

Rapport de projet de fin d'études

Agence de l'Eau Artois-Picardie

Suivi de fonctionnement d'installations de séchage
thermique de boues résiduaires urbaines



SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	2
REMERCIEMENTS.....	5
INTRODUCTION.....	6
PLANNING DES TACHES EFFECTUÉES.....	7
PRESENTATION DE L'AGENCE DE L'EAU.....	8
1-LES AGENCES DE L'EAU, LEURS RÔLES ET MISSIONS.....	8
2-L'AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE.....	8
PRESENTATION DES TRAVAUX REALISES.....	10
CHAPITRE 1 SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE: LE SÉCHAGE THERMIQUE DES BOUES RESIDUAIRES URBAINES.....	11
1-PROBLÉMATIQUE ET CADRE LÉGISLATIF.....	11
2-QUELLE EST LA PLACE DU SÉCHAGE DANS LA FILIÈRE DE TRAITEMENT DES BOUES?	11
3-LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE SÉCHAGE.....	12
3-1- Les types de séchage	12
3-2-Les différents procédés.....	12
3-2-1-Le corps du sécheur.....	12
3-2-2-Les équipements périphériques.....	15
4-LES DIFFICULTÉS D'EXPLOITATION ET DE CONCEPTION DU SÉCHAGE THERMIQUE.....	16
4-1-L'Etat plastique collant	16
4-2-L'abrasion	16
4-3-Corrosion	16
4-4-Le bruit.....	16
4-5-Les nuisances olfactives.....	16
4-6-La combustion sèche	17
4-7-Auto-échauffement.....	17
5-POURQUOI LE SÉCHAGE THERMIQUE DES BOUES D'ÉPURATION	17
5-1-La réduction des volumes.....	17
5-2-L'hygiénisation et la stabilisation	18
5-3-Augmentation du pouvoir calorifique	18
5-4-Intérêts en fonction des destinations finales	18
5-4-1-Valorisation agricole.....	18
5-4-2-Utilité en valorisation thermique.....	18
6-COÛTS DU SÉCHAGE THERMIQUE.....	19
6-1-Investissement	19
6-2-Fonctionnement.....	19
6-3-Comparaison des coûts des séchages à 60 et 90%	20
CONCLUSION	20
CHAPITRE 2 SUIVI DE FONCTIONNEMENT DE TROIS SÉCHEURS DE BOUES RESIDUAIRES URBAINES.....	21
I- DOUAI-FORT DE SCARPE.....	22
1-INSTALLATION DE DOUAI- FORT DE SCARPE.....	22
1-1- Présentation de la station d'épuration	22
1-2 - Présentation de l'installation de séchage.....	22
2- MODE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	23
2-1- Procédure de démarrage.....	23
2-2- Procédure d'arrêt.....	24
2-3- Temps de maintenance et exploitation.....	24
2-4- Performances des sécheurs	24
3-CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE	25

3-1-Bilan thermique.....	25
3-2-Relevé des consommations.....	26
3-2-1-Consommation thermique.....	26
3-2-2-Consommation électrique.....	26
3-2-3-Relevés et résultats.....	26
4-VALORISATION AGRICOLE DES BOUES SÉCHÉES.....	27
4-1-Granulométrie et teneur en poussières.....	27
4-2-Valeur agronomique des boues.....	28
4-3- Désagrégation, minéralisation et biodisponibilité.....	29
5-BILAN ÉCONOMIQUE.....	30
6-SYNTHESE DES ÉLÉMENTS.....	31
II- MAUBEUGE-LE VERGER.....	32
1-INSTALLATION DE MAUBEUGE-LE VERGER.....	32
1-1- Présentation de la station d'épuration.....	32
1-2- PRÉSENTATION DE L'INSTALLATION DE SÉCHAGE.....	32
2-MODE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION.....	33
2-1- Procédure de démarrage.....	33
2-2- Procédure d'arrêt.....	33
3-CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE.....	34
3-1- Bilan thermique.....	34
3-2-Relevé des consommations.....	35
4-VALORISATION AGRICOLE DES BOUES.....	35
4-1-Granulométrie.....	35
4-2-Composition agronomique des boues séchées.....	36
5-BILAN ÉCONOMIQUE.....	37
6- SYNTHESE DES ÉLÉMENTS.....	37
III- VILLENEUVE D'ASCQ.....	38
1-INSTALLATION DE VILLENEUVE D'ASCQ.....	38
1-1- Présentation de la station d'épuration.....	38
1-2- Présentation de l'installation de séchage.....	38
2- MODE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION.....	39
2-1- Procédure de démarrage.....	39
2-2- Procédure d'arrêt.....	39
2-3- Temps de maintenance et exploitation.....	40
2-4- Bilan des performances.....	40
3- CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE.....	41
3-1- Bilan thermique.....	41
3-2- Relevé des consommations.....	42
3-2-1- Consommation thermique.....	42
3-2-2- Consommation électrique.....	42
3-2-3-Relevés et résultats.....	43
4- VALORISATION AGRICOLE DES BOUES.....	43
4-1-Remarque sur le chaulage.....	44
4-2- Valeur agronomique.....	44
4-3-Epandage.....	45
5-BILAN ÉCONOMIQUE DE L'INSTALLATION DE SÉCHAGE.....	45
5-1-Tableau des données économiques.....	45
5-2-Bilan des coûts énergétiques.....	45
5-3- Bilan annuel estimé.....	46
6-SYNTHESE DES ÉLÉMENTS.....	46
IV- SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS.....	48
1-PERFORMANCES DES INSTALLATIONS PAR RAPPORT AUX RÉSULTATS INITIALEMENT PRÉVUS.....	48
2-DESTINATION FINALE DES BOUES SÉCHÉES.....	48
IMPRESSIONS PERSONNELLES.....	51
1- ACQUIS TECHNIQUES.....	51
2- DÉCOUVERTE D'UN ÉTABLISSEMENT; L'AGENCE DE L'EAU.....	51
3- EXPÉRIENCE DE RÉALISATION D'ÉTUDE TECHNIQUE.....	51

CONCLUSION.....	53
BIBLIOGRAPHIE.....	54
ANNEXES.....	55

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont apporté à la fois leur aide et leurs conseils avisés pour la réalisation de ce projet, à savoir:

Jean-Philippe KARPINSKI, ingénieur à la mission Qualité de l'Assainissement et parrain de mon stage, Michel LAURENT, chef de la mission Qualité de l'Assainissement, Nadine COUDOU documentaliste et l'ensemble du personnel des missions Qualité de l'Assainissement et Mer du Nord,

Caroline BLAS et Karine GILLARD de Lille Métropole Communauté Urbaine,

Jean-Jacques HERIN du Syndicat Intercommunal d'assainissement de la région de Douai (SIADO),

David ATTALI de la société SAUR,

Jean-Marie DESMIS de la société SOGEA,

Cécile GABELLE de la société Eau et Force Nord Ardennes,

Monsieur BRUYERE de la société Fertinord,

Rodolphe ARLOT de la société SEDE Environnement,

Monsieur Georges PARIS, agriculteur du Douaisis.

INTRODUCTION

Elément essentiel de la formation de l'école des Mines de Douai, le stage en entreprise permet la découverte des réalités du monde industriel. C'est dans le cadre de cette formation et de l'option Environnement et Industrie que j'ai effectué mon stage de quatrième année, appelé projet de fin d'études à l'Agence de l'Eau Artois-Picardie à Douai. Mon stage consistait en la réalisation d'un suivi de fonctionnement de trois installations de séchage thermique de boues d'épuration. C'est une technique nouvellement mise en œuvre dont il existe encore peu de retour d'expérience d'exploitation.

Dans un premier temps, je ferai la présentation succincte de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie que j'ai intégrée pendant quatre mois. Ensuite, je présenterai la synthèse bibliographique sur le séchage thermique afin de faciliter la compréhension et la lecture du rapport de synthèse détaillant les résultats de fonctionnement des sécheurs de Douai, Maubeuge et Villeneuve d'Ascq. Enfin j'apporterai quelques impressions personnelles sur le stage effectué.

PLANNING DES TACHES EFFECTUEES

	Mars				Avril				Mai				Juin			
Recherche de document - Synthèse bibliographique	■	■	■	■												
Rencontre des maîtres d'œuvre et exploitants		■														
Suivi de fonctionnement Maubeuge					■						■					
Suivi de fonctionnement Douai						■										
Suivi de fonctionnement Villeneuve d'Ascq							■									
Recensement sécheurs							■									
Partie agronomie - Synthèse biblio et entretiens								■	■							
Rédaction rapport d'étude-									■	■			■	■		
Présentations orales - Visite sécheur Saint-Brieuc															■	■

L'ensemble de mon activité a été tourné vers le suivi de fonctionnement des sécheurs de boues d'épuration de Douai, Maubeuge et Villeneuve d'Ascq. J'ai dans un premier temps préparé ces audits en réalisant une étude bibliographique sur le séchage thermique. La présence continue sur le terrain fut une deuxième grande étape de ce stage. Enfin, j'ai consacré la dernière partie de mon temps à la synthèse écrite et orale des résultats obtenus. J'ai pu gérer mon temps de manière personnelle et indépendante.

PRESENTATION DE L'AGENCE DE L'EAU

1-Les Agences de l'Eau, leurs rôles et missions

Les Agences de l'Eau sont des établissements publics, placés sous la double tutelle du Ministère de l'Environnement et celui de l'Economie et des Finances. Elles ont été instaurées par la loi sur l'eau de 1964 et créées en 1967.

Une agence a pour rôle de financer les ouvrages de lutte contre la pollution et d'amélioration de la ressource en eau grâce à des redevances perçues auprès des collectivités, des industriels et des agriculteurs.

L'Agence de l'Eau a un rôle:

- **d'intervention sur la ressource**, la pollution et le milieu naturel, sur l'économie et les finances des collectivités locales, les industriels et les agriculteurs,
- **de conseiller technique et stratégique** pour les collectivités locales, les industriels et les agriculteurs,
- **de conduite d'études et de recherche** dans le domaine de l'eau,
- **d'information et de formation**.

2-L'Agence de l'Eau Artois-Picardie

Localisée à Douai (siège), Amiens et Boulogne-sur-Mer (délégations), l'Agence de l'Eau Artois-Picardie a pour zone de compétence les départements du Nord, du Pas de Calais, de la Somme et le nord de l'Aisne.



Elle s'organise en six grands services:

- La Direction, comprend en outre la communication, la qualité et les études
- La **Direction des affaires générales** assure la fonction juridique, la gestion du personnel, la documentation et la communication
- La **Direction administrative et financière**
- La **Direction "ressources et milieux"** a en charge la stratégie d'alimentation en eau, la protection des ressources, la collecte et le traitement des données.
- La **Direction Industrie**
- La **Direction "lutte contre la pollution"** est chargée des études et des interventions de lutte contre la pollution des collectivités locales et de l'agriculture.

J'ai réalisé mon stage au sein de la mission "Qualité de l'assainissement" dépendant de la direction "lutte contre la pollution". C'est un service technique en relation avec les collectivités territoriales.

Les travaux que j'ai pu effectuer sont à placer dans le cadre du rôle de conduite d'études de l'Agence.

PRESENTATION DES TRAVAUX REALISES

CHAPITRE 1 SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE: LE SÉCHAGE THERMIQUE DES BOUES RESIDUAIRES URBAINES

1-Problématique et cadre législatif

L'effort en matière d'assainissement réalisé par les différentes collectivités se traduit par une augmentation des performances épuratoires et un accroissement de la capacité de collecte et de traitement de la pollution. Ce phénomène induit directement une augmentation de la quantité de boues produites. Pourtant, les destinations finales des boues sont de moins en moins variées.

En effet, les mesures adoptées par la loi de 1992 et les directives de l'Union européenne ont pour objectif de favoriser la valorisation et le recyclage tout en renforçant les dispositions techniques des filières de traitement, l'incinération et le stockage. De plus, la mise en décharge des boues résiduelles urbaines est interdite depuis 2002. Selon la loi du 13 juillet 1992, relative à l'élimination des déchets, seuls les déchets ultimes sont acceptés dans les centres de stockage.

L'élimination et la valorisation des boues d'épuration font l'objet d'un ensemble de directives européennes de législations françaises et de réglementations de droit interne. Aujourd'hui cette législation a été clarifiée par l'arrêté du 8 janvier 1998 qui classe désormais les boues comme déchet, levant l'ambiguïté déchet/produit. Cet arrêté du 8 janvier 1998 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées précise les prescriptions techniques applicables à l'épandage de ces boues en agriculture. Les grandes lignes de la nouvelle réglementation sont les suivantes:

- Le producteur de boues est responsable de la filière épandage et de son suivi, de la production de la boue à son épandage.
- Une filière d'épandage doit être organisée et encadrée sous la responsabilité du producteur de boues.
- Cette filière est réglementée et contrôlée par l'Etat (préfets de départements).
- La qualité des boues doit assurer leur innocuité.
- La traçabilité des opérations doit être assurée.
- Le stockage ne doit pas engendrer de pollution ni de nuisances.

Face à ces exigences réglementaires, il n'existe plus que deux filières de valorisation des boues :

- **La valorisation agricole** par épandage est une méthode économique de traitement. Mais elle se heurte à des problèmes de normes et surtout d'acceptation sociale qui oriente les agriculteurs vers des engrais mieux perçus.

- **L'incinération** est une méthode qui réduit par combustion des matières organiques la boue à l'état minéral. Ainsi elle devient un déchet ultime qu'on peut mettre en décharge. C'est cependant une méthode coûteuse essentiellement de par les rejets atmosphériques, qui peuvent poser des problèmes de santé publique (dioxines).

Pour répondre à ces contraintes de plus en plus exigeantes une technique s'est développée, le séchage thermique de la boue. Cette voie est attrayante car elle présente des avantages aussi bien pour la valorisation agricole que pour l'incinération.

2-Quelle est la place du séchage dans la filière de traitement des boues?

La figure 1 schématise la filière de traitement d'une boue de station d'épuration depuis sa production jusqu'à sa destination finale. Elle permet de comprendre où se situe le séchage thermique dans la chaîne de traitement.

Avant le séchage thermique, les boues sont systématiquement déshydratées car cette opération est bien moins coûteuse en énergie. Elle permet d'atteindre des siccités de l'ordre de 20%. Avec des systèmes comme le filtre presse ou la déshydratation mécanique, on peut porter la siccité jusqu'à 30-35%. La siccité définit le pourcentage de matières sèches (MS) contenu dans une boue.

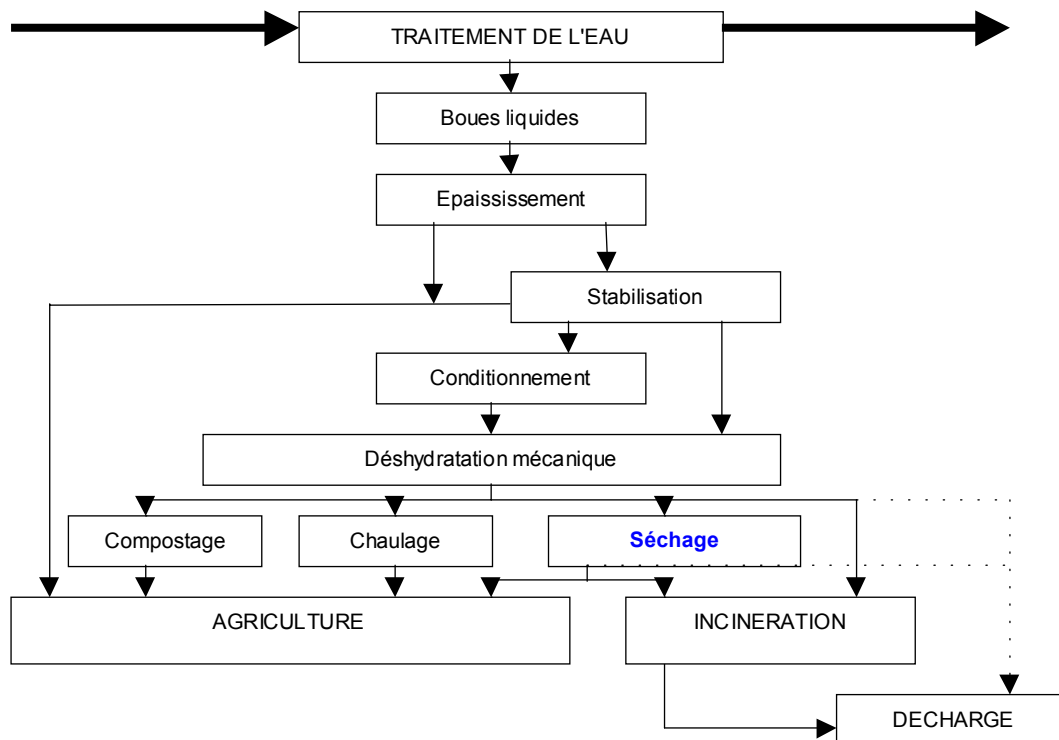


Schéma 1 : place du séchage dans la filière boue

3-Les différentes techniques de séchage

3-1- Les types de séchage

Il est possible de classer les sècheurs selon leur procédé ou selon leur siccité finale obtenue.

Suivant son degré de siccité S , la boue passe par des états différents: liquide pour $S < 10\%$, pâteuse pour $10\% < S < 25\%$ et solide pour des siccités supérieures. Le comportement solide diffère: la boue est pompable jusqu'à 40% de siccité et entre 50% et 60% elle devient extrêmement visqueuse, collante et très difficilement manipulable. Cette phase est appelée phase plastique. Au delà de 60% , la boue commence à devenir granuleuse. [1]

Le séchage permet d'atteindre des gammes de siccité beaucoup plus élevées que la déshydratation. On distingue trois types de séchage:

- Le séchage partiel à $30\text{--}45\%$ de siccité.
- Le séchage poussé à $60\text{--}90\%$.
- Le séchage total à $90\text{--}95\%$.

3-2-Les différents procédés

Pour sécher les boues, il faut disposer du sècheur lui-même (corps du sècheur) et d'équipements périphériques.

3-2-1-Le corps du sècheur

Il existe trois types de sècheurs:

- direct
- indirect
- mixte

Les sècheurs directs

La boue est séchée par contact direct avec un gaz chaud. Les gaz extraits contenant l'eau d'évaporation ont un volume très important. Les techniques utilisant le phénomène de convection sont les sècheurs à tambour, à bandes simples, à lit fluidisé, à courant d'air chaud, à courant d'air froid et solaire.

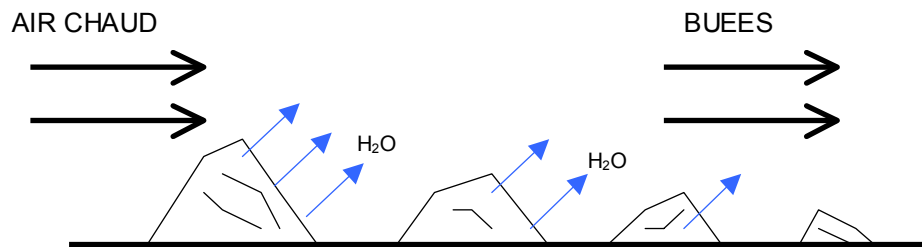


Schéma 2-Le transfert de chaleur par convection

Tout d'abord, la boue déshydratée peut être mélangée avec une partie des boues séchées recyclées. Le recyclage des boues séchées n'existe pas sur tous les procédés. Il permet cependant de s'affranchir des problèmes liés à la phase plastique des boues, puisque les boues entrent dans le sécheur avec une siccité supérieure à 60%.

Ensuite la boue est pulvérisée dans l'enceinte de séchage. Elle est entraînée et séchée par le fluide par convection. A la sortie du sécheur, le séparateur gaz-solides de type cyclone ou filtre à manche permet d'extraire d'un côté la boue séchée et de l'autre l'air chargé en vapeur. Après séparation de la boue séchée et condensation de la vapeur d'eau, le fluide est renvoyé à l'atmosphère ou partiellement recyclé après réchauffage au niveau de la chaudière.

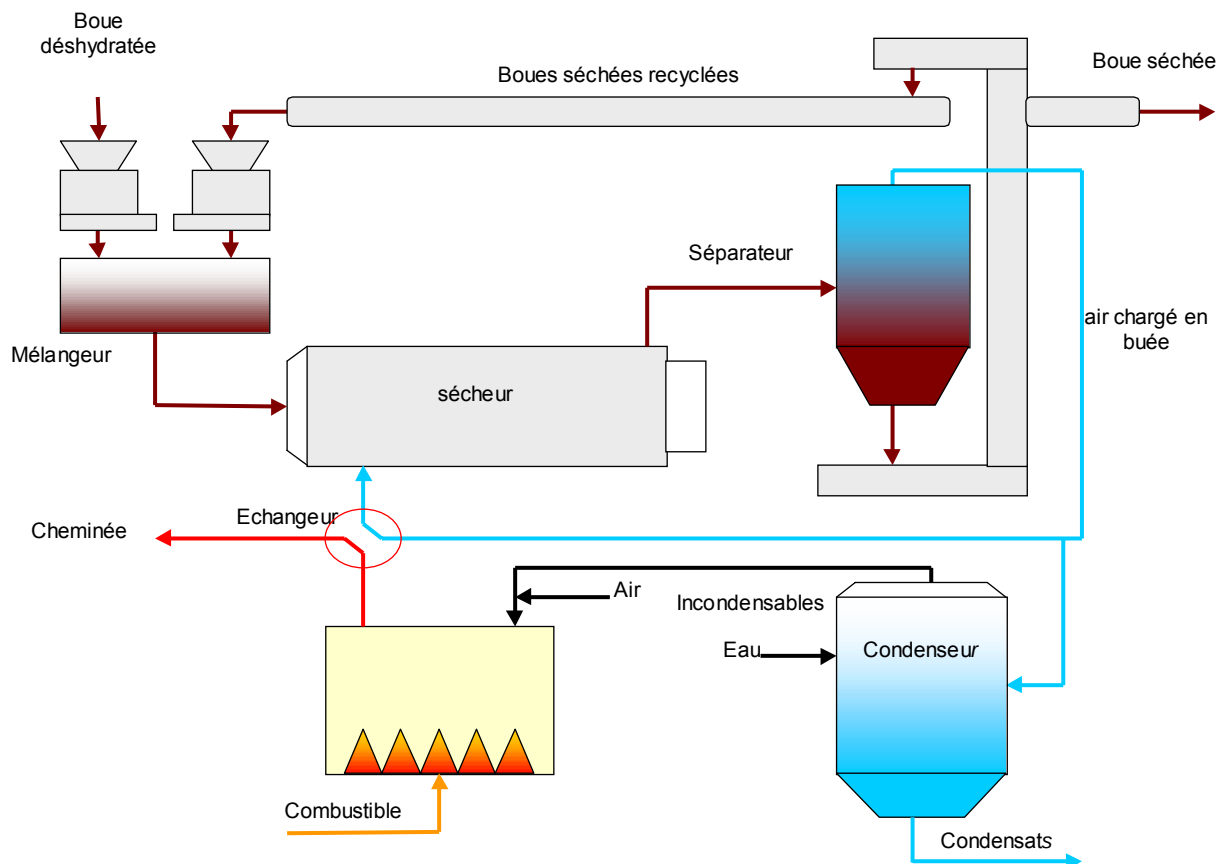


Schéma 3-Le Principe de fonctionnement d'un sécheur direct [8]

Les sècheurs indirects

Le transfert de chaleur s'effectue par conduction. La chaleur est transmise aux boues à travers une paroi. Cette technique met principalement en œuvre des sècheurs comprenant une enveloppe cylindrique fixe, souvent chauffée, dans laquelle tournent un ou plusieurs rotors. Les vapeurs libérées par le séchage sont soit aspirées, soit entraînées par un gaz de balayage dont le débit est toujours faible en comparaison à celui nécessaire à un séchage convectif. Les différentes techniques de séchage utilisant le phénomène de conduction sont les sècheurs à couche mince, à disques entiers ou partiels, à segments, à pales, double ou quadruple arbres, à plateaux multiétagés, à vis et pas progressif, à vis et à doigt, et rotatifs.

FLUIDE TRANSPORT de L'EAU EVAPOREEE

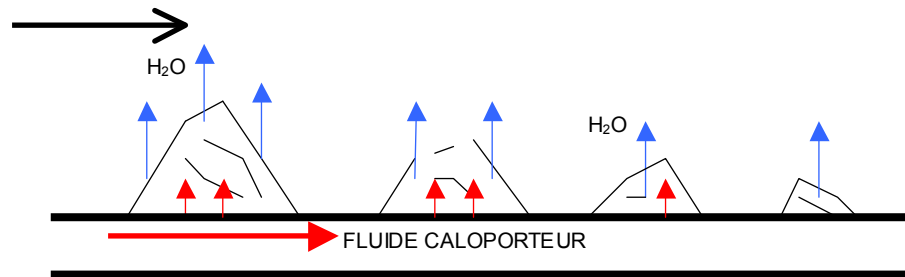


Schéma 4-Le transfert de chaleur par conduction

Le sécheur indirect est constitué d'une enveloppe cylindrique dans laquelle tourne un rotor doté de palettes ou de disques. La chaleur nécessaire à l'évaporation est apportée par circulation d'un fluide caloporteur dans l'enveloppe extérieure et/ou dans le rotor. Les racleurs, palettes ou disques, et la forme du rotor conditionnent l'avancée du produit et ainsi le rendement thermique du sécheur.

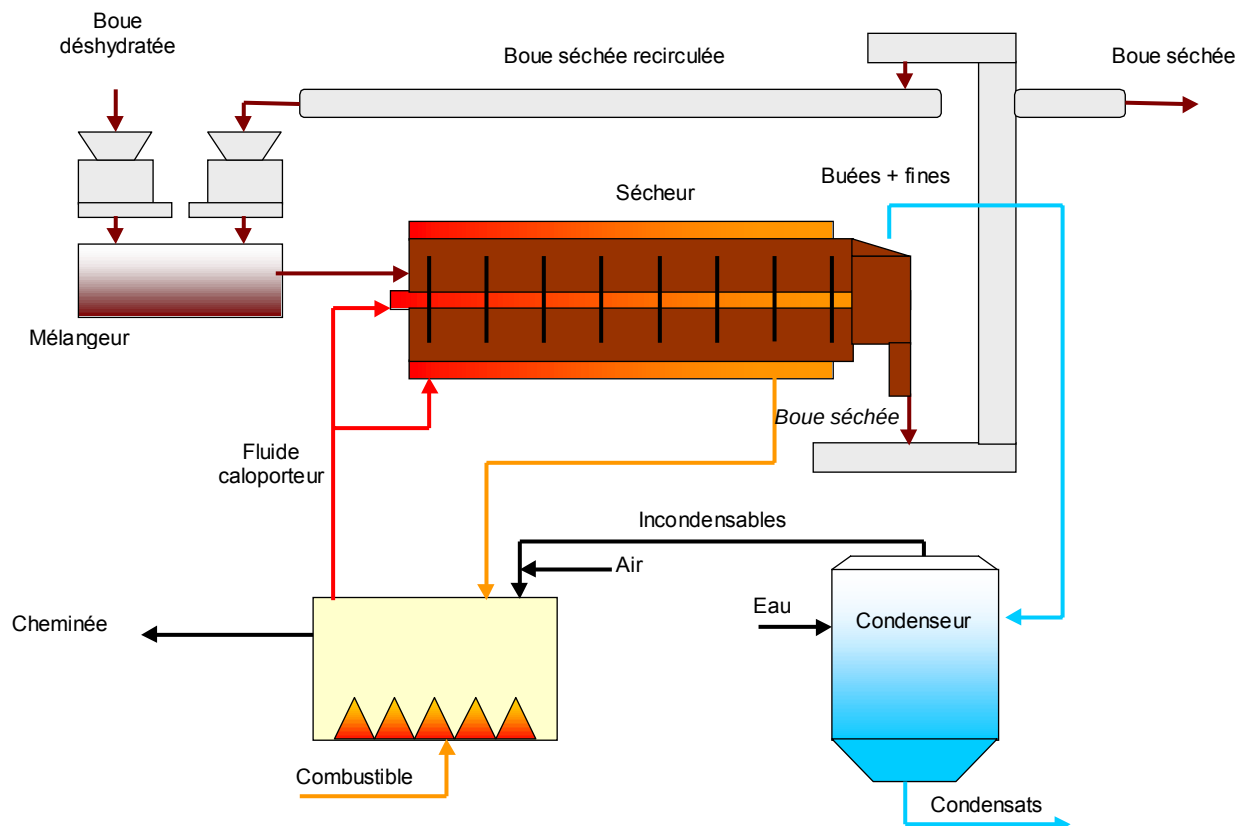


Schéma 5-Principe de fonctionnement d'un sécheur indirect [8]

Le séchage mixte

On appelle sécheur mixte un appareil qui regroupe les deux techniques de séchage par convection et par conduction.

	Avantages	Inconvénients
Sécheur convectif	Forte capacité évaporatoire Appareil de conception simple Granulation plus aisée de la boue Faible temps de séjour de la boue dans le sécheur Nombreux points de contact entre la boue et l'air de séchage	Equipements périphériques sophistiqués et volumineux (traitement des buées) Volume important des buées Volume malodorant important besoin d'un traitement des odeurs Mise en régime plus lente Fonctionnement plus bruyant
Sécheur conductif	Equipements périphériques simples Unité compacte Nuisances olfactives moindres Buées riches en eau et peu poussiéreuses Haute performance en terme de siccité. Plus facilement sécurisable	Sécheur sophistiqué Capacité évaporatoire limitée Fort temps de séjour Points de contact entre boue et chaleur limités Risque plus important de collage des boues sur les parois d'échange

Tableau 1 - Comparaison des sécheurs convectifs et conductifs [1]-[4]

3-2-2-Les équipements périphériques

Le système de production de chaleur

On en distingue deux types :

- La production de chaleur dite directe : c'est le gaz de combustion qui va réchauffer les boues (par convection ou de manière directe).
- La production de chaleur dite indirecte : le gaz de combustion réchauffe, par le biais d'un échangeur, un fluide caloporteur en général de l'air vicié recirculé ou de l'huile thermique, qui va lui-même réchauffer la boue.

Le système de traitement des buées

Il se compose d'un système de séparation des buées et des granulés et d'un système de condensation des vapeurs émises par le sécheur. Du fait des odeurs, l'air incondensable ne peut pas être rejeté tel quel dans l'atmosphère et doit donc être traité.

Le système de recirculation des boues

Ce système n'est pas toujours indispensable (par exemple sécheur à lit fluidisé) mais il est souvent nécessaire. Il permet:

- d'éliminer les granulés qui seraient trop fins ou trop gros en sortie du sécheur.
- d'obtenir en entrée du sécheur la siccité suffisante du produit permettant de passer le cap de l'état visqueux collant et plastique.

Le stockage

La valorisation thermique de la boue séchée ne nécessite pas d'aire de stockage important. En effet, les fours d'incinération fonctionnent en général quotidiennement.

Pour la valorisation agricole il faut prévoir un stockage, car l'épandage est une activité saisonnière. Une boue stabilisée et hygiénisée, après séchage à 90%, peut être stockée longtemps car il n'y a pas de risque de fermentation et de dégagement d'odeur. Il faut tout de même prévoir une aire

suffisamment grande, couverte et s'assurer en permanence que le taux de poussière est faible pour éviter une combustion spontanée. Si la boue n'est pas stabilisée, il faut prévoir en plus une extraction des odeurs et leur traitement.

4-Les difficultés d'exploitation et de conception du séchage thermique

4-1-L'état plastique collant

A une siccité comprise entre 50 et 60 %, les boues sont très visqueuses. Pour déplacer ou malaxer la boue à une telle siccité, les efforts mécaniques à fournir sont très importants, ce que ne supportent pas certains procédés de séchage. Ainsi, pour atteindre une siccité supérieure à 60 %, certains constructeurs proposent de recirculer une partie du produit déjà séché à 90 % et de le mélanger avec les boues déshydratées de manière à introduire dans les sècheurs un mélange qui a passé l'état visqueux.

4-2-L'abrasion

L'abrasion du sécheur est due aux particules de sable qui sont présentes dans la boue. C'est pourquoi, il convient de procéder à un dessablage fin de l'effluent. Ainsi, on prolonge la durée de vie du matériel.

4-3-La corrosion

Le chlorure ferrique, injecté en aval pour la déphosphatation doit être utilisé à bon escient. Le traitement préalable au chlorure ferrique peut accélérer la corrosion des matériaux si ceux-ci ne sont pas prévus pour supporter ce type de traitement.

Dans les deux cas, abrasion et corrosion, une attention particulière doit être portée à la qualité de l'acier du sécheur. L'utilisation de matériaux inoxydables permet généralement d'augmenter la longévité du sécheur.

4-4-Le bruit

L'importance des nuisances sonores produites par un procédé est liée au nombre et à la taille des machines en rotation et à la vitesse de rotation de celles-ci. Ainsi les sècheurs à tambour sont ceux qui sont susceptibles de produire le plus de nuisances sonores. Pour les sècheurs directs, la nécessité de faire circuler un grand débit d'air augmente l'intensité du bruit produit. A l'inverse, les sècheurs indirects à disques, pales ou plateaux sont des sources potentielles de nuisances sonores moins importantes. [1]

Il faut noter enfin que les nuisances sonores à l'intérieur ou à l'extérieur du local abritant le sécheur peuvent être atténuées par le capotage des moteurs et/ou la pose d'isolants phoniques sur les murs du local.

4-5-Les nuisances olfactives

Les nuisances olfactives potentielles proviennent de la volatilisation de substances malodorantes qui se produisent conjointement à l'évaporation de l'eau. Ces substances sont formées essentiellement d'ammoniac et de composés soufrés.

Deux principes, appliqués par la quasi-totalité des constructeurs, empêchent de façon très significative les nuisances olfactives:

- les buées sont lavées, ce qui permet de condenser l'ammoniac.
- les incondensables sont traités, en général par combustion, dans le foyer de la chaudière. Il convient alors de faire attention lors de la phase d'arrêt du sécheur qui est critique du point de vue des nuisances olfactives. En effet, pendant cette phase, la chaudière est généralement

arrêtée, ce qui ne permet plus de traiter les incondensables qui se dégagent alors dans l'atmosphère.

4-6-La combustion sèche

La combustion sèche est l'aspect le plus redouté dans le traitement de séchage des boues. Elle peut survenir lorsqu'une source de chaleur entre en contact avec une atmosphère suffisamment riche en poussière et en oxygène. Elle peut survenir à l'intérieur même du système, lors du stockage des granulats ou lors de manipulations des granulés qui entraînent la formation de poussière.

4-7-Auto-échauffement

L'inflammation de la boue séchée peut-être due à des phénomènes d'auto-échauffement. Des granulés à forte teneur en matières volatiles (MV) subissent une oxydation chimique, libératrice de calories. Cette réaction d'auto-oxydation peut amener la formation d'un point chaud qui en présence d'oxygène provoque le feu. Plus la teneur en matières volatiles de la boue est élevée et plus la taille du dépôt augmente, plus la température d'auto-échauffement est faible et donc plus les risques d'incendie sont élevés. [6]

	Siccité	Teneur en MV	Taille du dépôt	T°C d'auto-échauffement
Boue 1	90	73%	2m³	60°C
Boue 2	90	80%	1m³	50°C

Tableau 2 - Température d'auto-échauffement en fonction de la teneur en MV [6]

Le sécheur doit être conçu afin :

- de ne pas faire entrer trop d'oxygène.
- de ne pas créer de températures locales trop élevées. En particulier, la température de séchage doit être forte en entrée et faible vers la sortie afin que les particules séchées ne s'enflamment pas.
- d'évacuer rapidement, hors du sécheur, les fines particules de poussières.

Les zones d'accumulations de poussière doivent être particulièrement surveillées.

Enfin, un sécheur thermique est une véritable installation industrielle qui comporte ses risques et danger. Il est peut-être soumis à la réglementation des Installations Classées pour l'Environnement (Annexe).

5-Pourquoi le séchage thermique des boues d'épuration

Les voies de valorisation d'une boue séchée sont les mêmes qu'une boue brute, c'est à dire l'épandage agricole et la valorisation thermique. Le séchage est souvent proposé pour diminuer le volume des boues à traiter, hygiéniser et stabiliser les boues, et augmenter leur pouvoir calorifique. Le choix de la siccité optimum dépend de la valorisation choisie.

5-1-Réduction des volumes

La diminution des volumes est très importante entre une boue déshydratée et une boue séchée. Entre 20 et 60% de siccité, la diminution des volumes est quasiment proportionnelle à la diminution de masse car la masse volumique de la boue reste proche de 1. Au-delà de 60%, les boues présentent un aspect granuleux qui diminue leur masse volumique apparente. Pour une boue séchée à 90%, elle peut varier de 0.1 à 0.7 t/m³ en fonction du procédé de séchage mis en œuvre. Un compactage de la boue après séchage peut mener la masse volumique de la boue à 0.8 t/m³. [6]

5-2-Hygiénisation et la stabilisation

L'hygiénisation est l'élimination des agents pathogènes de la boue. On l'obtient après un temps de séjour de 30 minutes à 65°C ou 15 minutes à 90°C.

La stabilisation permet la réduction des nuisances olfactives en limitant la reprise de fermentation. Elle est obtenue à l'issue d'un séchage à 90%.

Une boue fraîche séchée à 90% est stabilisée mais n'est pas forcément hygiénisée. L'hygiénisation dépend du procédé de séchage qui doit assurer une élévation de la température bien répartie dans le sécheur. Une boue fraîche séchée à moins de 90% n'est ni stabilisée, ni hygiénisée. Il faut avoir recours à un traitement biologique ou chimique.

5-3-Augmentation du pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des boues qui mesure l'énergie dégagée par la combustion d'une unité de masse, dépend de leur teneur en matières volatiles et de leur siccité.

Le PCI en kJ/kg d'une boue est donnée par :

$$\text{PCI} = 20.7 \times (\text{MV/MS}) \times (\text{S}/100) - 2.2 \times (100 - \text{S})/100 \quad [4]$$

Avec MV, la masse de matières volatiles, MS, la masse de matière sèche et S la siccité en pourcent. Ainsi, plus la siccité et le rapport MV/MS sont élevés plus le PCI est important.

5-4-Intérêts en fonction des destinations finales

5-4-1-Valorisation agricole

Les boues sont principalement riches en azote, en phosphore sous la forme P_2O_5 , et en chaux si le traitement initial comprend une opération de chaulage.

Le séchage permet:

- une concentration des éléments fertilisants. Ainsi il est plus facile de doser l'épandage.
- une facilité de transport et de manutention par la réduction des volumes.
- une stabilité du produit, si le séchage assure un temps de séjour suffisamment long.
- une hygiénisation du produit, si la siccité atteint les 90%, ou bien si le séchage est précédé d'un chaulage.
- un séchage au-delà de 60 % ou plus permet d'obtenir un produit non collant et facile à épandre. Par contre la présence de fines est gênant. En effet, les fines rendent l'épandage délicat, car elles provoquent la formation de nuages de poussières, sources de nuisance pour le voisinage et une perte de matière pour l'agriculteur. Une taille d'au moins un millimètre semble être un bon objectif. Vis à vis de ce critère, la capacité du procédé à produire des granulés exempts de poussières est un point très positif. Le compactage de la boue séchée permet la diminution des poussières, mais il a pour inconvénient de diminuer la solubilité de la boue et donc de ralentir sa bio-disponibilité.

5-4-2-Utilité en valorisation thermique

Il faut distinguer l'incinération dans un four spécifique de la co-incinération dans un four d'ordures ménagères.

Dans un four spécifique on cherche à atteindre l'autocombustibilité c'est à dire l'incinération sans ajout de combustible. L'autocombustibilité d'un produit dépend de son PCI, de sa texture, de la température et des gaz de combustion. En première approximation, on peut considérer que l'autocombustibilité est

atteinte pour un PCI de 2 kJ/kg de boue. Ainsi, l'autocombustibilité peut se produire dès que:

- la siccité est supérieure à 25% pour MV/MS =75%
- la siccité est supérieure à 30 %pour MV/MS =66%
- la siccité est supérieure à 35% pour MV/MS=55%

Dans le cadre d'une incinération avec les ordures ménagères, le séchage des boues peut être envisagé pour augmenter le PCI et pour diminuer le volume qu'il faut souvent transporter. Thermiquement une boue séchée à 60% de siccité peut être assimilée aux ordures ménagères. Ainsi on ne modifie pas le bilan thermique du four. L'utilisation d'une boue de siccité supérieure à 60% ne présente pas un avantage important vis à vis du bilan thermique. Il est à noter que le compactage de la boue peut avoir l'inconvénient de la rendre difficilement combustible et donc de risquer de dégrader la qualité des mâchefers.

6-Coûts du séchage thermique

6-1-Investissement

Le séchage thermique est un investissement économique important. Les coûts sont variables en fonction de la capacité d'évaporation installée et de la technologie utilisée:

Pour les **sécheurs indirects**, les coûts d'investissement sont compris entre 1 200 et 2000 €/tMS. La production de boues se situant aux alentours de 1520 t MS /an. [11]

Pour les sécheurs à couche mince	1,8 < Inv < 2 k€ / t MS
Pour les sécheurs à disques	1.2 < Inv < 1.7 k€ / t MS
Pour les sécheurs à lit fluidisé	Inv = 2 k€ / tMS / t MS

Pour les **sécheurs directs**, les coûts d'investissement sont compris entre 800 et 2000 €/t MS. La production de boues se situant aux alentours de 1280 t MS /an. [11]

Pour les sécheurs à tambour	Inv = 1.4 k€ / t MS
Pour les sécheurs à bande	Inv = 0.8 k€ / t MS
Pour les sécheurs à lit fluidisé	Inv = 2 k€ / t MS

6-2-Fonctionnement

De même, les coûts de fonctionnement de l'installation dépendent de la taille et de la technologie utilisée.

D'après les campagnes de mesures réalisées sur des sécheurs de boues d'épuration urbaines et industrielles [2], le bilan économique présente les chiffres et ratios suivants:

Sécheur type direct	Kvaerner Séchage indirect	SEVAR Séchage direct	Swiss Combi Séchage direct	Centridry Séchage direct
Débit d'évaporation kg/h	1669.6	1628,5	1882,5	625,0
Quantité d'eau évaporée t/an	3806	6500,0	15132,0	1000,0
Cs thermique kWh/t _{eau évaporée}	855	1138,6	1195,0	1074,0
Cs d'électricité kWh/t _{eau évaporée}	50.43	66,3	34,3	184,8
Coût d'investissement M€ HT	1.4	1,2	2,1	0,8
Ratio d'investissement € HT/t _{eau évaporée}	360.5	182,9	141,0	838,5
Coût d'exploitation k€ HT/an	251.5	422,3	743,1	105,8
Ratio d'exploitation € HT/t _{eau évaporée}	66	65	49,1	105,8

Tableau 3 -Coûts de fonctionnement et ratios pour le séchage direct.

On remarque que les dépenses énergétiques représentent la plus grosse part des coûts de fonctionnement.

6-3-Comparaison des coûts des séchages à 60 et 90%

Séchage à	Unité	60%	90%	60%
Chaulage		Sans	sans	Avec
Energie séchage	€/an	412	480	264
Chaux	€/an	-	-	151
Energie chaulage	€/an	-	-	14
Masse de boue produite	T/an	10 000	6 670	13 000
Coût du transport	€/an	152	102	198
Total sans transport	€/an	805	1 094	847
Total avec transport	€/an	957	1 196	1 045

Tableau 4- Coûts d'un séchage à 60 et 90% de siccité

Le tableau 4 permet de comparer le prix d'un séchage à 60 % par rapport à un séchage à 90% de siccité avec ou sans chaulage préalable. La base de calcul présentée est:

- capacité de l'unité: environ 300 000 EH, soit 6 000 TMS/an
- Investissement, hors GC, 3 M € pour le séchage à 90%, 2.4 M € pour le séchage à 60%, et 0.3 M € pour le chaulage.
- Amortissement de 6% en 8 ans
- Siccité initiale: 20%
- Consommation énergétique des sècheurs 900 kWh/ T eau évaporée
- Coût de l'énergie: 2.3 centimes par kWh
- Coût du transport pour l'évacuation des boues: 15 €/T pour 15 à 20 km
- Chaux: 84 €/T, chaulage à 30%. Siccité après chaulage= 26.3%, coût énergétique 2.3€ / TMS

Dans le cadre d'une valorisation agricole où l'on recherche une stabilisation et une diminution des coûts de transports, on constate qu'un séchage à 60% d'une boue chaulée est plus intéressant qu'un séchage d'une boue à 90%. Dans le cadre d'une incinération hors site, on constate que la diminution des coûts de transport ne compense pas le surcoût énergétique du séchage par rapport à 60%.

Conclusion

Le choix de la technique à adopter pour le traitement des boues repose tout d'abord sur la quantité et la nature des boues à traiter puis sur la prise en compte des contraintes et des coûts imposés par la filière de valorisation de la boue. Une fois identifiées toutes les filières d'élimination susceptibles de répondre à ces exigences il faut évaluer le coût et les contraintes associés à chaque technique. Cette évaluation technico-économique montrera alors la faisabilité ou non du projet de séchage. Si c'est effectivement le séchage thermique qui est choisi, il faudra prendre en compte un certain nombre de paramètres pour bien définir l'installation (Annexe1).

CHAPITRE 2 SUIVI DE FONCTIONNEMENT DE TROIS SECHEURS DE BOUES RESIDUAIRES URBAINES

Compte tenu des contraintes juridiques de plus en plus lourdes existantes sur les filières de valorisation des boues issues du traitement des effluents et des réticences de l'opinion, les solutions techniques et technologiques se sont diversifiées et complexifiées depuis plusieurs années dans le bassin Artois-Picardie.

Technique disposant d'intérêts aussi bien pour une valorisation thermique qu'agricole, des installations de séchage thermique ont été prévues sur cinq stations d'épuration de plus de 100.000 Equivalent Habitant (EH) du bassin Artois-Picardie:

- Douai 165.000 EH
- Villeneuve d'Ascq 165.000 EH
- Maubeuge 95.000 EH
- Dunkerque 200.000 EH
- Houplin Ancoisne 180.000 EH

A l'heure actuelle, les trois premières installations citées sont opérationnelles, ce qui permet une première analyse des performances de traitement. Le but de ce chapitre est d'apporter des informations et retours d'expérience d'exploitant de ces trois sécheurs. Pour chaque installation sont présentés les performances, un relevé des consommations énergétiques, une analyse de la qualité des boues séchées et un bilan économique. Ces informations ont été obtenues par le biais d'échanges avec les différents interlocuteurs. Il faut toutefois être vigilant sur l'utilisation de ces résultats qui ne sont représentatifs que des sites étudiés. En effet, plusieurs facteurs peuvent influencer les performances d'une installation comme la qualité et la quantité des boues à traiter ou la conduite de l'installation de séchage et de ses périphériques.

I- DOUAI-FORT DE SCARPE

1-Installation de Douai- Fort de Scarpe

1-1- Présentation de la station d'épuration

La station d'épuration de Douai a une capacité nominale de traitement de 165 000 équivalents habitants. Elle assure le traitement des matières carbonées et azotées par la technique des boues activées à faible charge. Elle comprend un prétraitement qui consiste en un dégrilleur, dessableur et déshuileur. Ensuite, viennent les bassins d'aération et les décanteurs. Les boues sont déshydratées mécaniquement par centrifugation, après épaississement de type gravitaire. Elles sont ensuite soit chaulées à 30 % de chaux et évacuées, soit chaulées à 20 %, puis séchées à 90% et stockées.

1-2 - Présentation de l'installation de séchage

Le séchage des boues est réalisé par deux turbos sécheurs VOMM.

Une fois déshydratées, les boues sont stockées dans un silo de 180 m³, ce qui permet d'assurer une alimentation en continu du sécheur.

A la sortie du silo, la boue est introduite dans la première partie de la chambre d'évaporation du sécheur: dans la même zone, il y a introduction de gaz chaud circulant en circuit fermé. Le gaz et la boue à sécher circulent dans le sécheur à co-courant. Avant d'entrer dans le sécheur, le gaz est chauffé de manière indirecte à 240°C environ dans un échangeur thermique.

Dans le sécheur, le produit est centrifugé par la turbine sur la paroi interne et avance sous la forme d'un film mince en turbulence, ce qui garantit un taux d'échange thermique très élevé sur la paroi chaude.

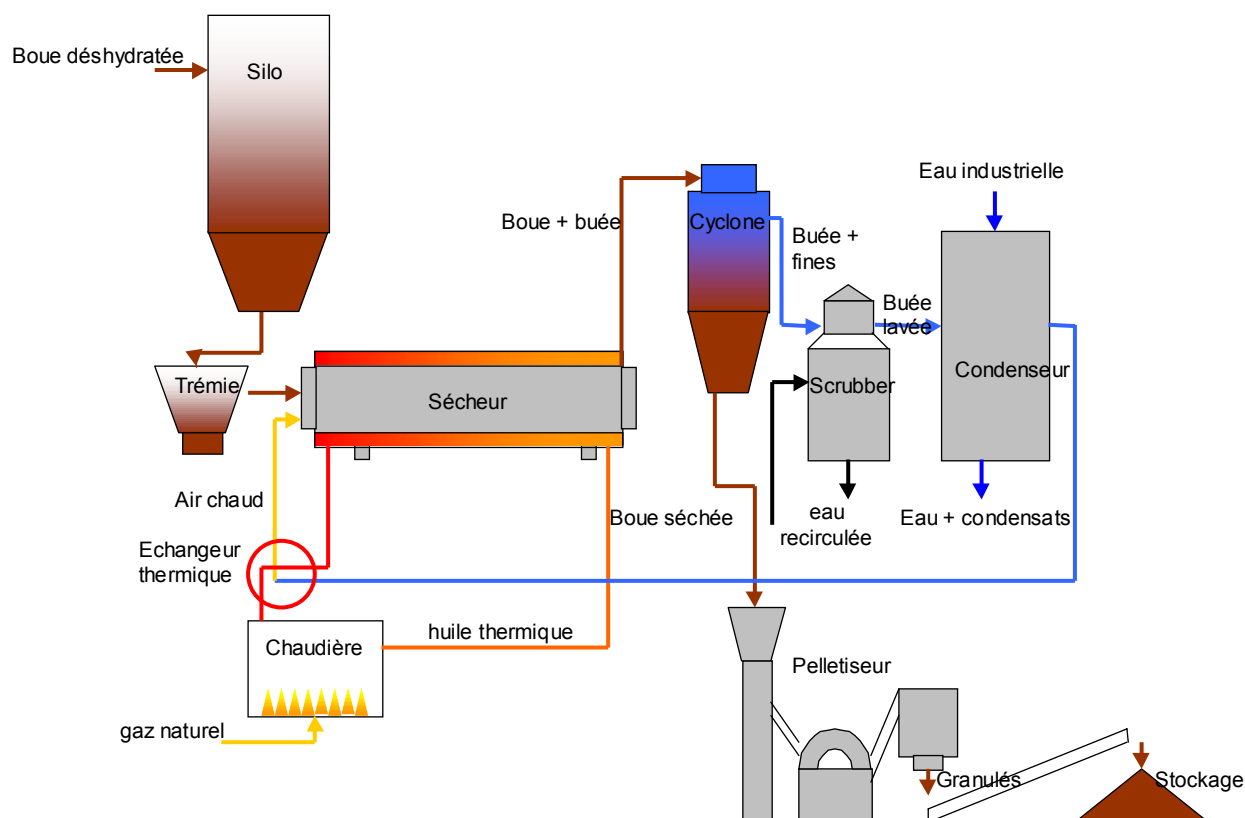


Schéma 6 - Présentation de l'installation de séchage de Douai

La transmission de chaleur s'effectue donc à la fois par conduction avec la paroi chaude et par convection avec le gaz chaud circulant dans le sécheur. L'énergie calorifique nécessaire au séchage de la boue est fournie par de l'huile thermique chauffée à 280 °C par une chaudière fonctionnant au gaz de ville. Le temps de séjour de la boue est de quelques minutes.

A la sortie du sécheur, la boue, sous forme de micro-granulés, est transportée avec le gaz vecteur et l'eau évaporée dans le cyclone où s'effectue la séparation gaz/solide. Le gaz humide, à la sortie du cyclone, contient encore quelques fines. Il est alors envoyé sur un laveur de gaz appelé "scrubber-venturi" où l'on procède au dépoussiérage. L'eau de lavage utilisée dans le scrubber est maintenue en recirculation. La buée est ensuite envoyée à la colonne de condensation. L'eau de condensation et les condensats sont renvoyés en tête de station.

A la sortie du cyclone, les boues séchées se présentent sous forme de fines qui sont compactées en granulés par le pelletiseur. Le stockage se fait dans un hangar d'un volume équivalent à sept mois de production. La voie de valorisation actuelle est l'épandage agricole. Toutefois, séchées à 90% de siccité il serait possible d'incinérer ces boues, et en cas de non-conformité, les boues seraient envoyées en centre d'enfouissement technique.



Photo 1 - Bâtiment séchage



Photo 2 - Vue d'ensemble



Photo 3 Pelletiseur

Il est à noter que l'installation de séchage de Douai a fait l'objet d'une déclaration en préfecture conformément à la législation des ICPE. La quantité d'huile thermique présente sur l'installation est supérieure à 300 litres, l'installation de stockage de boue sèche, produit organique dégageant de la poussière est supérieure à 5000 m³.

2- Mode de fonctionnement de l'installation

L'installation de séchage de Douai démarre le mardi matin et s'arrête le samedi matin. Même si elle est dimensionnée pour fonctionner 24 heures sur 24 et 5 jours sur 7, elle ne tourne pas de manière continue. En effet sa capacité de traitement est largement supérieure à la quantité de boue produite. C'est pourquoi elle subit des périodes d'arrêt liées à un manque de boue à traiter. D'autre part, l'unité de pelletisation tombe parfois en panne, ce qui entraîne des arrêts du sécheur.

Comme nous l'avons vu, les unités de centrifugation et de séchage ne sont pas couplées directement. Il existe un silo intermédiaire entre les centrifugeuses et les sécheurs. Il est donc possible de sortir des boues chaulées pâteuses à 22 % de siccité environ en cas d'arrêt prolongé des sécheurs.

2-1- Procédure de démarrage

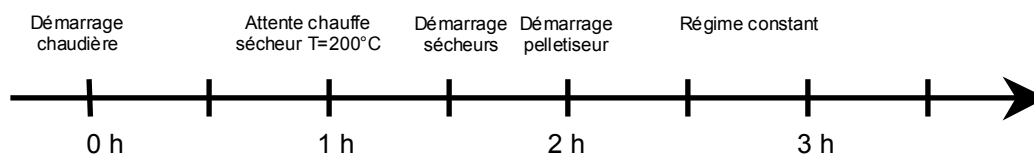


Schéma 7 - Procédure de démarrage - Douai

Le régime constant est atteint au bout de 3 heures après le démarrage des chaudières.

2-2- Procédure d'arrêt

L'arrêt de la filière boue est entièrement automatisé et se fait en cascade, à partir de la baisse de la température de la chaudière.

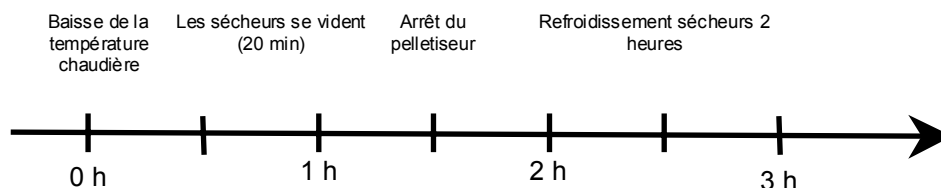


Schéma 8 - Procédure de d'arrêt - Douai

2-3- Temps de maintenance et exploitation

Les opérations de maintenance et d'entretien se font essentiellement le samedi matin à la suite de l'arrêt des sècheurs. En fonctionnement normal, l'installation de Douai ne nécessite pas de présence humaine hormis lors des périodes d'arrêt et de démarrage. Une personne est responsable de la surveillance de l'unité.

2-4- Performances des sècheurs

Sécheur A						
Date	Siccité en entrée	Temps de marche du sécheur	Débit de boues en entrée	Siccité en sortie sécheur	Siccité granulés	Quantité d'eau évaporée
	%	heure	m³/j	%	%	Tonne/heure
18/03/2003	22,73	15,40	32,03	86,78	90,08	1,54
19/03/2003	18,92	23,88	50,51	89,89	90,88	1,67
20/03/2003	19,09	9,52	19,59	87,02	91,28	1,61
21/03/2003	19,16	15,38	31,24	88,48	89,87	1,59
22/04/2003	18,6	15,47	28,99	89,15	92	1,48
23/04/2003	17,93	15,55	30,09	85,71	89,66	1,53
24/04/2003	18,09	15,37	30,22	85,97	90,03	1,55
Moyenne	19,22	15,80	31,81	87,57	90,54	1,57

Tableau 5 -Performances du sécheur A - Douai - Mars avril 2003

Sécheur B						
Date	Siccité en entrée	Temps de marche du sécheur	Débit de boues en entrée	Siccité en sortie sécheur	Siccité granulés	Quantité d'eau évaporée
	%	heure	m³/j	%	%	Tonne/heure
18/03/2003	22,73	15,33	31,36	88,89	90,08	1,52
19/03/2003	18,92	23,78	49,25	90,09	90,88	1,64
20/03/2003	19,09	9,15	19,12	87,86	91,28	1,64
21/03/2003	19,16	15,33	31,81	87,67	89,87	1,62
22/04/2003	18,6	15,38	30,36	92,22	92	1,58
23/04/2003	17,93	15,48	31,29	89,46	89,66	1,62
24/04/2003	18,09	15,30	31,16	86,92	90,03	1,61
Moyenne	19,22	15,68	32,05	89,02	90,54	1,60

Tableau 6 -Performances du sécheur B - Douai - Mars avril 2003

Les siccités moyennes observées en sortie sécheur A et B sont respectivement de 87,57% et 89.02% et celle en sortie de filière c'est à dire sur les granulés est de 90,54%. Le cahier des garanties souscrites fait l'état d'une siccité sortie de sécheur de 90%. Cette valeur est rarement atteinte, mais l'est en sortie de granulation. C'est le compactage qui diminue le taux d'humidité.

L'équipe d'exploitation de l'unité s'est rendu compte qu'une siccité de 90% en sortie sécheur posait des problèmes à l'atelier de granulation. A cette siccité, le pelletiseur ne peut fonctionner correctement, les boues séchées s'accumulent entre la couronne et les galets, ce qui entraîne une montée du couple du moteur et son arrêt.

La garantie souscrite concernant la quantité d'eau évaporée par sécheur, à savoir 1.81 tonne d'eau par heure, n'est pas atteinte pour aucun des sécheurs. Les quantités d'eau moyennes évaporées pour les sécheurs A et B sont respectivement 1.57 et 1.60 tonne d'eau évaporée par heure. Pour atteindre la capacité évaporatoire, il faut augmenter le débit de boue en entrée, mais dans ce cas on risque de diminuer à nouveau la siccité en sortie.

Données de fonctionnement		
	prévu	réel
Siccité entrée	17+/- 2%	19
Siccité sortie	90	89
Tonne de MS par semaine	67	42
Tonne d'eau évaporée par heure par sécheur	1.81	1.59
Temps pour l'exploitation et l'entretien	8.5 h /semaine	12 h /semaine

Tableau 7 - Données de fonctionnement - Douai

3-Consommation énergétique

3-1-Bilan thermique

Le bilan thermique suivant a été établi à partir des notes de dimensionnement de l'installation et non des valeurs réelles relevées sur le terrain.

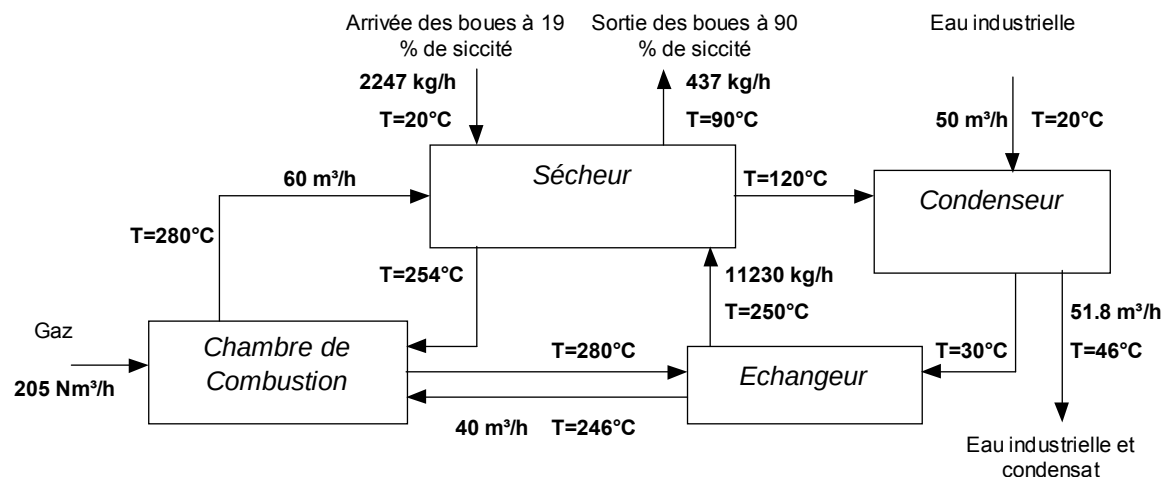


Schéma 9 - Bilan thermique Douai

Chaleurs spécifiques - eau : 1 kCal/kg °C
 - vapeur : 0.45 kCal/kg °C
 - huile thermique : 0.7 kCal/kg °C

Chaleur de vaporisation de l'eau: $L_v=540$ kCal/kg

Poids spécifique de l'huile thermique : 0.68 kg/l

Les principaux échanges thermiques se font au niveau du sécheur entre l'air chaud et les boues et entre la paroi et les boues, au niveau du condenseur entre l'air chaud et l'eau industrielle, et au niveau de l'échangeur entre l'huile thermique et l'air froid.

Au niveau du sécheur, l'énergie nécessaire pour réchauffer à 90 °C 1854 kg d'eau, évaporer et réchauffer à 120 °C 1810 kg d'eau est de:

$$Q_{\text{eau total}} \times C_{s \text{ eau}} \times \Delta T_{20,90} + Q_{\text{eau évaporée}} \times L_v + Q_{\text{eau évaporée}} \times C_{s \text{ vapeur}} \times \Delta T_{90-120}$$

$$1854 \times 1 \times (90 - 20) + 1810 \times 540 + 1810 \times 0.45 \times 1 \times (120 - 90) = \mathbf{1\ 131\ 615\ kCal / h}$$

Au niveau du condenseur, l'énergie échangée entre l'eau industrielle qui passe de 20 à 46 °C et le gaz qui passe de 120 à 30 °C et la buée qui passe de 120 °C à 46 °C et se condense est de:

$$Q_{\text{eau industrielle}} \times C_{s \text{ eau}} \times \Delta T_{46,20} = 50\ 000 \times 1 \times 26 = \mathbf{1\ 300\ 000\ kCal / h}$$

Au niveau de l'échangeur, l'énergie nécessaire pour réchauffer le gaz de 30 °C à 250 °C est de:

$$Q_{\text{gaz}} \times C_{s \text{ gaz}} \times \Delta T_{30,250} = 11\ 230 \times 0.25 \times (250 - 30) = \mathbf{617\ 650\ kCal / h}$$

Au niveau de la chaudière, l'énergie nécessaire pour réchauffer l'huile thermique de 246 à 280 °C au débit de 40 m³/h est de :

$$Q_{\text{huile}} \times C_{s \text{ huile}} \times \Delta T_{246,280} = 40\ 000 \times 0.68 \times 0.7 \times 34 = \mathbf{647\ 360\ kCal / h}$$

L'énergie nécessaire pour réchauffer l'huile thermique de 254 à 280 °C au débit de 60 m³/h est de :

$$Q_{\text{huile}} \times C_{s \text{ huile}} \times \Delta T_{254,280} = 60\ 000 \times 0.68 \times 0.7 \times 26 = \mathbf{742\ 560\ kCal / h}$$

L'énergie globale à fournir au système est de **1 389 920 kCal / h**.

On constate que seulement une part de l'énergie globale (1 389 920 Kcal) à fournir au système est utilisé pour réchauffer et évaporer l'eau des boues (1 131 615 kCal/h). L'autre partie de l'énergie apportée est perdue lorsque l'on refroidit le gaz de 120 °C à 30 °C, c'est à dire:

$$Q_{\text{gaz}} \times C_{s \text{ gaz}} \times \Delta T_{30,120} = 11\ 230 \times 0.25 \times (120 - 30) = \mathbf{252\ 675\ kCal / h}$$

Le rendement de la chaudière, étant de 0.86, et le PCI du gaz de ville de 7 925 kCal / Nm³, la consommation de gaz sera de (1 389 920 / 0.86) / 7 925 = 204 Nm³ / h. Consommation thermique spécifique est donc de 1 879 kW pour évaporer 1 810 kg d'eau soit **1 040 kW / T_{eau évaporée}**.

3-2-Relevé des consommations

3-2-1-Consommation thermique

Le fluide caloporteur est de l'huile thermique chauffée à 280°C au niveau d'une chambre de combustion fonctionnant au gaz. Les consommations de gaz ont été calculées à l'aide de relevés mensuels de Gaz de France fournis par l'exploitant et par un relevé horaire effectué le 15 avril 2003.

3-2-2-Consommation électrique

La consommation électrique journalière de la filière boue est relevée quotidiennement par l'exploitant. Pour le bilan mensuel, les débits d'eau évaporée ont été calculés à partir des siccités et des débits de boues traitées relevés quotidiennement par l'exploitant. Le tableau présente la moyenne des données des mois de janvier, février et mars 2003.

3-2-3-Relevés et résultats

BILAN	Boue traitée	Siccité entrée	Siccité sortie	Qeau évaporée	Conso gaz	Conso élec	Conso gaz /T _{eau}	Conso élec /T _{eau}
Unités	m³	%	%	tonne	Kw	Kw	Kw/t _{eau}	Kw/t _{eau}
Janvier	901,7	19,0	91,2	734,9	866978	172658	1179,8	235,0
Février	791,8	19,6	91,1	638,6	746952	145707	1169,6	228,2
Mars	1042,7	18,9	89,5	877,5	1035304	156444	1179,9	178,3
Total	2736,2	19,2	90,6	2251,0	2649234	474809	1177	210,9

Tableau 8 - Bilan des consommations de gaz et d'électricité Janvier à mars 2003

Pour le bilan de la journée du 8 avril 2003, il a été relevé chaque heure l'index du compteur de gaz, d'électricité, le débit de boue transitant et les siccités d'entrée et de sortie du sécheur. Le régime constant a été atteint vers 13h00.

MESURES	Date	H. Min.	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	17h-10h	Total	Moyenne
	Débit entrée	Q m ³	2,383	3,995	2,508	2,155	2,96	3,866	69,376	87,243	4,0
	Siccité entrée	S_e %	18,9	19	19,1	18,9	19	19	19		19,0
	Débit sortie	Q m ³									
	Siccité sortie	S_s %	92,7	89,5	88,9	87,7	91,6	91,1	91		90,4
	Index Gaz	I_e	1001689	1001980	1002220	1002368	1002636	1002937	1007927	6238,5	
	Index Electrique	I_s	29678	30145	30536	30834	31167	31558	34848	5170	
RESULTATS	Consommation gaz	P_{th} kWh	3548	3011	2479	1529	2768	3109	51547	67992	3090,5
	Consommation électrique	P_{élec} kWh	408	467	391	298	333	391	3290	5578	253,5
	Quantité d'eau évaporée	Q_{évap} kg	1954	3241	2028	1741	2416	3151	56538	71070	3230
	Quantité de M.S. traitée	Q_{MS} kg	464	782	493	420	579	757	13577	17071	776
RATIOS	Cs thermique	kWh/t _{eau évap}	1816	929	1222	878	1146	987	912		957
	Cs électrique	kWh/t _{eau évap}	209	144	193	171	138	124	58		78

Tableau 9 - Bilan des consommations de gaz et d'électricité du 8 avril 2003

Les résultats obtenus lors de la journée du 8 avril ne montre pas une consommation régulière notamment la consommation électrique qui chute de manière inexplicable.

La consommation moyenne d'énergie électrique liée au fonctionnement de toute l'installation de séchage est de **211 kWh / T eau évaporée**. Cette consommation intègre la pelletisation. Elle est de 115% supérieure à la consommation de 98 kWh / T eau évaporée prévue dans le cahier des garanties souscrites. Nous pouvons avancer quelques explications pour expliquer une partie de cette surconsommation.

Tout d'abord, la consommation garantie a été calculée à partir de la capacité évaporatoire maximale (3.62 T/h); or, nous avons vu qu'à régime constant la capacité évaporatoire est de l'ordre de 3.2 T/h, soit 13 % d'écart. En outre, la capacité évaporatoire de 3.2 T/h ne prend pas en compte les périodes de démarrage et d'arrêt au cours desquelles certains équipements continuent à tourner.

De plus, l'installation fonctionne parfois sur une seule file. Une partie des équipements sont pourtant communs aux deux comme l'unité de pelletisation ou les tapis convoyeurs. Lorsque l'on fait le bilan électrique pour une seule file et pour une capacité évaporatoire réelle de 1.60 Tonne d'eau par heure, on obtient une consommation électrique de 140 kWh / T eau évaporée soit 43 % par rapport à la valeur garantie.

La consommation thermique spécifique pour évaporer une tonne d'eau est de **1177 kW**. Elle est supérieure de 15 % à celle du cahier des garanties souscrites de 1020 kW par tonne d'eau évaporée. On remarque que la valeur garantie est inférieure de 20 kW à celle calculée dans le cahier technique justificatif.

4-Valorisation agricole des boues séchées

La voie de valorisation actuelle des boues séchées de Douai est le recyclage agricole. C'est pourquoi il est nécessaire de s'intéresser à l'aspect physique et à la valeur agronomique du produit obtenu.

4-1-Granulométrie et teneur en poussières

Les résultats présentés concernant la granulométrie et la teneur en poussières sont ceux obtenus lors de la campagne d'essais de performance réalisée pour le SIADO par le bureau d'analyses SODAE.

Date	Masse volumique apparente (kg/m³)	Teneur en poussières %	
		Φ < 1 mm	Φ < 65 µm
11/04/2002	860	0,31	0,21
12/04/2002	800	0,3	0,22
15/04/2002	845	0,8	0,64
16/04/2002	820	0,17	0,12
17/04/2002	855	0,26	0,17
18/04/2002	800	0,29	0,21
19/04/2002	910	0,11	0,07
Moyenne	841	0,32	0,23

Tableau 10 - Masse volumique et teneur en poussières des boues séchées

La masse volumique apparente des granulés de 841 kg/m³ est supérieure à la masse volumique garantie de 700 kg/m³.

Les boues en sortie de la pelletisation se présentent sous forme de granulés réguliers mais ne sont pas dénuées de poussières. D'autre part lorsque la siccité en sortie du sécheur est trop importante (93-94%), les granulés se désagrègent trop facilement

Concernant les poussières la teneur garantie de 1 % pour les particules de diamètre inférieur à 1 mm est respecté. Par contre la teneur garantie de 0.1 % pour les particules de diamètre inférieur à 65 µm n'est pas assurée.

4-2-Valeur agronomique des boues

Les résultats présentés sont extraits du bilan de la campagne d'épandage 2002 effectuée par l'entreprise SEDE Environnement chargée du recyclage agricole des boues séchées du SIADO. 47 agriculteurs ont participé à cette campagne sur un territoire de 3580 ha.

Eléments	Unités	Boues pâteuses chaulées à 30%	Boues séchées chaulées à 15 %	Evolution
Azote total	kg/t de MS	33,5	48,5	+
Azote ammoniacal	kg/t de MS	1,5	0,4	-
Calcium total en CaO	kg/t de MS	376,6	222,9	-
Magnésium total en MgO	kg/t de MS	7,2	7,4	=
Matières organiques	kg/t de MS	337	484,5	+
Phosphore total en P₂O₅	kg/t de MS	22,2	31,7	+
Potassium total en K₂O	kg/t de MS	4,9	4,2	-
Cadmium	mg/t de MS	3,9	5,2	+
Chrome	mg/t de MS	17,5	37,2	+
Cuivre	mg/t de MS	135,7	191,8	+
Mercure	mg/t de MS	0,86	2,3	+
Nickel	mg/t de MS	18,7	30,5	+
Plomb	mg/t de MS	92,2	126,2	+
Zinc	mg/t de MS	589,2	863,7	+
Total des 7PCB	mg/t de MS	0,16	0,14	=
Fluoranthène	mg/t de MS	0,49	0,49	=
Benzo(b)fluoranthène	mg/t de MS	0,57	0,7	=
Benzo(a)fluoranthène	mg/t de MS	0,36	0,45	+

Tableau 11 - Comparaison des analyses Boues pâteuses / Boues séchées

Paramètres agronomiques		Composition sur le produit brut	Coefficient de disponibilité	Apports moyens en éléments disponibles	
		Moyenne 2002		1 t	4 t /ha
Matière sèche	kg/t	898		898	3600
Matière organique	kg/t	537	0,05	27	108
Azote (NTK)	kg/t	43	0,5	21	86
Rapport C/N		5,3	-		
pH eau		12,1	-		
Potasse	kg/t	3,8	1	3,8	15
Calcium	kg/t	203	1	203	812
Magnésium	kg/t	6,7	1	6,7	27
Phosphore	kg/t	29	0,5	14	58

Tableau 12 - Valeur fertilisante des boues séchées

La biodisponibilité est l'aptitude d'un élément à être absorbé par un être vivant, par exemple seuls les nutriments biodisponibles peuvent servir à l'alimentation des plantes.

Le tableau 11 montre que le séchage entraîne une perte d'azote ammoniacal et une concentration en éléments traces. Cette concentration vient du fait que les boues pâteuses sont chaulées avec des quantités plus grandes de chaux que les boues séchées, d'où un effet de dilution par rapport à la quantité de matière sèche.

Malgré cela, l'analyse chimique des boues présentée ci-dessus montre que la composition en éléments traces des boues est bien en dessous des limites autorisées par la réglementation française du 8 janvier 1998, concernant la valorisation agricole.

La dose moyenne d'épandage des boues séchées est de 3.9 t/ha soit 5 fois moins que celle des boues pâteuses. On réduit ainsi fortement les volumes à épandre.

4-3- Désagrégation, minéralisation et biodisponibilité

Le test de désagrégation qui consiste à mettre en contact des boues avec un substrat humide pendant trois jours montre que les boues à 80-90 % de siccité ont une faible capacité à se désagréger sous trois jours.

D'autre part la détermination du taux de minéralisation de l'azote montre que 40% est minéralisé en moins de 7 jours et 50% au bout de 105 jours. Pour des boues déshydratées avec un rapport C/N proche de 6, le coefficient de minéralisation retenu est généralement 50%.

Pour déterminer la biodisponibilité de l'azote et du phosphore, on compare les quantités d'azote et de phosphore prélevées par les parties aériennes des plantes-tests soumises à différents traitements: sol seul avec boues séchées, sol avec engrais minéral. On détermine ensuite le Coefficient Apparent d'Utilisation (C.A.U.):

$$C.A.U. = \frac{(\text{élément exporté par sol} + \text{produit}) - (\text{élément exporté par témoin seul})}{\text{élément apporté par le produit}}$$

Les résultats obtenus montrent que CAU Azote = 40 % et CAU Phosphore = 50 %. La biodisponibilité de l'azote total d'une boue chaulée est comprise généralement entre 30 et 40% de la quantité épandue. La biodisponibilité du phosphore total d'une boue chaulée ou non est de l'ordre de 70%.

Donc l'intensité du séchage ne semble pas influencer la biodisponibilité de l'azote, par contre elle réduit sensiblement la disponibilité du phosphore.



Photo 4 - épandeur à plateaux



Photo 5 - Granulés de boue séchée



Photo 6- granulés en champ

5-Bilan économique

Les coûts des consommations énergétiques ont été estimés à partir des factures des mois de janvier, février et mars 2003 pour le gaz et pour l'électricité. A partir de ces données on a calculé les ratios du coût des dépenses en gaz et électricité par tonne d'eau évaporée. Ensuite, connaissant la quantité d'eau évaporée par les sècheurs en 2002, on a estimé le montant des dépenses d'exploitation pour 2002.

BILAN	Boue traitée	Siccité entrée	Siccité sortie	Qeau évaporée	Conso gaz	Conso élec.	tarif gaz	tarif électrique	Coût gaz/ T eau évap	Coût élec/ T eau évap
Unités	m³	%	%	tonne	Kw	Kw	€ TTC	€ TTC	€/ T _{eau évap}	€/ T _{eau évap}
Janvier	901,7	19,0	91,2	734,9	867792	172658	36196	17123	49,25	23,30
Février	791,8	19,6	91,1	638,6	746943	145707	20868	14848	32,68	23,25
Mars	1042,7	18,9	89,5	877,5	1035295	156444	28318	13251	32,27	15,10
Total	2736,2	19,2	90,6	2251,0	2650030	474809	85381	45223	37,93	20,55

Tableau 13 - Bilan des coûts énergétiques des mois de janvier, février et mars 2002.

Le coût relatif à la consommation thermique est de **37.93 € par Tonne d'eau évaporée**.

Le coût relatif à l'énergie électrique pour l'ensemble sécheur et pelletiseur est de **20.55 € par Tonne d'eau évaporée**.

Tableau des données économiques	
Coût d'investissement	3 324 085 €
Coût gaz (moyenne janvier, février et mars 2003))	0,032 € / kWh
Coût électricité (avril 2003)	0,095 € / kWh
Coût épandage	16 € / Tonne
Coût unitaire Agent d'exploitation	25 € / heure
Coût unitaire d'Electromécanicien	35 € / heure

Tableau 14 - Données économiques

Le coût de maintenance a été estimé sur la base d'un salaire de 10 € par heure pour un agent d'exploitation et de 12.5 € par heure pour un technicien. Le coût de revient pour l'exploitant peut donc être estimé à 20 € et 25 €.

Le coût de l'épandage est le montant par tonne de boue facturé par SEDE environnement pour le transport, l'épandage et le suivi agronomique.

Données de fonctionnement	
Tonne de MS par an (2002)	1846
Tonne d'eau évaporée par an (2002)	7660
Temps pour l'exploitation	8 h /semaine
Temps pour l'entretien	4 h /semaine

Tableau 15 - Données de fonctionnement

Bilan annuel en euros		
Gaz TTC	288506	58,08%
Electricité TTC	153472	30,90%
Personnel d'exploitation	19760	3,98%
Consommables et pièces d'usure	35000	7,05%
Total Séchage TTC	496738	
Epandage	33200	
Total	529938	

Tableau 16 - Bilan annuel d'exploitation

Le coût des consommables et pièces d'usure a été évalué à 1% du prix total d'investissement de l'installation.

La part la plus importante des dépenses d'exploitation est la fourniture de gaz s'élevant à 58% du total des dépenses pour le séchage.

Le coût d'exploitation du sécheur, hors épandage, par rapport à la quantité d'eau évaporée s'élève à 64.8 €.

6-Synthèse des éléments

Type de sécheur	Modèle	Temps de fonctionnement	
Mixte	VOMM	24h/24h - 4.5j/7j	
Masse de M.S. (2002)	Quantité d'eau évaporée	Siccité entrée	Siccité sortie
1846 T/an	7660 T/an	19%	89%
Consommation thermique	Consommation électrique	Temps de maintenance et exploitation	
37.9 € / T _{eau évap.}	20.55 € / T _{eau évap.}	12h / semaine	
Investissement T.T.C.	Exploitation	Valorisation	Coût valorisation
3 324 085 €	496 738 €	Agricole	33 200 €

Tableau 17 - Récapitulatif des caractéristiques de l'installation de Douai

Remarques générales:

Les phases de démarrage et d'arrêt du sécheur pénalisent son rendement énergétique annuel. Un fonctionnement en régime permanent permettrait de réaliser des économies.

II- MAUBEUGE-LE VERGER

1-Installation de Maubeuge-Le Verger

1-1- Présentation de la station d'épuration

La station d'épuration de Maubeuge a une capacité de traitement de 92 500 équivalents habitants. Elle assure le traitement des matières carbonées, azotées et phosphorées par la technique des boues activées à faible charge.

Les boues produites sont déshydratées par centrifugation et elles font ensuite l'objet d'un séchage entre 65 et 90%. En cas de défaillance de l'unité de séchage, il est possible de chauler les boues centrifugées. La valorisation en agriculture est la destination finale des boues.

La station est exploitée par le Syndicat du Val de Sambre qui est assisté techniquement par l'entreprise Eau et Force.

1-2- Présentation de l'installation de séchage

L'installation de séchage est prévue pour traiter les boues déshydratées de Maubeuge mais également des stations d'épuration d'Aulnoye et Jeumont. Le séchage des boues est assuré par deux sècheurs indirects de type Nara d'une capacité évaporatoire unitaire maximale de 1 440 kg d'eau par heure.

Les boues déshydratées non chaulées sont envoyées dans le malaxeur-sécheur pour un séjour d'une durée de 2 à 3 heures. L'huile thermique est chauffée à 186°C par une chaudière fonctionnant au gaz. Elle circule dans l'arbre et les parois du sécheur. Les boues en contact avec la paroi chaude sont ainsi séchées par conduction.

Les buées générées sont aspirées et envoyées dans le laveur. Celui-ci se compose de nombreux fils tendus sur lesquels ruissellent de fines gouttelettes d'eau industrielle. Les buées sont envoyées dans ce système et par changement de température se condensent. L'eau de condensation et les condensats sont renvoyés en tête de STEP.

Les boues ainsi séchées à 90% de siccité sont refroidies à 45°C et envoyées dans deux bennes de stockage qui sont enlevées chaque jour.

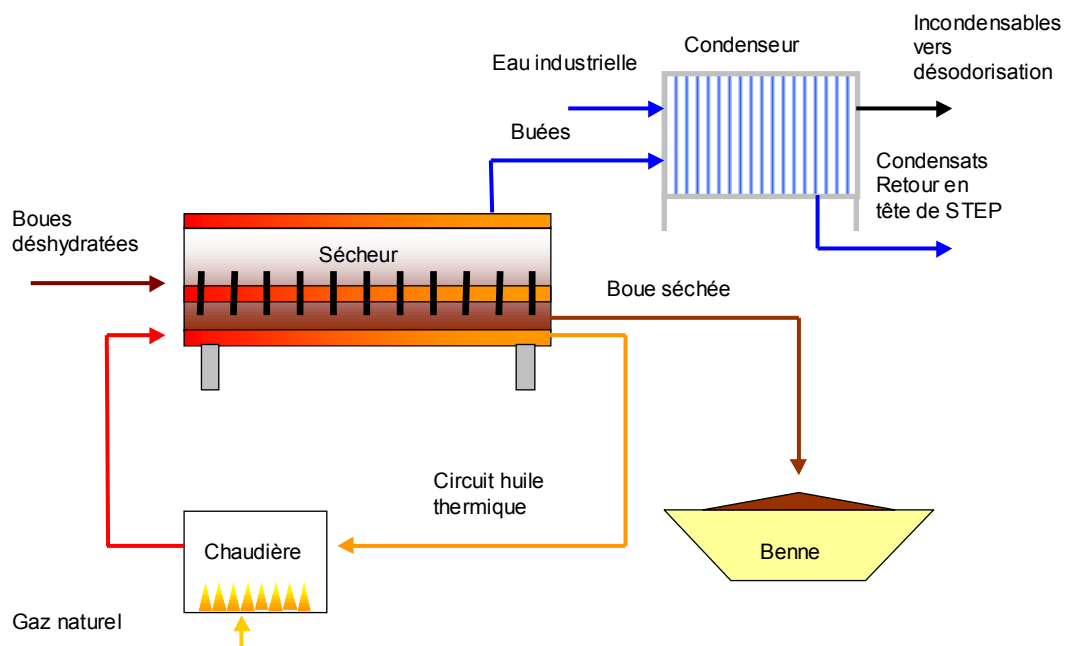


Schéma 9 - Présentation de l'installation de séchage de Maubeuge



Photo 7 - Réception boue



Photo 8 - Sécheur Naratherm



Photo 9 - Pale de malaxage

Il est à noter que le sécheur de Maubeuge devrait faire l'objet d'une déclaration en préfecture conformément à la législation des ICPE car le volume d'huile thermique est supérieur à 300 litres. L'installation de séchage de Maubeuge a démarré à la fin du mois de mai 2003. Auparavant, il a seulement été réalisé une campagne d'essais en octobre 2002. Les résultats présentés ne sont donc pas complets et correspondent à de courtes périodes d'exploitation.

Les boues de la station sont assez minérales, c'est à dire en dessous de 63 % de matière organique, taux en dessous duquel le constructeur ne garantit pas le bon fonctionnement du sécheur. En effet, un fort taux de matière minérale accentue les effets d'abrasion du sécheur. C'est la principale raison pour laquelle l'exploitant ne souhaite le faire fonctionner.

2-Mode de fonctionnement de l'installation

Le temps de fonctionnement prévu de l'unité de séchage de Maubeuge est de 24 heures par jour et 5.5 jours par semaine. Sur la durée des essais, le sécheur a tourné 24h/24h.

2-1- Procédure de démarrage

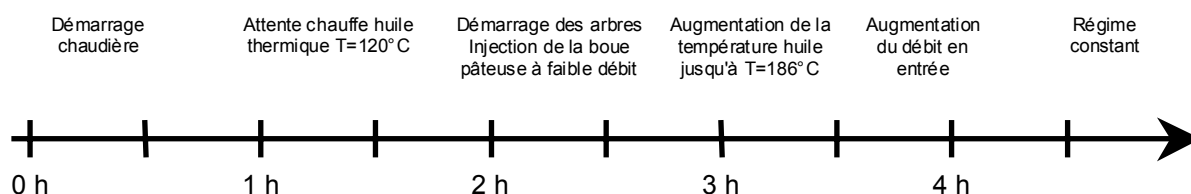


Schéma 10 - Procédure de démarrage - Maubeuge

Le régime constant est atteint au bout de 4 à 5 heures après le démarrage des chaudières.

2-2- Procédure d'arrêt

L'arrêt de la filière boue est entièrement automatisé et se fait en cascade, à partir de la baisse de la température de la chaudière.

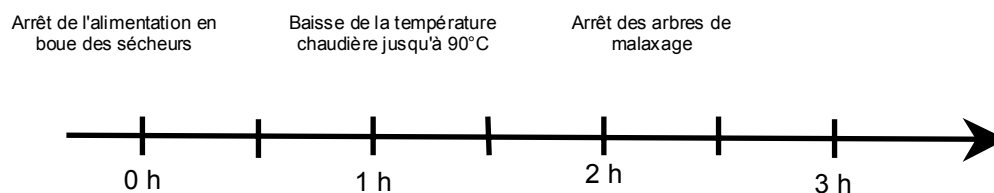


Schéma 11 - Procédure de d'arrêt - Maubeuge

3-Consommation énergétique

3-1- Bilan thermique

Le bilan thermique suivant a été établi à partir des notes de dimensionnement de l'installation et non des valeurs réelles relevées sur le terrain.

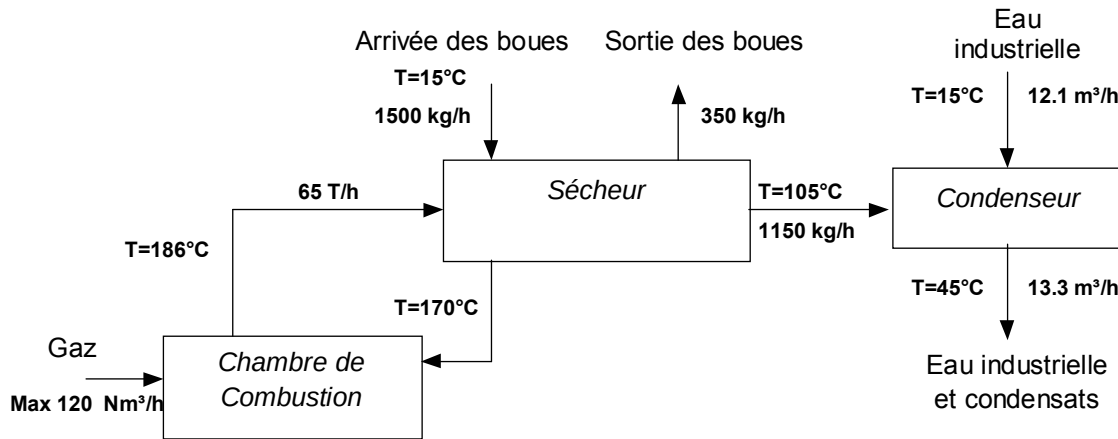


Schéma 12- Bilan thermique - Maubeuge

Chaleur spécifique: - eau : 1 kCal/kg °C
- vapeur : 0.45 kCal/kg °C
- huile thermique : 0.7 kCal/kg °C

Chaleur de vaporisation de l'eau: $L_v=540$ kCal/kg

Poids spécifique de l'huile thermique : 1.044 kg/l

Les principaux échanges thermiques se font au niveau du sécheur entre la paroi et les boues, au niveau du condenseur, entre les boues et l'eau industrielle, et au niveau de la chaudière, entre l'huile et la chambre de combustion.

Au niveau du sécheur, l'énergie nécessaire pour réchauffer à 105 °C et évaporer 1150 kg d'eau est de:

$$1150 \times 1 \times (100 - 15) + 1150 \times 540 + 1150 \times 0.45 \times 1 \times (105 - 100) = 721\,338 \text{ kCal / h}$$

Au niveau du condenseur, l'énergie échangée entre l'eau industrielle qui passe de 15 à 45 °C et la boue qui passe de 105 °C à 30°C et se condense est de:

$$Q_{\text{eau industrielle}} \times C_{s \text{ eau}} \times \Delta T_{45,15} = 25\,000 \times 1 \times 30 = 750\,000 \text{ kCal / h}$$

On remarque que selon les données de dimensionnement le condenseur ne permet pas de condenser la boue produite. La température de l'eau industrielle en sortie est probablement plus élevée.

Au niveau de la chaudière, l'énergie nécessaire pour réchauffer l'huile thermique de 186 à 170 °C au débit de 46.5 T/h est de:

$$Q_{\text{huile}} \times C_{s \text{ huile}} \times \Delta T_{186,170} = 65\,000 \times 0.7 \times 16 = 728\,000 \text{ kCal / h}$$

L'énergie globale à fournir au système est de 728 000 kCal / h.

Le rendement de la chaudière étant de 0.86 (+/- 0.02) et le PCI du gaz de ville de 8 660 kCal / Nm³, la consommation de gaz sera de: $(728\,000 / 0.86) / 8\,660 = 98 \text{ Nm}^3 / \text{h}$. La consommation thermique spécifique est donc de 846 kW pour évaporer 1 150 kg d'eau soit **736kW / T_{eau évaporée}**.

3-2-Relevé des consommations

Le tableau suivant présente les consommations de gaz relevées lors des campagnes d'essais de démarrage de l'installation de séchage. Les résultats présentés correspondent à la moyenne des débits relevés. Lors de cette campagne, les consommations électriques n'ont pas été enregistrées.

BILAN	Boue traitée	Siccité entrée	Siccité sortie	Qeau évaporée	Conso gaz	Conso gaz /T _{eau}
Unités	kg/h	%	%	kg/h	Kw/h	Kw/t _{eau}
23-24-25 sept.	1198,0	21,0	93,0	929,0	804	866
1-2-3 oct.	1137,0	15,0	93,9	992,0	796	845
Moyenne	1167,5	18,0	93,5	960,5	800	856

Tableau 18 - Relevé des consommations Maubeuge - 23-24-25 Septembre et 1-2-3 Octobre.

La consommation thermique spécifique pour évaporer une tonne d'eau est de **856** kW. Le cahier des garanties souscrites fait état d'une consommation de 847 kW par tonne d'eau évaporée. La consommation électrique garantie est de 59 kW par tonne d'eau évaporée.

4-Valorisation agricole des boues

La voie de valorisation des boues séchées prévue est l'épandage agricole. C'est pourquoi la société Eau et Force chargée de l'organisation de l'épandage des boues s'est intéressée à la valeur agronomique des boues séchées. Elle a entrepris des essais en champ afin d'évaluer la fraction minéralisable de l'azote organique contenu dans les boues séchées.



Photo 10 Boue sortie sécheur



Photo 11 Remplissage des bennes



Photo 12 Boue séchée

4-1-Granulométrie

Les résultats présentés sont ceux issus d'un prélèvement effectué lors de la campagne d'essais d'octobre 2002.

	>2 mm	>1 mm	> 0,4 mm	< 0,4 mm
Essai n °1	313 g/kg	270 g/kg	203 g/kg	214 g/kg
Essai n °2	473 g/kg	277 g/kg	143 g/kg	107 g/kg
Essai n °3	408 g/kg	282 g/kg	205 g/kg	105 g/kg

Essais réalisés sur 1 kg de boues séchées à 90% siccité

Tableau 19 - granulométrie des boues séchées

Les essais de granulométrie effectués montrent que le taux de poussières est très élevé. La teneur en poussières inférieures à 1 mm est de 32.6 % en masse. Les garanties souscrites ne font pas état d'une granulométrie précise: "le produit sortant du sécheur se présente sous la forme d'un mélange de granulés dont le spectre granulométrique est compris entre 0 et 8 mm".

Le redémarrage du mois de mai 2003 a montré une granulométrie semblable. Ceci risque fortement d'entraîner des problèmes pour l'épandage par l'envol de cette poussière. Il n'a pas été prévu de compacter la boue séchée.

4-2-Composition agronomique des boues séchées

Boue de Jeumont

ELEMENTS ET SUBSTANCES	UNITES	BOUE PATEUSE CHAULEE	BOUE SECHEE	EVOLUTION
Matière sèche	%	22,3	87,2	
Matière organique	% MS	52,83	54,90	=
pH		7,425	7,4	=
C/N		7,825	8,4	=
NTK	% MS	3,91	3,78	=
N-NH ₄	% MS	0,45	0,17	-
P ₂ O ₅	% MS	2,81	3,01	=
CaO	% MS	5,81	6,59	+
MgO	% MS	0,73	0,66	-
K ₂ O	% MS	0,56	0,46	-
Cadmium (15)	mg/kg MS	1,9	2,6	+
Chrome (1000)	mg/kg MS	53	60,1	+
Cuivre (1000)	mg/kg MS	339,7	386,3	+
Mercure (10)	mg/kg MS	1,11	1,57	+
Nickel (200)	mg/kg MS	26,5	41,8	+
Plomb (800)	mg/kg MS	94,2	149,9	+
Zinc (3000)	mg/kg MS	1043,7	1363,6	+
Cr + Cu +Ni + Zn (4000)	mg/kg MS	1462,8	1871,8	+
Total des 7 principaux PCB	mg/kg MS	0,8	<0,1	-

Tableau 20 - Comparaison de la composition des boues pâteuses et sèches de JEUMONT

Boue d'Aulnoye

ELEMENTS ET SUBSTANCES	UNITES	BOUE PATEUSE-CHAULEE	BOUE SECHEE	EVOLUTION
Matière sèche	%	16,2	89,9	
Matière organique	% MS	71,79	64,68	-
pH		7	6,4	=
C/N		5,875	8,4	+
NTK	% MS	6,16	5,92	=
N-NH ₄	% MS	0,85	0,50	-
P ₂ O ₅	% MS	4,40	3,53	-
CaO	% MS	5,85	5,67	=
MgO	% MS	0,99	0,78	-
K ₂ O	% MS	0,91	0,67	-
Cadmium (15)	mg/kg MS	1,7	2,1	+
Chrome (1000)	mg/kg MS	47	51,1	=
Cuivre (1000)	mg/kg MS	269,6	337,2	+
Mercure (10)	mg/kg MS	1,11	1,22	+
Nickel (200)	mg/kg MS	21,8	27,1	=
Plomb (800)	mg/kg MS	88,8	122,3	+
Zinc (3000)	mg/kg MS	1043,7	1027,3	=
Cr + Cu +Ni + Zn (4000)	mg/kg MS	1173,8	1442,8	+
Total des 7 principaux PCB	mg/kg MS	<0,23	<0,07	-

Tableau 21 - Comparaison de la composition des boues pâteuses et sèches d'AULNOYE

Les comparaisons des compositions agronomiques des boues sèches par rapport aux boues pâteuses montrent que le séchage entraîne une perte d'azote ammoniacal et de calcium et une concentration des métaux. La concentration des métaux s'explique par le fait que les boues centrifugées sont chaulées tandis que les boues séchées ne le sont pas.

5-Bilan économique

Il n'a pas été possible d'établir un bilan économique de l'installation.

6- Synthèse des éléments

Type de sécheur	Modèle	Temps de fonctionnement prévu	
Indirect	NARATHERM	24h/24h - 5,5j/7j	
Masse de M.S. prévue	Quantité d'eau évaporée	Siccité entrée	Siccité sortie
307 kg / h	1 152kg /h	21%	90%
Consommation thermique	Consommation électrique	Temps de maintenance	
856 kW /t _{eau évaporée}	-	-	
Investissement	Exploitation	Valorisation	Coût valorisation
1 722 100 €	-	Agricole	-

Tableau 22 - Récapitulatif des caractéristiques de l'installation de Maubeuge

III- VILLENEUVE D'ASCQ

1-Installation de Villeneuve d'Ascq

1-1- Présentation de la station d'épuration

La station d'épuration de Villeneuve d'Ascq d'une capacité nominale de traitement de 165 000 Equivalents habitants, a été mise en route durant l'année 2002.

Fonctionnant en boues activées faible charge, elle assure l'élimination des matières carbonées, azotées et phosphatées, par voie biologique combinée à un procédé physico-chimique. Sa filière de traitement des boues permet de traiter un flux de 9 100 kg de Matière Sèche par jour par temps sec et 34 100 kg de M.S./j par temps de pluie. La filière boue met principalement en œuvre un séchage à 65%, précédé d'un chaulage et d'une déshydratation directe par centrifugation qui amène les boues à environ 20% de siccité. L'unité de chaulage a été installée en mars 2003.

1-2 Présentation de l'installation de séchage

L'unité de séchage est constituée de 2 sècheurs indirects Niro à film mince. Son principe consiste à étaler le produit à sécher en film sur une surface chaude et à provoquer son déplacement au moyen d'un rotor en mouvement. L'appareil est constitué essentiellement d'un rotor central tournant à 100 tr/min sur lequel sont fixées des pales qui raclent la boue et la projettent sur l'enveloppe (stator) dans laquelle circule un fluide caloporteur. Les boues séchées sont extraites par gravité et amenées dans les bennes d'enlèvement. L'installation a été dimensionnée pour évaporer 1150 kg d'eau par heure par sécheur.

L'énergie nécessaire au séchage est fournie par une chaudière à fluide caloporteur (huile thermique), fonctionnant au gaz naturel. Le fluide thermique est chauffé à 180°C environ et est mis en circulation par une pompe vers les sècheurs.

Les buées sortie sécheur sont condensées dans un condenseur à mélange en inox par pulvérisation d'eau froide. L'eau pour la condensation est de l'eau industrielle, c'est à dire de l'eau sortie station.

Les condensats à 45°C environ sont envoyés vers la tête de station d'épuration par gravité. Les incondensables sont aspirés par un ventilateur centrifuge et envoyés vers la désodorisation de type biologique.

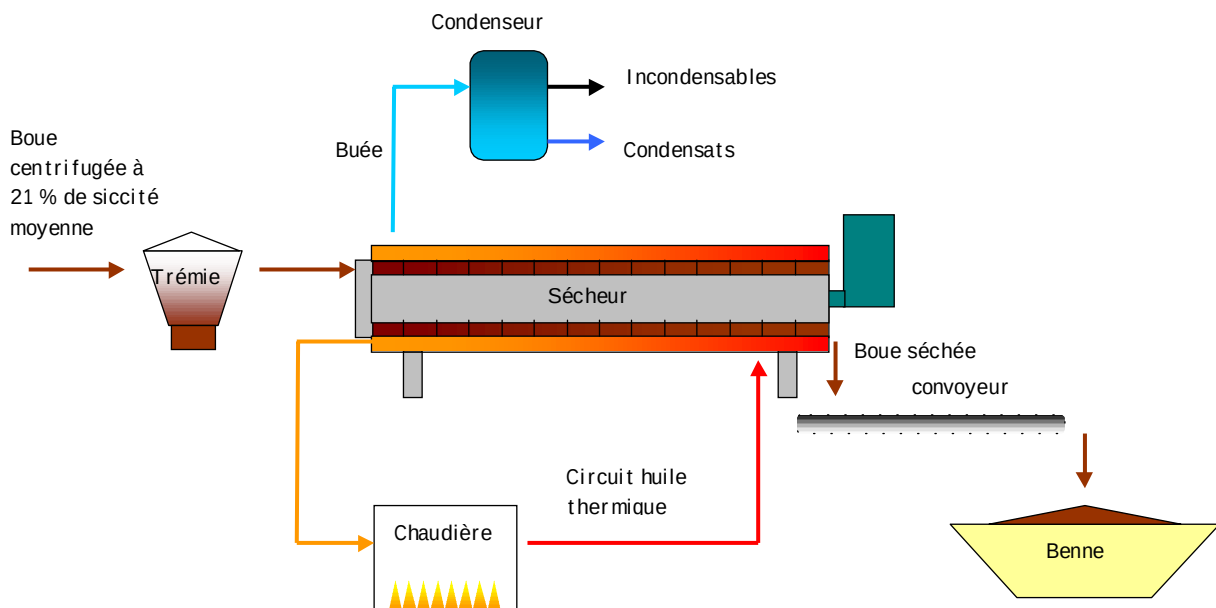


Schéma 13 - Présentation de l'installation de séchage de Villeneuve d'Ascq



Photo 13 - Trémie



Photo 14 - Sécheur



Photo 15 - Condenseur

Le temps de séjour de la boue dans le sécheur est de 10 minutes.

Il est à noter que le sécheur de Villeneuve d'Ascq devrait faire l'objet d'une déclaration en préfecture conformément à la législation des ICPE car le volume d'huile thermique est supérieur à 300 litres (Annexe).

2- Mode de fonctionnement de l'installation

L'installation de séchage de Villeneuve d'Ascq démarre le lundi matin et s'arrête le samedi matin. Elle fonctionne ainsi comme prévu 24 heures sur 24 et 5 jours sur 7. Les sécheurs sont couplés avec les centrifugeuses, ce qui a pour avantage de permettre une alimentation en continu des sécheurs. Il n'existe pas de stockage intermédiaire entre la déshydratation et le séchage.

2-1- Procédure de démarrage

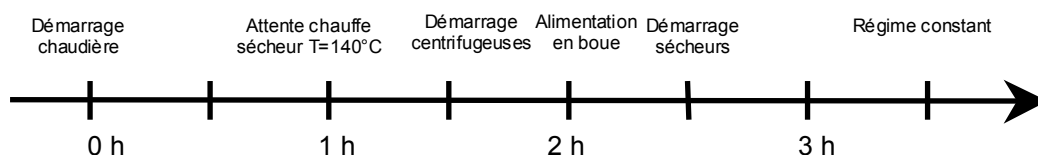


Schéma 14 -Procédure de démarrage - V.A.

Avant de lancer les centrifugeuses, on préchauffe la chaudière à 140°C, ce qui nécessite un peu plus d'une heure. Lorsque les sécheurs démarrent, la température de l'huile est à environ 170°C. Il faut attendre 3 à 4 heures depuis le démarrage chaudière pour atteindre le régime constant.

2-2- Procédure d'arrêt

L'arrêt de la filière boue est entièrement automatisé et se fait en cascade, à partir de la baisse de la température de la chaudière.

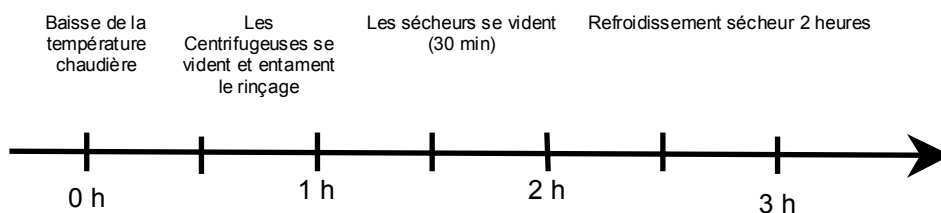


Schéma 15 -Procédure de d'arrêt - V.A.

2-3- Temps de maintenance et exploitation

Sur la documentation du constructeur, plusieurs opérations de maintenance comme le lavage des pompes, la lubrification des paliers, le démontage partiel ou complet du rotor, le démontage et le nettoyage de la chaudière sont préconisées et s'élèvent en moyenne à 3 heures par semaine.

La filière boue est autonome et ne nécessite pas de présence humaine hormis pour les périodes de démarrage et d'arrêt. Ainsi, elle fonctionne de nuit. Seul le remplissage des bennes n'est pas automatique. Comme il n'y pas de capteur de niveau de remplissage, type mesure à ultrason, il faut déplacer les bennes au moins deux fois par jour. Une personne est chargée de cette tâche à 23h00 le soir.

2-4- Bilan des performances

Données de fonctionnement		
	prévu	réel
Siccité entrée	20	21
Siccité sortie	65	47.3
Tonne de MS par an (2002)	3232	1708
Tonne d'eau évaporée par an (2002)	11190	4522
Temps pour l'exploitation	5 h /semaine	
Temps pour l'entretien	3 h /semaine	

Tableau 23 - Données de fonctionnement Villeneuve d'Ascq

Les problèmes de siccité:

Au cours de l'année 2002, la siccité moyenne obtenue fut de 47.3 %, c'est à dire nettement moins que le taux de 65 % garanti par le constructeur.

Pour gagner en siccité il est possible d'augmenter la température de l'huile thermique, seulement on rencontre des problèmes de phase plastique. Dans cet état, la boue est collante et les efforts pour la déplacer sont trop importants pour le moteur installé, ce qui se traduit par une montée du couple et l'arrêt du sécheur. C'est pourquoi l'exploitant limite la température de l'huile à 180°C environ.

Le matériel ne permet pas un temps de séjour dans le sécheur suffisamment long et l'extraction des buées n'est pas suffisante.

Tout d'abord, la vitesse du rotor n'est pas variable, il est possible d'augmenter le temps de séjour des boues dans le sécheur en changeant l'inclinaison des pales qui permettent de déplacer la boue. Mais ceci demande des travaux importants nécessitant l'intervention du constructeur. Le temps de séjour actuel des boues dans le sécheur est d'environ 15 minutes. La quantité de boue à l'intérieur du sécheur est de 90 kg de MS.

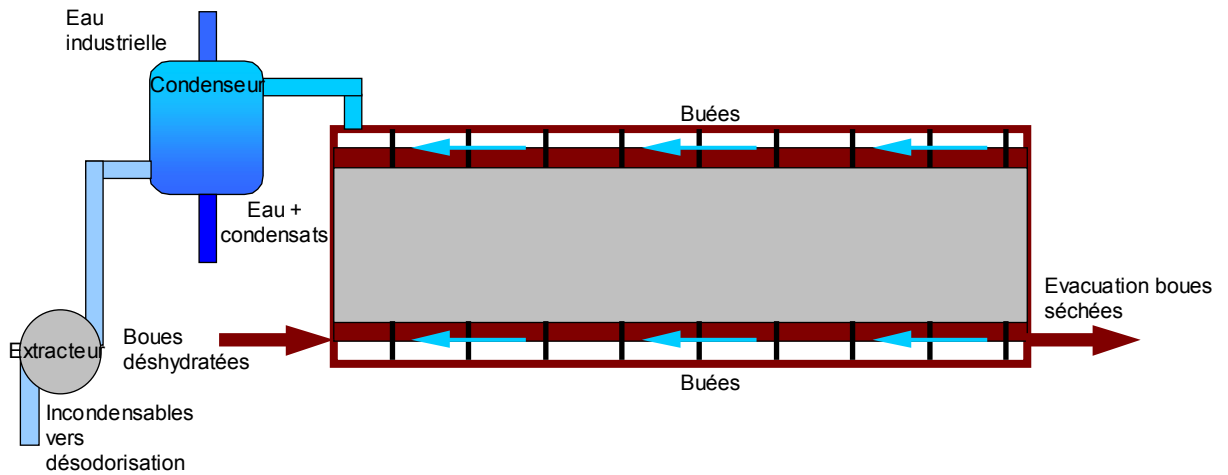


Schéma 16- Système d'évacuation des buées - V.A.

Le système d'évacuation et de traitement des buées ne semble pas assez efficace. Il est présenté par le schéma suivant : une pompe vient aspirer en entrée du sécheur les buées générées pour les amener dans le condenseur. Les vapeurs doivent ainsi traverser tout le sécheur dans le sens inverse d'avancement de boues.

La condensation ne se fait pas totalement au bon endroit, comme par exemple, au niveau de la pompe d'extraction. Il y a condensation d'humidité au niveau de l'extracteur alors qu'il ne devrait plus y avoir en cet endroit que des incondensables. De plus, les boues en sortie dégagent encore beaucoup de vapeurs et parfois sont accompagnées de dégagement brusque de buées. Ceci signifie que le système est saturé en vapeur d'eau. Pourtant la capacité du condenseur est de 2300 kg de buées par heure, ce qui correspond au débit maximum d'évaporation d'eau par le sécheur. Pour améliorer le rendement de séchage, il faudrait un courant d'air plus important pour chasser les buées vers un condenseur d'une capacité plus grande.

3- Consommation énergétique

3-1- Bilan thermique

Le bilan thermique suivant a été établi à partir des notes de dimensionnement de l'installation et non les valeurs réelles relevées sur le terrain.

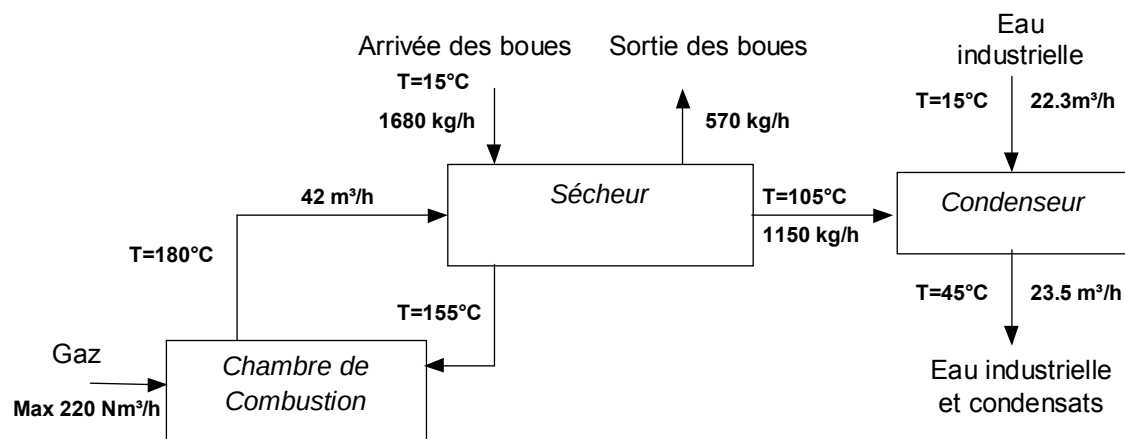


Schéma 17 - Bilan thermique Villeneuve d'Ascq

Chaleurs spécifiques: - eau : 1 kCal/kg °C
- vapeur : 0.45 kCal/kg °C
- huile thermique : 0.68 kCal/kg °C

Chaleur de vaporisation de l'eau: $L_v = 540$ kCal/kg

Poids spécifique de l'huile thermique : 1.044 kg/l

Les principaux échanges thermiques se font au niveau du sécheur entre la paroi et les boues, au niveau du condenseur entre les buées et l'eau industrielle, et au niveau de la chaudière entre l'huile et la chambre de combustion.

Au niveau du sécheur, l'énergie nécessaire pour réchauffer à 100 °C évaporer 1810 kg d'eau est de:

$$Q_{\text{eau totale}} \times C_{s_{\text{eau}}} \times \Delta T_{15,100} + Q_{\text{eau évaporée}} \times L_v + Q_{\text{eau évaporée}} \times C_{s_{\text{vapeur}}} \times \Delta T_{100-105}$$

$$1150 \times 1 \times (100 - 15) + 1150 \times 540 + 1150 \times 0.45 \times 1 \times (105 - 100) = \mathbf{721\,338\,kCal / h}$$

Au niveau du condenseur, l'énergie échangée entre l'eau industrielle qui passe de 15 à 45 °C et la buée qui se condense est de

$$Q_{\text{eau industrielle}} \times C_{s_{\text{eau}}} \times \Delta T_{45,15} = 22\,300 \times 1 \times 30 = \mathbf{669\,000\,kCal / h}$$

On remarque que selon les données de dimensionnement le condenseur ne permet pas de condenser la buée produite. La température de l'eau industrielle en sortie est probablement plus élevée.

Au niveau de la chaudière, l'énergie nécessaire pour réchauffer l'huile thermique de 155 à 180 °C au débit de 85 m³/h est de :

$$Q_{\text{huile}} \times C_{s_{\text{huile}}} \times \Delta T_{180,155} = 42\,500 \times 1.044 \times 0.68 \times 25 = \mathbf{754\,290\,kCal / h}$$

L'énergie globale à fournir au système est de **750 000 kCal / h**.

Le rendement de la chaudière étant de 0.86, et le PCI du gaz de ville de 7 925 kCal / Nm³, la consommation de gaz sera de: (750 000 / 0.86) / 7 925 = 110 Nm³ / h. La consommation thermique spécifique est donc de 872 kW pour évaporer 1 150 kg d'eau soit **760kW / T_{eau évaporée}**.

3-2- Relevé des consommations

3-2-1- Consommation thermique

Le fluide caloporteur est de l'huile thermique chauffée au niveau d'une chambre de combustion fonctionnant au gaz. Les consommations de gaz ont été calculées à l'aide de relevés mensuels fournis par Gaz de France et par un relevé horaire effectué le 15 avril 2003.

3-2-2- Consommation électrique

La consommation électrique journalière de la filière boue est relevée quotidiennement par l'exploitant. Cette consommation comprend la centrifugation et le séchage, il n'existe pas de compteur spécifique pour l'unité de séchage.

Le bilan des puissances installées permet d'estimer la part de la consommation de l'unité de séchage par rapport au total de la filière. Le tableau suivant présente les puissances nominales lorsque 2 sécheurs et 2 centrifugeuses fonctionnent.

	CENTRIFUGATION							SECHAGE				
Matériel	Pompe alimentation boues	Centrifugeuse	Système de contrôle de vitesse	Vis de transfert	Poste de polymère	Pompe doseuse	Chaudière	Pompe gavageuse	Sécheur rotatif	Ventilateur d'extraction	Ventilateur de combustion	Pompe fluide thermique
Nombre	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2
Puissance (kW)	11	37	37	10,5	2	0,75	10	11	75	1,1	10	22
	22	74	74	10,5	2	1,5	10	22	150	1,1	10	44
Total	Centrifugation :		194 kW		Pourcentage:		46,1%	Séchage:	227 kW	Pourcentage :		53,9%

Tableau 24 - Bilan des puissances installées

On peut donc estimer à **54%** la part de consommation d'électricité de l'unité de séchage par rapport à la consommation totale de la filière boue lorsque deux sécheurs et deux centrifugeuses fonctionnent. Ceci permettra d'approcher la consommation réelle à partir du relevé du compteur général. Il est à noter que lorsqu'un seul sécheur et une centrifugeuse fonctionnent, cette proportion n'est que très peu changée et s'élève à 53 %.

3-2-3-Relevés et résultats

Les tableaux suivants présentent les relevés des mois de mai et juin 2002, ceux de la journée du 15 avril 2003 et le calcul des consommations spécifiques thermiques et électriques de l'installation.

Pour le bilan mensuel, les débits d'eau évaporée ont été calculés à partir des siccités et des débits de boues traitées relevés quotidiennement par l'exploitant. Le tableau présente la moyenne des données des mois de mai et juin 2002.

BILAN	Boue traitée	Siccité entrée	Siccité sortie	Qeau évaporée	Conso gaz	Conso élec. totale	Conso élec. séchage	Conso gaz /T _{eau}	Conso élec /T _{eau}
Unités	tonne	%	%	tonne	Kw	Kw	Kw	Kw/t _{eau}	Kw/t _{eau}
Mai	149,9	21,1	51,0	418,4	340761	77198	41687	814,5	99,6
Juin	121,0	21,1	49,6	330,0	257522	62390	33691	780,4	102,1
Total	270,9	21,1	50,3	748,4	598283,0	139588,0	75377,5	797,5	100,7

Tableau 25 - Bilan mensuel des consommations de mai et juin 2002

La consommation thermique spécifique pour évaporer une tonne d'eau est de **798W**. Cette consommation est à peu près égale à celle garantie de 810 kWh / T_{eau évaporée}.

La consommation moyenne d'énergie électrique liée au fonctionnement de toute l'installation de séchage est estimée à **101 kWh / T_{eau évaporée}**. Cette consommation intègre tous les moteurs nécessaires au fonctionnement du sécheur. Elle est égale à celle garantie de 103 kWh / T_{eau évaporée}.

Pour le bilan de la journée du 15 avril 2003, il a été relevé chaque heure l'index du compteur de gaz, d'électricité et le débit de boue transitant. Ce jour-là le régime constant était atteint vers 12h00. Les siccités d'entrée et de sortie sécheur ont été relevées par 3 fois durant cette journée, on a pu ainsi calculer des siccités moyennes d'entrée et de sortie. De plus pour connaître les quantités de gaz et d'électricité consommées la nuit du 15 au 16 et ainsi conforter les résultats obtenus, un relevé a été fait le 16 avril à 9h00. Le tableau n° 26 suivant présente les résultats obtenus.

date 15/04/2003		10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00	17:00	9:00	Moyenne
Débit centrif. 1	m³	136940	136968	136998	137061	137098	137129	137159	137670	137050,8
Débit centrif. 2	m³	155583	155611	155641	155703	155740	155771	155800	156307	155693,2
Index gaz		180	219	318	496	594	688	779	482361	463,0
Index électrique		1023005	1023182	1023367	1023752	1023986	1024175	1024357	1027537	1023692,4
Siccité entrée	%		25,6		24,8		25,3			25,2
Siccité sortie	%		53,3		52,9		52,4			52,9
Débit entrée sécheur	kg boue /h		2141,1	2294,1	2389,6	2829,3	2370,5	2255,8	2432,7	2428,7
Débit gaz	m³/h		39,0	99,0	89,0	98,0	94,0	91,0	93,9	94,1
Conso élect.	Kw/h		177,0	185,0	192,5	234,0	189,0	182,0	198,8	196,9
Débit eau évap.	t/h		1112,7	1192,2	1269,4	1502,9	1226,0	1166,7	1258,1	1269,2
Cs thermique	kW/teau		365,6	866,1	731,3	680,1	799,7	813,5	778,2	778,2
Cs électrique	kW/teau		87,5	85,3	83,4	85,6	84,8	85,8	86,9	85,3

Tableau 26 - Bilan des consommations du 15 avril 2003

On constate que la consommation spécifique thermique de 778 kW/ T_{eau évaporée} obtenue la journée du 15 avril est à peu près égale à la consommation moyenne de 798 kW calculée à partir de relevés mensuels. Il est à noter qu'en mai et en juin 2002 un seul sécheur fonctionnait à la fois, tandis que le 15 avril les 2 sécheurs tournaient.

4- Valorisation agricole des boues

La voie de valorisation des boues séchées de Villeneuve d'Ascq est l'épandage agricole. Pour l'année 2002, 79% des boues ont été valorisées en agriculture et 21 % mises en décharge. Le stockage des boues sèches se fait en bout de champ.

Il est nécessaire de s'intéresser à la valeur agronomique des boues séchées. L'ensemble des résultats et analyses présenté par la suite a été fourni par Agro-développement, sous-traitant de Lille Métropole Communauté Urbaine pour l'épandage et le suivi agronomique des boues résiduaire urbaines.

4-1-Remarque sur le chaulage

Pendant les 18 premiers mois d'exploitation, la filière boue ne comprenait pas d'unité de chaulage. Les boues séchées partaient en fermentation dès le premier jour et engendraient une forte nuisance olfactive. Il était très gênant de stocker ce produit en bout de champ à proximité des habitations. Le plan d'épandage a dû être modifié et une partie des boues mises en décharge. Une boue séchée à moins de 90% n'est ni hygiénisée ni stabilisée.

Depuis mars 2003, les boues qui sortent de la centrifugeuse sont chaulées. Elles sont donc bien stabilisées et hygiénisées. On gagne également en siccité à la sortie du sécheur. Par contre, le chaulage entraîne une volatilisation d'ammoniac et comme la ventilation du local n'a pas été dimensionnée en ce sens, une forte odeur est présente dans les locaux des sécheurs et des bennes.

4-2- Valeur agronomique

Eléments et substances	UNITES	Nombre d'analyses	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne	Analyse 07-04-03-Boue chaulée
Matière sèche	%	53	30,29	81,06	47,29	54,3
Matière organique	% MS	53	56,7	71,3	67,05	52,5
pH		53	5,7	11,2	7,29	11,9
C/N		53	5,8	18		6,6
NK	% MS	53	1,84	6,25	5,15	4,58
N-NH ₄	% MS	53	0,06	0,57	0,18	0,04
P ₂ O ₅	% MS	53	1,66	6,71	5,69	5,1
CaO	% MS	53	0,82	9,81	4,86	19,7
MgO	% MS	45	0,52	2,29	0,95	19,7
K ₂ O	% MS	45	0,21	1,02	0,85	0,89

Tableau 27 -Résultats des analyses des boues de V.Ascq.

Le tableau présente la moyenne des résultats d'analyses de 2002 et l'analyse d'un échantillon de boue prélevé le 7 avril 2003. Ces derniers sont différents sur de nombreux critères car les boues sont chaulées.



Photo 16 - Boue séchée en tas

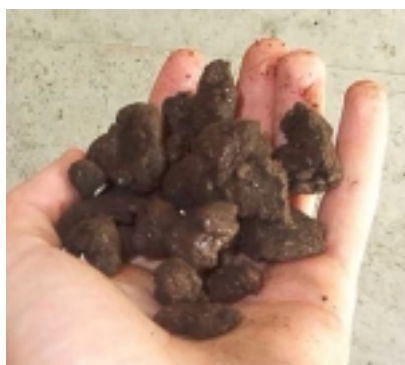


Photo 17 - Boue séchée



Photo 18 - Local à bennes

Remarque:

Il n'a pas été effectué de test de biodisponibilité et de minéralisation des boues.

4-3-Epandage

Les boues séchées sont actuellement destinées à l'épandage agricole dans l'Aisne et le Nord-Pas-de-Calais. Elles sortent sous forme de motte non collante de 5 à 50 mm de diamètre. Elles sont dépourvues de poussières et ont une masse volumique de l'ordre de 800 kg/m³. Elles sont assez bien stabilisées et hygiénisées par le chaulage à 15 %. Elles sont, par conséquent, de bonne qualité pour l'épandage agricole. Il n'existe pas d'aire de stockage des boues sur la station. Elles sont entreposées en bout de champ.

Le fait de sécher les boues à 50 % permet de diminuer les volumes des boues à épandre et à transporter. Pour un même apport agronomique, 8.5 tonnes de boues séchées par hectare équivalent à 30 tonnes de boues déshydratées à 20%. En attendant l'achat d'un matériel plus approprié, l'épandage des boues séchées se fait avec des épandeurs munis de hérissons verticaux ou horizontaux. On appelle hérisson le système qui projette la boue sur le champ.

5-Bilan économique de l'installation de séchage

Il n'a pas été possible de dresser un bilan économique exact de l'installation de séchage. Les coûts des consommations énergétiques ont été estimés à partir des factures des mois de mai et juin 2002 pour le gaz et de la facture d'avril 2003 pour l'électricité.

Le coût de l'épandage correspond à la valeur par tonne de boue évacuée facturée par la société Fertinord chargée de transporter et d'épandre les boues de la station de Villeneuve d'Ascq pour Lille Métropole Communauté Urbaine.

5-1-Tableau des données économiques

Tableau des données économiques	
Coût d'investissement (sans génie - civil) TTC	1 112 130 €
Coût gaz (moyenne mai et juin 2002)	0,0254 € / kWh
Coût électricité (avril 2003)	0,0799 € / kWh
Coût épandage	21,4 € / Tonne
Coût unitaire Agent d'exploitation	20 € / heure
Coût unitaire d'Electromécanicien	25 € / heure

Tableau 28 - Données économiques Villeneuve d'Ascq

Le coût de maintenance a été estimé sur la base d'un salaire de 10 € par heure pour un agent d'exploitation et de 12.5 € par heure pour un technicien. Le coût de revient pour l'exploitant est donc de 20 € et 25 €.

5-2-Bilan des coûts énergétiques

BILAN	Boue traitée MS	Siccité sortie	Qeau évaporée	Conso gaz	Conso élec. séchage	Coût gaz	Coût électricité	Coût gaz/ T eau évap	Coût élec/ T eau évap
Unités	tonne	%	tonne	Kw	Kw	€ TTC	€ TTC	€/ T _{eau évap}	€/ T _{eau évap}
Mai	149,9	51,0	418,4	340761	41687	7551	3331	18,05	7,96
Juin	121,0	49,6	330,0	257522	33691	7327	2692	22,21	8,16
Total	270,9	50,3	748,4	598283	75378	14878	6023	19,88	8,05

Tableau 29 - Bilan des coûts énergétiques des mois de mai et juin 2002

Il est à noter que le prix du kWh de gaz est variable chaque mois. Le coût relatif à la consommation de gaz est estimé à **19.9 € / T_{eau évaporée}**. Le coût relatif à l'énergie électrique pour le sécheur est de **8.1 € / T_{eau évaporée}**.

5-3- Bilan annuel estimé

Ces données nous permettent de dresser un bilan approximatif des dépenses annuelles de l'ensemble séchage et épandage.

Données de fonctionnement	
Tonne de MS par an (2002)	1708
Tonne d'eau évaporée par an (2002)	4522
Temps pour l'exploitation	5 h /semaine
Temps pour l'entretien	3 h /semaine

Tableau 30 - Données fonctionnement Villeneuve d'Ascq

Bilan annuel		
Gaz	90169	59,6%
Electricité	36493	24,1%
Personnel d'exploitation	9620	6,4%
Consommables et pièces d'usure	15000	9,9%
Total Séchage	151281	
Epandage	77275	
Total	228556	

Tableau 31 - Bilan annuel des consommations sans le chaulage

Les consommables et pièces d'usure ont été évalués à 1% du prix total d'investissement. On remarque que la part la plus importante des dépenses d'exploitation est la fourniture de gaz. Le coût d'exploitation pour une tonne d'eau évaporée s'élève à 33.45 €.

6-Synthèse des éléments

Type de sécheur	Modèle	Temps de fonctionnement	
Indirect, couche mince	GEA-NIRO	24h/24h - 5j/7j	
Masse de M.S. 2002	Quantité d'eau évaporée 2002	Siccité entrée	Siccité sortie
1708 T/an	4522 T/an	21%	47.3%
Consommation thermique	Consommation électrique	Temps de maintenance	
19.9 € / T _{eau évap.}	8.1 € / T _{eau évap.}	8h / semaine	
Investissement sans G.C.	Exploitation	Valorisation	Coût valorisation hors mise en décharge
1 112 130 €	151 281 €	Agricole	77 275 €

Tableau 32 - Récapitulatif des caractéristiques de l'installation de Villeneuve d'Ascq

Remarques générales:

Nous avons noté les avantages suivants:

- consommation thermique et électrique égale à celle prévue
- fonctionnement en continu de l'installation
- pas de poussières car la boue est séchée à 50 %. Les risques d'inflammation sont faibles.
- faible encombrement de l'installation.

Le sécheur fonctionne 24 heures sur 24 pendant 5 jours. De cette manière, le rendement énergétique n'est pas pénalisé par les différentes phases de démarrage et d'arrêt du sécheur.

Il n'existe pas de stockage intermédiaire entre la déshydratation et le séchage. Ainsi, lorsqu'une centrifugeuse fonctionne, un sécheur aussi. Si les sécheurs sont en panne, il n'est pas possible de produire des boues déshydratées chaulées. C'est toute la filière boue qui s'arrête. Le risque est de

bloquer l'ensemble de la station si les deux sécheurs sont hors service. C'est pourquoi il faudrait prévoir un certain nombre de pièces de rechange.

Pour éviter qu'une personne soit mobilisée la nuit pour déplacer les bennes à boue, il serait intéressant de prévoir une commande temporelle des tapis convoyeurs. Connaissant le débit de sortie des boues séchées et le volume d'une benne, il est facile d'estimer le temps de remplissage de celle-ci; on peut alors changer le sens de fonctionnement des tapis de manière à remplir une autre benne.

Enfin, comme le seuil de séchage n'atteint pas les 65 % de siccité, les boues ne présenteraient théoriquement plus une valeur calorifique proche des ordures ménagères. La voie de valorisation alternative des boues en co-incinération avec des O.M. serait rendue plus difficile.

IV- SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS

1-Performances des installations par rapport aux résultats initialement prévus

L'ensemble des observations sur site et des informations fournies par l'exploitant ont permis de dresser un bilan des performances réelles. Le tableau suivant les compare à celles initialement prévues.

	DOUAI		MAUBEUGE		VILLENEUVE d'ASCQ	
	réel	prévisionnel	réel	prévisionnel	réel	prévisionnel
Temps de fonctionnement	72 h / semaine	81h/semaine	-	24h/24h - 5j/7j	24h/24h - 5j/7j	24h/24h - 5j/7j
Masse de M.S.	1846 T / an	2756 T/an	-	2163 T / an	1708 T/an	3232 T/an
Quantité d'eau évaporée	7660 T / an	13150 T/an	-	7897 T / an	4522 T/an	11190 T/an
Siccité entrée	19%	19%	21%	21%	21%	21%
Siccité sortie	89%	90%	90%	65 à 90%	47.3%	65%

Tableau 33 - Comparaison des résultats de performance par rapport aux résultats attendus.

On peut noter que les trois installations sont assez largement surdimensionnées.

Parmi les principales difficultés rencontrées en terme de performance, il faut noter:

- Un problème de résultat de siccité de l'installation de séchage de Villeneuve d'Ascq, dû en partie à la phase plastique
- Un problème de démarrage de l'installation de Maubeuge
- Une difficulté à tourner en continu 24h/24h de l'installation de Douai

Par contre, il n'a pas été relevé:

- De phénomène d'auto combustion des boues à l'intérieur des sècheurs ou sur les aires de stockage.
- De problème mécanique dû à l'usure des matériaux en contact avec les boues (corrosion).

L'installation d'une unité de séchage de boues urbaines nécessite une forte implication de l'exploitant. La conduite d'une unité de séchage passe par une bonne connaissance du procédé.

2-Destination finale des boues séchées

Les trois unités étudiées ont été installées en vue de pérenniser la voie de la valorisation agricole mais aussi d'assurer une alternative qu'est l'incinération. Actuellement, pour les trois installations la destination choisie est l'épandage agricole.

Les boues séchées se présentent sous diverses formes finales. Les boues de Villeneuve d'Ascq sont sous forme de petite motte de taille supérieure à 5 mm de diamètre. Les boues de Maubeuge sont très pulvérulentes avec une importante part de fines tandis que les boues sèches de Douai sont pelletisées sous forme de granulé.

Les graphiques suivants présentent les teneurs en éléments fertilisants des boues séchées.

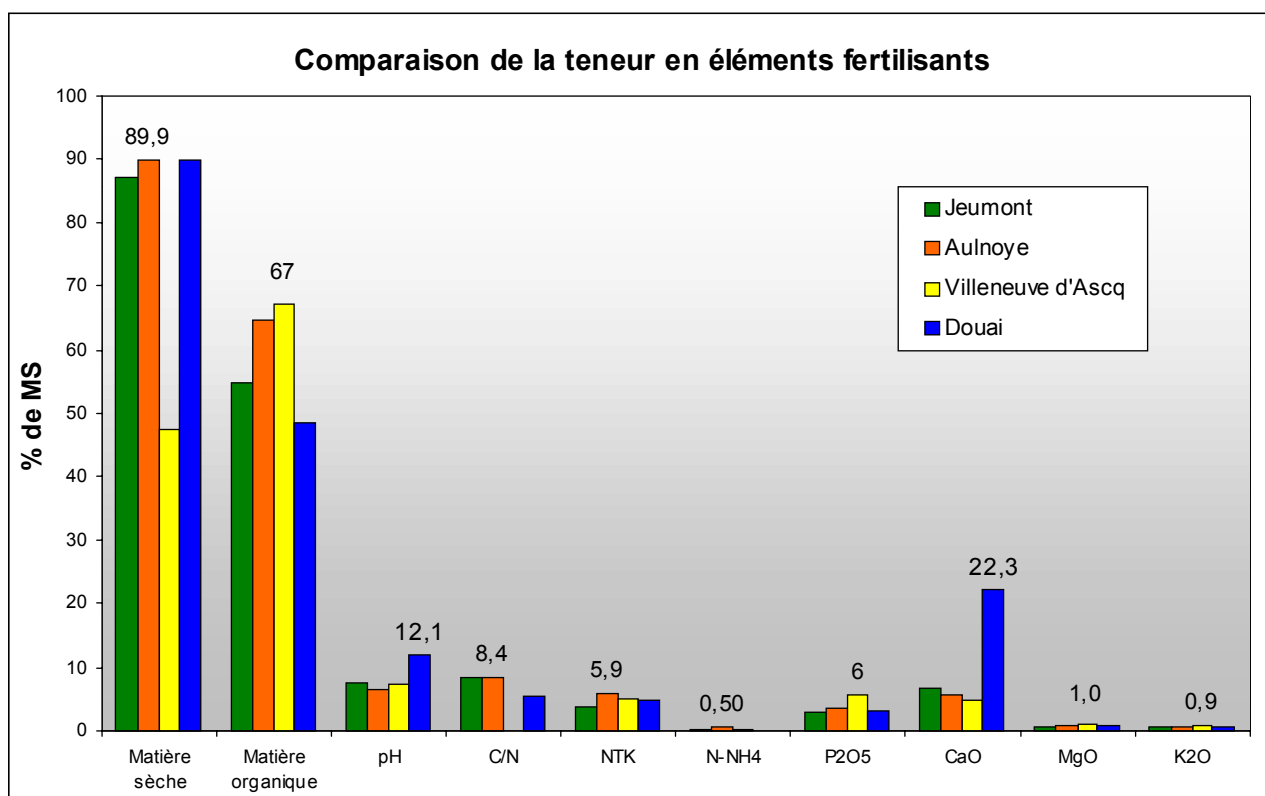


Tableau 34 Comparaison de la teneur en éléments fertilisants des boues séchées.

Les boues urbaines étudiées présentent une valeur agronomique faible (N, P, K, rapport C/N) mais intéressante.

D'autre part les différents tests et analyses ont montré que le séchage thermique

- peut entraîner une perte d'azote ammoniacal
- ne semble pas modifier la biodisponibilité de l'azote, selon les résultats d'analyse des boues de Douai
- diminuerait sensiblement la biodisponibilité du phosphore

Dans le cas de la valorisation agricole, le produit qui est le plus intéressant est la boue sèche sous forme de granulés ayant une siccité d'environ 90 à 95% et séchée à plus de 100°C de manière à éliminer toute présence de micro-organismes pathogènes. La mise sous forme de granulés permet un stockage et un épandage plus aisé du produit.

Les agriculteurs ayant participé aux différentes campagnes d'épandage des boues de Douai et Villeneuve d'Ascq sont satisfaits de la qualité des boues séchées.

Comparaison des installations par rapport aux moyennes bibliographiques

Le tableau suivant présente les résultats observés au regard des moyennes bibliographiques issus de la synthèse réalisée par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie "l'état de l'art sur le séchage thermique des boues urbaines et industrielles". Ces moyennes ont été calculées à partir de l'étude de huit sècheurs de type indirect et quatre de type direct.

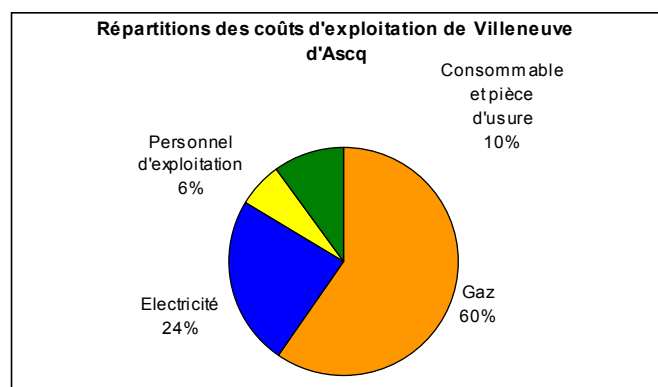
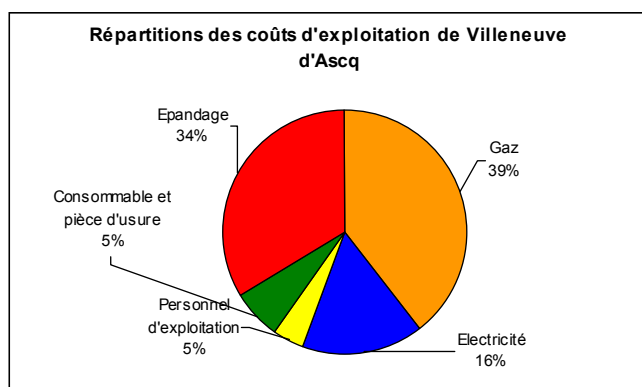
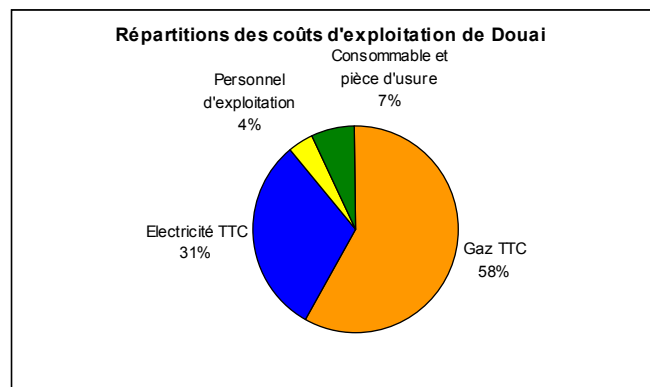
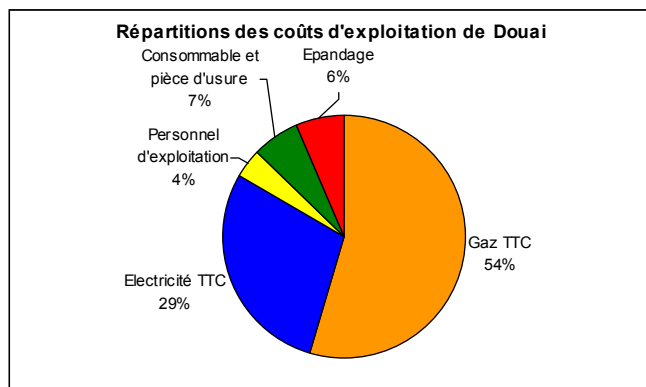
	Symboles et unités	Douai	Maubeuge	Villeneuve d'Ascq	Moyenne Biblio.	Moyenne Biblio.
		Mixte	Indirect	Indirect	Direct	Indirect
Siccité des boues brutes	Se %	19	21	21		
Siccité des boues séchées	Ss %	89	90	47		
Quantité de MS traitée par an	MS / an T/an	1846	-	1708		

Production annuelle d'eau évaporée	$Q_{\text{évap}}$ T / an	7660		4522	4992	5125
Consommation thermique spécifique	Cs_{therm} KW / Teau évaporée	1177	856	798	1104	924
Consommation électrique spécifique	$Cs_{\text{élec.}}$ KW / Teau évaporée	211	-	101	79,3	69,8
Ratios Investissement	$Inv. / Q_{\text{évap}}$ € TTC / T _{eau évaporée}	434	-	246	337	558
Ratios Exploitation	$Exp. / Q_{\text{évap}}$ € TTC / T _{eau évaporée}	65	-	33.5	40	44

Tableau 35 - Comparaison des installations par rapport aux moyennes bibliographiques

Ce tableau met en évidence que l'installation de Villeneuve d'Ascq présente des caractéristiques comparables aux données de l'étude bibliographique concernant les sècheurs indirects, excepté la consommation thermique spécifique et le coût d'investissement qui sont plus faibles.

Le sècheur de type mixte de Douai n'est pas comparable aux moyennes bibliographiques des sècheurs de type direct et indirect. L'étude bibliographique présente une seule référence de sècheur de type mixte, le turbo-sècheur de chez VOMM, d'une consommation spécifique thermique de 770 kW / Teau évaporée.



Les bilans économiques ont fait ressortir des investissements conséquents pour l'installation d'un sècheur.

L'exploitation de l'installation entraîne également des dépenses élevées. La part des dépenses en énergie est la plus importante, 88% pour le sècheur de Douai et 52% pour celui de Villeneuve d'Ascq. Il faut donc optimiser cette dépense en limitant les phases d'arrêt et de démarrage. On cherchera alors un fonctionnement 24 h/24 pour optimiser cette consommation.

IMPRESSIONS PERSONNELLES

1- Acquis techniques

Au cours de ces quatre mois de stage, j'ai pu acquérir une certaine connaissance des techniques de traitement des boues résiduaires urbaines et en approfondir une nouvellement employée, le séchage thermique. J'ai pu me rendre directement compte du réel problème de l'élimination des boues issues du traitement des effluents urbains et apprendre que ce sont les exigences et contraintes de la voie de valorisation qui viennent imposer le degré de traitement de la boue. Face à ces exigences et aux quantités croissantes de boues à traiter et valoriser, il existe un certain dynamisme et une volonté de mettre en place des techniques adaptées, fiables et pérennes. Le séchage thermique permet de pérenniser la valorisation des boues en agriculture et de s'offrir l'alternative qu'est l'incinération. Par contre, cette étape constitue un surcoût d'investissement et d'exploitation. Pour bien aborder le séchage thermique, il est nécessaire d'étudier cette technique de manière à éviter un certain nombre de faux-pas.

D'autre part j'ai pu continuer à compléter mes connaissances dans le domaine de l'assainissement et notamment celui de l'épuration par des visites et une présence continue sur plusieurs stations. J'ai ainsi rencontré des exploitants et de maîtres d'œuvre n'hésitant jamais à faire partager leur expérience. J'ai ainsi pu comprendre et mieux cerner la gestion de l'assainissement et le rôle de chaque partie. Enfin, ayant travaillé sur les parties techniques des dossiers de marché de construction de sécheur, j'ai pu découvrir comment s'organisait un tel document et l'importance des garanties souscrites spécifiées ou non dans celui-ci.

2- Découverte d'un établissement: l'Agence de l'Eau

En intégrant la mission Qualité de l'Assainissement, j'ai pu découvrir l'organisation et le rôle que peut jouer l'Agence dans la gestion de l'eau. J'ai pu apprendre que l'Agence n'était pas uniquement un service financier mais disposait également d'une capacité d'expertise technique et de conseil dans le domaine de l'eau non négligeable. Ainsi, elle assiste techniquement les collectivités locales et les industriels dans le choix des moyens à mettre en œuvre pour améliorer la qualité des eaux. C'est dans le cadre de cette mission qu'il faut replacer les travaux que j'ai pu effectuer.

Les résultats de performances relevés et synthétisés serviront à mieux conseiller les maîtres d'œuvre qui souhaitent mettre en place une unité de séchage thermique. J'ai dû faire un effort supplémentaire lors de la restitution des connaissances acquises. J'ai rencontré un industriel qui avait choisi le séchage thermique et se demandait s'il devait mettre en place une unité de pelletisation. Je ferai une présentation de mes travaux à certaines personnes de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Enfin, les résultats de l'étude feront l'objet d'une publication par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie.

Enfin, une agence de l'eau met en commun les expériences de différentes personnes spécialisées dans des domaines divers et variés, ce qui en fait un lieu de discussion très intéressant.

3- Expérience de réalisation d'étude technique

La réalisation du suivi de fonctionnement des trois sécheurs de Douai, Maubeuge et Villeneuve d'Ascq m'a permis de conduire une étude technique dans sa globalité. J'ai été assez indépendant pour l'organisation et la gestion de celle-ci.

Il a été très intéressant de rencontrer et d'auditer les exploitants de sécheur. Le fait de pouvoir passer plusieurs jours au côté de l'exploitant fut essentiel pour réaliser ce travail, pour rendre compte de la manière la plus juste possible du fonctionnement général de chaque installation de séchage. J'ai dû faire à chaque fois un effort d'intégration et démontrer l'intérêt de mes travaux. Il m'a fallu alors être attentif sur l'aspect écoute et dialogue. Cette dimension humaine du stage fut très intéressante et très enrichissante.

J'ai rarement rencontré des problèmes de rétention d'information, et j'ai à chaque fois pu obtenir assez facilement toutes les données désirées lorsqu'elles existaient. De plus, il m'a fallu faire attention à bien replacer les données dans leur contexte. Même si l'objectif de cette étude n'est pas de comparer entre eux trois sécheurs, le lecteur aura tendance à le faire naturellement. Pour éviter toute dérive et mauvaise interprétation des résultats obtenus, j'ai essayé de faire un effort pour préciser comment étaient obtenus et à quoi correspondaient les chiffres présentés.

D'autre part, il a été intéressant d'avoir une vision d'ensemble et extérieure, ainsi que d'avoir à étudier trois sécheurs différents. Je regrette seulement que l'installation de Maubeuge n'ait démarré qu'au mois de mai, je n'ai donc pu obtenir que des résultats d'exploitation partiels.

CONCLUSION

Au cours de ces quatre mois de stage à l'Agence de l'Eau Artois-Picardie, j'ai pu rencontrer des gens compétents et communicatifs et ainsi découvrir une technique nouvellement mise en place, le séchage thermique de boues résiduaires urbaines.

Cette étude technico-économique a permis d'obtenir un premier retour d'informations et d'établir un bilan concernant le fonctionnement de trois installations de séchage de boues urbaines installées dans le bassin.

J'ai eu la chance de pouvoir mener un projet, ce qui m'a permis de me découvrir aussi bien sur le plan personnel que professionnel. Après avoir effectué deux stages autour des techniques de traitement et de distribution d'eau, j'ai acquis des connaissances que je souhaite approfondir et mettre rapidement en application dans une prochaine expérience professionnelle si possible proche du domaine de l'eau.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Cabinet Merlin - Syndicat intercommunal d'assainissement de la région de Douai. Inventaire des techniques de séchage- Mars 1998
- [2] Agence de l'eau Seine Normandie- Serge Ressent- Rapport de synthèse de la campagne de mesures réalisées sur des sécheurs de boue de stations d'épuration urbaine et industrielles.
- [3] Agence de l'eau Rhin -Meuse- Syndicat des eaux et de l'assainissement du Bas-Rhin- Bilan de fonctionnement de l'installation de déshydratation et de séchage de la station d'épuration de Valff (67). Mai 2001.
- [4] Pierre Emmanuel Pardo- ENGREF- Séchage thermique des boues d'épuration utilités et perspectives- janvier 1998.
- [5] Office International de l'Eau- Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau-Le séchage Thermique.
- [6] Fanny Schwager- OTV - Le séchage des boues issues du traitement des eaux usées : intérêts et risques. L'eau, l'industrie les nuisances N° 239-P. 55-58
- [7] Rapport FAT n° 513- Boues d'épuration séchées- Séchage, stockage, épandage et décomposition. Août 1998.
- [8] OTV -Traiter et valoriser les boues- pages 274-289-Octobre 1997.
- [9] Jean-Paul Chabrier, Enviro-Consult. - Boues d'épuration urbaine et agro-alimentaire: le séchage thermique maîtrisé: une transformation d'avenir efficace vers l'agriculture- L'eau, l'industrie les nuisances N° 217-P.45-49
- [10] Matthieu Galaup ENGREF - La co-incinération des boues d'épuration et des ordures ménagères: bilan technico-économique. Février 1999.
- [11] Agence de l'eau Seine Normandie- Serge Ressent- Etat de l'art sur le séchage thermique des boues urbaines et industrielles.
- [12] ADEME- Les différents types de boues d'épuration et leur traitement - Pages consultées le 10 mars 2003 "<http://www.ademe.fr/partenaires/Boues/Pages/f15.htm>"
- [13] ADEME- L'intégration des boues d'épuration dans le plan de fertilisation - Pages consultées le 22 avril 2003 "<http://www.ademe.fr/partenaires/Boues/Pages/f23.htm>"
- [14] Thierry P., Martel J.L. (Agro-développement), Bazan H., Prévot C., Lesoille M., Durocq L.(Dégrémont) - Approche de la valeur agronomique de boues séchées thermiquement, 1995.
- [15] Valério Ph., GEA Niro - Coûts comparés des différentes voies de valorisation thermique des boues d'épuration. L'eau, l'industrie les nuisances N° 193 - 4 pages.
- [16] Aarne Vesilind, Ramsey Thomas Department of Civil and environmental Engineering, Duke University, Durham- Effect of drying temperature on the fuel value of wastewater sludge - 1996.
- [17] Fontana S. - Sécheurs de boues : pour parer à toutes éventualités- Hydroplus 85 - Juillet - Août - 1998- 3 pages.

ANNEXES

Guide des paramètres à prendre en compte pour la définition et la définition et le choix d'un sécheur

Etape1 - Analyse des boues et du prétraitement	
Analyse quantitative et qualitative des boues à traiter	
Nature de la boue en entrée; % MV;%MM	
Siccité entrée	%
Débit massique en entrée	t/h
Masse volumique du produit	t/m³
Prétraitement	
Procédé	
Chaulage-% de chaux	
Epaississement-choix du polymère (bouchage)	
Etape 2 - Contraintes liées aux filières d'élimination	
* Agriculture	
Valeurs agronomiques détaillées de la boue	
Siccité souhaitée	
Granulométrie et aspect souhaités	
Type d'épandeur disponible	
Degré d'hygiénisation souhaité	
Degré de stabilisation souhaité	
Période d'épandage - stockage	
Coût à la tonne	
* Incinération	
P.C.I. souhaitée	
Siccité souhaitée	
Granulométrie et aspect souhaités	
Coût à la tonne évacuée	
Autre filière de valorisation	
Contraintes avantages	
Coût à la tonne évacuée	
Transport des boues vers la valorisation	
Mode	
Coût à la tonne évacuée	
Etape 3 - Définition du sécheur	
Sécheur	
Type de séchage	direct/indirect/mixte
Type de sécheur	pales-disques-...
Matériaux traités contre l'abrasion	oui/non; nature
contre la corrosion	oui/non; nature
Siccité sortie	
Capacité évaporatoire	Teau évap./h
Temps de séjour de la boue dans le sécheur	
Recirculation	
Source de chaleur	
Chaudière	
Type	
Capacité	kW/h
Combustible utilisé	
Fluide caloporteur	ex: huile thermique
Débit	m³/h
T°C entrée-chaudière	°C

T°C sortie-chaudière	°C
Autre source de chaleur	
Récupération énergie d'incinérateur	
Traitement de l'air	
Capacité du condenseur	Teau cond./h
Séparateur particule/air-procédé	ex.: cyclone
Destination des condensats	
Destination des incondensables	
Local sécheur	
Surface	m²
Extraction des odeurs	oui/non
Stockage boue sèche	
Surface	m²
Couverture	oui/non
Aération	oui/non
Fonctionnement	
Nombre de jours par semaine	j/7j
Nombre d'heures par jour	h/24h
Temps de démarrage-Procédure	h
Temps d'arrêt-Procédure	h
Quantité de boue dans le sécheur restant à l'arrêt	m³
Temps de maintenance	h/semaine
Dépendance par rapport à la déshydratation	oui/non
Volume de stockage intermédiaire	m³
Points de prélèvement pour les mesures de siccité	
Instrumentation	
Thermomètres	
Débitmètres	
Système de sécurité/incendie	
Concentration de poussière sèche dans le sécheur et le local	
Concentration en oxygène	
Température dans le sécheur	
Système de capteur (O₂; T°C)	
Système inertage - injection d'eau; de N₂	
Consommations	
Electricité	kWh/ teau évap.
Gaz	kWh/ teau évap.
Eau de process	m³/h
Traitement de l'eau de process	oui/non; nature
Dureté de l'eau	
Cas du Séchage Siccité > 90%	
Teneur en fine	%
Teneur en poussière	%
Compactage- pelletisation	oui/non;procédé
Cas du Séchage Siccité > 60%	
Hygiénisation-procédé	oui/non; nature
Stabilisation-procédé	oui/non; nature
Coûts	
Coût d'investissement	k€/an
Coût de fonctionnement	k€/an
Ratios coût d'investissement par tonne d'eau évaporée	€/T eau évaporée
Ratios coût de fonctionnement par tonne d'eau évaporée	€/T eau évaporée
Réglementation des ICPE	
1-Rubrique n° 2915-Chauffage utilisant des corps organiques combustibles	

T°C > Pont éclair	
Volume > 1000 l	Soumis à Autorisation
Volume > 100 l	Soumis à Déclaration
T°C < Point éclair	Soumis à Déclaration
2-Rubrique n° 2160-Silos de stockage de céréales, produits organiques	
En silos ou installation de stockage	
supérieur à 15 000 m³	Soumis à Autorisation
supérieur à 5 000 m³	Soumis à Déclaration
3-Rubrique n° 2910 - Combustion	
Puissance thermique maximale	
supérieure à 20 MW	Soumis à Autorisation
supérieure à 2 MW	Soumis à Déclaration

Nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement

Rubrique N° 2915 - Chauffage utilisant des corps organiques combustibles

Chauffage (procédés de) utilisant comme fluide caloporteur des corps organiques combustibles :

1. Lorsque la température d'utilisation est égale ou supérieure au point éclair des fluides, si la quantité totale de fluides présente dans l'installation (mesurée à 25 °C) est :

a) supérieure à 1 000 l : (A - 1)

b) supérieure à 100 l, mais inférieure à 1 000 l : (D)

2. Lorsque la température d'utilisation est inférieure au point éclair des fluides, si la quantité totale de fluides présente dans l'installation (mesurée à 25 °C) est supérieure à 250 l : D

Rubrique n° 2160 - Silos de stockage de céréales

Rubrique modifiée par le décret n° 99-1220 du 28 décembre 1999

Silos et installations de stockage de céréales, grains, produits alimentaires ou tout produit organique dégageant des poussières inflammables :

1. En silos ou installations de stockage :

a) Si le volume total de stockage est supérieur à 15000 m³ (A - 3)

b) Si le volume total de stockage est supérieur à 5 000 m³ mais inférieur ou égal à 15 000 m³ (D)

2. Sous structure gonflable ou tente :

a) Si le volume total de la structure gonflable ou de la tente est supérieur à 100 000 m³ (A - 3)

b) Si le volume total de la structure gonflable ou de la tente est supérieur à 10 000 m³ mais inférieur ou égal à 100 000 m³

Rubrique N° 2910 - Combustion

Combustion, à l'exclusion des installations visées par les rubriques 167-C et 322-B-4.

La puissance thermique maximale est définie comme la quantité maximale de combustible, exprimée en pouvoir calorifique inférieur, d'être consommée par seconde.

Nota - La biomasse se présente à l'état naturel et n'est ni imprégnée ni revêtue d'une substance quelconque. Elle inclut notamment le bois sous forme de morceaux bruts, d'écorces, de bois déchiquetés, de sciures, de poussières de ponçage ou de chutes issues de l'industrie du bois, de sa transformation ou de son artisanat.

A. Lorsque l'installation consomme exclusivement, seuls ou en mélange, du gaz naturel, des gaz de pétrole liquéfiés, du fioul domestique, du charbon, des fiouls lourds ou de la biomasse, à l'exclusion des installations visées par d'autres rubriques de la nomenclature pour lesquelles la combustion participe à la fusion, la cuisson ou au traitement, en mélange avec les gaz de combustion, des matières entrantes, si la puissance thermique maximale de l'installation est :

1) supérieure ou égale à 20 MW : (A - 3)

2) supérieure à 2 MW, mais inférieure à 20 MW : (D)

B. Lorsque les produits consommés seuls ou en mélange sont différents de ceux visés en A et si la puissance thermique maximale est supérieure à 0,1 MW : (A - 3)

Aide:

A : Autorisation D : Déclaration S : Servitude

Le chiffre correspond au rayon d'affichage en kilomètre

Relevé des consommations de gaz - Janvier 2003 - Douai

Date	Débit sécheur A	Débit sécheur B	Total débit	Siccité entrée	Siccité sortie	Quantité d'eau éaporée	Consomm ation de gaz	Consom mation de gaz	Consommation de gaz / tonne d'eau évaporée
	m³/j	m³/j	m³/j	%	%	t/j	m³	KWh	KWh/t eau
1/1/03	0,00	0,00	0,00						
2/1/03	29,96	29,19	59,16	19,00	92,56	48,42	7530	77792	1606,5
3/1/03	10,40	10,88	21,27	19,00	90,00	17,28		0	
4/1/03	0,00	0,00	0,00					0	
5/1/03	0,00	0,00	0,00					0	
6/1/03	30,30	30,67	60,97	19,00	92,01	49,83	7990	82545	1656,4
7/1/03	31,95	32,10	64,05	19,00	92,55	52,43	3630	37502	715,3
8/1/03	14,20	14,15	28,34	19,00	88,91	22,95	2770	28617	1246,8
9/1/03	0,00	0,00	0,00				0	0	
10/1/03	0,00	0,00	0,00					0	
11/1/03	0,00	0,00	0,00					0	
12/1/03	0,00	0,00	0,00					0	
13/1/03	0,00	0,00	0,00					0	
14/1/03	13,84	13,91	27,75	19,00	91,08	22,62	2800	28927	1278,6
15/1/03	10,06	10,25	20,31	19,00	90,00	16,50	2050	21179	1283,5
16/1/03	25,58	27,25	52,83	19,00	88,89	42,79	4740	48969	1144,5
17/1/03	24,95	26,24	51,19	19,00	89,30	41,51	4890	50519	1217,0
18/1/03	11,79	12,48	24,27			19,72	2320	23968	1215,5
19/1/03	0,00	0,00	0,00					0	
20/1/03	0,00	0,00	0,00					0	
21/1/03	31,38	31,80	63,18	19,00	92,08	51,65	6250	64569	1250,2
22/1/03	32,32	35,52	67,84	19,00	90,00	55,12	7850	81098	1471,3
23/1/03	49,41	49,02	98,43	19,00	92,23	80,50	6580	67978	844,5
24/1/03	30,99	30,61	61,60	19,00	91,80	50,32	7740	79962	1589,2
25/1/03	25,77	26,00	51,77	19,00	90,00	42,07	2470	25518	606,6
26/1/03	0,00	0,00	0,00					0	
27/1/03	0,00	0,00	0,00					0	
28/1/03	32,04	31,37	63,41	19,29	90,88	51,65	6400	66118	1280,0
29/1/03	17,85	16,77	34,61	20,71	91,07	28,21	2820	29133	1032,7
30/1/03	14,03	13,54	27,57	15,29	91,83	22,52	2730	28204	1252,3
31/1/03	11,26	11,85	23,10	19,00	90,00	18,77	2360	24381	1298,7
Total	448,06	453,59	901,65			734,87	83968,42	866978	

valeur estimée

Relevé des consommations de gaz - Février 2003 - Douai

Date	Débit sècheur A	Débit sècheur B	Total débit	Siccité entrée	Siccité sortie	Quantité d'eau éaporée	Consom mation de gaz	Consom mation de gaz	Consommation de gaz / tonne d'eau évaporée
	m³/j	m³/j	m³/j	%	%	t/j	m³	KWh	KWh/t eau
1/2/03	0,00	0,00	0,00						
2/2/03	0,00	0,00	0,00						
3/2/03	0,00	0,00	0,00						
4/2/03	0,00	0,00	0,00						
5/2/03	0,00	0,00	0,00						
6/2/03	0,00	31,15	31,15	17,30	94,01	26,18	3740	38623	1475
7/2/03	0,00	23,18	23,18	19,00	90,00	18,83	1300	13425	713
8/2/03	12,95	13,26	26,21	19,00	90,00	21,30	2580	26644	1251
9/2/03	0,00	0,00	0,00						
10/2/03	0,00		0,00						
11/2/03	26,88	26,43	53,31	20,93	91,92	42,41	4990	51532	1215
12/2/03	22,22	22,87	45,09	19,72	92,16	36,50	4160	42960	1177
13/2/03	31,24	31,41	62,65	23,80	93,23	48,05	7930	81893	1704
14/2/03	47,92	49,48	97,39	20,05	91,58	78,35	7220	74561	952
15/2/03	12,37	4,22	16,59	19,00	90,00	13,48	920	9501	705
16/2/03	0,00	0,00	0,00						
17/2/03	9,73	9,53	19,26	16,60	89,16	16,15	2070	21377	1324
18/2/03	0,00	0,00	0,00						
19/2/03	31,49	32,00	63,50	19,00	90,00	51,59	7210	74458	1443
20/2/03	27,63	27,82	55,45	18,56	88,63	45,15	3740	38623	855
21/2/03	31,12	31,86	62,98	20,03	88,87	50,25	7770	80241	1597
22/2/03	30,38	31,06	61,44	19,00	90,00	49,92	3300	34079	683
23/2/03	0,00	0,00	0,00						
24/2/03	0,00	0,00	0,00						
25/2/03	32,31	31,58	63,88	19,00	90,00	51,91	7980	82409	1588
26/2/03	50,94	50,35	101,29	19,60	90,18	81,66	7420	76626	938
27/2/03	4,23	4,25	8,47	19,00	90,00	6,88			
28/2/03	0,00	0,00	0,00						
Total	371,39	420,45	791,84			638,62	72330	746952	

Relevé des consommations de gaz - Mars 2003 - Douai

Date	Débit sécheur A	Débit sécheur B	Total débit	Siccité entrée	Siccité sortie	Quantité d'eau évaporée	Consom mation de gaz	Consom mation de gaz	Consommation de gaz / tonne d'eau évaporée
	m³/j	m³/j	m³/j	%	%	t/j	m³	kWh	KWh/t eau
1/3/03	0,00	0,00	0,00						
2/3/03	0,00	0,00	0,00						
3/3/03	0,00	0,00	0,00						
4/3/03	18,11	18,10	36,21	19,00	90,00	29,42	3500	36232	1231,53
5/3/03	31,67	31,53	63,19	19,00	90,00	51,35	6490	67184	1308,40
6/3/03	28,10	26,95	55,04	17,32	89,69	45,75	4350	45031	984,36
7/3/03	21,09	20,58	41,67	19,00	90,00	33,86	3870	40062	1183,12
8/3/03	13,28	12,48	25,76	19,00	90,00	20,93	2510	25984	1241,32
9/3/03	0,00	0,00	0,00						
10/3/03	0,00	0,00	0,00						
11/3/03	31,78	30,77	62,55	17,81	90,23	51,71	6470	66977	1295,24
12/3/03	32,68	32,12	64,81	18,34	87,30	52,73	5170	53520	1015,03
13/3/03	32,94	32,44	65,38	18,60	88,00	53,11	6860	71015	1337,16
14/3/03	39,78	38,59	78,38	18,95	87,50	63,24	7930	82091	1298,03
15/3/03	28,06	27,06	55,12	19,00	90,00	44,78	2690	27847	621,80
16/3/03	0,00	0,00	0,00						
17/3/03	0,00	0,00	0,00						
18/3/03	32,03	31,36	63,39	22,73	90,08	48,82	7920	81988	1679,46
19/3/03	50,51	49,25	99,76	18,92	90,88	81,36	7570	78365	963,20
20/3/03	19,59	19,12	38,72	19,09	91,28	31,54	2680	27743	879,69
21/3/03	31,24	31,81	63,05	19,16	89,87	51,10	7870	81470	1594,35
22/3/03	16,10	15,87	31,98	19,00	90,00	25,98	720	7453	286,88
23/3/03	0,00	0,00	0,00						
24/3/03	0,00	0,00	0,00						
25/3/03	20,87	21,25	42,12	18,07	90,00	34,67	6160	63768	1839,26
26/3/03	45,94	44,93	90,87	18,59	90,41	74,35	5870	60766	817,31
27/3/03	32,49	32,23	64,72	19,02	88,68	52,36	7930	82091	1567,78
28/3/03	0,00	0,00	0,00	19,00	90,00	28,99	3290	34058	1175,00
29/3/03	0,00	0,00	0,00						
30/3/03	0,00	0,00	0,00						
31/3/03	0,00	0,00	0,00	19,00	89,49	1,41	160	1656	
Total	526,28	516,43	1042,70			877,46	100010,00	1035304	

Relevé des consommations de gaz - Mai 2002 - Villeneuve d'Ascq

Date	Siccité entrée	Siccité sortie	Boue évacuée	Tonne eau évaporée	Consommation Electricité	Consommation Gaz	Cs électrique	Cs thermique
mai-02	%	%	MS en kg	Tonne	kW	kW	KW/t _{eauévap}	KW/t _{eauévap}
1	22,4	54,1	6140	16,06	3271	14285	110	889,4
2	20	50,6	4390	13,06	3141	16380	130	1254,5
3	21	49,0	6880	18,72	3116	16786	90	896,6
4	21	50,0	7030	19,42	3100	17401	86	896,2
5	21	49,0	2530	6,88	1200	6772	94	983,7
6	21,0	57,2	3080	9,28	1796	11732	104	1263,9
7	20,8	48,0	6990	19,04	3281	14212	93	746,3
8	20,8	49,0	7170	19,84	3285	14139	89	712,7
9	20,8	51,0	2700	7,69	1299	1781	91	231,7
10	20,8	50,3	4620	13,03	2127	12483	88	958,3
11	20,8	50,1	7300	20,53	3285	13775	86	671,1
12	21,8	51,0	2700	7,09	1274	1719	97	242,4
13	20,7	52,3	4340	12,67	2054	12556	88	991,2
14	20,7	55,2	5730	17,30	3220	13368	101	772,7
15	21,9	48,2	5820	14,50	3231	13431	120	926,2
16	20,2	53,3	6340	19,49	3269	13306	91	682,7
17	21,9	51,0	6100	15,89	3260	13473	111	847,7
18	21,9	51,0	4950	12,90	2679	7700	112	597,0
19			0		0	0		
20			0		0	0		
21	22	51,4	3780	10,07	1912	11566	103	1149,1
22	22	49,0	5610	14,28	3246	14754	123	1032,8
23	19	52,2	6710	22,65	3293	14285	79	630,7
24	21	50,7	6730	18,77	3266	13306	94	708,8
25	21	50,7	4870	13,37	2412	6272	97	469,2
26								
27	22	53,2	3890	10,70	2050	12879	103	1204,0
28	23	54,8	5610	14,05	3172	13087	122	931,6
29	21	56,1	6270	18,97	3232	13452	92	709,2
30	21	49,0	5840	16,43	3337	12962	110	788,9
31	22	53,8	5760	15,72	3376	12899	116	820,8
Total	21,2	51,5	149880	418,38	77184	340761,0	99,62	814,5

Relevé des consommations de gaz - Juin 2002 - Villeneuve d'Ascq

Date	Siccité entrée	Siccité sortie	Boue évacuée	Tonne eau évaporée	Consomm ation Electricité	Consommati on Gaz	Cs électrique	Cs thermique
juin-02	%	%	MS en kg	Tonne	kW	kW	KW/t _{eauévap}	KW/t _{eauévap}
1	21	51,9	2520	7,38	1392	1921	101,9	260,4
2								
3	21	51,9	3490	10,22	1790	11708	94,6	1145,9
4	19	49,6	5220	17,09	2915	8711	92,1	509,6
5	22	49,0	3630	9,40	2030	9901	116,6	1053,6
6	21	49,0	4300	11,90	2451	12251	111,2	1029,7
7	21	55,8	3490	10,69	1975	4366	99,8	408,5
8								
9								
10	21	49,4	3550	9,40	2015	14132	115,7	1503,0
11	21	52	7010	20,57	3412	14497	89,6	704,6
12	21	49	7110	19,84	3417	14685	93,0	740,3
13	19	49	5760	17,94	3446	10862	103,8	605,6
14	21	49,1	4760	13,30	2550	13641	103,5	1025,6
15	21	49,1	5970	16,68	2731	8084	88,4	484,6
16								
17	21	48,4	4310	11,33	2020	13098	96,3	1156,1
18	22	49,7	6330	16,17	3445	14132	115,1	874,1
19	22	51,5	7230	19,13	3409	13881	96,2	725,8
20	21	49,3	7920	21,83	3410	14654	84,4	671,3
21	21	47,5	7360	19,22	3388	14111	95,2	734,1
22	21	48,5	5280	14,02	2409	6340	92,8	452,2
23								
24								
25	22	49,6	4160	10,87	2142	12126	106,4	1115,3
26	22	44,9	6370	15,03	3352	13192	120,4	877,5
27	22	46,7	5600	14,06	3343	13244	128,4	942,3
28	22	50,3	5020	12,53	2916	11510	125,7	918,5
29	22	50,3	4560	11,38	2432	6475	115,4	568,8
30								
Total	21,1	49,6	120950	329,97	62390	257522,0	102,10	780,4