

A. Léonard, M. Crine - Université de Liège, Belgique

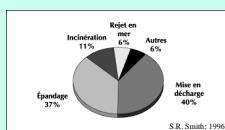
## Introduction

Le procédé d'épuration des eaux usées au sein d'une station classique comporte un traitement biologique à l'origine d'une production de biomasse ou boue d'épuration. L'épuration biologique consiste en l'élimination par une flore microbienne des matières assimilables contenues dans l'eau, principalement des matières organiques biodégradables, des composés azotés et des phosphates. Or une partie de l'énergie issue de la dégradation de ces matières assure la croissance des micro-organismes. Ces nouvelles cellules forment la boue.

Suite aux directives du Conseil de l'Union Européenne relatives au traitement des eaux usées (91/271/EEC), la quantité de boue produite par les stations d'épuration va fortement augmenter dans les prochaines années. Le tableau ci-dessous indique la croissance attendue pour la Belgique.

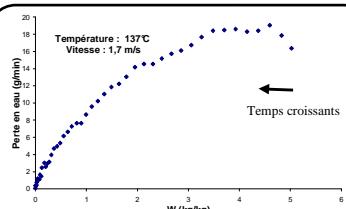
1995	2000	2005	2010
14 350 t (MS)	23 200 t (MS)	33 200 t (MS)	45 000 t (MS)

En outre, à l'aube de l'horizon 2002 signant la fin de la mise en décharge des composés organiques, il ne reste que deux issues principales pour ces boues : l'épandage agricole ou la valorisation énergétique (incinération). Le graphique ci-dessous résume la situation européenne de 1994.



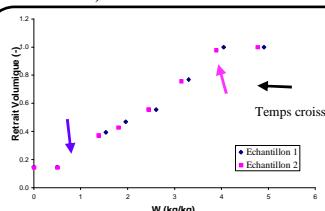
## Courbes expérimentales

### A) Courbe de séchage



Les courbes de séchage sont tracées à partir de l'évolution de la masse de l'échantillon au cours du temps. Il est d'usage de porter en graphique la vitesse de séchage en fonction de  $W$ , la teneur en eau du solide, exprimée sur base sèche (kg eau/kg solide sec). On peut distinguer une phase de séchage à vitesse pratiquement constante, suivie d'une longue phase de décroissance

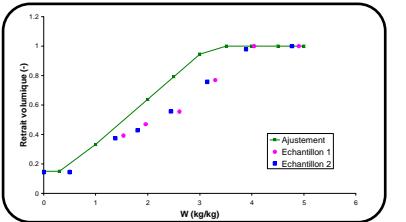
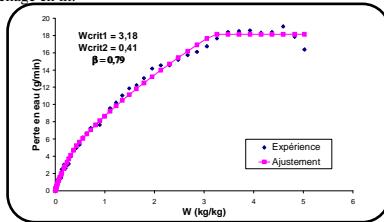
### B) Courbe de retrait



Par courbe de retrait, on entend l'évolution du rapport  $V/V_0$ , volume/volume initial, en fonction de  $W$ . Sur les courbes on distingue une première phase, jusqu'à  $W_{crit1}$ , pendant laquelle le volume ne varie pas sensiblement. Suit une deuxième phase au cours de laquelle le retrait est une fonction linéaire de  $W$ . Une fois le volume final atteint, à  $W_{crit2}$ , l'échantillon le conserve jusqu'à sécherie complète.

## Ajustement paramétrique

A partir de ce modèle à trois zones, un ajustement paramétrique a été effectué sur la courbe de séchage de manière à déterminer les valeurs de  $W_{crit1}$ ,  $W_{crit2}$ , et  $\beta$ . Seule la valeur finale du retrait est prise en compte pour l'ajustement vu l'imprécision de la courbe. Le graphique de gauche montre que le modèle est en bon accord avec les résultats expérimentaux. Sur le graphique de droite le retrait correspondant aux paramètres ajustés a été représenté. On se rend compte que le retrait 'ajusté' correspond à une diminution moins rapide du volume que celui mesuré. Cette différence peut s'expliquer d'une part par le fait que les volumes sont mesurés à la main (erreurs) et que le retrait est relatif à un seul 'cylindre' de boue, contrairement au retrait 'ajusté' qui tient compte d'un séchage en lit.



## Le séchage : Pourquoi ?

En sortie de station d'épuration, les boues produites sont déshydratées mécaniquement mais contiennent toujours de 75 à 80 % d'eau. Le séchage thermique permet d'atteindre des sécicteurs allant jusqu'à 95 % et présente différents avantages :

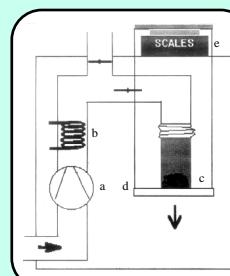
- Réduction de la masse et du volume
- Réduction des coûts (stockage, transport,...)
- Concentration des matières fertilisantes
- Blocage des processus biologiques et hygiénisation
- Réduction des odeurs, stabilité du produit
- Augmentation du PCI
- Nécessaire à l'incinération

A l'heure actuelle, le séchage industriel relève encore du plus grand empirisme vu le manque de connaissance des mécanismes régissant le séchage des boues.

## Notations

A	Surface d'échange (m <sup>2</sup> )
h <sub>g</sub>	Coefficient de transfert de chaleur (J/m <sup>2</sup> s)
N <sub>g</sub>	Coefficient de transfert de matière (kg/m <sup>2</sup> s)
N	Flux de matière (kg/m <sup>2</sup> s)
T <sub>g</sub>	Température de l'air (°C)
T <sub>b</sub>	Température du bulbe humide (°C)
W	Teneur en eau (kg eau/kg solide sec)
Y <sub>g</sub>	Humidité de l'air (kg eau/kg air sec)
Y <sub>g,sat</sub>	Humidité saturante (kg eau/kg air sec)
V	Volume (m <sup>3</sup> )
ΔH <sub>vap</sub>	Chaleur latente de vaporisation (J/kg)
Indice : 0 = initial; crit = critique; c = constante	

Les essais de séchage ont été menés dans une unité pilote. Il s'agit d'un sécheur convectif discontinu reproduisant les conditions régnant dans les sécheurs à bande industriels. La capacité de traitement peut varier de 0.5 à 2.5 kg. La boue est préalablement extrudée en cylindres (10 mm de diamètre en général) afin d'augmenter la surface d'échange.



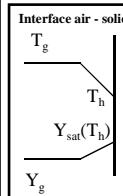
Le sécheur est alimenté en air par un ventilateur (a). Cet air est ensuite chauffé jusqu'à une température consigne par passage à travers des résistances (b). Un générateur de vapeur permet d'humidifier l'air chaud si nécessaire. L'air chaud est alors dirigé vers la chambre de séchage dans laquelle le lit de boue (c) est disposé sur une grille perforée (d). Une balance

(e) permet de mesurer la masse de l'échantillon. Trois paramètres sont régulés : le débit, la température et l'humidité de l'air. Deux logiciels (Labview et Software Wedge) permettent l'acquisition de la masse, des débits et de la température à des intervalles de temps déterminés.

La boue utilisée pour les essais a pour origine la station d'épuration de Retinne (région Liégeoise).

## Modélisation

### Transport externe et couche limite



A la surface de contact entre l'air chaud et le solide à sécher se développe une couche limite dans laquelle les profils de d'humidité et de température sont linéaires (approximation). Pour un séchage convectif adiabatique, la température et l'humidité à l'interface correspondent à la température de bulbe humide et à l'humidité à saturation à cette même température.

Le moteur du transfert de matière est la différence entre l'humidité de l'air à l'interface et dans l'air chaud :  $Y_{sat}(T_h) - Y_g$ . Dans le cas où il n'y a pas de résistances internes au séchage, le flux de matière est contrôlé par les conditions externes et s'exprime :  $N = k_g A (Y_{sat}(T_h) - Y_g)$ .  $A$  correspond à la surface d'échange et  $k_g$  est un coefficient de transfert.

### Formulation

Les 3 zones déterminées sur la courbe de retrait sont utilisées pour modéliser la cinétique de séchage observée.

#### A) $W > W_{crit1}$

Le transfert est contrôlé par les conditions externes. La vitesse est constante et vaut

$$N_c = k_g A_0 (Y_{sat}(T_h) - Y_g) = \frac{h_g A_0 (T_g - T_h)}{\Delta H_{vap}}$$

#### B) $W_{crit1} < W < W_{crit2}$

L'étape limitante se situe toujours à l'interface air-solide mais le retrait volumique affecte la surface d'échange. Le flux de séchage diminue comme la surface, c'est-à-dire :

$$N = N_c \frac{A(W)}{A_0} = N_c \left( \frac{V(W)}{V_0} \right)^{\frac{2}{3}}$$

#### B) $W < W_{crit2}$

Dans la dernière zone on postule que le séchage est contrôlé par des résistances internes. La décroissance qui en résulte est ainsi exprimée :

$$N = N_c \left( \frac{V(W)}{V_0} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{W}{W_{crit2}} \right)^{\beta}$$

## Perspectives

Cette modélisation constitue une nouvelle étape pour la compréhension des mécanismes gouvernant le séchage des boues.

Pour la suite, notre objectif est de relier le phénomène de retrait aux propriétés mécaniques du matériau, notamment les propriétés rhéologiques. Dans ce sens, nous prévoyons de travailler avec un matériau synthétique de texture et de composition contrôlable.

De plus, une nouvelle boucle de séchage adaptée à un échantillon à la fois est sur le point d'être terminée, afin d'entamer le travail à une plus petite échelle. Enfin, le laboratoire vient d'acquérir un microtomographe à rayons X qui permettra le tracé de courbes précises, ce qui constitue une réelle difficulté jusqu'à présent. En outre, cet appareil devrait nous aider à discriminer les différents modèles de séchage par la visualisation des profils d'eau dans le solide.

## Remerciements

Angélique Léonard remercie le FNRS pour son mandat d'Aspirant.