

NOTE TECHNIQUE

TRAITEMENT PAR EVAPORATION SOLAIRE DE LIXIVIATS DE DECHETS MENAGERS AU MAROC

F. BENYOUCEF ¹, S. BAATI ¹, A. MAKAN ², A. EL GHMARI ¹

- ¹ Equipe de télédétection et SIG appliquées aux Géosciences et à l'environnement. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal Maroc, BP 523 000 BM, Mél: fatybenyoucef@gmail.com, Tél : 212 06 67 26 31 70
- ² Laboratoire Eau et Environnement, Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali, 24000 El Jadida, Maroc
- ² ENQUAS Consulting, Bureau de conseil en qualité, sécurité et environnement, 25000 Khouribga, Maroc

Auteur correspondant : F. BENYOUCEF fatybenyoucef@gmail.com, Tél : 212 06 67 26 31 70

RESUME

L'objectif de notre travail est le développement de la technique d'évaporation pour le traitement des lixiviats générés par le transport des déchets ménagers dans la ville de Kasba Tadla, Maroc. Tenant compte des caractéristiques du site sélectionné qui bénéficie d'un climat chaud avec des températures supérieures à 50°C pendant la période estivale, nous avons privilégié un mode de traitement par évaporation forcée. Plusieurs modèles ont été testés pour évaluer l'influence de la position des bacs d'évaporation par rapport au sol, la couverture des bacs d'évaporation par des plaques de verre et leur angle d'inclinaison et la présence ou l'absence de systèmes d'agitation et de ventilation. Les résultats des essais ont été utilisés pour développer un modèle final d'évaporation forcée dans des dispositifs avec des plaques de verre inclinées et un système d'agitation des lixiviats. Ces conditions ont permis de réduire le temps d'évaporation des lixiviats d'environ 50% par rapport à l'évaporation naturelle et de 30% par rapport à l'évaporation avec des plaques de verre horizontales. La vitesse d'évaporation est comprise entre 3,06 mm/jour et 10,25 mm/jour pendant la période estivale. Le modèle développé montre les performances et l'efficacité de l'évaporation pour le traitement des lixiviats.

MOTS-CLÉS : Kasba Tadla, Maroc, Déchets ménagers, Lixiviat, Modèle expérimental, Évaporation forcée, Apport solaire

ABSTRACT

The aim of our work was the development of evaporation techniques for the treatment of leachate from household waste in the city of Kasba Tadla to avoid rejection permanently in nature. Taking into account the characteristics of the selected site which has a warm climate with temperatures that exceed 50°C during the summer period we favored a forced evaporation processing mode. Several models have been tested, the alternatives given on the position of the evaporation pans relative to the ground, coverage evaporation pans by glass plates and their angle of inclination and the presence or absence of systems agitation and ventilation. The tests were used to develop a final evaporation model forced with glass plates inclined with a stirring system of leachate. forced evaporation of leachate testing have helped reduce the time of evaporation of leachate by 50% approximately relative to natural evaporation and 30% compared to evaporation with plates of horizontal glass. The power evaporating of this technique from a value of 3.06 mm/day to reach a value of 10.25 mm/day during the summer period. The model developed shows evaporation performance and effectiveness for the treatment of leachate so it stands out as alternative techniques for the treatment of leachate.

KEYWORDS: KasbaTadla, Household waste, Leachate, Experimental Model, Forced evaporation, summer period

1. INTRODUCTION

Cette note technique porte sur le traitement des lixiviats générés par la collecte et le transport des déchets ménagers depuis la ville de Kasba Tadla au Maroc vers le centre d'enfouissement de la ville. Les lixiviats sont des effluents potentiellement toxiques par leur composition complexe et leurs variations temporelles, comme l'ont montré de nombreuses études dans le monde (Le Coupanec et al. 1999, Schlumpf et al. 2001, Kurniawan et al. 2006 ; Gourdon et al., 1989). Les études de la littérature internationale ont été essentiellement réalisées sur des lixiviats produits par les déchets dans leurs conditions d'enfouissement en fin de vie. Nos travaux ont porté sur les lixiviats générés pendant le transport des déchets depuis leur lieu de production jusqu'au centre d'enfouissement. La charge organique de ces lixiviats est généralement élevée (Farah Nazet et al. 2012) et les traitements conventionnels d'épuration ne permettent pas toujours de respecter les normes de rejet.

Les techniques de traitement des lixiviats sont très diverses. Les techniques biologiques sont les plus couramment utilisées pour les lixiviats de déchets ménagers, surtout pour les décharges jeunes en cours d'exploitation (Khattabi et al. 2002, Tânia et al. 2013). Elles présentent certaines limites cependant, notamment durant les périodes d'hiver. Compte tenu du fort ensoleillement de la région, la technique par évaporation solaire forcée a été jugée potentiellement intéressante et fait l'objet du présent article. Les conditions climatiques de la zone d'étude se caractérisent par un climat semi-aride avec des températures très élevées durant les périodes d'été.

La technique d'évaporation dans des casiers traditionnels au sol est utilisée dans la majorité des décharges contrôlées au Maroc. Les résultats ne donnent cependant pas entière satisfaction à cause des volumes trop importants de lixiviats à traiter (Nameche et Vassel, 1999). Nos travaux visent donc à améliorer cette technique en caractérisant les facteurs d'influence du traitement par évaporation forcée. L'évaporation des lixiviats a été mise en œuvre par plusieurs auteurs mais généralement en couplage avec d'autres techniques telles que l'osmose inverse ou ultrafiltration (Di Palma et al. 2002, Xu et al. 2006, Yamasaki et al. 1996). Des travaux précédents publiés par Vincon-Leite et al (2005) et Hancock et al (2011) ont montré que l'évaporation dépend essentiellement de facteurs météorologiques (intensité du rayonnement solaire, température de l'air et de l'eau, humidité relative et spécifique de l'air, pression atmosphérique et vitesse du vent,) et de facteurs physiques du milieu (évaporation à partir de

surfaces d'eau libre ou bien à partir d'un sol par exemple (Vincon-Leite et al. 2005). D'autres études ont confirmé aussi que l'évaporation d'une surface d'eau libre dépend non seulement des propriétés physiques et géométriques de cette surface (profondeur, étendue) mais aussi des caractéristiques chimiques de la solution aqueuse (Hancock.2011). Le rapport surface / volume joue un rôle essentiel sur la capacité de cette dernière à emmagasiner de l'énergie. Si le rapport est élevé, le système sera sensible aux variations météorologiques, tandis que si le rapport est faible, l'inertie thermique sera plus grande. D'autre part, le flux d'évaporation est proportionnel à la surface évaporante ainsi qu'à l'humidité relative de l'air en surface. Les mouvements de convection de l'eau et de l'air favorisent les transferts de chaleur entre la solution et l'air à son contact et rend uniforme les températures dans chaque phase. Des mouvements turbulents accroissent considérablement les échanges de chaleur et de matière entre les phases et accélèrent donc l'évaporation (Zhang and Ramanathan, 1995, Nasr et al. 2011, Yan. 1993).

En se basant sur ces informations nous avons étudié l'effet de certains facteurs d'influence afin de déterminer les conditions opératoires optimales. L'approche expérimentale suivie vise dans un premier temps à déterminer les conditions opératoires appropriées pour différents bacs d'évaporations, puis à comparer dans ces conditions le rendement d'évaporation de chaque bac.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Site d'étude

Cette étude a été effectuée sur la ville de Kasba Tadla (Figure 1) située entre la ville de Marrakech et la ville de Fès, qui appartient à la province de Béni Mellal de la région de Tadla Azilal au Maroc.

2.2. Caractérisation des déchets et des lixiviats de la ville de kasba Tadla

Les lixiviats utilisés dans cette étude ont été collectés à partir des bennes tasseuses de collecte des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla lors du transport à la décharge.

Les déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla sont caractérisés par une humidité de 60 % et une forte teneur en matières organiques (74% pondéral des matières sèches) et cette dernière varie selon la nature et la composition des déchets entreposés (Hwang et al. 2012).

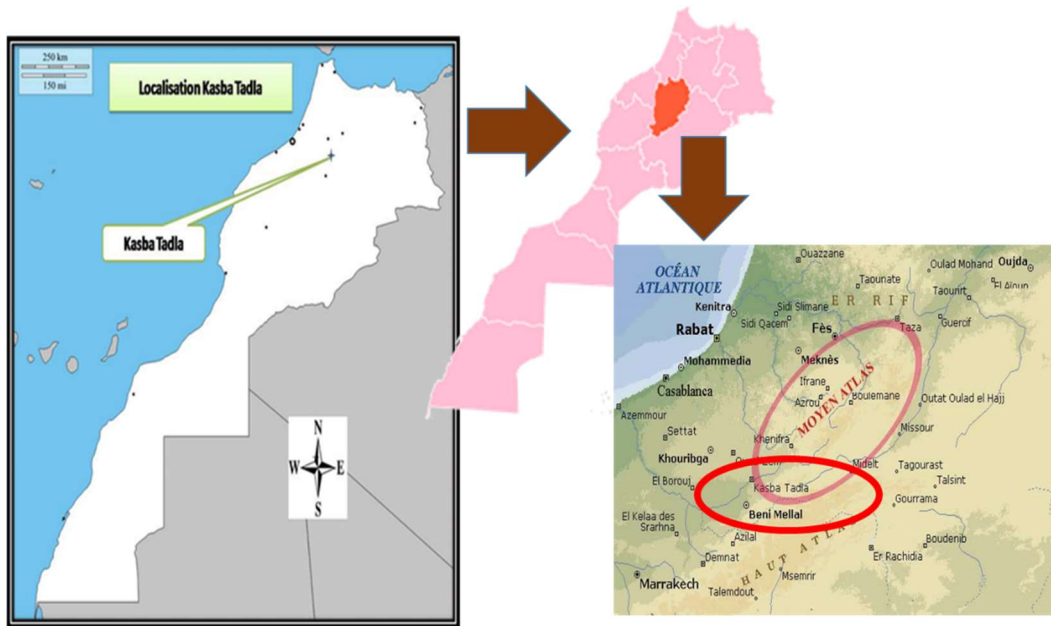


Figure 1 : Cartes de localisation de la ville de Kasba Tadla, Maroc

Les classes de déchets restantes regroupent le papier (3%), le plastique (9 %), alors que les teneurs en métaux et en verre sont négligeables. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés dans d'autres villes du Maroc (Beylot et al. 2013, Ezequiel et al. 2013). Les lixiviats générés par ces déchets ont un pH d'environ 5 avec une DCO soluble qui dépasse 20 gO₂/L. D'après le suivi effectué sur ces effluents la moyenne journalière de production lors de leurs transports vers la décharge est de l'ordre de 2500 litres par jour par rapport à une quantité collectée des déchets d'environ 40 T/jours.

2.3 Dispositif expérimental

Les essais de traitement ont été réalisés dans des bacs d'évaporation en acier de 93 cm de longueur, 75 cm de largeur et 30 cm de profondeur illustrés à la Fig. 2. La surface d'évaporation dans chacun des bacs est égale à la section des bacs, soit de l'ordre de 0,7 m² (0,93 x 0,75).

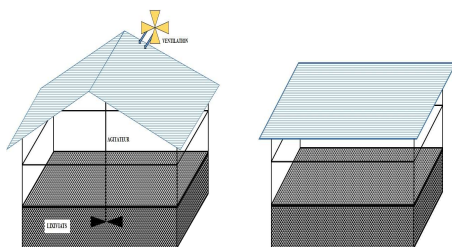


Figure 2. Schémas des dispositifs expérimentaux utilisés (ici bacs avec plaques de verre horizontale ou inclinée)

Chaque bac est rempli au départ de 80 L de lixiviat, correspondant à une profondeur initiale de l'ordre de 114 mm. L'évaporation est suivie dans le temps par mesures quotidiennes de la hauteur de lixiviat restant dans les bacs. La température est enregistrée pendant toute la durée des essais. Nous avons utilisé en premier lieu deux bacs posés directement à la surface du sol. Le premier est ouvert à l'air libre et l'autre est recouvert d'une plaque de verre posée horizontalement. Puis nous avons utilisé deux autres bacs identiques aux premiers mais posés sur des pieds à une hauteur de 50 cm au-dessus du sol. Enfin un dernier bac identique aux autres a été utilisé, qui a été posé sur pieds à une hauteur de 50 cm du sol, recouvert d'un toit fait de deux pans inclinés de verre, et équipé d'un agitateur.

Les bacs sont posés soit directement sur le sol, soit sur des pieds à 50 cm du sol. Ils contiennent 80 L de lixiviat au début des essais (soit une profondeur initiale de l'ordre de 114 mm).

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Effet de la surélévation des bacs

Ces essais ont comparé l'évaporation entre le bac posé au sol et un autre bac de même qualité et de même dimension disposé à côté du premier sur des pieds à 50 cm du sol. Le seul facteur différenciant les deux essais est donc la surélévation. Les résultats sont illustrés par la Figure 3.

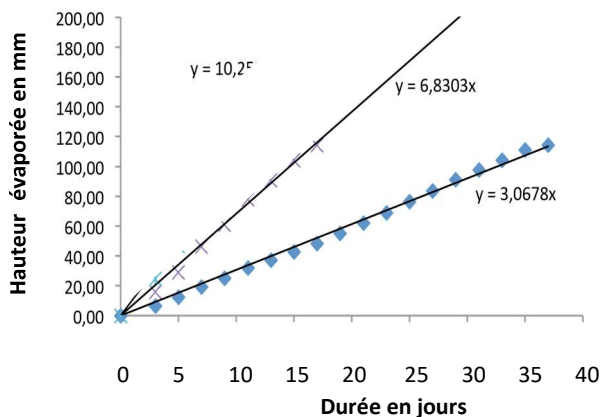


Figure 3. Evaporation des lixiviats en période estivale dans les bacs non couverts posés directement sur le sol (losanges bleus) ou surélevés de 50cm (carrés rouges)

On constate une évolution linéaire de l'évaporation dans les deux configurations comparées, sous une température moyenne de l'ordre de 42°C.

L'évaporation dans le bac surélevé s'avère plus rapide que celle observée dans le bac posé sur le sol (Fig. 3). Une hauteur de l'ordre de 110 mm de lixiviat est évaporée en 37 jours lorsque le bac est posé directement sur le sol contre moins de 20 jours dans le bac surélevé. Les deux essais ayant été faits en même temps avec les deux bacs proches l'un de l'autre, les conditions opératoires étaient identiques pour les deux essais. On peut donc penser que la surélévation favorise la circulation de l'air autour du bac et favorise ainsi l'extraction par convection de l'eau évaporée, accélérant ainsi le processus.

3.2 Effet d'une couverture vitrée horizontale

Les résultats obtenus, illustrés à la figure 4 indiquent que les plaques vitrées jouent un rôle important dans l'évaporation. Pour les bacs posés au sol, la vitesse moyenne d'évaporation passe de 3,06 mm/j sans couverture à 5,27 mm/j pour les bacs couverts d'une vitre horizontale, soit une augmentation de 72%. Lorsque les bacs sont surélevés à 50 cm au-dessus du sol, la vitesse d'évaporation passe de 3,67 mm/j (Fig. 3) à 6,83 mm/j (Fig. 4), soit une augmentation d'environ 86%. La vitre crée un écran favorable à l'élévation de

température par effet de serre à la surface du lixiviat à évaporer. La distance entre la vitre et la surface du bac d'évaporation favorise la ventilation de la surface du lixiviat et améliore ainsi le taux d'évaporation.

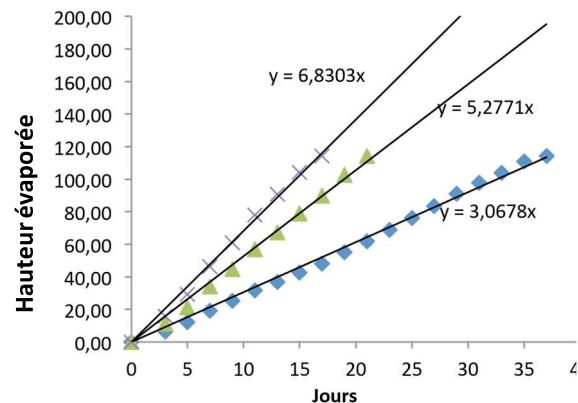


Figure 4 : Effet de la couverture des bacs par une vitre horizontale

Bacs surélevés avec vitre horizontale (x) ; bacs au sol avec vitre horizontale (triangles) et sans (losanges)

3.3 Effet d'une couverture vitrée inclinée avec agitation et ventilation

La Figure 5 montre que l'essai réalisé avec un toit vitré à deux pans inclinés permet d'atteindre une vitesse d'évaporation de 10,25 mm/j en bac surélevé avec agitation et ventilation. Cela correspond à une augmentation de près de 180 % et de 50% par rapport respectivement à l'essai en bac surélevé non couvert (3,67 mm/j) et couvert d'une vitre horizontale (6,83 mm/j). Ces observations montrent que l'inclinaison des plaques vitrées permet d'évacuer l'eau évaporée qui viendrait se condenser sur les vitres alors qu'elle peut retomber dans le bac si la vitre est posée horizontalement. Les vitres inclinées réfléchissent en outre moins de rayonnement incident que les vitres horizontales. La ventilation du ciel gazeux et l'agitation du lixiviat contribuent également à augmenter la vitesse d'évaporation.

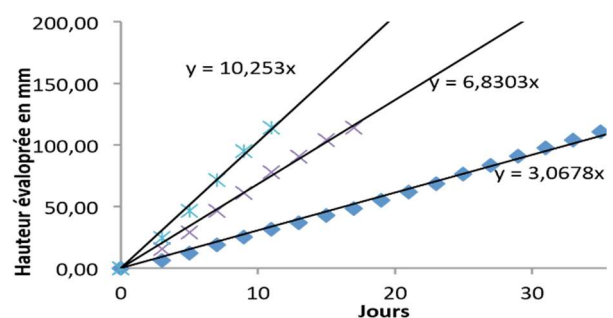


Figure 5 : Effet d'une couverture vitrée horizontale (croix noires) ou inclinée (croix bleues) par rapport à l'évaporation sans couverture vitrée (losanges) dans les bacs posés directement sur le sol

4. CONCLUSION

Les résultats présentés dans cette note technique montrent l'effet comparé de plusieurs facteurs d'influence de l'évaporation. En premier lieu on observe une augmentation de la vitesse d'évaporation lorsqu'un espace est maintenu entre le sol et la base des bacs. La pose des bacs sur pieds favorise probablement la circulation d'air autour des bacs et donc l'entraînement de l'air humide par convection. La pose d'une plaque vitrée en couverture des bacs avec un espacement suffisant pour permettre la circulation d'air au-dessus de la surface des lixiviats est également un mode opératoire qui accélère l'évaporation, probablement parce qu'elle entraîne par effet de serre un échauffement accru de la surface des lixiviats. Une vitre inclinée est préférable à une vitre horizontale pour éviter que l'eau qui se condense sur la vitre ne retombe dans le bac. Enfin, l'agitation des lixiviats évite la formation d'une couche de surface de type lipidique qui vient limiter l'évaporation après quelques jours sans agitation. L'agitation accélère en outre le transfert de chaleur et donc l'évaporation des lixiviats. La combinaison de ces facteurs (surélévation des bacs, couverture vitrée inclinée et agitation) permet de tripler la vitesse d'évaporation par rapport à un bac posé au sol sans couverture vitrée ni agitation.

Le traitement par évaporation est adapté au traitement des lixiviats de la ville de Kasba Tadla, Maroc, du fait des conditions climatiques très favorables, et présente des coûts d'investissement et d'exploitation très bas par rapport à d'autres techniques envisageables.

5 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Beylot A et Villeneuve J. (2013). A comparison of 110 French incinerators using a life cycle approach. *Waste Management*, **33**, 2781–2788.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.00>

Di Palma L, Ferrantelli P., Merli C and Petrucci E. (2002) Treatment of industrial landfill leachate by means of evaporation and reverse osmosis. *Waste Management*, **22**, 951–955. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(02\)00079-x](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(02)00079-x)

Ezequiel J., Ponce-Ortega J M., Betzabe J., Serna-Gonzalez Mand El-Halwagi M. (2013) Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste. *Waste Management*, **33**, 2607–2622.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.08.01>

Farah Naz A and Christopher Q. (2012) Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. *Desalination*, **287**, 41–54.

<https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.12.012>

Gourdon, R., Comel, C., Vermande, P. & Véron, J. (1989) Fractionation of the organic matter of a landfill leachate before and after aerobic or anaerobic biological treatment. *Water Research*, **23**, 167173.

Hancock, M.D. (2011) Indoor swimming pools and leisure centres a model to improve operational effectiveness and reduce environmental impact. CIBSE Technical Symposium, De Montfort University, Leicester, UK, <https://doi.org/10.3943/2011.0018>

Hwangl, Aoyama H, Matsuto T., Nakagishi T and Matsuo T. (2012) Recovery of solid fuel from municipal solid waste by hydrothermal treatment using subcritical water. *Waste Management*, **32**, 410–416. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.00>

Khattabi H., Aleya L et Mania J. (2002) Lagunage naturel de lixiviat de décharge. *Sciences de l'eau*, **15/1**, 411-419. <https://doi.org/10.7202/705462ar>

Kurniawan A T., Lo W and Chan G. (2006) Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, **129**, 80-100 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.01>

Le Coupannec F., Morin D et Peron J J. (1999) Fractionnement et caractérisation des lixiviats de centre d'enfouissement technique de déchets ménagers. Intérêt de la chromatographie liquide haute performance sur gel d'exclusion stérique *Sciences de l'eau*, **12/3**, 529-543, <https://doi.org/10.7202/705364ar>

Nameche T et Vassel J L. (1999) Bilan thermique sous climat tempéré des lagunes aérées et naturelles. *Sciences de l'eau*, **12/1**, 65-91, <https://doi.org/10.7202/705344ar>

Nasr A; Debbissi C; and Ben Nasrallah S. (2011) Evaporation of a binary liquid film by forced convection. *Thermal science*, **15**, 773-784, <https://doi.org/10.2298/tsci100427076n>

Schlumpf J P., Trebouet D., Quemeneur F., Malleriat J P et Jaouen P. (2001) Réduction de la DCO dure des lisiers de porc et lixiviats par nanofiltration. *Sciences de l'eau*, **14/2**, 147-155. <https://doi.org/10.7202/705414ar>

Tania F.C.V. S., M. Elisabete F. S., A. Cristina C., Amélia F., Isabel S., Sousa M.A., Goncalves C., Alpendurada M.F., Boaventura R and Vilar V. (2013) Multistage treatment system for raw leachate from sanitary landfill combining biological nitrification-denitrification/solar photo-Fenton/ biological processes, at a scale close to industrial, *Water research*, **47**, 6167-6186, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.036>

Vincon-Leite B., Mouchel J M et Tassin B. (2005) Modélisation de l'évolution thermique saisonnière du lac du Bourget (Savoie, France). *Sciences de l'eau*, **2**, 483-510. <https://doi.org/10.7202/705040ar>

Xu Y., Yue D., Zhu Y and Nie Y. (2006) Fractionation of dissolved organic matter in mature landfill leachate and its recycling by ultrafiltration and evaporation combined processes. *Chemosphere*, **64**, 903–911. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.01.039>

Yamasaki A., Tyaci R. K., Fouda A and Matsuura T. (1996) Effect of Evaporation Time on the Pervaporation Characteristics through Homogeneous Aromatic Polyamide Membranes. II. Pervaporation Performances for Ethanol/Water Mixture. *Journal of Applied Polymer Science*, **60**, 743-748, [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4628\(19960502\)60:5%3C743::aid-app13%3E3.0.co;2-#](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4628(19960502)60:5%3C743::aid-app13%3E3.0.co;2-#)

Yan W.M. (1993) Binary diffusion and heat transfer in mixed convection pipe flows with film evaporation. *Int. J. Heat Mass Transfer*, **36**, 2115-2123. [https://doi.org/10.1016/s0017-9310\(05\)80142-5](https://doi.org/10.1016/s0017-9310(05)80142-5)

Zhang J and Ramanathan V. (1995) Convection-Evaporation Feedback in the Equatorial Pacific, *Journal of Climate*, **8**, 3040-3051, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1995\)008%3C3040:cefite%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1995)008%3C3040:cefite%3E2.0.co;2)