

Briques écologiques réalisées à partir de la boue de filtration des lixiviats des déchets ménagers et industriels à savoir les cendres volantes

Younes Aznag, Zouhair El Jouad, Hafsa Ezahraoui et Khaled Mnaouer

Laboratoire de physique de la matière condensée, Université Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences, département de physique, El Jadida, Maroc



ECOLOGICAL BRICKS MADE FROM THE FILTRATION SLUDGE OF LEACHATES FROM HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL WASTE USING FLY ASH

The proximity of the aggregate quarries and the fly ash deposits of the thermal power station located 5 km from El Jadida in Morocco, promotes an eco-industrial synergy for the local production of cement-based concrete using fly ash as a substitute. The study of the materials showed on the one hand, for the aggregates from these quarries, good physical and mechanical characteristics, according to the international standard and on the other hand, for the fly ash, a high content of SiO_2 , Fe_2O_3 and a low content of CaO, as well as a very high specific surface area.

La proximité des carrières de granulats et des gisements de cendres volantes de la centrale thermique située à 5 km de la ville d'El Jadida au Maroc favorise une synergie éco-industrielle pour la production locale de béton à base de ciment en utilisant les cendres volantes comme substituant. L'étude des matériaux a montré, d'une part, pour les granulats de ces carrières, de bonnes caractéristiques physiques et mécaniques, selon la norme internationale et, d'autre part, pour les cendres volantes, une teneur élevée en SiO_2 , Fe_2O_3 et une faible teneur en CaO ainsi qu'une surface spécifique très élevée. L'objectif principal de ce travail est de réaliser des briques pleines de dimensions de 10 x 5 x 5 cm, en substituant un pourcentage du mélange total constitué de sables, de graviers et de ciment par les cendres volantes, et d'étudier la résistance mécanique de ces blocs. Nous avons constaté que les briques fabriquées en incorporant des taux de substitution du mélange de 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 %, 12 %, 14 %, 16 %, 18 % et 20 % par les cendres volantes ont montré une résistance à la compression très élevée allant de 40,6 à 139,97 MPa et la résistance à la rupture de 166,85 à 466,57 MPa. En plus, les expériences de lixiviation que nous avons réalisées ont montré que ces derniers sont parfaitement écologiques, car les métaux lourds normalement présents dans les cendres volantes ont été totalement piégés.

Les industriels et les chercheurs continuent de développer des briques de bétons durables fabriquées à partir de différents déchets pour économiser des ressources naturelles non renouvelables. La crise environnementale déterminée par une mauvaise élimination des déchets solides et le manque d'argile sont les facteurs qui motivent plus d'études. Ces aspects poussent les acteurs à étudier de nouveaux matériaux et à établir des méthodes avancées pour une valorisation efficace des déchets solides. Les cendres volantes constituent un sous-produit pulvérulent présentant un certain nombre de

caractéristiques qui les rendent valorisables [6-12]. Une voie possible de valorisation est leur utilisation en tant que matières premières secondaires dans le domaine de la construction et des travaux publics, domaine par ailleurs très grand consommateur de matériaux. Dans cette étude, les cendres volantes, qui sont des résidus de la combustion de charbons issus des centrales thermiques sous forme de boue de filtration des lixiviats des déchets ménagers et industriels, ont été utilisées pour obtenir des briques de béton répondant aux exigences de propriétés des matériaux selon les normes internationales [1-3].

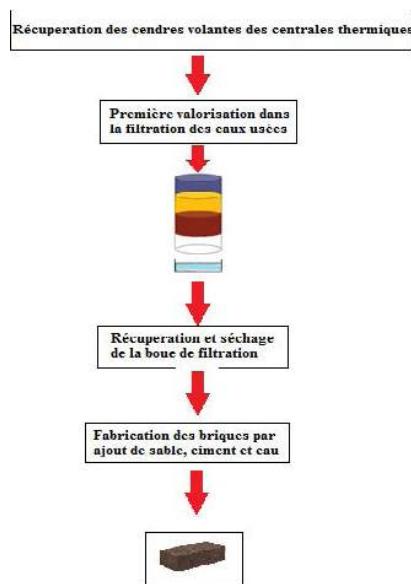


Figure 1: Valorisation de la boue contenant les cendres volantes dans les briques.



Figure 2: Aspect des cendres volantes.

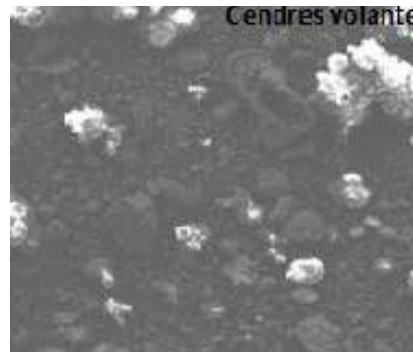


Figure 3: Morphologie des cendres de foyer par MEB.

adsorbants et, dans cette étude, les cendres ont été extraites de la centrale thermique de Jorf Lasfar, située à 17 km de la ville d'El Jadida. Pour améliorer la compréhension du processus de filtration, les échantillons des deux cendres ont été soumis à la fluorescence X pour indiquer leur composition chimique, puis au tamisage granulométrique qui évalue la distribution granulométrique [11-13]. La composition chimique de cendres volantes analysées par fluorescence X est donnée dans le tableau 1. La figure 3 illustre la structure morphologique des cendres volantes obtenue par microscope à balayage électronique (MEB). Elles se présentent sous la forme de particules poreuses de tailles irrégulières. Nous remarquons que la plupart des grains de cendres de foyer se présentent sous forme de sphères creuses ou comblées par des sphères plus petites.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Préparation des briques. Le processus de fabrication des briques traditionnelles par ajout de cendres volantes passe par plusieurs étapes, à savoir :

Étape 1: préparation des matériaux

1. Le ciment est utilisé comme liant pour les briques.
2. Le sable est utilisé pour ajouter de la résistance mécanique aux briques.
3. Le gravier est utilisé pour ajouter de la résistance mécanique aux briques.
4. Les cendres volantes sont ajoutées pour améliorer la durabilité et la résistance aux intempéries des briques.
5. L'eau est utilisée pour humidifier les matériaux et faciliter la fabrication des briques.

Étape 2: mélange des matériaux

1. Les matériaux sont mélangés dans un rapport défini (généralement 1:2:3 pour le ciment, le sable et le gravier).

2. Les cendres volantes sont ajoutées au mélange dans une proportion définie (généralement 10 à 20 % du volume total).
3. L'eau est ajoutée au mélange pour humidifier les matériaux et faciliter la fabrication des briques.

Étape 3: fabrication des briques

1. Le mélange est mis en forme dans des moules pour créer les briques.
2. Les briques sont compactées pour éliminer les bulles d'air et assurer une densité uniforme.
3. Les briques sont séchées à l'air libre ou dans des fours pour éliminer l'excès d'eau.

Étape 4: cuisson des briques

1. Les briques sont cuites dans des fours à haute température (généralement entre 1 000 °C et 1 200 °C) pour les durcir et les rendre plus résistantes [14-23].

Dans cette étude, les briques de volume de 250 cm³ ont été préparées en utilisant différents dosages de la boue à base des cendres avec le ciment, le sable, le gravier fin et l'eau. Les pourcentages des cendres volantes dans les briques sont indiqués dans le tableau 2.

L'étape consacrée au suivi des indicateurs de durabilité des bétons formulés aux délais de 28 jours. Pour la résistance à la compression et l'absorption d'eau, les briques ont été placées entre deux plateaux. Cette expérience consiste à compresser ces produits dans le but d'étudier et de déterminer la force de rupture (voir Figure 4).

Lorsque l'intensité de la contrainte augmente, il y a d'abord déformation élastique - le matériau se déforme proportionnellement à l'effort appliqué et reprend sa forme initiale lorsque

Bureau d'Études certifié en détection et géoréférencement, CORRELANE Technologies est, depuis 20 ans, l'entreprise pionnière et experte dans les inventaires patrimoniaux et géoréférencement grande échelle des réseaux AEP, Assainissement, Éclairage Public, avec tables attributaires complexes, nos topographes et géomaticiens interviennent au titre de vos:

Premier bureau d'études en France à délivrer des données cartographiques conformes au nouveau standard STAR Eau, initié par un groupe de travail de l'ASTEE et validé par le CNIG



Investigations Complémentaires et OL (DT-DICT, Loi anti-endommagement), Marquage Piquetage



Détection et géoréférencement de réseaux grande échelle:



Prestation par drone aérien (UAV)



Contactez-nous



la sollicitation disparaît - suivie parfois (en fonction de la ductilité du matériau) d'une déformation plastique - le matériau ne reprend pas sa forme initiale lorsque la sollicitation disparaît, il subsiste une déformation résiduelle -, et enfin d'une rupture - la sollicitation dépasse la résistance intrinsèque du matériau. Le principe consiste à centrer l'éprouvette sur le plateau de la presse, puis à appliquer la charge d'une manière continue et sans chocs jusqu'à la rupture de produits. On enregistre la charge maximale obtenue en KN.

Tableau 1: Composition chimique des cendres volantes et des mâchefers.

Élément chimiques	Cendres volantes
SiO_2	57,00 %
Al_2O_3	34,00 %
Fe_2O_3	3,40 %
CaO	10,00 %
MgO	0,02 %
K_2O	1,20 %
MnO	0,07 %
TiO_2	1,24 %
P_2O_5	1,27 %

Tableau 2: Dosage des briques avec les cendres volantes formant la boue de filtration.

Briques	Part des cendres dans le mélange
Brique 0 (traditionnelle)	0%
Brique 1	2%
Brique 2	4%
Brique 3	6%
Brique 4	8%
Brique 5	10%
Brique 6	12%
Brique 7	14%
Brique 8	16%
Brique 9	18%
Brique 10	20%

La résistance à la compression est le paramètre le plus important lors de la caractérisation des produits en béton, selon la norme marocaine NM.10.1.009. Les résultats des résistances à la compression et à la rupture sont détaillés dans le tableau 3. Il faut savoir que la résistance élastique et la résistance de rupture sont deux propriétés mécaniques importantes qui caractérisent le comportement d'un matériau sous chargement. La résistance élastique est la capacité d'un matériau à résister à un chargement sans subir de déformation permanente. Lorsqu'un matériau est soumis à un chargement élastique, il se déforme mais il retrouve sa forme initiale lorsqu'il est déchargé. La résistance élastique est mesurée par la limite élastique, qui est la contrainte maximale que le matériau peut supporter sans subir de déformation permanente. La résistance de rupture est la capacité d'un matériau à résister à un chargement jusqu'à la rupture. Lorsqu'un matériau est soumis à un chargement qui dépasse sa résistance de rupture, il se rompt et perd sa capacité à supporter le chargement. La résistance de rupture est mesurée par la contrainte de rupture, qui est la contrainte maximale que le matériau peut supporter avant de se rompre. La principale différence entre la résistance élastique et la résistance de rupture réside dans le fait que la résistance élastique concerne la capacité du matériau à résister à un chargement sans subir de déformation permanente, tandis que la résistance de rupture concerne la capacité du matériau à résister à un chargement jusqu'à la rupture [24-33]. Nous constatons que les résultats des essais sont conformes aux exigences de la norme NM 10.1.009. Pour mieux comprendre, l'histogramme ci-dessus (voir Figure 5) montre clairement les évolutions de la résistance à la compression et de la résistance de rupture des différents types de briques. Nous remarquons que les différentes briques avec un dosage de cendres volantes présentent une meilleure résistance à la compression que la brique traditionnelle (brique 0); néanmoins celle de 18% (brique 9) reste la meilleure. Les briques qui contiennent des cendres volantes ont une résistance élastique plus grande que les briques traditionnelles. Les cendres volantes sont un type de déchet industriel qui est riche en silice et en alumine, qui sont

des composants essentiels pour la formation de la structure cristalline des briques. L'ajout de cendres volantes aux briques peut améliorer leur résistance élastique de plusieurs façons:

- Amélioration de la structure cristalline: les cendres volantes contiennent des particules fines qui peuvent pénétrer dans les pores des briques et former des liaisons chimiques avec les composants du ciment, ce qui améliore la structure cristalline des briques.
- Réduction de la porosité: les cendres volantes peuvent réduire la porosité des briques en remplissant les pores avec des particules fines, ce qui améliore la résistance élastique des briques.
- Amélioration de la liaison entre les particules: les cendres volantes peuvent améliorer la liaison entre les particules des briques en formant des liaisons chimiques entre les particules, ce qui améliore la résistance élastique des briques [34-35].

Étude de la résistance thermique. La résistance thermique mesure la capacité d'isolation d'une couche de matériau: plus la couche sera isolante, plus la résistance thermique sera élevée. Le logiciel que nous avons utilisé donne, en plus du calcul de la résistance thermique, la valeur de sa déperdition thermique appelée aussi coefficient de transmission thermique. Plus celui-ci est faible, plus la paroi est isolante. La résistance thermique est le rapport entre l'épaisseur et la conductivité thermique du matériau lambda et est donnée par la formule [36-39].

$$R = e / \lambda$$

Nous considérons le cas simple d'un mur constitué de couches successives et homogènes (les couches dont l'épaisseur est inférieure à 1 mm ne sont pas prises en compte).

La résistance thermique est égale à la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux ou d'espace d'air non ventilé et des résistances de surface.

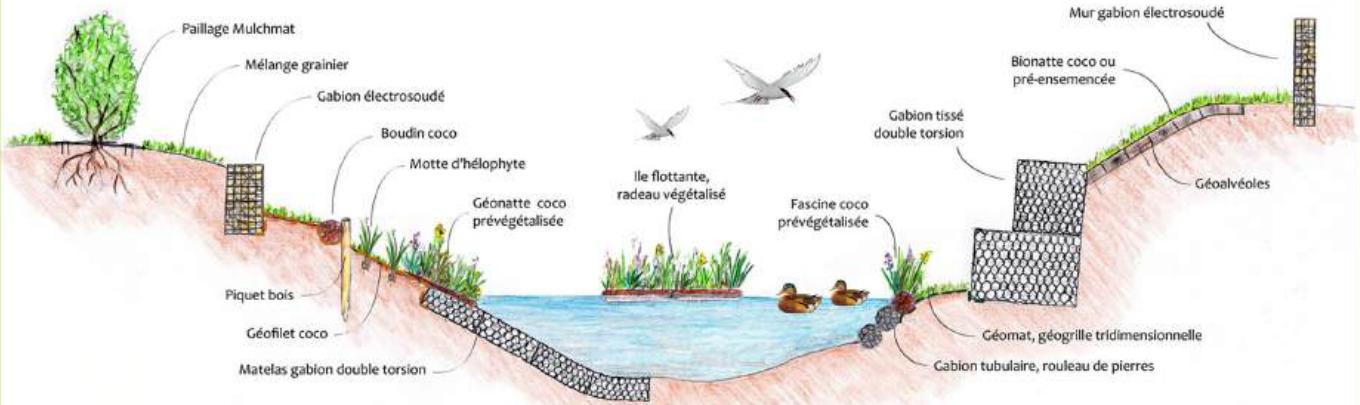
Le calcul de la résistance des parois des briques est donné par:

Couche d'épaisseur $e = 5$ cm, avec $\lambda = 0.39$

La résistance thermique totale R est égale à $0,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$

La déperdition thermique U est égale à $3,3333 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Pour vos études ou vos fournitures, trouvez le bon conseil



Nos experts et technico-commerciaux sont à votre service

in Abonnez-vous à notre page et suivez toute notre actualité

AquaTerra Solutions - 07250 LE POUZIN - Tel : 04 75 63 84 65 - contact@aquaterra-solutions.fr



 France
Environnement

Quel est le meilleur dosage de complexe bactérien pour décomposer efficacement les vases organiques dans un étang de 500 m² ?

 DRAUSY GmbH

Pour décomposer la vase organique dans un bassin de 500 m², vous avez besoin du bon environnement pour activer les bactéries - les bactéries et les micro-organismes se trouvent déjà dans le bassin, mais ne sont pas en mesure d'effectuer le nettoyage naturel du lac/ la décomposition de la biomasse organique/ en raison du manque d'oxygène. Avec la technologie d'amorçage biologique de DRAUSY, il vous faut 50 m de parcours d'aération pour créer un milieu de fond aérobie sur toute la surface - les bactéries nécessaires s'installent alors toutes seules et décomposent vos boues/empêchent toute autre formation de boues putréfiées à long terme. De plus, les nutriments sont liés au sol aérobie, de sorte que la méthode conduit à une résilience durable de l'eau.

11:12



Regarder sur  YouTube

**Vous aussi, posez vos questions et échangez avec + de 100 000 techniciens
sur FranceEnvironnement.com**

Tableau 3: Résistances aux compressions et aux ruptures des briques.

	Résistance élastique (MPa)	Résistance à la rupture (MPa)
Brique 0	49,16	163,85
Brique 1	50,06	166,85
Brique 2	75,93	253,10
Brique 3	84,74	282,45
Brique 4	93,65	312,17
Brique 5	102,46	341,53
Brique 6	106,31	354,37
Brique 7	117,91	393,03
Brique 8	120,59	401,95
Brique 9	139,97	466,57
Brique 10	137,17	460,72

Tableau 4: Résultat de lixiviation de la brique 9

Métaux lourds (mg/l)	Brique 9 (18 % de cendres volantes)	Eau potable
Cd	0,004	0,003
Cr	0,031	0,010
Cu	0,009	0,004
Fe	0,028	0,011
Pb	0,011	0,009
Zn	0,09	0,04

En négligeant les ponts thermiques, la déperdition de la paroi est de 3,3333 W par m² et par degré de différence entre l'extérieure et l'intérieur.

Le calcul prend en compte les couches d'air qui se forment des deux côtés de la paroi. La conductivité thermique sera d'autant plus faible que le matériau est un bon isolant. Pour l'isolation, il faut donc choisir des matériaux dont les conductivités thermiques sont très faibles. Un matériau est considéré comme isolant (RT 2012) lorsque sa conductivité thermique est inférieure à 0,065 W.m⁻¹.K⁻¹. Finalement, nous avons étudié la lixiviation de la brique 9 avec un dosage de 18 %, afin de s'assurer que les métaux lourds dans la boue de filtration à base des cendres volantes sont restés confinés dans nos briques écologiques. La méthode consiste à mettre notre brique dans un bain d'eau (voir Figure 6), pendant 1 mois et à effectuer des prélèvements réguliers. Les résultats des analyses obtenus par la

technologie ICP (Inductively Coupled Plasma) sont donnés dans le tableau 4. Nous avons constaté que les éléments toxiques sont restés totalement piégés dans la brique donnant ainsi l'aspect écologique.

CONCLUSION

La valorisation des cendres volantes ayant servi dans la filtration des lixiviats des déchets ménagers et industriels dans la fabrication des briques en béton est importante pour plusieurs raisons:

Réduction des déchets: Les cendres volantes sont un déchet industriel qui peut être valorisé pour réduire les quantités de déchets envoyés en décharge.

Réduction de l'impact environnemental: La valorisation des cendres volantes réduit l'impact environnemental des activités industrielles qui génèrent ces déchets.

Conservation des ressources naturelles: La valorisation des cendres

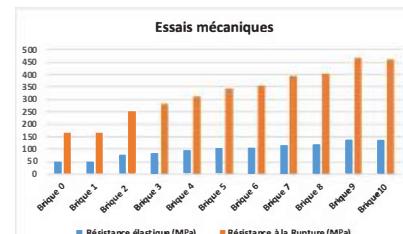


Figure 5: Résistances à la compression et à la rupture des différentes briques.

volantes réduit la nécessité d'extraire et de traiter des matériaux naturels pour la fabrication des briques.

Amélioration de la résistance mécanique: Les cendres volantes peuvent améliorer la résistance mécanique des briques en béton en raison de leur composition chimique et de leur structure poreuse.

Réduction de la porosité: Les cendres volantes peuvent réduire la porosité des briques en béton, ce qui améliore leur résistance à l'eau et aux agents chimiques.

Amélioration de la durabilité: Les cendres volantes peuvent améliorer la durabilité des briques en béton en raison de leur résistance à la corrosion et à la dégradation.

Réduction des coûts de production: La valorisation des cendres volantes peut réduire les coûts de production des briques en béton en raison de la réduction des coûts de matières premières.

Augmentation de la compétitivité: La valorisation des cendres volantes peut augmenter la compétitivité des entreprises qui fabriquent des briques en béton en raison de la réduction des coûts de production.

L'utilisation des cendres volantes dans le béton permet d'atteindre plusieurs objectifs:

Réduire la quantité de ciment utilisée et donc diminuer les coûts, réduire la chaleur d'hydratation, améliorer la maniabilité du béton, améliorer l'acquisition des performances mécaniques à long terme, améliorer la durabilité. En raison de leur sphéricité et de leur très petite dimension, les cendres volantes influent sur la rhéologie des pâtes de ciment. L'ajout de cendres réduit le besoin en eau nécessaire à l'obtention d'une maniabilité équivalente pour un ciment sans cendres volantes: les cendres peuvent donc jouer un rôle de plastifiant. Les cendres volantes retardent la prise du ciment, ce qui peut être un avantage



11-12 février 2026
salon PARC EXPO Nantes

Afrique du Sud
Pays à l'honneur
Nantes 2026
C22 Pavillon Afrique du Sud



l'événement → Biotransition



NOUVEL ÉVÉN.
Bio360 Africa
17-18 juin 2026
Afrique du Sud
Johannesburg
www.bio360-africa.com

450 exposants
6000 professionnels

250 intervenants
45 pays

www.bio360expo.com
suivez @bio360expo sur

SOUTENU PAR



PARTENAIRE



ORGANISATEUR



par temps chaud. Leur ajout peut donc nécessiter l'emploi d'un accélérateur. L'hydratation de la pâte de ciment s'accompagne d'une élévation de la température. Retardant et ralentissant l'hydratation du ciment, les cendres volantes ont une influence bénéfique

sur l'évolution de la chaleur d'hydratation permettant ainsi d'éviter la fissuration par retrait thermique des ouvrages massifs. Du fait de leur activité pouzzolanique consommant la portlandite, les cendres augmentent les résistances mécaniques à long terme des bétons,

améliorant de fait leurs résistances aux attaques chimiques et donc leur durabilité ce qui est largement justifié par les résultats obtenus dans cette étude [40-43]. ●



Références bibliographiques

- L. LITU, G. CIOBANU, SM CÎMPEANU, O. KOTOVA, R. CIOCINTA, D. BUCUR, M. HARJA** Étude comparative entre les procédés de flocculation-coagulation dans le traitement des eaux brutes/eaux usées, *Agro Life Sci.*, 8 (1) (2019), p. 139 - 145
- C. BARRERA-DÍAZ, G. MARTÍNEZ-BARRERA, O. GENCEL, LA BERNAL-MARTÍNEZ, W. BROSTOW** Boues d'épuration traitées pour l'amélioration des propriétés mécaniques des bétons *J. Hazard Mater.*, 192 (1) (2011), p. 108 - 115
- LGG DE GODOY, AB ROHDEN, MR GARZEZ, S. DA DAL, LB GOMES** Production de matériau cimentaire complémentaire comme stratégie de gestion durable des déchets de boues de traitement des eaux **AM HIDALGO, MD MURCIE, M. GOMEZ, E. GOMEZ, C. GARCÍA-IZQUIERDO, C. SOLANO** Utilisations possibles des boues des stations d'épuration d'eau potable *J. Environ. Ing.*, 143 (2017)
- Y. LIU, Y. ZHUGE, CW CHOW, A. KEEGAN, D. LI, PN PHAM, R. SIDDIQUE** Utilisation des boues de traitement d'eau potable dans les pavés en béton : analyse microstructurale, durabilité et propriétés de lixiviation *J. Environ. Gérer.*, 262 (2020)
- A. GHERGHEL, C. TEODOSIU, S. DE GISI** Un point sur la valorisation des boues d'épuration et ses enjeux dans le cadre de l'économie circulaire *J. Propre. Prod.*, 228 (2019), p. 244 - 263 https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_statistics#Wastewater_treatment_and_disposal
- G. BUEMA, G. LISA, O. KOTOVA, G. CIOBANU, L. IVANICIUC, L. FAVIER, M. HARJA** Conditions optimales établies sur la base de l'analyse thermique pour les matériaux zéolithiques obtenus à partir de cendres volantes *Env. Ing. Gérer.*, 20 (3) (2021), p. 317 - 328
- I. CRETESCU, M. HARJA, C. TEODOSIU, DN ISOPESCU, MF CHOK, BM SLUSER, MAM SALLEH** Synthèse et caractérisation d'un liant de remplacement du ciment basé sur l'activation alcaline des déchets de cendres volantes *Processus Saf. Environ.*, 119 (2018), p. 23 - 35
- M. HARJA, G. CIOBANU** Nano-adsorbants écologiques pour l'élimination des polluants des eaux usées **O. KHARISOVA, L. MARTÍNEZ, B. KHARISOV** (Eds.), *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*, Springer, Cham (2020), pp. 1 - 22
- AH NORUZMAN, N. PALIL, R. AHMAD, KS BAHRUDIN** Application des boues de traitement des déchets provenant du traitement de l'eau dans la production de briques *Int. J. Technol. Innov. Humanité*, 1 (2020), p. 33 - 40
- G. PRZYDATEK, AK WOTA** Analyse de la gestion globale des boues d'épuration en Pologne **J. MATER.** Cycles de gestion des déchets., 22 (2020), p. 80 - 88
- A. AL-FAIKH, BS MOHAMMED, MS LIEW, E. NIKBAKHT** Incorporation des déchets dans la fabrication des briques de maçonnerie : un bilan actualisé *J. Construire. Ing.*, 21 (2019), pp. 37 - 54

LV CREMADA, JA CUSIDÓ, F.

ARTEAGA Recyclage des boues issues du traitement de l'eau potable en tant que matériau céramique pour la fabrication de carreaux *J. Propre. Prod.*, 201 (2018), pp. 1071 - 1080

Y. DING, X. ZHANG, B. WU, B. LIU, S. ZHANG

Production de céramiques hautement poreuses à l'aide de scories provenant de la fusion de catalyseurs automobiles usés *Resour. Conserv. Recycl.*, 166 (2021)

MS MANSOUR, HI ABDEL-SHAFY, WI EL AZAB

Réutilisation innovante des boues d'eau potable pour le traitement de l'eau produite par le pétrole afin d'améliorer la récupération du pétrole, *Égypte J. Essence.*, 29 (2020), p. 163 - 169

W. DUAN, Y. ZHUGE, PN PHAM, C. WK CHOW, A. KEEGAN, Y. LIU

Utilisation des boues de traitement de l'eau potable en remplacement du ciment pour atténuer la réaction alcali-silice dans les composites de ciment *J. Informatique. Sci.*, 4 (4) (2020), p. 171

Y. LIU, Y. ZHUGE, CW CHOW, A. KEEGAN, PN PHAM, D. LI, L. WANG Recyclage des boues de traitement d'eau potable en blocs d'éco-béton avec cure au CO₂ : durabilité et lixivierabilité *Sci. Environ.*, 746 (2020)

R. MOURATIB, B. ACHIOU, M. EL KRATI, SA YOUNSSI, S. TAHIRI

Membrane céramique à faible coût fabriquée à partir de boues de traitement d'eau riches en alumine et en silice et son application à la filtration des eaux usées *J. Eur. Céram. Soc.*, 40 (2020), pp. 5942 - 5950

M. CHEN Faisabilité technique et environnementale de l'utilisation dans des matériaux de construction cimentaires de cendres d'incinération de boues de station d'épuration, *Hal*, p.215, (2012) Maozhe Chen Faisabilité technique et environnementale de l'utilisation dans des matériaux de construction cimentaires de cendres d'incinération de boues de station d'épuration, thèse de doctorat, l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon Soutenue le 05 Juin 2012

RAJA RAJESWARI T, SAILAJA N., impact des métaux lourds sur la pollution environnementale, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences* (2014)

VYSOKOMORN AYAA OLGA V., KURILEN KOE.

YU, SHCHERBININA ANASTASIA A. Principaux contaminants dans les eaux usées industrielles et domestiques, *matecconf* 2301041 (2015)

MERZOUKI, MADANI K. ET SEKKI A. Épuration des effluents industriels par électroflottation Vol164, numéro 1 (2009)

KHALIL, FBOUAOUINE.O, CHTIOUI.H, SOUABI.S, ABOULHASSAN, MA, OUAMMOU. A. Traitement des lixiviats de décharge par coagulation-flocculation, *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (5) (2015) 1337-1342.

ABA-AAKI. R, EZ-ZAHERY. M, ET-TALEB. S, EL HAOUTI.R, HAMMA. MS ET ALEM. NE Rétention des métaux lourds (Pb, Cd, Cr et Zn) par zone sableuse d'Agadir : Equilibre et cinétique, *matecconf*

ASNAOUI. H, SAKOUT.M, KHALIS. M., ELBOUGRANI. O. Étude de l'équilibre d'absorption et de biosorption du cadmium (II) par l'algue marine *ulva lactuca*, *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (7) (2015) 1907-1913

HAMOUCHE.A. Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels, Ph.D. thèse, Université M'hamedBougara,Boumerdes,

SAVADOGO. N, MESSAN.A, HANNAWI.K, TSOBNANG.F, AGBODJAN.WA, Durabilité du

ciment composite aux mâchefers de charbon de Tefereyre (NIGER) : Absorption capillaire, porosité à l'eau et attaque acide (2015).

NAJEM. M. "Valorisation Des Matériaux Dans Le Traitement Des Eaux Usées Par Infiltration Percolation: Sur Du Sable, Sol, Argile Cendres." docteurat thèse, Université de ChouaibDoukkali 2013

AYRINHAC F., Valorisation des cendres volantes de chaudière à lit fluidisé circulant dans la filière du génie civil. 2005.

TAOUFIQ L., LAAMYEM A., MONKADE M., ZRADBA A., ELHACHMIE., L'utilisation des déchets solides industriels avec le sable pour le traitement des eaux usées de la zone industrielle de la ville de Tanger, *Revue EIN* 389, pages 83-88 (2016).

LAAMYEM A., NAJEM M., MONKADE M., ZRADBA A., ADOUANI NR. Ajustement des cendres volantes dans l'épuration des eaux usées industrielles de la ville d'El Jadida, *Revue EIN*, 332 pages 101-104.

EL FADEL H., MERZOUKI M.*, FAOUZI M., LAAMYEM A., NAJEM M. ET BENLEMLIH M., Performances de purification du procédé de filtration des lixiviats au Maroc par les sables marins, les argiles et les cendres volantes, *Journal of Biotechnology Letters*, 4(1) (2013) 51.

BHATTY MSY, (1987) 4^e Conférence nationale sur les déchets dangereux et les matières dangereuses, Washington DC, 140-145.

ŠČIBAN M., KLAŠNJA M., optimisation de l'utilisation de la sciure de bois comme adsorbant des ions de métaux lourds de l'eau, *ISIRR* 2003. Section III.

DESCHamps T., BENZAAZOU, BUSSIERE, BELEM T. ET MBONIMPA T., Mécanismes de rétention des métaux lourds en phase solide : cas de la stabilisation des sols contaminés et des déchets industriels, (2006) *Vertigo* - La revue en Sciences de l'environnement, 7(2).

COCKE DL (1990), *Journal of Hazardous Materials*, 24, 231 -53

L. LITU, G. CIOBANU, SM CÎMPEANU, O. KOTOVA, R. CIOCINTA, D. BUCUR, M. HARJA Étude comparative entre les procédés de flocculation-coagulation dans le traitement des eaux brutes/eaux usées, *Agro Life Sci.*, 8 (1) (2019), p. 139 - 145

C. BARRERA-DÍAZ, G. MARTÍNEZ-BARRERA, O. GENCEL, LA BERNAL-MARTÍNEZ, W. BROSTOW Boues d'épuration traitées pour l'amélioration des propriétés mécaniques des bétons *J. Hazard Mater.*, 192 (1) (2011), p. 108 - 115

LGG DE GODOY, AB ROHDEN, MR GARZEZ, S. DA DAL, LB GOMES Production de matériau cimentaire complémentaire comme stratégie de gestion durable des déchets de boues de traitement des eaux **AM HIDALGO, MD MURCIE, M. GOMEZ, E. GOMEZ, C. GARCÍA-IZQUIERDO, C. SOLANO** Utilisations possibles des boues des stations d'épuration d'eau potable.

J. Environ. Ing., 143 (2017)

Y. LIU, Y. ZHUGE, CW CHOW, A. KEEGAN, D. LI, PN PHAM, R. SIDDIQUE Utilisation des boues de traitement d'eau potable dans les pavés en béton : analyse microstructurale, durabilité et propriétés de lixiviation. *J. Environ. Gérer.*, 262 (2020)

A. GHERGHEL, C. TEODOSIU, S. DE GISI Un point sur la valorisation des boues d'épuration et ses enjeux dans le cadre de l'économie circulaire

J. Propre. Prod., 228 (2019), p. 244 - 263.

FORUM LABO LYON

Centre
des Congrès
de Lyon

10 - 11
MARS
2026

SAVE
THE
DATE

**Le salon
de la filière
des Laboratoires
dédié
à la Recherche,
à la Production
et au Contrôle**



Inscrivez-vous
dès maintenant
sur
www.forumlabo.fr



- Métrologie • Biomimétisme
- Agro-Alimentaire • Cosmétique
- Pharma • Biotechnologie
- Chimie-Matériaux
- Environnement-Energie
- Salle propre/Contamination
- Robotique de laboratoire

Un évènement du



www.forumlabo.com

Organisé par

