



HAL
open science

Electro-dewatering of wastewater sludge: factors affecting dewatering kinetics and energy consumption

Jean-Baptiste Conrardy, Jérémy Olivier, Jean Vaxelaire

► **To cite this version:**

Jean-Baptiste Conrardy, Jérémy Olivier, Jean Vaxelaire. Electro-dewatering of wastewater sludge: factors affecting dewatering kinetics and energy consumption. 14ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, Société Française de Génie des Procédés, Oct 2013, Lyon, France. hal-01294479

HAL Id: hal-01294479

<https://hal.science/hal-01294479>

Submitted on 29 Mar 2016

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.

Electro-déshydratation des boues résiduaires urbaines : relations entre grandeurs électriques, cinétiques et consommations énergétiques

CONRARDY Jean-Baptiste^a, OLIVIER Jérémy^{a*}, VAXELAIRE Jean^a

^aLaboratoire de Thermique Energétique et Procédés, Université de Pau et des Pays de l'Adour
Bâtiment d'Alembert, rue Jules Ferry - BP7511, 64075 PAU Cedex

Résumé

Les procédés d'électro-déshydratation ont montré leur capacité à diminuer de manière significative la teneur en eau finale des boues résiduaires urbaines comparativement aux procédés de déshydratation mécanique usuels. Les expériences présentées dans ce document ont été réalisées avec une cellule expérimentale d'électro-déshydratation permettant de coupler passage mécanique des boues et champ électrique. Les résultats obtenus pour des essais réalisés à différentes tensions ou intensités imposées montrent des relations caractéristiques entre le débit de filtrat, l'intensité, la résistance électrique des boues et la teneur en matière sèche (siccité) atteinte. L'intensité joue, entre autres, un rôle primordial dans la cinétique de déshydratation et est donc très fortement liée au débit de filtrat. Par ailleurs, la résistance électrique de la cellule ne dépend principalement que de la siccité atteinte par le gâteau de boue et ce, sur une large plage de siccité. Ces résultats permettent de faire un lien entre les performances de déshydratation et la consommation énergétique du procédé.

Mots-clés : électro-déshydratation, boues primaires, boues activées, cinétique, consommation énergétique

1. Introduction

Les quantités de boues résiduaires issues du traitement des eaux usées sont considérables. Le coût d'élimination de ces boues dépend directement des volumes à traiter et donc de leur teneur en eau. Afin de réduire ces volumes, les boues sont habituellement déshydratées par des procédés mécaniques (centrifugeuses, filtres à bandes, filtres-presses...) dont les performances sont généralement médiocres (Vaxelaire et Cézac, 2004). Il a été montré que l'ajout d'un courant électrique continu couplé à un passage mécanique (électro-déshydratation) peut conduire à une réduction considérable du taux d'humidité des boues (Mahmoud et al., 2010, 2013 ; Tuan et al., 2012). De nombreux dispositifs expérimentaux d'électro-déshydratation ont déjà été mis en œuvre pour divers matériaux à déshydrater. Deux modes classiques de fonctionnement, tension constante ou intensité constante, sont généralement utilisés. Il existe, dans la littérature, encore peu de comparaisons directes entre ces deux modes de fonctionnement. Les différents auteurs montrent, généralement, que les cinétiques de déshydratation sont améliorées lors de l'augmentation de l'intensité/tension (Lockart, 1983 ; Iwata et al., 2007 ; Mahmoud et al., 2011). La limite de déshydratation semble être supérieure pour des essais à tension plus élevée. On ne peut en revanche rien conclure sur cette limite pour les essais à intensité constante vu que ceux-ci sont très souvent arrêtés avant que la limite de déshydratation ne soit atteinte en raison, généralement, d'une trop forte élévation de la température du gâteau (dissipation ohmique). La grandeur électrique qui relie naturellement tension et intensité est la résistance électrique apparente dans la cellule. Les travaux présentés dans la suite de ce document montrent l'influence des paramètres électriques (intensité/tension) sur la cinétique et font le lien entre les essais réalisés avec ces deux modes de fonctionnement.

2. Matériel et méthode

2.1 Cellule expérimentale

Afin de réaliser les opérations d'électro-déshydratation, une cellule expérimentale a été utilisée à l'échelle du laboratoire. Celle-ci a précédemment été décrite par Mahmoud et al. (2011). Elle se compose d'un cylindre en Teflon TM (non conducteur) de 70 mm de diamètre interne dans lequel vient glisser un piston.

L'ensemble permet de comprimer le matériau introduit contre une toile filtrante (SEFAR TETEX MONO SK025). Deux électrodes perforées sont disposées de part et d'autre de la chambre de compression. Elles sont fabriquées par De Nora (Italie) et fournies par ECS (Electro Chemical Services, Saint-Genis-Pouilly, France). L'anode placée à la tête du piston est en titane recouvert d'un mélange d'oxydes métalliques (MMO) de sorte à éviter son oxydation. La cathode placée sous la toile filtrante est en titane. La cathode et la toile filtrante reposent sur une grille en Teflon™ posée sur un support en acier de manière à assurer la tenue mécanique de l'ensemble. La chambre de compression admet un volume maximal d'échantillon à déshydrater de 0,3 litres. Un pressostat permet de contrôler la pression appliquée sur le matériau. Le courant électrique est établi entre les électrodes par une alimentation de 300 W (EV2002 CONSORT™) permettant de délivrer au maximum 300 V ou 2 A.

Une balance permet de suivre la masse de filtrat extraite ($\pm 0,01$ g) au cours du temps. La tension appliquée aux bornes de la cellule et l'intensité du courant la traversant sont mesurées au cours du temps par deux multimètres digitaux (ISO-TECH IDM 73). L'acquisition des données est réalisée par ordinateur avec une grande fréquence d'échantillonnage (toutes les 3 s) par rapport à la durée des phénomènes étudiés, donc de manière quasi-continue.

2.2 Matériaux utilisés

Les essais d'électro-déshydratation ont été menés sur deux types de boues différentes dont les caractéristiques sont listées dans le tableau 1. Les boues sont utilisées après floculation par des polymères cationiques fournis par la société SNF Floerger. La quantité de boue prélevée par échantillon permet d'obtenir l'équivalent d'environ dix grammes de matière sèche à introduire dans la cellule. La dose de floculant utilisée pour tous les essais est celle permettant d'obtenir la cinétique d'égouttage la plus rapide (Ginisty et al., 2012).

Tableau 1. Caractéristiques des boues utilisées.

	Boues primaires	Boues activées
Origine	Seine-et-Marne (77)	Pyrénées-Atlantiques (64)
Siccité initiale (%)	1,9	0,5
Taux de matière volatile (%)	77	85
Conductivité initiale (mS/cm)	0,9	0,3
Quantité prélevée / échantillon	500	2000
Floculant utilisé	EM 540 L	EM 640 TBD
Dose de floculant (g/kg de matière sèche)	8	8

2.3 Protocole opératoire

Les boues sont directement prélevées au sein des stations d'épuration (Saint Thibault des Vignes et Lescar-Pau). Leur siccité initiale est mesurée après un séchage à 105°C pendant 24h. Elles sont ensuite stockées à 4 °C et utilisées sur une durée inférieure à une semaine afin de limiter les variations pouvant être engendrées par une évolution biologique du matériau.

Avant chaque essai, l'échantillon de boue prélevé est placé environ deux heures à température ambiante pour qu'il atteigne cette température. La dose de floculant mentionnée dans le tableau 1 est ajoutée à la boue, avant d'agiter l'ensemble à 300 tr/min pendant 20 s avec un dispositif JAR TEST. Les boues ainsi floculées sont ensuite égouttées sur une toile d'égouttage pendant environ 5 min. La siccité atteinte après égouttage est d'environ 6,9% pour les boues primaires et de 5,2% pour les boues activées. Après introduction de l'échantillon dans la cellule, les opérations suivantes sont exécutées. Une pression mécanique de 5 bar est appliquée au piston en compression seule (sans courant électrique) pendant 2 heures. La siccité atteinte par les boues primaires est alors d'environ 20% et 12% pour les boues activées. Le courant électrique est ensuite appliqué, en fixant soit la tension désirée soit l'intensité pour une durée maximale de deux heures. La pression est quant à elle maintenue à 5 bar. Pour les essais à intensité constante, un échauffement notable est observé en fin de déshydratation pour certains essais. Le processus est alors stoppé lorsque la température à la tête du piston (côté anode) atteint 80 °C. La siccité finale du

gâteau de boue est obtenue par pesée, avant et après séchage à 105 °C dans une étuve pendant 24 h. L'évolution temporelle des siccités intermédiaires est alors reconstituée par calcul à partir de la mesure des masses de filtrat extraites.

$$Si(t) = \frac{MS}{MS + ML(t)} \quad (1)$$

Si (en %) représente la siccité du gâteau, MS (en kg) la masse de matière sèche, et ML (en kg) la masse de liquide restant à l'intérieur du gâteau de boue.

3. Résultats et discussions

3.1 Deux phases distinctes d'électro-déshydratation

Sur les boues primaires, des essais ont été réalisés pour plusieurs tensions (30 V, 40 V et 50 V) et plusieurs intensités (100 mA, 200mA et 300mA). Conformément aux résultats présentés dans la littérature (Gingerich et al., 1999 ; Mahmoud et al., 2011 ; Citeau et al., 2012), l'intensité et la tension jouent un rôle majeur sur les cinétiques de déshydratation. La figure 1 présente l'évolution au cours du temps de la siccité pour différents essais menés respectivement à tension et à intensité constante. Le comportement électrique (variation respectivement d'intensité et de tension) est également présenté sur cette figure.

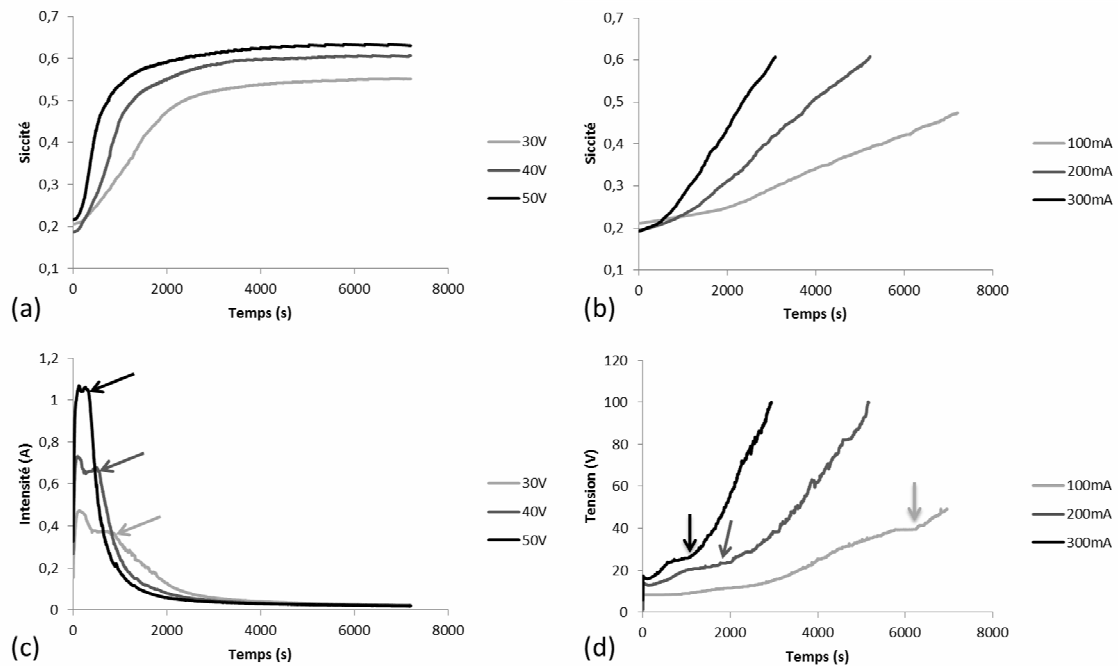


Figure 1. Boues primaires. Evolution temporelle de la siccité, (a) essais à tension constante, (b) essais à intensité constante. (c) Evolution temporelle de l'intensité pour les essais à tension constante, (d) évolution temporelle de la tension pour les essais à intensité constante.

Les essais menés à tension constante entraînent une cinétique de déshydratation rapide au début du processus (jusqu'à 30 points de siccité en 15 minutes) mais qui s'affaiblit au cours du temps. Du fait des très lentes cinétiques en fin de processus, le gâteau de boues tend progressivement vers une siccité finale constante. Passer de 30 V à 50 V permet ici de gagner 10 points sur la siccité limite. Les essais à intensité constante présentent quant à eux une déshydratation plus régulière (environ 10, 25 et 35 points de siccité gagnés par heure pour les essais à 100 mA, 200 mA et 300 mA respectivement). Les essais à 200 mA et 300 mA ont dû être stoppés prématurément en raison d'une surchauffe observée au niveau de l'anode. Sur les courbes d'intensité (respectivement de tension) il est possible de décomposer le processus d'électro-déshydratation en au moins deux phases distinctes. Une première phase (phase 1) où l'intensité (respectivement la tension) varie de manière non uniforme avant de laisser place à une seconde phase

(phase 2) où les variations temporelles deviennent monotones. Pendant la phase 2, l'intensité décroît au cours du temps (fig 1c) quand les essais sont réalisés à tension constante. Lors d'un fonctionnement à intensité constante (fig 1d) la tension augmente de façon continue tout au long de l'essai. La transition entre les phases 1 et 2 est indiquée par des flèches sur les figures 1c et 1d. Différentes phases avaient déjà pu être observées sur les essais menés à tension constante par Mahmoud et al. (2011). Il apparaît également que plus l'intensité ou la tension sont élevées, plus la phase 1 est réduite. Cette première phase pourrait correspondre à une période transitoire de mise en place de nombreux phénomènes comme les réactions aux électrodes et la diffusion des espèces chargées d'une électrode vers l'autre à travers le gâteau de boue.

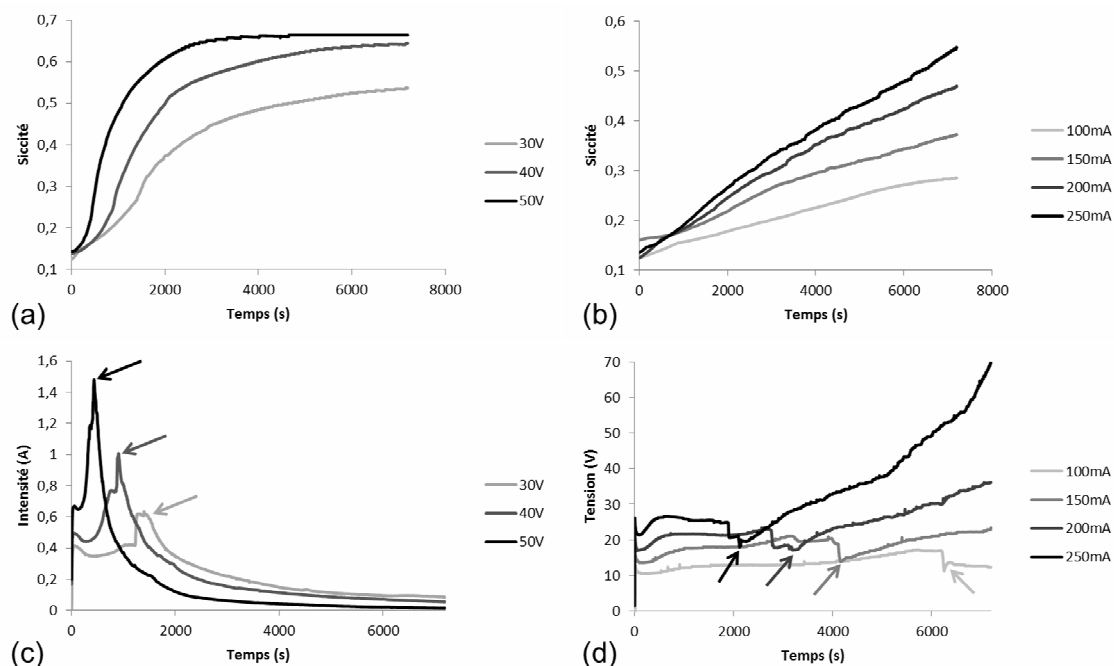


Figure 2. Boues activées. Evolution temporelle de la siccité, (a) essais à tension constante, (b) essais à intensité constante. (c) Evolution temporelle de l'intensité pour les essais à tension constante, (d) évolution temporelle de la tension pour les essais à intensité constante.

Des résultats très similaires sont observés avec les boues activées (figure 2). La cinétique de déshydratation est d'autant plus rapide que l'intensité du courant électrique (ou la tension) est plus élevée. De plus les deux phases définies précédemment apparaissent également (et de manière encore plus marquée).

Cette similarité entre les deux types de boues tend à prouver que les résultats présentés sont des caractéristiques typiques du processus d'électro-déshydratation lui-même.

3.2 Relation entre débit de filtrat et intensité

Au regard des courbes de cinétique de déshydratation (figure 1) il semble que plus l'intensité est élevée plus la cinétique est rapide, y compris pour les essais menés à tension constante (où l'intensité varie avec l'avancement de la déshydratation). Pour vérifier l'existence d'un lien entre l'intensité et la cinétique de déshydratation des essais ont été réalisés à tension constante et le débit de filtrat récolté (dérivée numérique temporelle de la masse extraite de filtrat) a été tracé en fonction de l'intensité (figure 3). La transition de la première phase à la seconde (cf. section 3.) est représentée par une flèche. L'analyse de la première phase d'électro-déshydratation ne révèle pas de relation évidente entre le débit de filtrat et l'intensité du courant électrique (figure 3a). En revanche, pour la seconde phase, l'observation des courbes de la figure 3 révèle, une assez forte corrélation entre les variations (diminution) de l'intensité et celles du débit de filtrat. Pour une intensité donnée, indépendamment de l'essai réalisé, le débit de filtrat

évolue dans une gamme de valeurs assez limitée. Le contrôle de la cinétique de déshydratation durant la deuxième phase semble donc être réalisé par l'intensité.

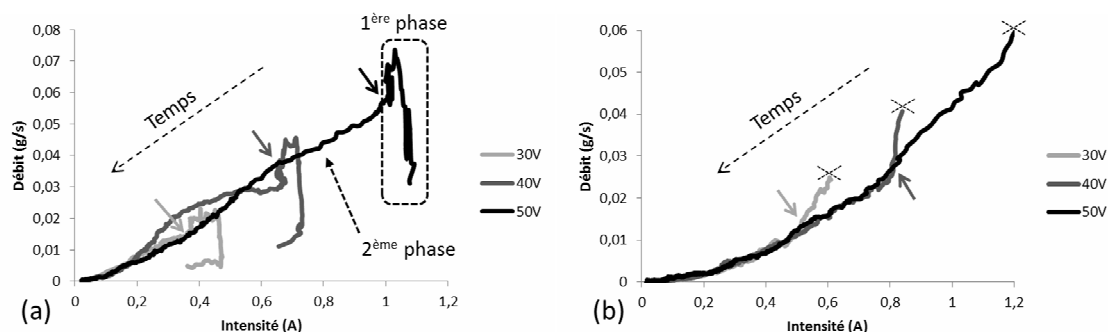


Figure 3. Débit de filtrat en fonction de l'intensité pour des essais menés à tension constante, (a) boues primaires, (b) boues activées (première phase en partie tronquée pour des besoins de clarté)

Ce résultat nouveau peut s'expliquer du fait que les phénomènes électro-osmotiques sont liés à un déplacement d'ions (cations majoritairement dans le cas des boues d'épuration) qui progressent à mesure que des charges sont libérées aux électrodes. L'intensité, contrôlant les réactions aux électrodes, agit directement sur les quantités d'ions qui migrent et donc sur le débit. Ce résultat admet tout de même quelques limites étant donné que les essais à intensités constantes ne donnent pas des débits rigoureusement constants. L'état du gâteau de boue et son historique de déshydratation influencent tout de même, dans une certaine mesure, la cinétique de déshydratation.

Par ailleurs, la comparaison entre les deux types de boues montre que, pour une même intensité, le débit de filtrat mesuré est plus élevé pour les boues primaires. Ce résultat peut s'expliquer par les compositions différentes des boues en ions (conductivités différentes) et par la forte capacité des boues activées à retenir l'eau du fait de leur structure ayant un comportement proche de celui des hydrogels (Legrand et al., 1998).

3.3 Relation entre la résistance électrique et la siccité

Dans le but de comparer les différents essais réalisés respectivement à intensité constante et à tension constante, nous nous sommes intéressés à une grandeur qui pouvait être commune dans les deux modes de fonctionnement, à savoir la résistance électrique apparente de la cellule (tension aux bornes divisée par l'intensité du courant électrique traversant le gâteau). Pour l'ensemble des essais, il est possible de constater que globalement cette résistance diminue en début d'électro-déshydratation puis augmente jusqu'à l'arrêt du processus.

Ainsi, la figure 4 présente l'évolution de la résistance électrique en fonction de la siccité atteinte par le gâteau. Les essais ont été réalisés avec les boues activées pour des intensités constantes de 200 mA, 250 mA et 300 mA (figure 4a). Une similitude apparaît entre les trois courbes expérimentales à l'exception des basses siccités où un saut de résistance peut être observé. Ce saut de résistance correspond à la transition entre les deux phases mentionnées au paragraphe 3.1.

Entre les différents essais, les cinétiques ne sont pas les mêmes, pourtant la relation entre résistance électrique et siccité est très semblable. La figure 4b propose une comparaison entre un essai réalisé à tension constante (40 V) et un autre essai réalisé à intensité constante (250 mA). Même si les écarts entre les deux courbes sont plus marqués qu'entre les différents essais à intensité constante, ce résultat laisse supposer que la siccité est bien un facteur prépondérant dans la détermination de la résistance électrique du gâteau de boue, quel que soit le mode de fonctionnement choisi pour l'électro-déshydratation (tension ou intensité constante).

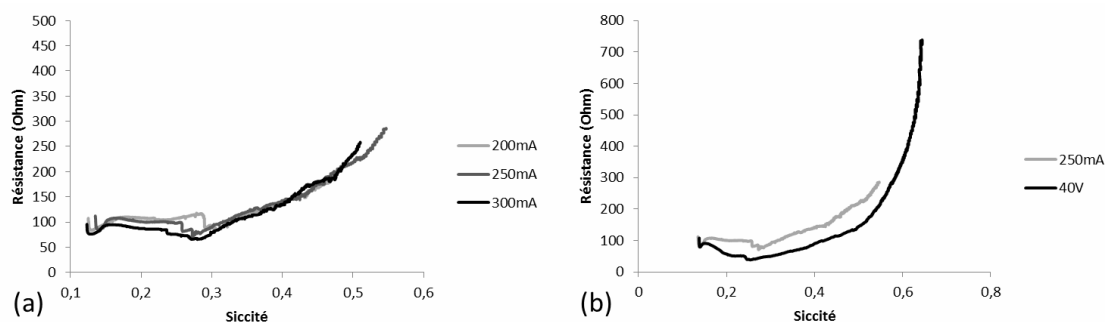


Figure 4. Résistance électrique de la cellule en fonction de la siccité atteinte pour différents essais. Boues activées.

Sur les boues primaires (figure 5), les essais menés respectivement à une intensité constante de 300 mA et à une tension maintenue à 40 V tendent à confirmer ce résultat. Le bon accord entre les deux courbes montre que la résistance électrique dépend peu du mode de fonctionnement choisi (tension ou intensité constante) et cela sur une large gamme de siccité allant de 20% à 50%. Encore une fois, les cinétiques entre les deux modes de déshydratation (tension constante / intensité constante) sont différentes, mais la relation entre la résistance électrique et la siccité du gâteau de boue est la même. Pour les essais à tension constante, la forte augmentation de la résistance électrique en fin de processus peut être due en partie à un assèchement progressif de la cathode qui pourrait se produire lorsque les débits d'eau extraits sont très faibles (en raison de la faiblesse du courant).

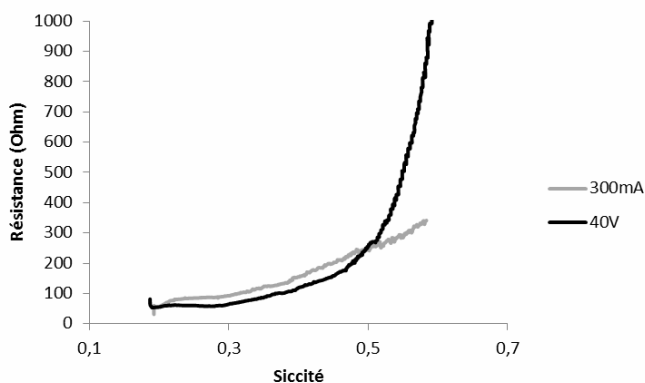


Figure 5. Résistance électrique de la cellule en fonction de la siccité atteinte. Boues primaires

4. Conclusions

Les travaux réalisés ont permis de mettre en évidence le fonctionnement d'un procédé d'électro-déshydratation appliqué à deux types de boues distincts, des boues primaires et des boues secondaires. Les essais menés permettent d'étudier le comportement électrique de la boue au cours du temps. Deux phases distinctes ont pu être identifiées. L'intensité traversant le gâteau de boue s'est révélée être un facteur cinétique prépondérant et l'existence d'une corrélation avec le débit de filtrat a pu être mise en évidence. D'autre part, une comparaison entre des essais menés à tension constante et d'autres réalisés à intensité constante a été possible en s'appuyant sur la résistance électrique de la cellule. Une relation forte entre cette résistance et la siccité atteinte par le gâteau de boue a été établie. L'obtention de ces relations entre, d'une part, les grandeurs électriques qui jouent sur la consommation énergétique (intensité, résistance électrique), et d'autre part, celles qui caractérisent le niveau et la vitesse de déshydratation (siccité, débit de filtrat), permet d'évaluer les performances énergétiques globales du procédé en vue de son optimisation.

Références

- Citeau, M., Olivier, J., Mahmoud, A., Vaxelaire, J., Larue, O. et Vorobiev, E., 2012, Pressurised electro-osmotic dewatering of activated and anaerobically digested sludges: electrical variables analysis, *Wat. Res.*, 46, 4405-4416.
- Gingerich, I., Neufeld, R.D., et Thomas, T.A., 1999, Electroosmotically enhanced sludge pressure filtration, *Wat. Environ. Res.*, 71, 267-276.
- Lockhart, N.C., 1983, Electroosmotic dewatering of clays. I. Influence of voltage, *Colloid Surface*, 6, 229-238.
- Ginisty, P., Olivier, J., Vaxelaire, J. et Fortuny S., 2012, Influence of flocculation on sewage sludge thickening and dewatering, 3rd ECSM, September 6-7, Leon (Espagne).
- Iwata, M., Jami, M.S. et Sato, M., 2007, Analysis of constant-current electro-osmotic dewatering of various solid-liquid systems by considering the creep deformation. *Sep. Purif. Technol.*, 58, 274-281.
- Legrand, V., Hourdet, D., Audebert, R. et Snidaro, D., 1998, Deswelling and flocculation of gel networks: application to sludge dewatering, *Wat. Res.*, 32(12), 3662-3672.
- Mahmoud, A., Olivier, J., Vaxelaire, J. et Hoadley, A.F.A., 2011, Electro-dewatering of wastewater sludge: influence of the operating conditions and their interactions effects, *Wat. Res.*, 45, 2795-2810.
- Mahmoud, A., Olivier, J., Vaxelaire, J. et Hoadley, A.F.A., 2013, Advances in mechanical dewatering of wastewater sludge treatment, in *Wastewater Reuse and Management*, Sharma S.K. and Sanghi R. Eds, Springer, 253-303.
- Tuan, P.-A., Sillanpää, M. et Isosaari, P., 2012, Sewage Sludge Electro-Dewatering Treatment—A Review, *Drying Technol.*, 30, 691-706.
- Vaxelaire, J. et Cézac, P., 2004, Moisture distribution in activated sludges: a review. *Wat. Res.*, 38, 2215-2230

Electro-dewatering of wastewater sludge: factors affecting dewatering kinetics and energy consumption.

CONRARDY Jean-Baptiste^a, OLIVIER Jérémy^{a*}, VAXELAIRE Jean^a

^aLaboratoire de Thermique Energétique et Procédés, Université de Pau et des Pays de l'Adour
Bâtiment d'Alembert, rue Jules Ferry - BP7511, 64075 PAU Cedex

Abstract

Electro-dewatering processes have shown their ability to reduce significantly the final water content of wastewater sludge compared to the mechanical dewatering processes usually used. The experiments presented in this paper have been carried out on a pressurized electro-dewatering device that enables to combine both effects of pressure and electric field during the dewatering process. The results obtained with constant current or constant voltage, respectively, show significant relationships between the filtrate flow rate, the electrical current, the electrical cake resistance and the dry matter content of sludge. The electrical current is found to be a key factor that governs electro-dewatering kinetics. Moreover, the electrical resistance through a given cake is found to be highly correlated to its water content (which decreases throughout the process). The relationship seems to be valid for a wide range of water content. These data enable to better understand how dewatering efficiency and energy consumption are related in the electro-dewatering process.

Keywords: dewatering, wastewater sludge, kinetics, energy consumption

* Authors(s) to whom the correspondence should be sent : jeremy.olivier@univ-pau.fr