HAL
open science

Caractérisation de la distribution des temps de séjour de boues résiduaires urbaines dans un sécheur par contact avec agitation

Christophe Charlou, Patricia Arlabosse, Martial Sauceau

To cite this version:

Christophe Charlou, Patricia Arlabosse, Martial Sauceau. Caractérisation de la distribution des temps de séjour de boues résiduaires urbaines dans un sécheur par contact avec agitation. SFGP 2013 -14ème Congrès français en génie des procédés, Oct 2013, Lyon, France. Art.2013120651-8 p. hal-01768679

HAL Id: hal-01768679

https://hal.science/hal-01768679v1

Submitted on 7 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Récents Progrès en Génie des Procédés, Numéro 104 - 2013
ISSN: 1775-335X ; ISBN: 978-2-910239-78-7, Ed. SFGP, Paris, France

Caractérisation de la distribution des temps de séjour de boues résiduaires urbaines dans un sécheur par contact avec agitation

CHARLOU Christophe, ARLABOSSE Patricia, SAUCEAU Martial
Université de Toulouse ; Mines Albi ; CNRS; Centre RAPSODEE
Campus Jarlard, F-81013 Albi cedex 09, France
Tel.:+33 5 63 49 32 45, E-mail: Christophe.Charlou@mines-albi.fr

Une méthode pour déterminer la distribution des temps de séjour (DTS) dans un sécheur continu par contact avec agitation a été développée. Une injection Dirac de chlorure de sodium, un échantillonnage en sortie de procédé et une détection par conductimétrie ont permis de tracer le produit à sécher dans le procédé. Trois expériences réalisées dans les mêmes conditions opératoires ont montré la répétabilité du protocole de caractérisation de la distribution des temps de séjour dans l'installation. Après avoir obtenu les courbes expérimentales de DTS, le travail a consisté à trouver un modèle hydrodynamique simple pour représenter l'écoulement. Le modèle de réacteur piston à dispersion axiale et le modèle de réacteurs parfaitement agités en série mettent en évidence la dispersion induite par les palettes.

Mots-clés : sécheur continu, écoulement, modélisation, distribution des temps de séjour.

1. Introduction

Le séchage est un prétraitement de la boue avant valorisation. Parmi les multiples technologies, les sécheurs par contact avec agitation sont les plus utilisés en France. L'un des challenges de ce type de technologie réside dans la maitrise de l'écoulement afin de contrôler la concentration en matière sèche en sortie de sécheur.

La méthode de distribution des temps de séjour (DTS) a pour premier objectif de caractériser l'état de mélange d'un produit dans un procédé et de pouvoir identifier les éventuels défauts de mélange comme les volumes morts ou stagnants. Dans un deuxième temps, la méthode permet de représenter l'écoulement dans le procédé par un modèle théorique, de façon à pouvoir prédire les performances du procédé lors de son fonctionnement (Villermaux, 1993).

Nombreuses sont les études de DTS réalisées sur les procédés de traitement des solides tels que les procédés à tambours rotatifs, à lits fluidisés ou encore les procédés de broyage et de mélange. Une synthèse bibliographique récemment publiée sur le sujet répertorie les différents traceurs et méthodes de traçage possibles dans ce type de procédé (Gao et al., 2012). Le traceur choisi doit avoir les mêmes propriétés que le produit tracé sans pour autant modifier l'écoulement dans le procédé. Il doit pouvoir être détectable en faible quantité. Les traceurs colorés (Marreto et al., 2007, Marikh et al., 2006, Sudah et al., 2002) ou les traceurs chimiques et électrolytiques (Sudah et al., 2002) sont choisis dans la majorité des cas. Les précautions contraignantes d'utilisation (Moreau, 1970) des traceurs radioactifs limitent leurs usages (Pant, 2002, Sherritt et al., 2003).

Aujourd'hui, à notre connaissance, une seule étude a été réalisée sur la caractérisation de la DTS dans une unité de séchage de boues de station d'épuration (Tazaki et al., 2011). La détection de traceurs chimiques ($NiCl_2$ et $MnCl_2$) par spectrométrie de flamme a ainsi permis de caractériser l'écoulement dans un sécheur à palettes. En utilisant un modèle de de réacteurs parfaitement agités en série à multiples paramètres, l'étude a démontré que la boue ne circule pas dans un seul sens, de l'entrée vers la sortie du procédé, à cause de phénomènes de rétro-mélange dus en grande partie à la forme des palettes. Une intensification de ces phénomènes de rétro-mélange permettrait, d'après les auteurs, une augmentation de la vitesse de séchage du produit dans l'installation.

Dans cette étude est présentée une technique de caractérisation de la DTS par injection Dirac de chlorure de sodium. La méthode de préparation, d'injection et de détection du traceur est discutée dans le présent document. Ensuite, une analyse du type d'écoulement obtenu dans le procédé est réalisée par la modélisation des courbes expérimentales avec le modèle du réacteur à dispersion axiale et le modèle des réacteurs continus parfaitement agités en série.

2. Matériels et Méthodes

2.1 Produits utilisés

La boue utilisée lors de cette étude provient de la station d'épuration municipale d'Albi (Tarn) qui traite la pollution de 60000 équivalents habitants. La boue a subi un traitement par aération prolongée, une nitrification/dénitrification, une déphosphatation, un épaississement gravitaire puis une digestion anaérobie. Pour les trois expériences réalisées, la boue a été prélevée en sortie de déshydratation mécanique par centrifugation (tableau 1). Le lot de boue a ensuite été stocké au minimum 24 h en chambre froide à 4 °C pour améliorer la reproductibilité des résultats (Ferrasse et al., 2002). Les expériences ont été réalisées dans la semaine qui a suivi le prélèvement.

Tableau 1. Concentration en MS des différents lots de boues.

Expérience 1	Expérience 2	Expérience 3
19,1 ± 0,1 %	19,3 ± 0,1 %	21,6 ± 0,1 %

2.2 Le procédé

Les expériences de séchage ont été réalisées dans un pilote continu de séchage par contact avec agitation dimensionnée au sein du laboratoire. Le sécheur est constitué d'une double enveloppe en forme d'auge et d'un axe de rotation (figure 1). L'auge mesure 1 m de long, 32 cm de haut et a un diamètre interne de 16 cm. La double enveloppe est chauffée par 3 résistances électriques en forme de U (Chromalox, Soissons, France) pouvant fournir chacune jusqu'à 6.10^4 W/m^2. La cuve est fermée avec un capot étanche muni de trois trappes avec hublot.

Le séchoir étant divisé en trois zones de 33 cm de longueur chacune, l'arbre d'agitation est chauffé par 12 résistances de chauffage (Chromalox, Soissons, France) réparties dans les 3 zones et pouvant fournir chacune 105 W/m^2. Dix-huit palettes en forme d'enclume, vissées sur cet arbre, sont réparties régulièrement le long du sécheur. Des racloirs ont aussi été fixés le long de la paroi latérale. Un moteur asynchrone de 4 kW avec entraînement à fréquence variable (Leroy Somer, Colomiers, France) permet un réglage précis de la vitesse du rotor entre 10 et 60 tr/min. Le rotor est équipé d'un couple-mètre DR2112 (LR Mesures, Libourne, France), permettant un suivi de la force déployée par le moteur pour maintenir une vitesse d'agitation constante lors du séchage.

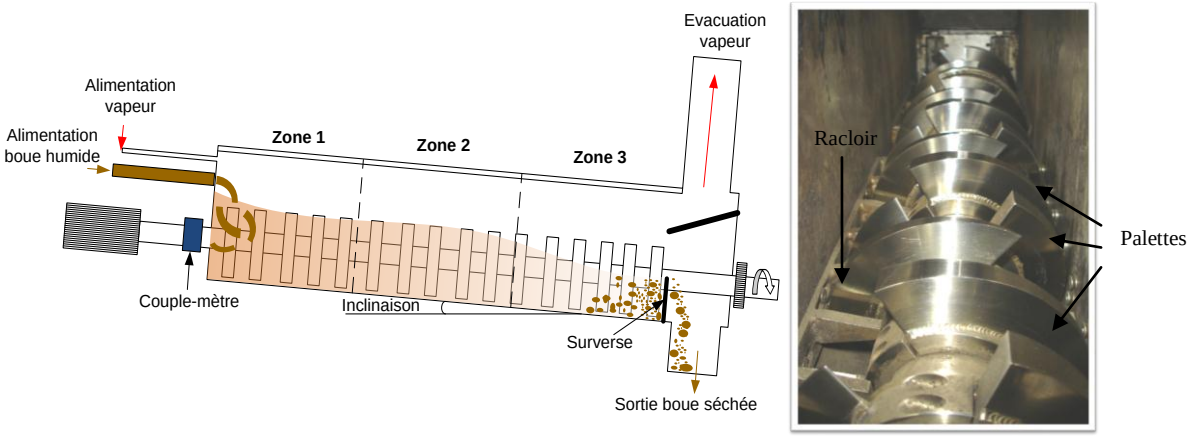

Figure 1. Pilote de séchage indirect à palettes

L'ensemble de cette installation repose sur un support inclinable de ± 5°. Une pompe à Moineau IVA 2.6 (PCM, Levallois Perret, France), commandée par un variateur électronique, transporte la boue déshydratée mécaniquement de la trémie d'alimentation, d'une capacité de 40 l, jusqu'à l'entrée du séchoir. Une fois la boue introduite dans le sécheur, l'écoulement de celle–ci se fait principalement par gravité. La quantité de boue retenue dans le séchoir est réglable via une surverse placée en sortie de séchoir.

De la vapeur surchauffée (1 atm, 160 °C), produite par un générateur de vapeur de 4 kW et un surchauffeur de 0,3 kW (TATT, Eybens, France), est utilisée comme gaz de balayage. Le gaz de balayage et les vapeurs dégagées au cours du traitement sont extraits de l'installation par aspiration.

Les conditions opératoires imposées lors des expériences de séchage sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2. Conditions opératoires des expériences de séchage

Débit de boue humide		4,7 kg/h
Inclinaison du sécheur		2°
Température de paroi		160 °C
Vitesse d'agitation		7 tr/min
Vapeur surchauffée	Température	160 °C
	Débit	1,1 kg/h
	Pression	1 atm

2.3 Caractérisation de la DTS

Le traceur utilisé doit avoir les caractéristiques suivantes :

- pouvoir tracer les particules solides (matières sèches),
- avoir une composition chimique différente de celle des particules de boues non tracées mais avoir des caractéristiques physiques identiques ou très proches,
- ne pas changer de phase ni réagir avec les fluides présents dans le système,
- être facilement quantifiable et avec précision.

2.3.1 Traceur choisi

Le traceur choisi pour cette étude est le chlorure de sodium. Ce traceur est très utilisé en traitement des eaux pour la caractérisation des DTS d'effluents liquides, notamment dans les bassins de décantation et d'aération (Almoustafa, 2009, Le Moullec et al., 2008, Tizghadam et al., 2008). Il présente l'avantage d'avoir un faible coût, d'avoir une très bonne stabilité thermique et d'être facilement et précisément détectable à l'aide d'un simple conductimètre.

Pour le traçage de solides, la méthode présente néanmoins des inconvénients : les échantillons sont réalisés en différé et la précision des résultats dépend du nombre de prélèvements réalisés.

2.3.2 Utilisation du traceur

Un mélange de chlorure de sodium et de boue humide est préparé à l'aide d'un mélangeur planétaire. Lors d'une étude précédente, nous avons démontré que le malaxage entraîne une modification des propriétés rhéologiques de la boue, mais ne change en rien la cinétique de séchage et la phase plastique (Charlou et al., 2011).

L'injection du traceur se fait entre la pompe et l'entrée du séchoir via le tuyau d'alimentation (figure 2). La préparation est conditionnée manuellement dans un morceau de tuyau (de même nature et diamètre que le tuyau d'alimentation) de 20 cm de long. L'alimentation est arrêtée pendant un temps très court, le tuyau d'alimentation est débranché, la cartouche est placée à son extrémité, le tuyau est rebranché et l'alimentation redémarrée. Le traceur est ainsi injecté en un temps court (< 2 min) de façon à obtenir une injection de type Dirac.

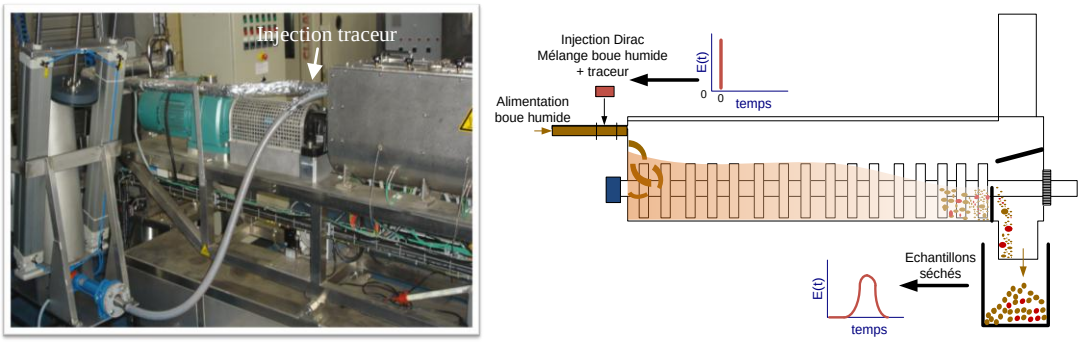

Figure 2. Méthode de détermination de la DTS.

2.3.3 Echantillonnage

Après injection du traceur, l'ensemble de la boue sortant du sécheur est prélevé. Le temps d'échantillonnage est de 10 min pour l'expérience 1 et de 5 min pour les expériences 2 et 3.

2.3.4 Traitement des échantillons et mesures

Les échantillons sont séchés en étuve à 105 °C durant 24 h, puis lixiviés pendant 24 h. La conductivité électrique des échantillons (λ) est ensuite mesurée à l'aide d'un conductimètre (CDM210, MeterLab, France) à 25 °C. Une relation linéaire entre conductivité mesurée et concentration est utilisée pour déterminer la concentration en chlorure de sodium dans chaque échantillon.

2.3.5 Analyse des résultats

Les courbes de DTS ont été évaluées en utilisant la fonction, E(t), définie comme la distribution des temps de séjour du traceur en fonction du temps et représentée par l'équation 1.

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^\infty C(t)dt} \tag{1}$$

C(t) correspond à la concentration en traceur à la sortie du séchoir à l'instant t.
Le temps de séjour moyen, t_s, a été déterminé selon l'équation 2.

$$t_s = \int_0^\infty t.E(t)dt \tag{2}$$

Le moment centré d'ordre deux, σ^2, également appelé variance, a été déterminé selon l'équation 3 puis adimensionnalisé par le temps de séjour en utilisant l'équation 4 :

$$\sigma^2 = \int_0^\infty (t - t_s)^2 E(t)dt \tag{3}$$

$$\sigma_D^2 = \left(\frac{\sigma}{t_s}\right)^2 \tag{4}$$

La vitesse moyenne de la boue dans le procédé a été évaluée selon l'équation 5 :

$$\bar{\upsilon} = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{t_s}} \tag{5}$$

Où L correspond à la longueur du sécheur.

2.4 Modélisation des courbes de DTS

Les deux modèles utilisés ici sont le modèle de n réacteurs continus parfaitement agités en série (nRCPA) et le modèle du réacteur piston à dispersion axiale (RPDA). Ces deux modèles sont simples et très

souvent utilisés pour une première approche de description et de compréhension de l'écoulement dans un procédé.
Lorsque la courbe de DTS présente un faible écart avec un écoulement piston, le modèle du RDPA est alors approprié pour rendre compte de cet écart. Le modèle des nRCPA permet, lui, de rendre compte de la transition entre le réacteur parfaitement agité unique et le réacteur piston.

2.4.1 Le modèle du réacteur piston à dispersion axiale (RPDA)

Ce modèle permet de décrire les réacteurs pistons non idéaux. Il considère que, dans le réacteur, la dispersion axiale du traceur est gouvernée par une loi analogue à une loi de diffusion. La mise en équation du problème fait intervenir le nombre de Peclet (Pe), défini comme le rapport entre la vitesse de transport par convection *v* et la vitesse de transport par diffusion D_a/L (équation 6).

$$\mathrm{Pe} = \frac{\mathrm{vL}}{\mathrm{D_a}} = \frac{\text{transport par convection}}{\text{transport par diffusion ou dispersion}} \tag{6}$$

Un Pe élevé est caractéristique d'une dispersion faible alors qu'un Pe faible indique une dispersion importante, qui fait tendre l'écoulement vers celui correspondant à une agitation parfaite.
Pour un système ouvert à la dispersion, la relation analytique liant la fonction distribution E(t) et le nombre de Peclet est exprimée par l'équation 7 :

$$\mathrm{E(t)} = \frac{1}{2}\left(\frac{\mathrm{Pe}}{\pi * \tau * \mathrm{t}}\right)^{1/2} \mathrm{e}^{\left(\frac{-\mathrm{Pe}\,(\tau-\mathrm{t})^2}{4\tau*\mathrm{t}}\right)} \tag{7}$$

Où τ correspond au temps de passage dans l'installation et, pour cette étude, est considéré égal au temps de séjour moyen dans le séchoir.
Le modèle du réacteur piston à dispersion axiale est très largement utilisé dans les technologies à tambours rotatifs, comme les fours tournants et les sécheurs à tambour. En effet, la vitesse de rotation du tambour est lente (0 à 10 tr/min) et le solide se déplace ainsi suivant un régime d'avalanche et de glissement. La dispersion du solide est très faible voire négligeable et l'écoulement tend vers un écoulement de type piston, avec un nombre de Peclet largement supérieur à 50 (Sai, 2013, Abouzeid et al., 1980) et pouvant même aller jusqu'à plus de 100000 (Sai et al., 1990).

2.4.2 Réacteurs continus parfaitement agités en série (nRCPA)

Le principe est d'associer un nombre *n* de réacteurs continus parfaitement agités pour modéliser l'écoulement du réacteur réel. L'équation 8 exprime la fonction DTS en fonction du nombre n de RCPA en série.

$$E(t) = \left(\frac{n}{\tau}\right)^n \frac{t^{n-1} e^{\frac{-nt}{\tau}}}{(n-1)!} \tag{8}$$

Un nombre infini de RCPA correspond à un écoulement piston tandis qu'un faible nombre de RCPA correspond à un écoulement de type parfaitement agité.
Dans les technologies d'extrusion, une ou plusieurs vis entraînent le produit de l'entrée du système vers sa sortie. Les vitesses de rotation sont généralement élevées (>30 tr/min pour une configuration mono-vis, au-delà pour une configuration bi-vis) ainsi que le cisaillement du produit. Le phénomène de dispersion est plus fort que dans les technologies à tambour et donc le nombre de Peclet est plus faible (Apruzzese et al., 2003). L'écoulement peut alors tendre vers une agitation parfaite et le modèle des nRCPA en série peut être théoriquement le plus approprié.

2.4.3 Ajustement des modèles

L'estimation du paramètre de la fonction E(t), Pe pour le modèle RDPA et n pour le modèle nRCPA, a été effectuée en minimisant la somme des carrés des erreurs (équation 9) à l'aide du logiciel MATLAB®.

$$\Delta E = \sum (E_{exp} - E_{cal})^2 \tag{9}$$

3. Résultats et discussion

3.1 Résultats expérimentaux

Le profil de teneur en eau le long du sécheur et les courbes de DTS obtenues sont représentés sur la Figure 3. Les profils sont similaires pour les trois expériences de séchage.

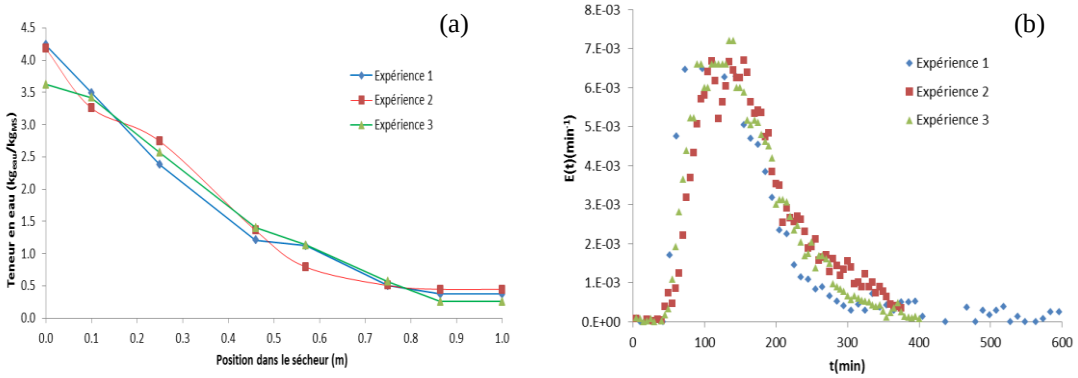

Figure 3. Teneur en eau le long du séchoir (a) au cours de l'expérience et DTS expérimentale (b).

Pour 90 g de traceur injecté, respectivement 87,5, 85,5 et 87,1 g sont récupérés en fin de manipulation (tableau 3), soit plus de 95 % de la masse initiale. Pour les trois essais, la majeure partie du traceur est récupérée dans les 6 h qui suivent l'injection du traceur.

Tableau 3: Caractéristique des DTS pour les trois expériences.

	$m_{NaCl\ injecté}$ (g)	$m_{NaCl\ récupéré}$ (g)	ts (min)	$\bar{\upsilon}$ (m/h)
Expérimentation 1	90	87,5	156	0,38
Expérimentation 2	90	85,5	169	0,36
Expérimentation 3	90	87,1	157	0,38
Moyenne		86,7	161	0,37
Ecart type		1,1	7	0,01

Le temps de séjour moyen dans le sécheur s'élève à 161±7 min et la vitesse moyenne de la boue est de 37 cm/h.

3.2 Modélisation

Le tableau 4 répertorie les résultats obtenus en appliquant les deux modèles de DTS aux 3 essais.

Tableau 4. Synthèse des résultats obtenus expérimentalement et par les modèles nRCPA et RPDA. Les valeurs en gras sont les valeurs recalculées sans le bruit de fond pour l'expérience 1.

		ts (min)	ΔE (min^{-2})	n_{RCPA}	Pe	σ^2_D
Expérimentation 1	Expérimentation	*156/**139***				*0,36/**0,21***
	nRCPA	*135/**135***	*8,8E-06/**8,4E-06***	*5/**5***		*0,21/**0,19***
	RPDA	*140/**139***	*6,2E-06/**6,1E-06***		*9,6/**9,1***	*0,21/**0,21***
Expérimentation 2	Expérimentation	*169*				*0,17*
	nRCPA	*159*	*1,7E-05*	*6*		*0,16*
	RDPA	*161*	*1,0E-05*		*10,2*	*0,16*
Expérimentation 3	Expérimentation	*157*				*0,17*
	nRCPA	*151*	*1,2E-05*	*5*		*0,18*
	RDPA	*155*	*6,4E-06*		*9,7*	*0,18*

La figure 4 représente les points expérimentaux obtenus pour l'expérience 3 ainsi que les courbes de DTS obtenues avec les modèles RPDA et nRCPA. Les deux modèles représentent bien l'expérience avec des temps de séjour prédits de respectivement 151 min et 155 min pour les modèle nRCPA et RPDA.

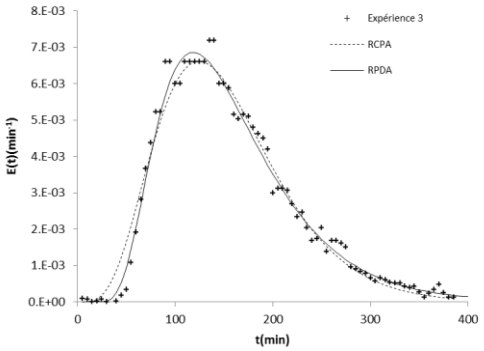

Figure 4. Modélisation de la DTS avec les modèles nRCPA et RPDA.

Finalement, on peut constater que pour les expériences 2 et 3, les résultats obtenus sont proches de l'expérimentation. Pour l'expérience 1, l'échantillonnage a été réalisé jusqu'à 10 h après l'injection du traceur, même si plus de 95 % du traceur injecté était déjà récupéré au bout de 6 h. Les différences entre les valeurs expérimentales et celles obtenues par les deux modèles sont donc attribuées au bruit de fond des points relevés entre 6 h et 10 h pour cette expérience. Si ces points ne sont finalement pas pris en compte, le temps de séjour expérimental est de 139 min, et donc très proche des temps estimés avec les deux modèles.

Comme on peut le voir sur la figure 4, les deux modèles représentent correctement l'écoulement. Néanmoins, l'erreur ΔE est moindre pour le modèle RPDA. En effet, l'ajustement de la DTS expérimentale est meilleur aux faibles temps de séjour ($t < 50$ min).

Par certains côtés, ce procédé de séchage pourrait s'apparenter à une technologie à tambour rotatif puisque, en théorie, l'écoulement se fait par gravité. Des valeurs de Pe supérieures à 100 sont alors observées dans la littérature et l'écoulement est considéré comme proche d'un écoulement piston pur.

Par d'autres côtés, ce procédé pourrait s'apparenter à une technologie d'extrusion où le fluide est mis en mouvement par une ou plusieurs vis. Selon la forme de la vis, la nature de l'écoulement peut varier dans de grandes proportions, du piston pur au mélange parfaitement agité. Dans certains cas, par exemple dans les travaux de Zuilichem et al (1999), les valeurs rapportées pour les paramètres n varient de 17 à 38, selon la forme et l'inclinaison des pâles (Zuilichem et al., 1999).

Dans notre étude, les paramètres des modèles RDPA et nRCPA sont respectivement de 10 et 6. Même si l'écoulement est majoritairement gravitaire, les palettes induisent une dispersion importante.

4. Conclusion

Dans cette étude, une méthode simple permettant d'estimer la distribution des temps de séjour de la boue dans un séchoir à palette a été développée. Elle repose sur l'injection DIRAC de chlorure de sodium.

Deux modèles simples à un seul paramètre représentent de manière satisfaisante les résultats expérimentaux. Une dispersion induite par les palettes du mobile d'agitation a ainsi été mis en évidence.

Néanmoins ces modèles ne permettent pas de prendre en compte le changement d'état physique de la boue dans le procédé (de pâteux à solide). Une approche par le modèle des chaînes de Markov est actuellement en développement au laboratoire (Djerroud, 2010). Ce modèle est basé sur une série de réacteurs continus parfaitement agités où le temps de passage dans chaque réacteur est lié à des probabilités de transition qui dépendent de coefficients de recirculation.

Références

ABOUZEID, A. Z. M., FUERSTENAU, D. W. & SASTRY, K. V. (1980) Transport behavior of particulate solids in rotary drums: scale-up of residence time distribution using the axial dispersion model. Powder Technology, 27, 241-250.

ALMOUSTAFA, F. (2009) Evaluation des performances d'un aérateur a jet vertical pour l'oxygenation et le transfert de matiere Lyon, Institut national des sciences appliquées

APRUZZESE, F., PATO, J., BALKE, S. T. & DIOSADY, L. L. (2003) In-line measurement of residence time distribution in a co-rotating twin-screw extruder. Food Research International, 36, 461-467.

CHARLOU , C., SAUCEAU , M. & ARLABOSSE , P. (2011) Influence of premixing on the rheological properties and drying characteristics. 16th European Biosolids and Organic Resources Conference. Leeds.

DJERROUD, D. (2010) Modélisation Markovienne du séchage continu par contact avec agitation. Génie des procédés et de l'Environnement. Toulouse, Univesity of Toulouse.

FERRASSE, J. H., ARLABOSSE, P. & LECOMTE, D. (2002) Heat, Momentum, and mass transfer measurments in indirect agitated sludge dryer. Drying Technology, 20, 749-769.

GAO, Y., MUZZIO, F. J. & IERAPETRITOU, M. G. (2012) A review of the Residence Time Distribution (RTD) applications in solid unit operations. Powder Technology, 228, 416-423.

LE MOULLEC, Y., POTIER, O., GENTRIC, C. & PIERRE LECLERC, J. (2008) Flow field and residence time distribution simulation of a cross-flow gas-liquid wastewater treatment reactor using CFD. Chemical Engineering Science, 63, 2436-2449.

MARIKH, K., BERTHIAUX, H., MIZONOV, V., BARANTSEVA, E. & PONOMAREV, D. (2006) Flow Analysis and Markov Chain Modelling to Quantify the Agitation Effect in a Continuous Powder Mixer. Chemical Engineering Research and Design, 84, 1059-1074.

MARRETO, R. N., PEIXOTO, M. P. G., TACON, L. A. & FREITAS, L. A. P. (2007) Paste Residence Time in a Spouted Bed Dryer. I: The Stimulus-Response Methodology. Drying Technology, 25, 821-830.

MOREAU, A. (1970) Radioprotection pratique pour les travaux en laboratoire de faible radioactivité. Rapport du Service de protection contre les rayonnements. Saclay, France, C.E.N.

PANT, H. J. (2002) Radioisotope tracer study in an indirectly heated rotary dryer. Nukleonika, 47, 173-176.

SAI, P. S. T. (2013) Drying of Solids in a Rotary Dryer. Drying Technology, 31, 213-223.

SAI, P. S. T., SURENDER, G. D., DAMODARAN, A. D., SURESH, V., PHILIP, Z. G. & SANKARAN, K. (1990) Residence time distribution and material flow studies in a rotary kiln. Metallurgical Transactions B, 21, 1005-1011.

SHERRITT, R. G., CHAOUKI, J., MEHROTRA, A. K. & BEHIE, L. A. (2003) Axial dispersion in the three-dimensional mixing of particles in a rotating drum reactor. Chemical Engineering Science, 58, 401-415.

SUDAH, O. S., CHESTER, A. W., KOWALSKI, J. A., BEECKMAN, J. W. & MUZZIO, F. J. (2002) Quantitative characterization of mixing processes in rotary calciners. Powder Technology, 126, 166-173.

TAZAKI, M., TSUNO, H., TAKAOKA, M. & SHIMIZU, K. (2011) Modeling of Sludge Behavior in a Steam Dryer. Drying Technology, 29, 1748-1757.

TIZGHADAM, M., DAGOT, C. & BAUDU, M. (2008) Wastewater treatment in a hybrid activated sludge baffled reactor. Journal of Hazardous Materials, 154, 550-557.

VILLERMAUX, J. (1993) Génie de la réaction chimique:conception et fonctionnement des réacteurs Nancy, Tec and Doc.

ZUILICHEM, D. J., KUIPER, E., STOLP, W. & JAGER, T. (1999) Mixing effects of constituting elements of mixing screws in single and twin screw extruders. Powder Technology, 106, 147-159.

Characterisation of the residence time distribution in a continuous paddle dryer

CHARLOU Christophe, ARLABOSSE Patricia, SAUCEAU Martial

Université de Toulouse;Mines Albi; CNRS; Centre RAPSODEE, Campus Jarlard, F-81013 Albi, France
E-mail of the corresponding author: ***Christophe.Charlou@mines-albi.fr***

Abstract

A method to determine the residence time distribution (RTD) of municipal sewage sludge in a continuous contact dryer with agitation has been developed. The experiments were conducted using a pulse injection of chloride sodium and by sampling and analysing the electrical conductivity of sludge leachate offline. The accuracy and reproducibility of the method was quantified. The models of axial dispersed plug flow and of series of continuous stirred reactor were used successfully to fit the experimental data. The results emphasized the dispersion introduced by the paddles.

Keywords: continuous dryer, flow, flow model, residence time distribution.