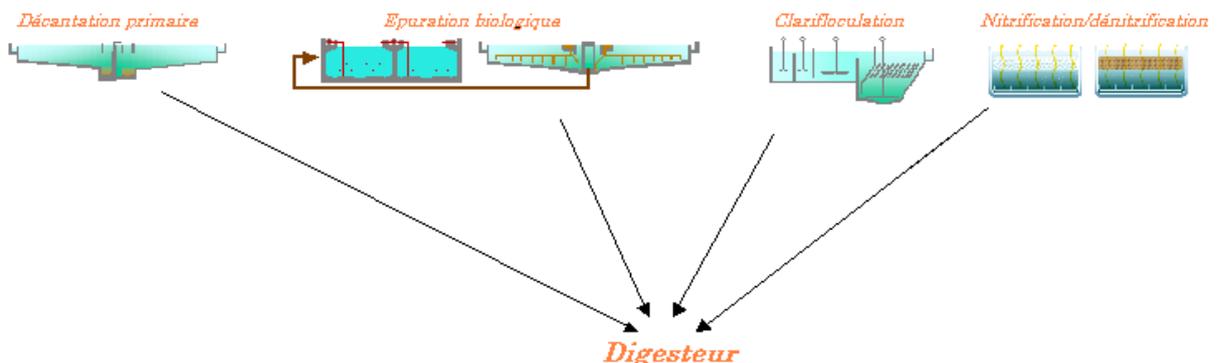


Figure 5 : origine des boues et destination – source SIAAP

Les boues primaires sont envoyées vers la bache d'équirépartition d'Achères I et II et vers celle d'AIII, AIV et AS. L'extraction des boues biologiques des tranches AI à AIV se fait en fonction de la concentration en boues dans les bassins d'aération (résultat quotidien laboratoire). Il s'agit d'un pompage en cadence/durée sur une consigne de débit opérateur.

La boue est en moyenne à 2 g/L, 80 % de MV. Elle subit ensuite une phase d'épaississement sur flottateurs (flottation AII, AIV et AS) jusqu'à une concentration d'environ 35 g/L avant envoi vers les bâches d'équirépartition.

Une partie des boues de temps sec de la clarifloculation (à 40-50 g/L) et les boues de temps de pluie (à 35-40 g/L) est amenée vers la bache d'équirépartition d'AIII, AIV et AS.

Une partie des boues de clarifloculation de temps sec est externalisée hors du site à hauteur d'environ 44 tonnes de MS/j, afin de soulager le conditionnement thermique. Elles sont directement déshydratées et évacuées hors du site.

Les boues résultant du lavage des biofiltres (nitrification et dénitrification) flottées et éventuellement centrifugées à **50 à 60 g/L** sont également retournées vers la bache d'équirépartition d'AIII, AIV et AS.

Les boues résultant du lavage des biofiltres de la post dénitrification DERU seront épaissies sur des décanteurs Multiflo® à **25 g/L** et envoyées vers les bâches d'équirépartition. Ces boues pourront éventuellement être centrifugées à **60 g/L**.

Les effluents liquides, appelés effluents ou jus de retour de l'UPBD, seront renvoyés vers l'UPEI où ils subiront à un débit de **700 m³/h** environ un traitement spécifique à partir de fin 2011. Les boues de l'unité de traitement séparé des effluents de retour l'UPBD seront également retournées vers la bache d'équirépartition d'AIII, AIV et AS.

Il existe un pompage à partir de ces bâches pour chaque tour de digestion (AII, AIII impair, AIII pair, AIV et AS).

Digestion

La digestion s'effectue à une température de **35 à 37°C** avec un brassage au gaz. Le temps de séjour en digestion est en moyenne de **16 jours**. Après digestion, les boues sont encore très liquides. Elles sont alors envoyées par pompage vers l'Unité de Production des Boues Déshydratées (UPBD).

La mise en service de la digestion de la dernière tranche en 1990 voit apparaître un bâtiment de biocogénération comprenant une turbine alimentée au biogaz et connectée sur la boucle d'eau chaude de chauffage des digestions A4 et AS. Cette turbine à gaz, d'une capacité de **4 MW** électrique et **7 MW** de chaleur, a été remplacée en 2011 par 2 turbines à gaz de capacité **5 MW** électrique et **8 MW** thermique.

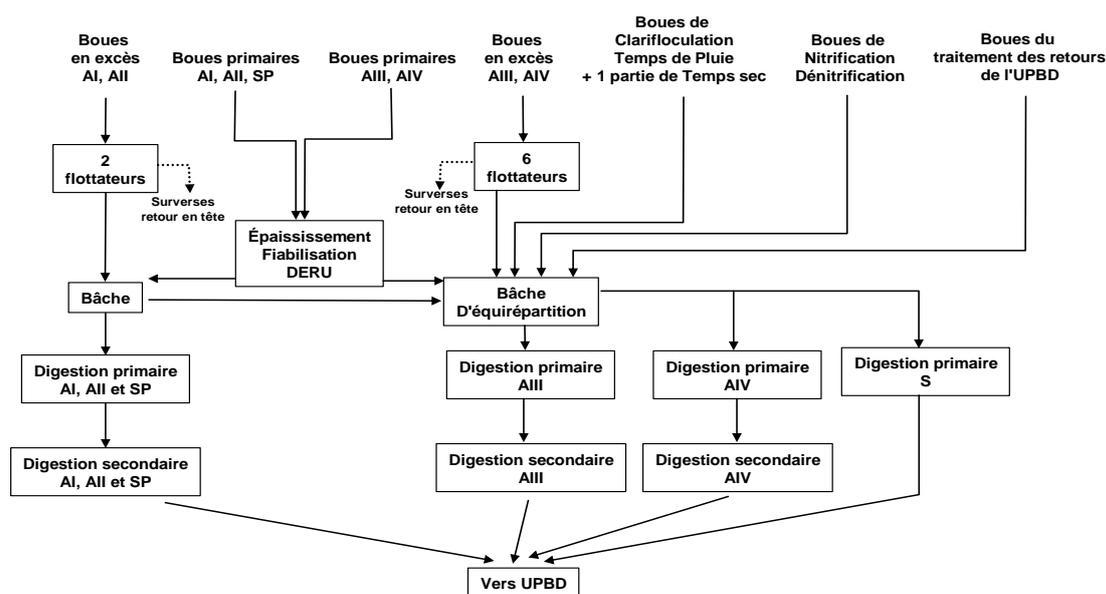


Figure 6 : schéma actuel de principe de la chaîne de stabilisation des boues – source SIAAP

| DISPOSITIFS DE BRASSAGE DES DIGESTEURS | | | | | |
|--|--|-------------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|
| TYPE DE MACHINE | R50 | R70 | R100 | R100 | R100 |
| BATIMENT | ACH II | ACH III PAIRE - IMPAIRE | ACH II | ACH IV | ACH S |
| DEBIT | DP7 DP8 DP9 DP10 DS12 <u>478</u> <u>m3/h</u> | <u>400 m3/h</u> | DP14 DP15 <u>890m3/h</u> | <u>630 m3/h</u> | <u>888m3/h</u> |
| VITESSE MOTEUR | 1460 T/MN | 735 T/MN | 980 T/MN | 750 T/MN | 1000 T/MN |
| PUISSANCE MOTEUR | 30kW | 25kW | 55kW | 45kW | 75kW |
| VITESSE MACHINE | 1460 T/MN | 735 T/MN | 980 T/MN | 750 T/MN | 1000 T/MN |
| PLAN DE MONTAGE | P1025B | M1765 | P1024B | M2877 | M4420 |
| PRESSION | 1.7 BARS | 2 BARS | 2 BARS | 2.5 BARS | 2.5 BARS |

Tableau 2 : Dispositifs de brassage des digesteurs – source SIAAP

| CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES DE DIGESTION | | | | | |
|---|-----------------|---------------|----------------|------------------------|--------------------|
| DIGESTION | | | | | |
| <i>Digesteurs primaires AI-All</i> | <i>Diamètre</i> | <i>Volume</i> | <i>Hauteur</i> | <i>hauteur liquide</i> | <i>hauteur NGF</i> |
| DP7/DP8/DP9/DP10 | 24m | 5 335m3 | 16,60m | 13,60m | 32,50m |
| DP14/DP15 | 33m | 12 625m3 | 20,85m | 16,60m | 35,60m |
| <i>Digesteurs secondaires AI-All</i> | | | | | |
| DS12 | 24m | 4 873m3 | 15,50m | 12,50m | 31,50m |
| <i>Dig Prim AIII ZP/ZI</i> | | | | | |
| DP2/DP4/DP6/DP1/DP3/DP5 | 29m | 8 144m3 | 16,60m | 14,25m | 35m |
| <i>Dig AIII</i> | | | | | |
| DM7/DM8 en Primaire | 29m | 8 144m3 | 17,50m | 15,25m | 35m |
| DM7/DM8 en secondaire | 29m | 7 484m3 | 17,50m | 14,25m | 34m |

| | | | | | |
|----------------------------|-----|----------------------|--------|--------|-----|
| Dig secondaire AIII | | | | | |
| DS10 (passé en primaire) | 29m | 8 144m ³ | 17,50m | 14,25m | 34m |
| DS9 | 29m | 7 484m ³ | 17,50m | 14,25m | 34m |
| Dig Prim A IV | | | | | |
| DP1/DP2/DP3 | 33m | 12 818m ³ | 19,10m | 12,83m | 35m |
| Dig MIXTE AIV | | | | | |
| DM4 en primaire | 33m | 12 818m ³ | 20,08m | 13,83m | 35m |
| DM4 en secondaire | 33m | 11 900m ³ | 20,08m | 12,83m | 34m |
| Dig Secondaire AIV | | | | | |
| DS5 | 33m | 11 962m ³ | 20,08m | 12,83m | 34m |
| Dig Prim A S | | | | | |
| DP6/DP8/DP9 | 33m | 12 786m ³ | 20,09m | 17,14m | 35m |
| Dig MIXTE A S | | | | | |
| DM7 en primaire | 33m | 12 786m ³ | 20,09m | 17,14m | 35m |
| DM7 en secondaire | 33m | 11 900m ³ | 20,09m | 16,14m | 34m |
| Dig Secondaire A S | | | | | |
| DS10 | 33m | 12 786m ³ | 20,09m | 16,14m | 34m |

Tableau 3 : caractéristiques des ouvrages de digestion – source SIAAP



Figure 7 : vue aérienne de la digestion – source SIAAP

Post-traitement

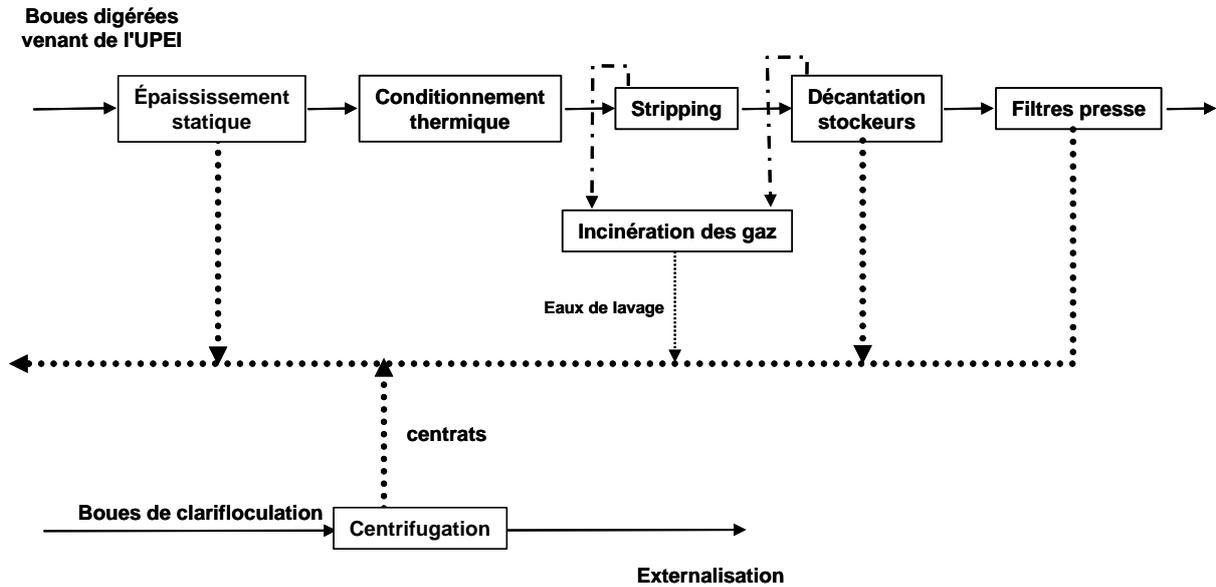


Figure 8 : Schéma de principe de la filière de traitement des boues digérées – source SIAAP

Les boues digérées sont épaissies dans des bassins circulaires de **60 m** de diamètre (ensemble de 12 ouvrages). L'épaississement concentre la boue et réduit d'environ un tiers le volume.

Les boues sont hygiénisées via un conditionnement thermique de type Portéous. Elles sont chauffées à **195°C** sous une pression de **20 bars** pendant **45 minutes**. Une économie d'énergie est établie grâce à un échangeur de chaleur qui permet de préchauffer les boues avant leur entrée dans le cuiseur. Le conditionnement thermique des boues requiert l'utilisation de vapeur, produite par une chaufferie de **50,5 MW** alimentée à la fois en biogaz et en gaz naturel. Les boues sont ensuite strippées pour extraire les gaz odorants qu'elles contiennent, puis décantées. Les boues décantées sont filtrées sur des filtres presses, à une pression de **8 à 10 bars**. Les différents procédés de déshydratation produisent une boue contenant en moyenne **50 %** de matière sèche.

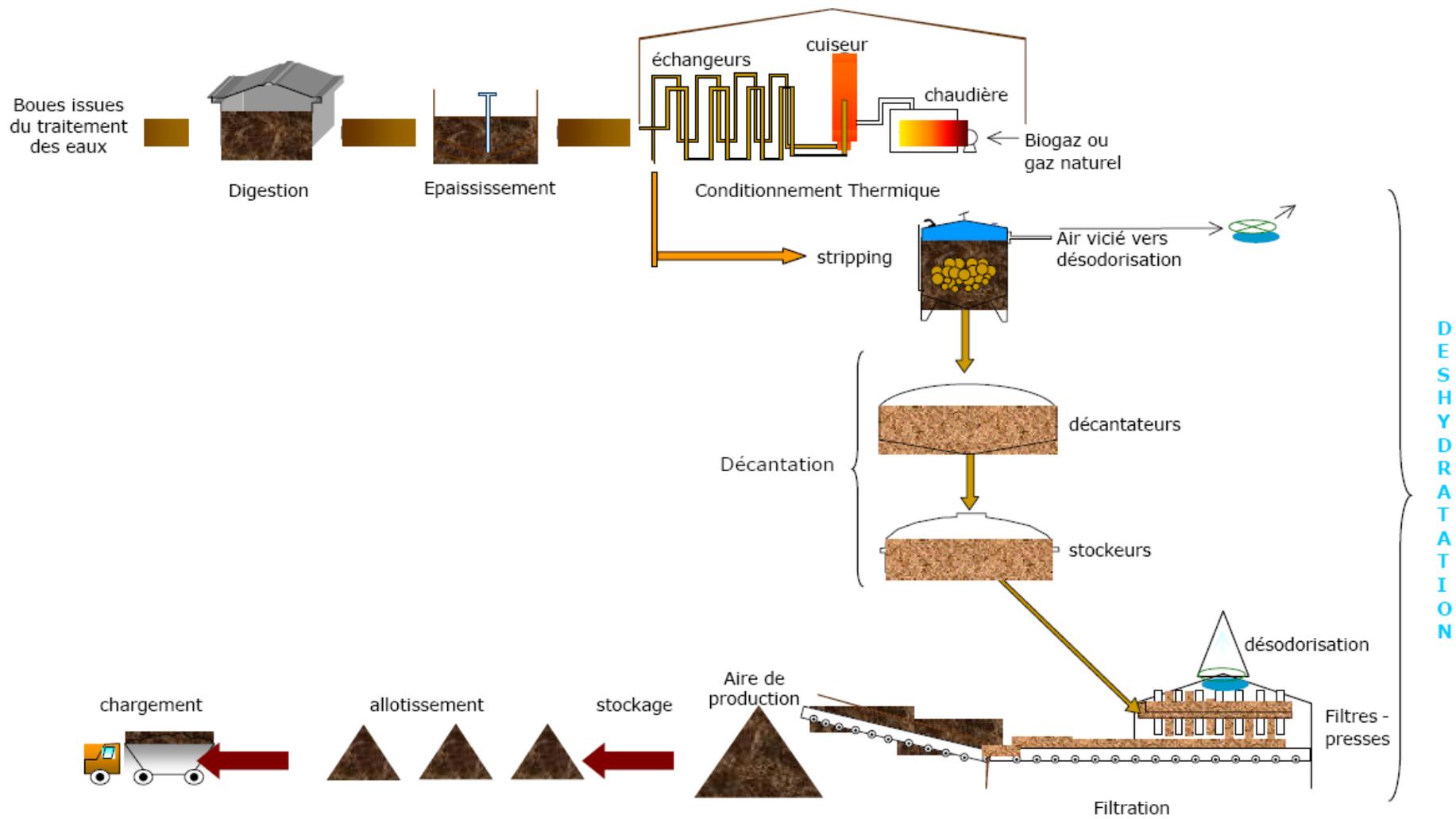


Figure 9 : traitement des boues à l'usine Seine Aval – source SIAAP

Devenir des boues digérées

Les boues déshydratées sont stockées et analysées. Celles qui ne sont pas compatibles avec une valorisation agricole sont transportées vers des ISDND.

Les caractéristiques du biogaz produit sur le site Seine aval

Les caractéristiques du biométhane produit sur le site Seine aval sont :

- méthane (CH₄) (voir figure 10) : en moyenne **65%**, de 62 à 69% sur 1 an
- dioxyde de carbone (CO₂) : en moyenne **34,4 %**, de 30 à 37 %
- dioxyde d'azote (N₂) : en moyenne **0,6 %**, de 0,5 à 1 %
- teneur en eau à l'entrée de la sphère de compression : **9 g/m³**
- H₂S : de **13 à 77 ppm** en moyenne depuis la mise en service de l'usine de clarifloculation utilisant du chlorure ferrique pour le process épuratoire des eaux. (Avant la mise en service de cette usine, les concentrations d'H₂S oscillaient de 20 à 350 ppm après désulfuration)
- Siloxanes : **35 mg/Nm³** (1 analyse)
- PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) : en moyenne **6,53 kWh/m³**.

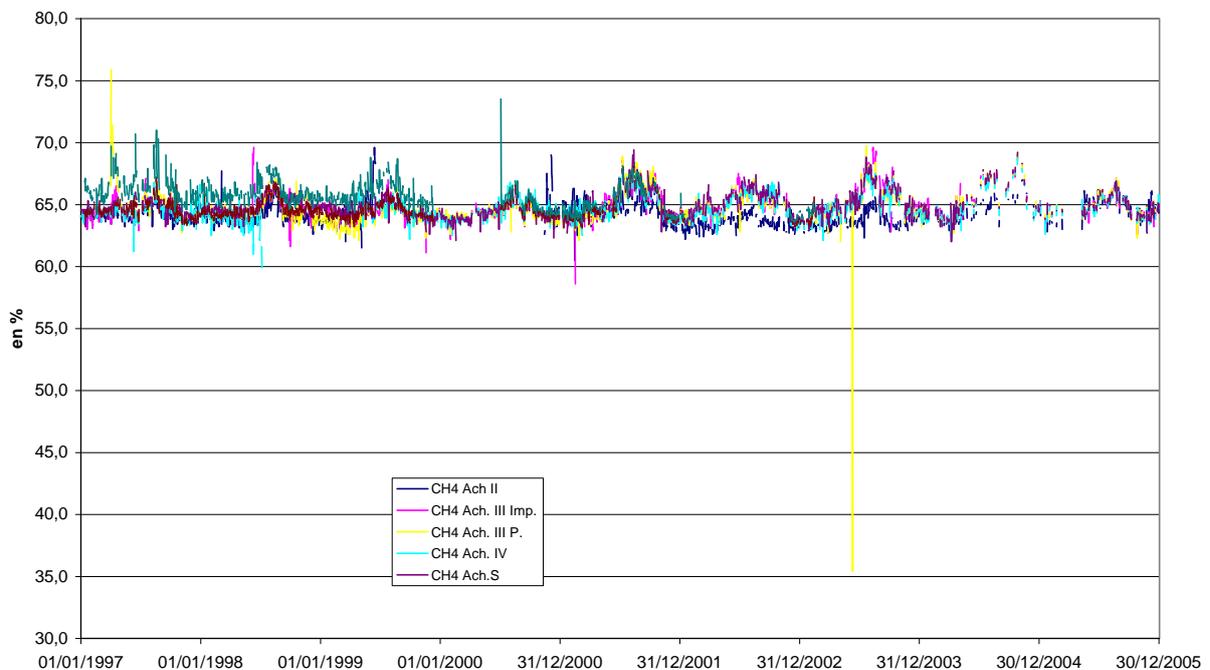


Figure 10 : Concentration en CH₄ du biogaz produit sur le site Seine aval de 1997 à 2005 – source SIAAP

Traitement du biogaz (H₂S)

Avant les années 2000, le procédé de désulfuration du biogaz se faisait à l'aide de Sulfint et produisait du soufre natif. A partir de 2000 l'utilisation de chlorure ferrique pour déphosphater a produit des boues riches en fer, qui neutralise l'H₂S dans les digesteurs. En 2010, une partie de la station (A1 et A2) est traitée par l'injection de chlorure ferrique en amont des bassins de décantation primaire. Ce traitement a pour objectifs de maîtriser les nuisances olfactives et de respecter la réglementation sur l'émission d'oxydes de soufre dont la valeur limite est de **20 ou 35 mg/Nm³** à **3 % d'O₂** sur les chaufferies.

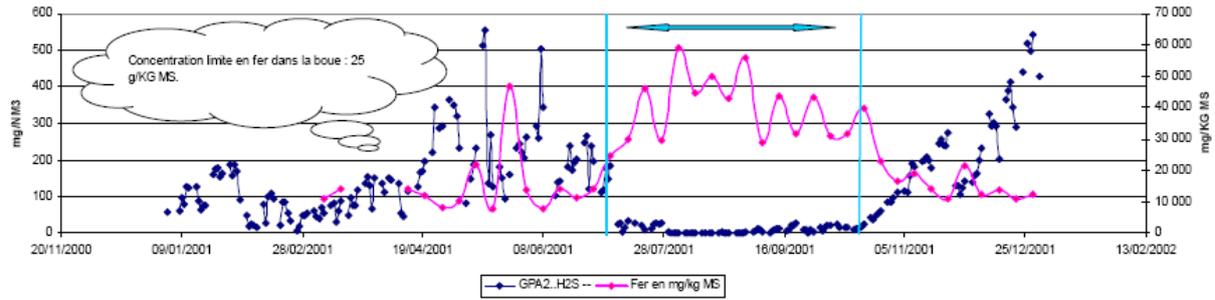


Figure 11 : H₂S Biogaz et Fer dans les boues mixtes – source SIAAP

Sur A1 et A2 l'injection de FeCl₃ se fait en continu. Au total, entre **100 et 200 L/h** de FeCl₃ sont injectés dans **350 000 m³** d'eau prétraitée, ce qui correspond à un dosage d'environ **13,5 g/m³** en commercial. Cette nouvelle démarche est convaincante puisqu'on obtient un taux d'H₂S dans le biogaz inférieur à **100 ppm**, et durant l'été 2010 inférieur à **50 ppm**. Il n'y a pas de modification du rendement de décantation (déjà très élevé pour cause de retour en tête). La concentration en H₂S en sortie de décantation primaire est plus faible, ce qui permet d'injecter moins de nitrate de calcium.

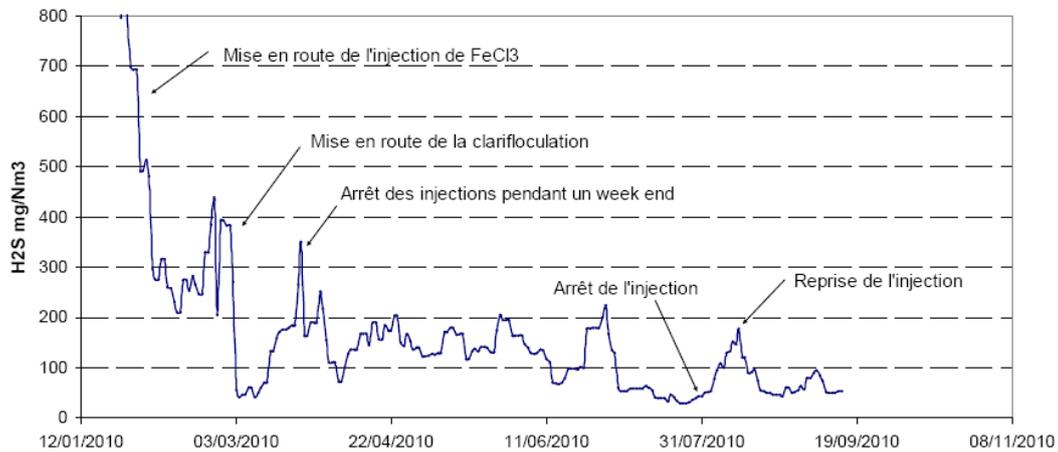


Figure 12 : Désulfuration du biogaz A1A2 par FeCl₃ - source SIAAP

Pour exemple, le tonnage en entrée des digestions A1A2 par jour est de **60 tonnes de MS**, ce qui nécessite environ **200 L/h** de chlorure ferrique soit environ **960 kg/j**. Ainsi il est nécessaire d'effectuer un apport de **11 g/kg MS** de fer par le chlorure ferrique et un apport naturel du réseau de **7 g/kg MS**. Ce qui équivaut au total à **18 g de fer/kg MS** dans la boue mixte.

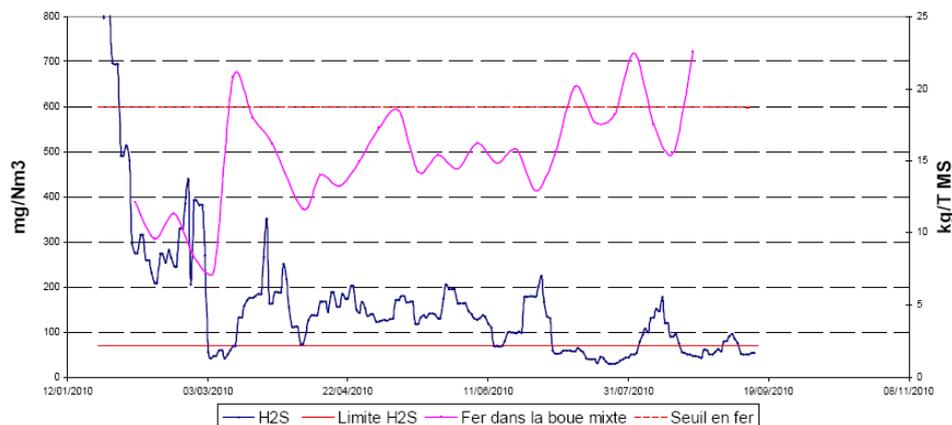


Figure 13 : Désulfuration du biogaz A1A2 par ajout de chlorure ferrique – source SIAAP

Valorisation du biogaz

Le biogaz issu de la digestion des boues est stocké dans des « sphères de biogaz » et réutilisé comme source énergétique pour les besoins de fonctionnement de l'usine. Seine aval couvre ainsi de façon autonome **60,9 %** de ses besoins en 2009.

Voici la répartition du biogaz produit :

- **22 %** pour l'alimentation de la turbine à gaz (production d'électricité),
- **19,7 %** pour le chauffage des digesteurs,
- **12,2 %** pour les soufflantes à gaz (production d'air process)
- **28,6 %** pour la chaufferie de la déshydratation des boues.
- **7,1 %** torchés (torchage du biogaz lorsque la production instantanée est supérieure à la consommation compte-tenu des stockages).

Cette répartition va évoluer du fait de la mise en service des 2 nouvelles turbines à gaz.

Chiffres clés

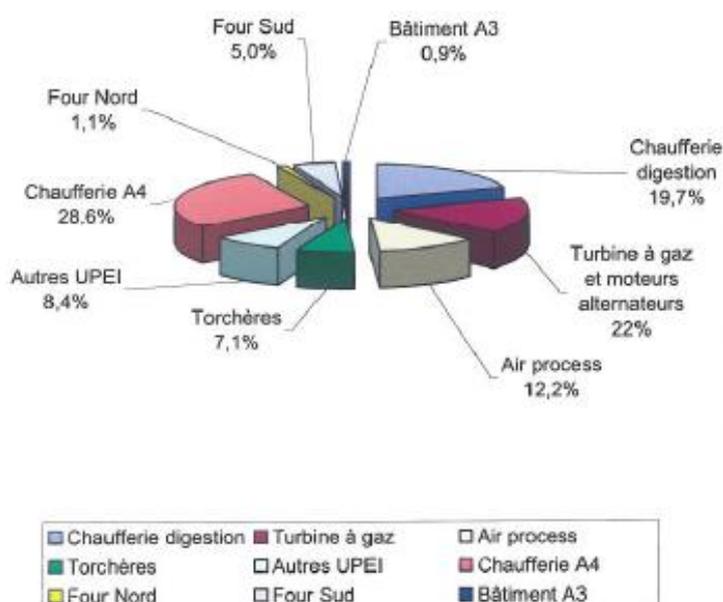


Figure 14 : Détails des consommations de Biogaz 2009
source SIAAP

Capacité de traitement de l'usine d'épuration

Débit de référence : 2 300 000 m³/j
Débit moyen : 1 625 000 m³/j (2007 à 2009)

Volume de digestion

Digestion primaire : **220 000 m³**
Digestion secondaire : **36 000 m³**
Total : **256 000 m³**

Production de biogaz (2009)

Quantité de biogaz produit :
64 613 243 Nm³ soit **180 000 Nm³/j**
315 t/j de tonnage de MV introduites,
soit **163 t/j** de tonnage de MV éliminées

Rendement d'élimination des MV de **52-54 %**.

1Nm³ de biogaz par kg de MV éliminées.

Elimination de matière sèche

La digestion et le traitement thermique permettent de diminuer la quantité de matière sèche à évacuer de **151 400 tonnes** à **65 100 tonnes**

Bilan énergétique (2009)

Energie totale consommée : **700 670 MWh**
Sources d'énergies internes (60,9 %)

- Production totale de biogaz :
- **421 924 MWh**
- Electricité produite par turbine hydraulique : **4 588 MWh**

Sources d'énergies externes (39,1 %)

- Electricité : **229 305 MWh**
- Fuel : **10 860 MWh**
- Gaz GDF : **33 993 MWh**

Aspects économiques

Investissement global

185,8 millions d'euros pour les deux tranches de construction destinées au traitement du phosphore

- Agence de l'eau **45 %**
- Région **20 %**
- SIAAP **35 %**

463 millions d'euros pour l'installation de traitement de l'azote :

- **40 %** SIAAP
- **30 %** Agence de l'Eau Seine-Normandie
- **30 %** Région Ile-de-France

Economies réalisées

La chaleur substituée aux produits d'origine fossile permet de réaliser une économie de **23 millions d'euros par an**.

La diminution de la quantité de matière sèche à évacuer, du fait de la digestion et du conditionnement thermique, permet également de réaliser des économies non négligeables.

Projets en cours d'élaboration

La refonte de l'usine Seine aval

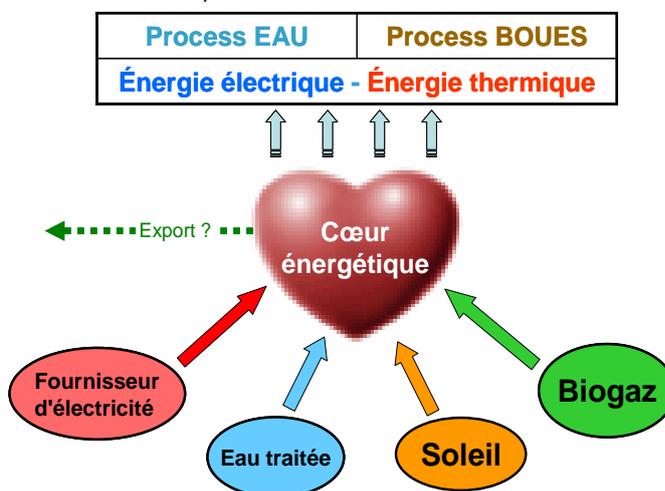
L'usine se doit d'être au service de l'environnement, elle doit donc répondre à plusieurs enjeux incontournables :

- Etre en conformité avec les directives DERU (Directive Eaux Résiduaires Urbaines) et DCE (Directive Cadre sur l'Eau)
- Tendre vers l'éradication des nuisances olfactives et vers la diminution des nuisances sonores et visuelles
- Limiter les consommations en énergie de type électrique et également diminuer sa consommation en énergies fossiles (gaz, fuel). L'objectif est de tendre vers une **autonomie énergétique de 70 %**
- Parvenir à réduire la pénibilité du travail posté et améliorer des conditions de travail de l'ensemble des agents.

Le cœur énergétique

Afin de répondre aux besoins d'énergie, il est nécessaire de limiter l'importation d'énergies externes. Il sera également fait appel aux énergies renouvelables (biogaz, énergie solaire, chaleur et énergie potentielle contenue dans les eaux traitées).

Le cœur énergétique sera composé de différentes machines. Ainsi seront mis en place des chaudières, des turbines à gaz permettant d'abandonner l'utilisation des moteurs biogaz-fioul dont le coût d'entretien est élevé et dont l'immobilisation est plus grande que celle d'une turbine lors des opérations de maintenance. De plus leur rendement global est plus faible. Il sera également mis en place des serres pour le séchage des boues. D'autres machines telles que pompes à chaleur, échangeurs et turbines hydro-électriques pourront également être mises en œuvre.



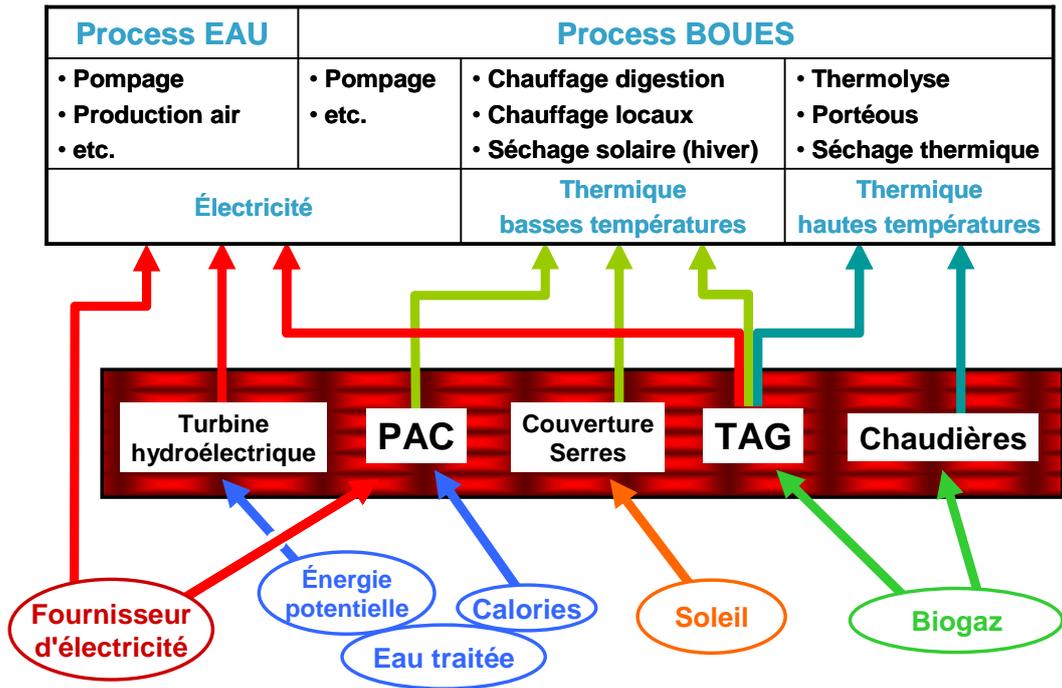


Figure 16 : Exemple de schéma de détail du cœur énergétique pour la refonte de l'usine Seine aval – source SIAAP

Contact : SIAAP / Usine Seine aval
 Route Centrale – 78603 Maisons-Laffite
<http://www.seineavaldemain.siaap.fr/> Tél. : 01 30 86 47 00 - Fax : 01 30 36 47 99