



Modélisation du séchage solaire des boues résiduaires urbaines :

vers un outil modulaire de dimensionnement et d'aide à l'exploitation des systèmes industriels

Alain PETITJEAN

Christian BECK

Julien LAURENT

Robert MOSE

Antoine SADOWSKI

Institut de Mécanique des Fluides et
des Solides de Strasbourg
UdS/CNRS/ENGEEES/INSA

2, rue Boussingault 67 000 STRASBOURG
France



1



Le séchage solaire des boues

Boues urbaines <50 000 EH

Boues sortie déshydratation primaire : siccité de 20 %

Cycle annuel

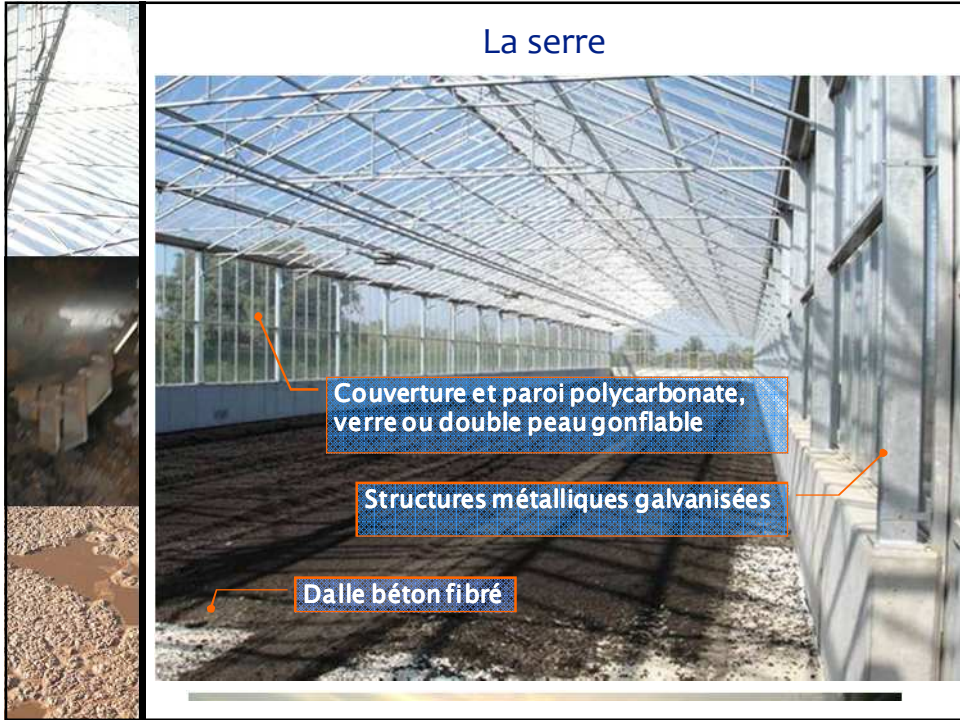
Siccité finale > 70 %

Relativement économe en énergie et en main d'œuvre

Dimensionnement relativement empirique



2







Le séchage solaire des boues

Dimensionnement relativement empirique et parfois aléatoire des procédés industriels

- Vers un outil de **dimensionnement mécaniste**

Connaissance insuffisante de l'impact des paramètres liés à l'exploitation

- Nécessité d'un modèle permettant de tester les principes d'exploitation des systèmes industriels: vers un **outil de diagnostic**



1. Caractérisation des boues

2. Modèle de séchage

3. Application à un cas réel

Plan

8



Caractérisation des boues

Les caractéristiques physiques et thermiques des boues dépendent des eaux traitées et du système de traitement

Nécessité de caractériser les boues pour l'étude de leur séchage

Paramètres à caractériser :

- Capacité calorifique en fonction de la température :

Caractérise le comportement énergétique de la boue

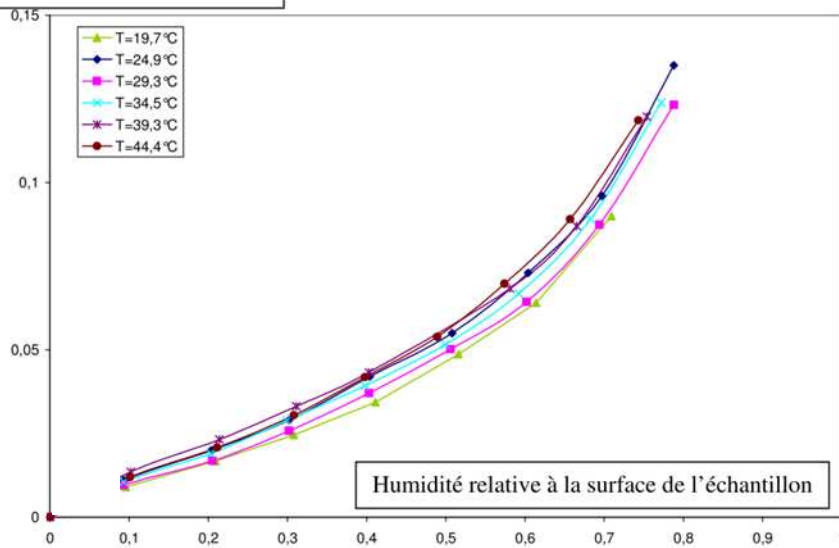
- Isothermes de désorption en fonction de la température

Donnent la teneur en eau de la boue à l'équilibre pour une température et une humidité de l'air fixées

Dépendent du prétraitement subi par la boue

Isothermes de désorption

Teneur en eau à l'équilibre



Humidité relative à la surface de l'échantillon



2. Modèle physique de séchage

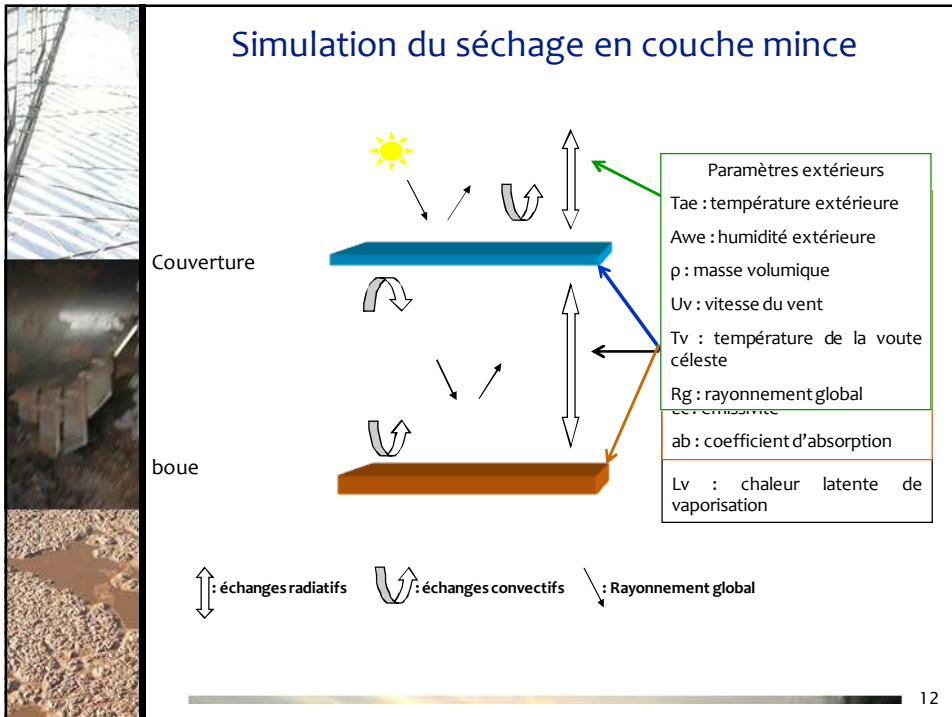
Séchage en couche mince et validation

Adaptation à SOLIA

3. Résultats

Plan

11



12



Simulation du séchage en couche mince

Mise en équation :

- Bilan de masse sur la boue (-> Xb)
- Bilan de masse sur l'air intérieur (-> Awi)
- Bilans énergétiques sur la couverture, la boue, et l'air intérieur (-> Tc, Tb, Tai)

Courbe paramétrique de calage du code, à déterminer expérimentalement :

- Courbe caractéristique de séchage

$$\frac{dX}{dt} = f(X)$$

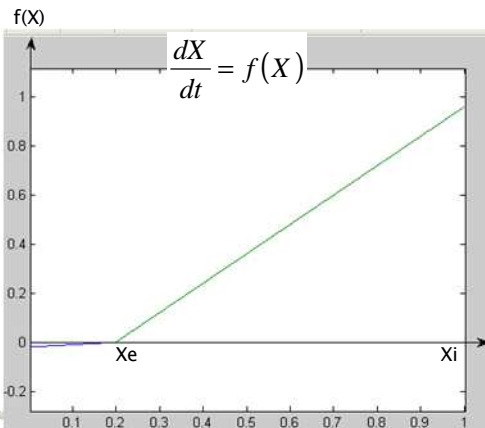


Simulation du séchage en couche mince

Courbe caractéristique de séchage :

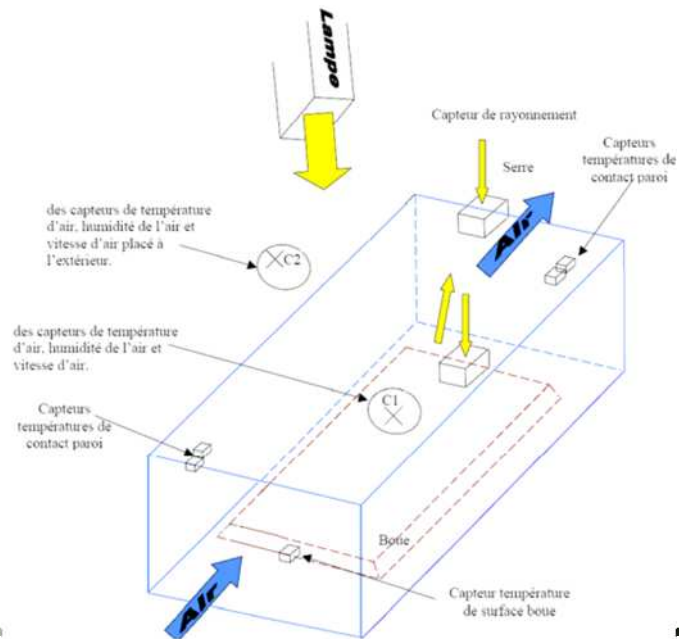
- Dépend des caractéristiques de la boues (Xe, teneur en eau à l'équilibre),
- et des conditions de séchage (effet de serre, Awi, et Tai).

DETERMINATION EXPERIMENTALE

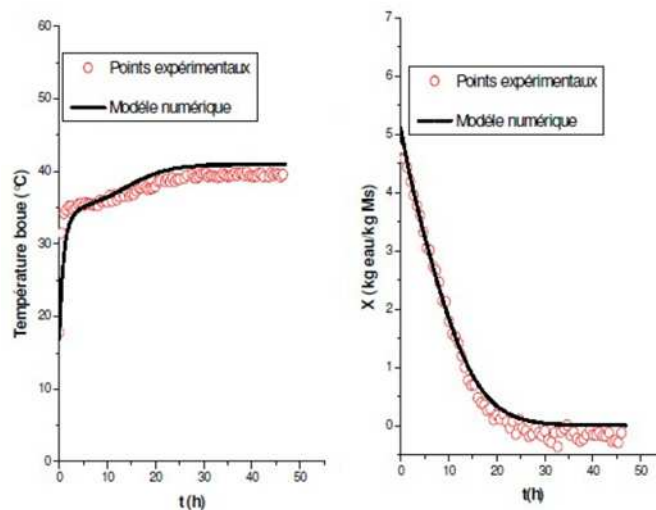




Validation du code en couche mince : dispositif



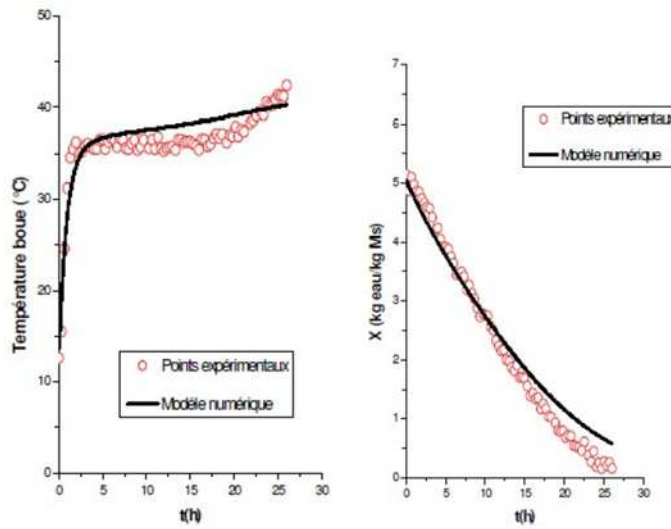
Validation du code en couche mince



Comparaison des valeurs simulées et expérimentales ($T_{ae} = 310,7 \text{ K}$; $a_{wi} = 32,9\%$; vitesse de l'air = $1,4 \text{ m.s}^{-1}$; $R_g \text{ nul}$)



Validation du code en couche mince



Comparaison des valeurs simulées et expérimentales ($T_{ae} = 311,8 \text{ K}$; $a_{wi} = 64,2\%$; vitesse de l'air = $1,4 \text{ m.s}^{-1}$; $R_g = 315 \text{ W.m}^{-2}$)



Adaptation au procédé SOLIA

Hypothèses:

- La totalité des phénomènes liés au séchage s'effectue sur la couche mince supérieure de l'andain,
- Les phénomènes de conduction thermique, et de capillarité sont négligés.

Code en couche mince:



Code adapté au procédé Solia:



Coupe d'andain

Retournement = homogénéisation des paramètres physiques de l'andain (T_b, X_b)



Adaptation au procédé SOLIA

Adaptation à la forme andain = modification de la surface de convection et d'exposition aux rayonnements

Hypothèse:

La forme andain ne modifie pas le profil de vitesse de l'air en surface.

Alimentation = modification de la masse initiale

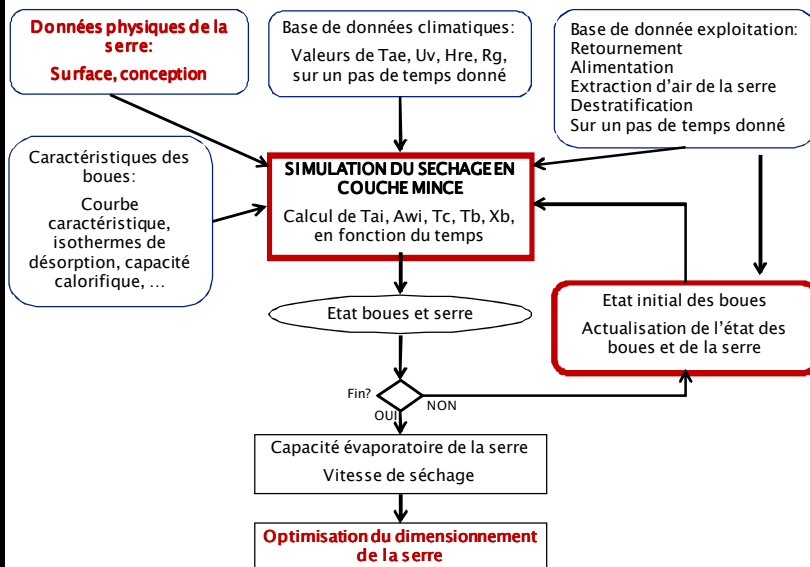
Hypothèse:

Le retournement consécutif à l'alimentation permet une homogénéisation parfaite de la structure de l'andain et de ses paramètres physiques

19



Validation du code en couche mince



20



3. Résultats

Plan

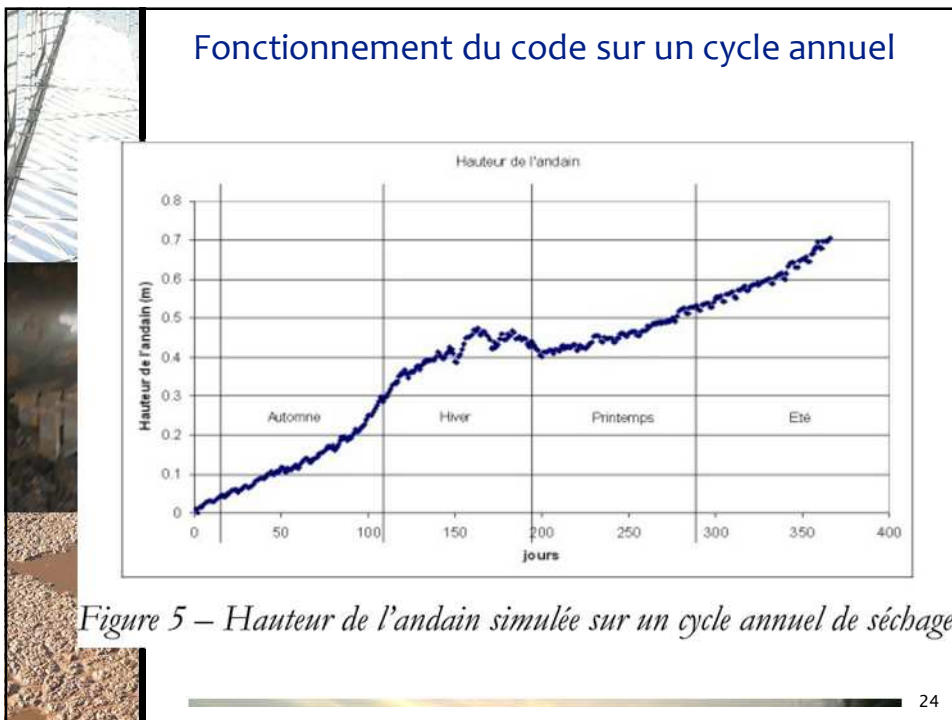
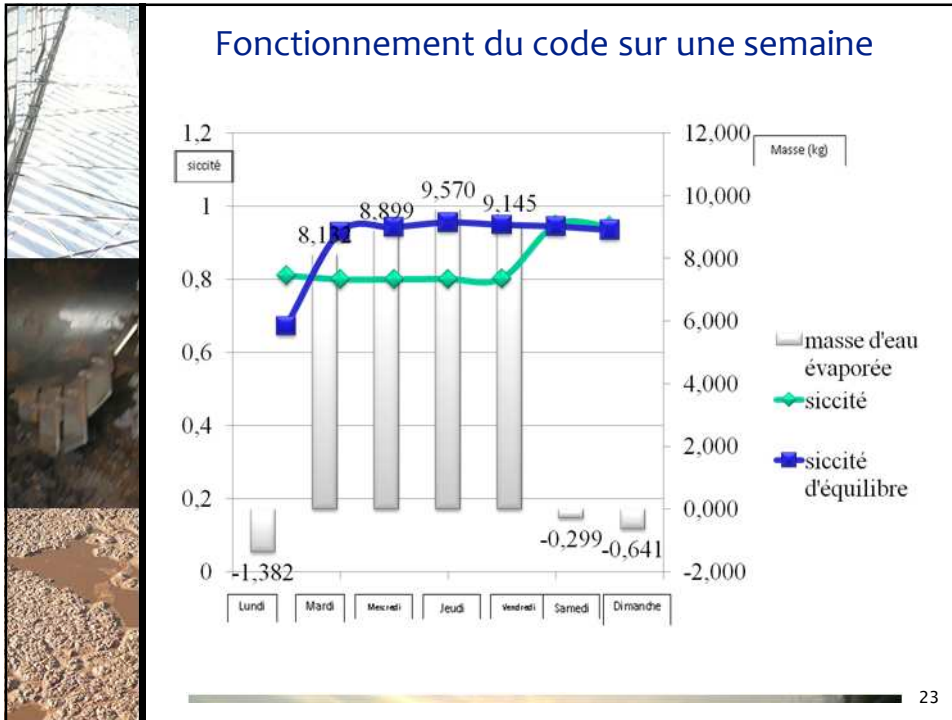
21



Cas test simulé

Fonctionnement nominal d'un système SOLIA réel :

- Serre dimensionnée pour 9000 EH,
- Caractérisation des boues en sortie de centrifugeuse : C_p , et isothermes de désorption,
- Obtention sur site de la courbe caractéristique de séchage,
- Données climatiques extérieures annuelles issues de Météo-France,
- 1 retournement et une alimentation par jour ouvrable.



Fonctionnement du code sur un cycle annuel

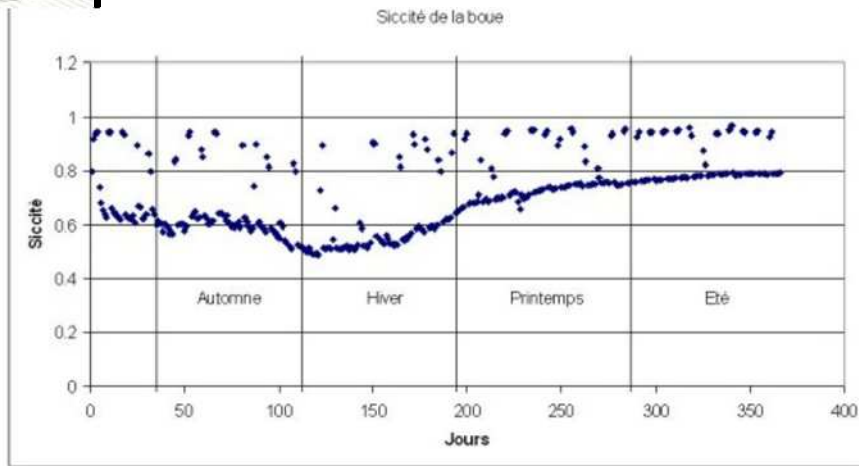


Figure 6 – Siccité simulée de l'andain sur un cycle annuel de séchage

25

Influence de paramètres de conception

Première hypothèse:

Pas d'alimentation ni de retournement le week-end

Deuxième cas:

1 retournement supplémentaire le samedi et le dimanche

**Gain de 20 % de la
capacité évaporatoire**

Réduction de la hauteur de la serre (de 4 m à 2 m):

**Gain de 6 % de la
capacité évaporatoire**

26



Présentation d'un outil de simulation de procédés industriel de séchage solaire

Résultats dans le cas de SOLIA

Protocole d'adaptation généralisé de l'outil :

Caractérisation des boues :

- Capacité calorifique en fonction de la température (*en laboratoire*),
- Isothermes de désorption (*en laboratoire*),
- Courbe caractéristique de séchage (*sur site*),
- Densité apparente en fonction de la siccité.

Adaptation logicielle au procédé

Perspectives de recherche :

Affiner la notion de courbe caractéristique de séchage : **non linéaire**, fonction des **saisons**, prenant en compte la **sorption**

Impact de la **rhéologie** (liée au prétraitement) sur les caractéristiques de séchage

Conclusions

27

