

Stockage d'énergie thermo-chimique dans un matériau cimentaire

Noé BEAUPERE, Alexandre MALLEY-ERNEWEIN, Kristine HJORTH-JOHANSEN
GULBRANDSEN, Tamar NAHHAS, Stéphane GINESTET, Gabriel SAMSON, Martin CYR

Journées Nationales de l'Énergie Solaire
Odeillo - 25 - 27 Août 2021

7ème édition

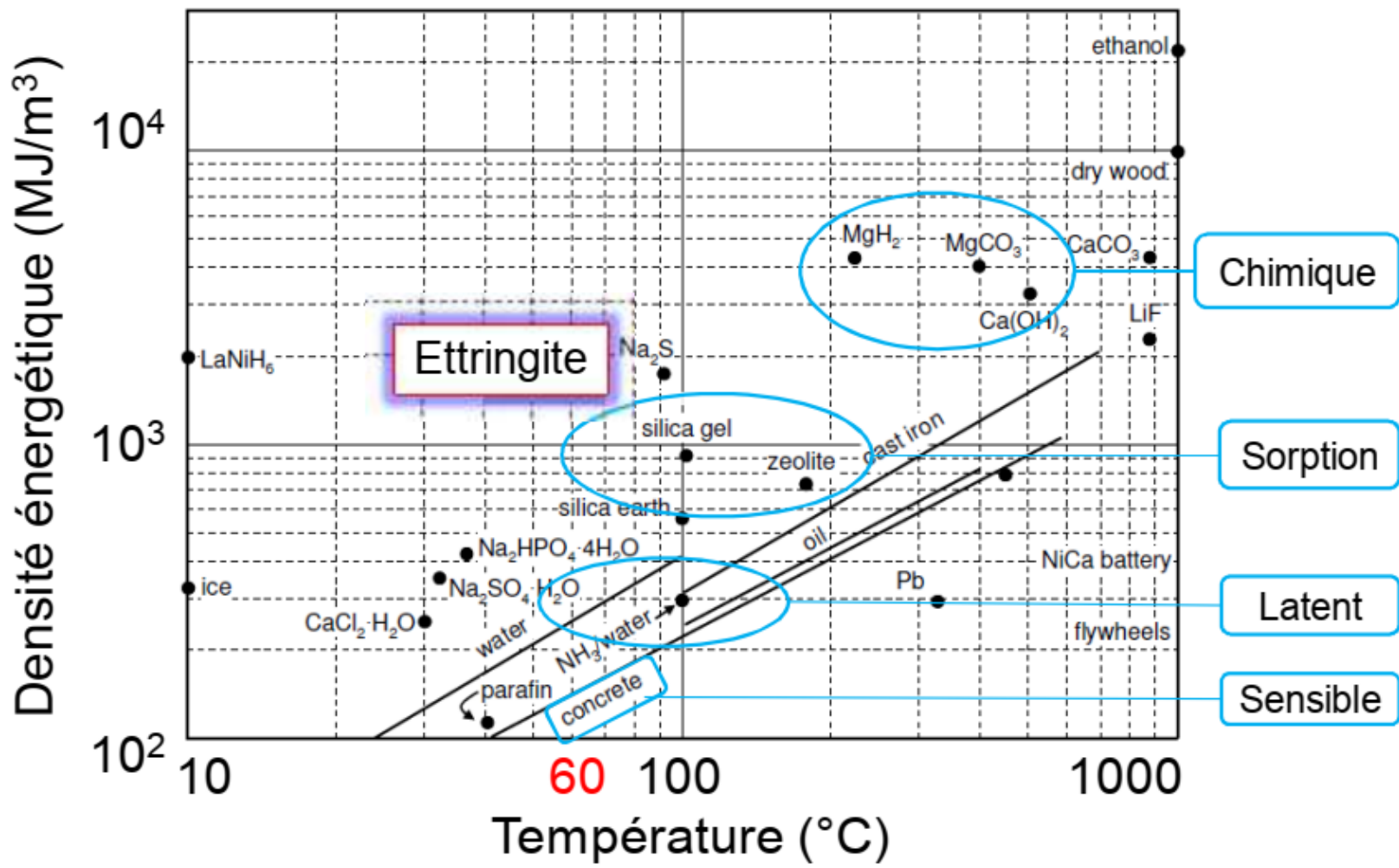


La Région
Occitanie
Pyrénées - Méditerranée



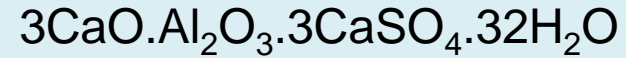
PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

Contexte

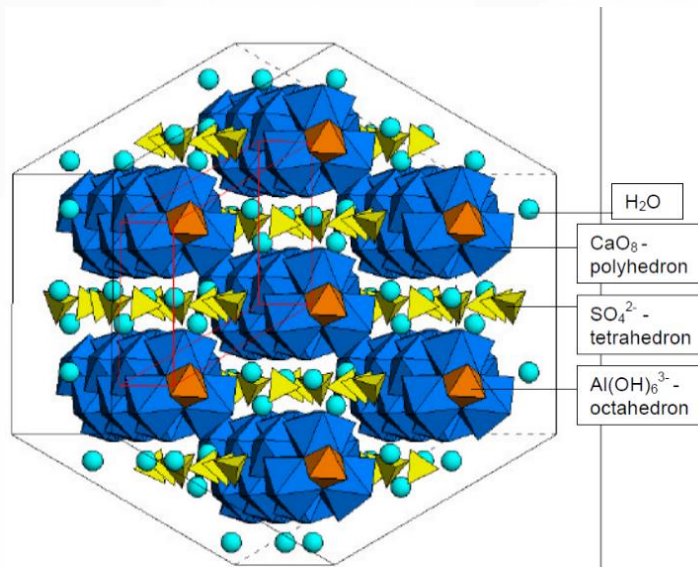


an Berkel, J. 2000. « Solar thermal storage techniques ». Research commissioned by The Netherlands Agency for Energy and the Environment NOVEM, project # 143.620-935.8.

Qu'est-ce que l'ettringite ?



trisulfoaluminate de calcium hydraté



Structure moléculaire de l'ettringite
(Stark et al. 1998)

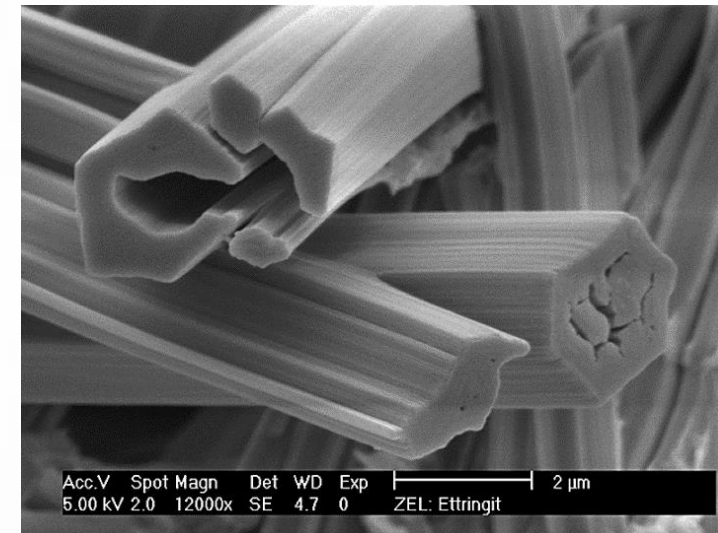
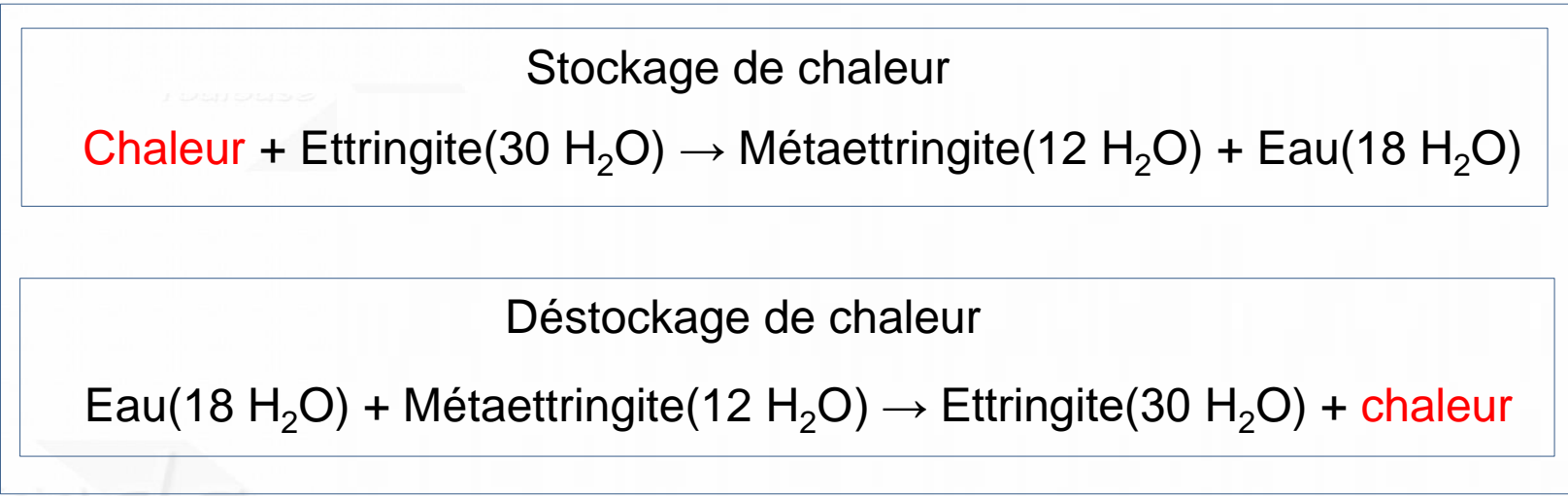
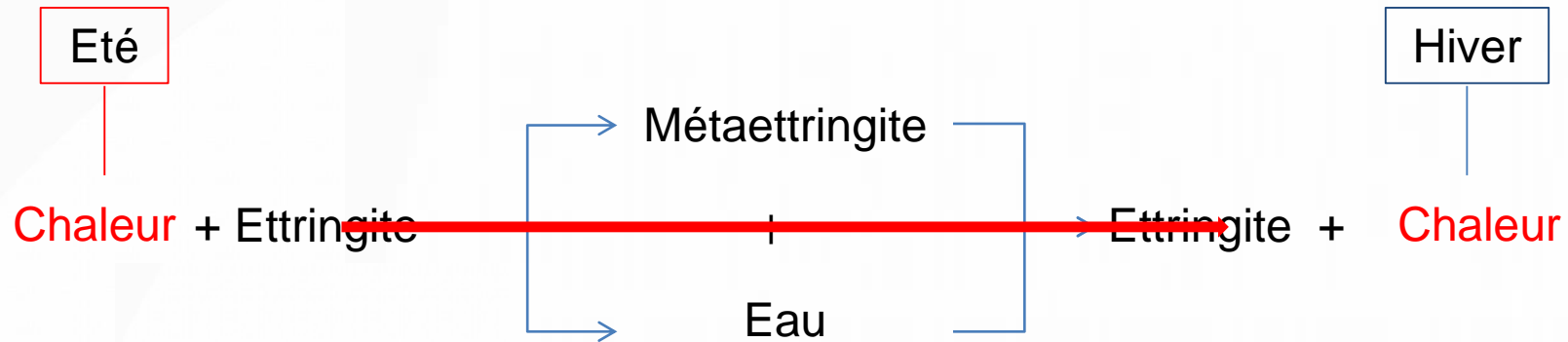


Image au microscope électronique à balayage
d'aiguilles d'ettringite de forme hexagonales

Quel est le mécanisme de stockage ?

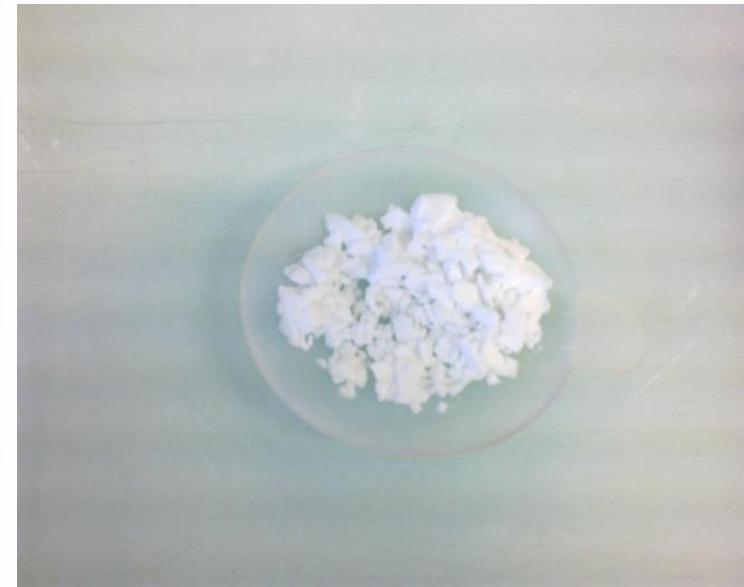


Comment synthétiser de l'ettringite ?

Dispositif de production d'ettringite (à gauche) et aperçu du matériau produit (à droite)

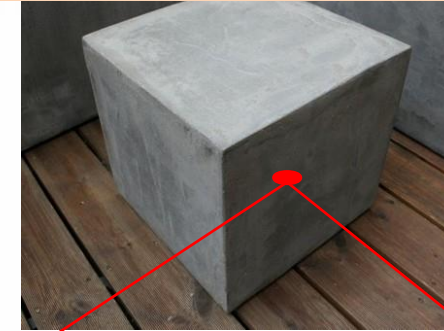
Montage expérimental, sous azote,
pour produire de l'ettringite pure

(Kchakech, 2012)



Comment synthétiser de l'ettringite ?

Ciment sulfoalumineux



Pâte de ciment durcie

Cahier des charges du matériau

Forte teneur en AFt	68% d'AFt	✓
Résistance mécanique	32 MPa	✓
Perméabilité	$3,6 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$	✗



Faible accessibilité des molécules d'eau aux molécules d'ettringite

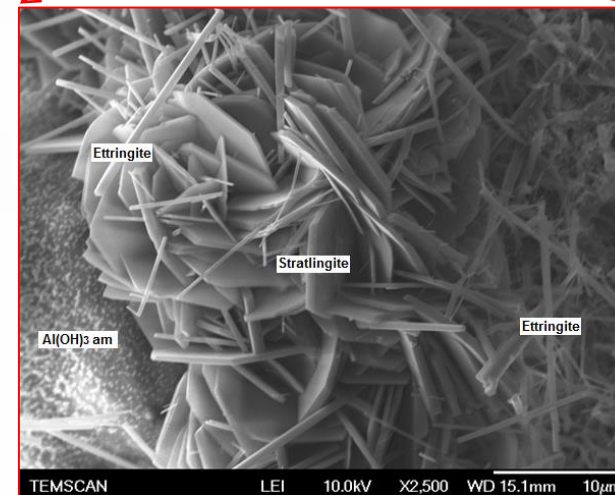
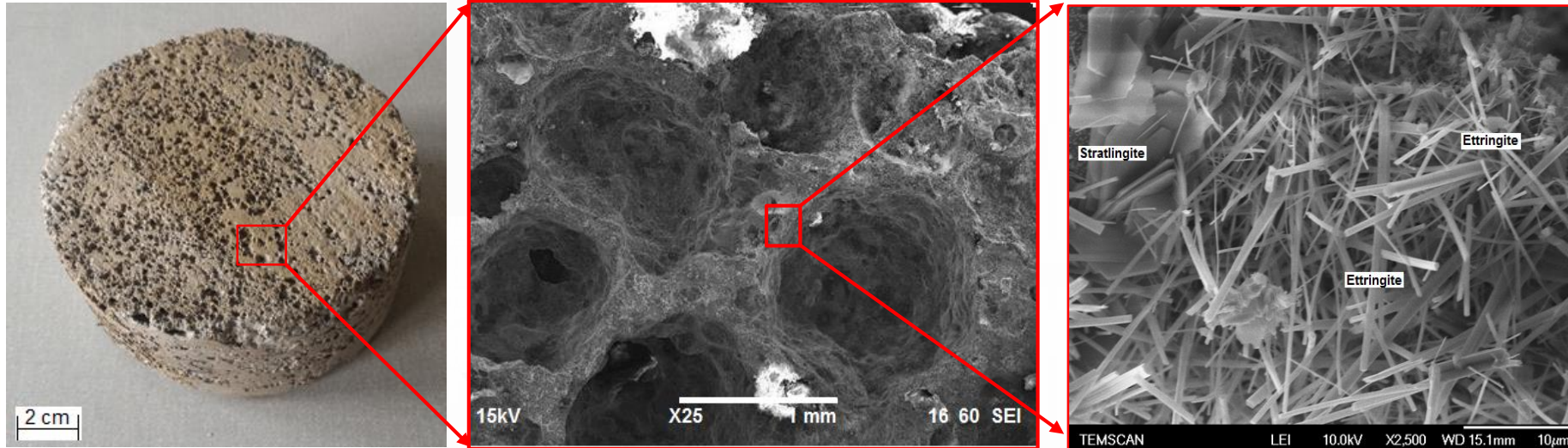


Image MEB de la pâte CSA

Comment améliorer l'accessibilité aux molécules d'ettringite ?

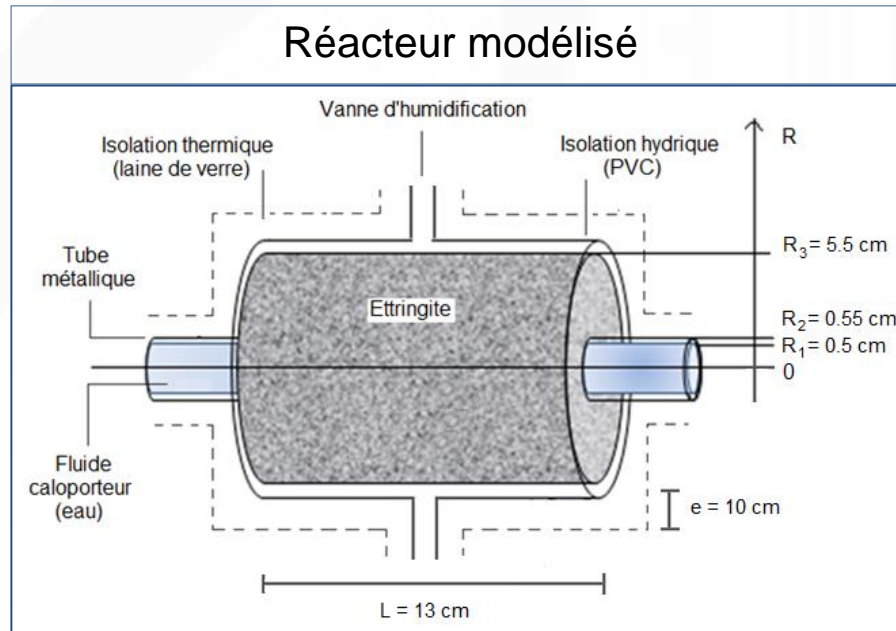


Résistance
mécanique ≥ 2 MPa
↓
Capacité auto-
portante

Porosité et perméabilité
élevées
↓
Accessibilité molécules eau-
ettringite

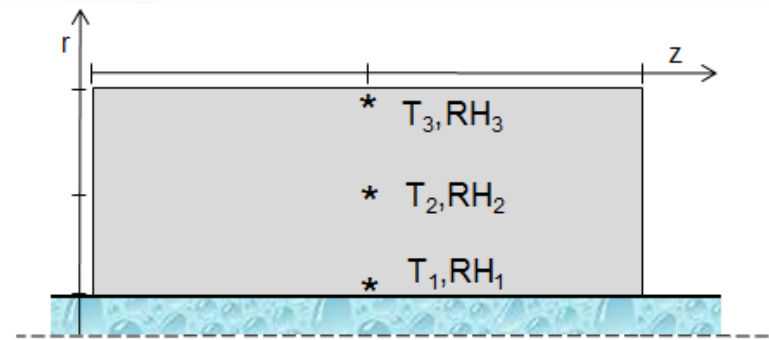
Forte teneur en ettringite
↓
Forte capacité de
stockage

Premier prototype / échelle paillasse

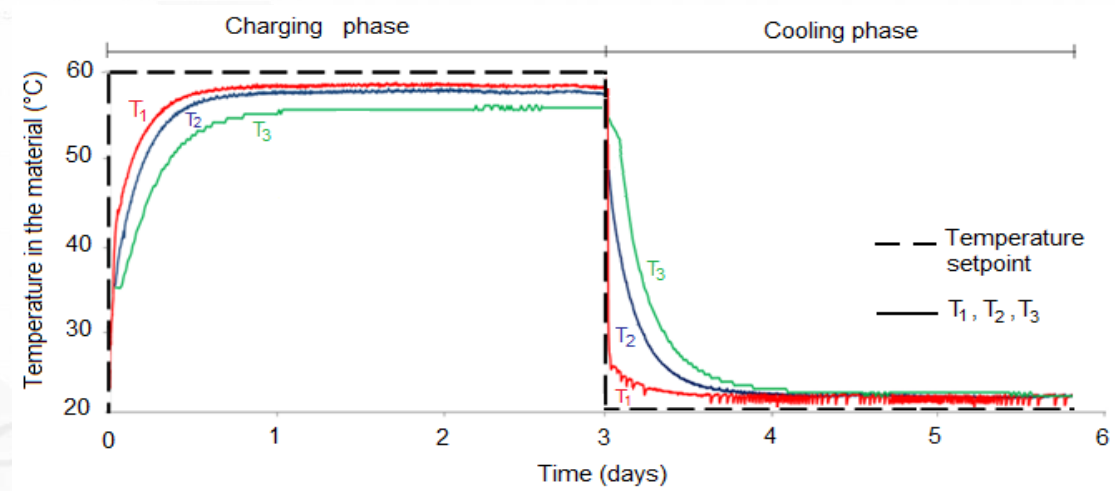


(Ndiaye, 2016)

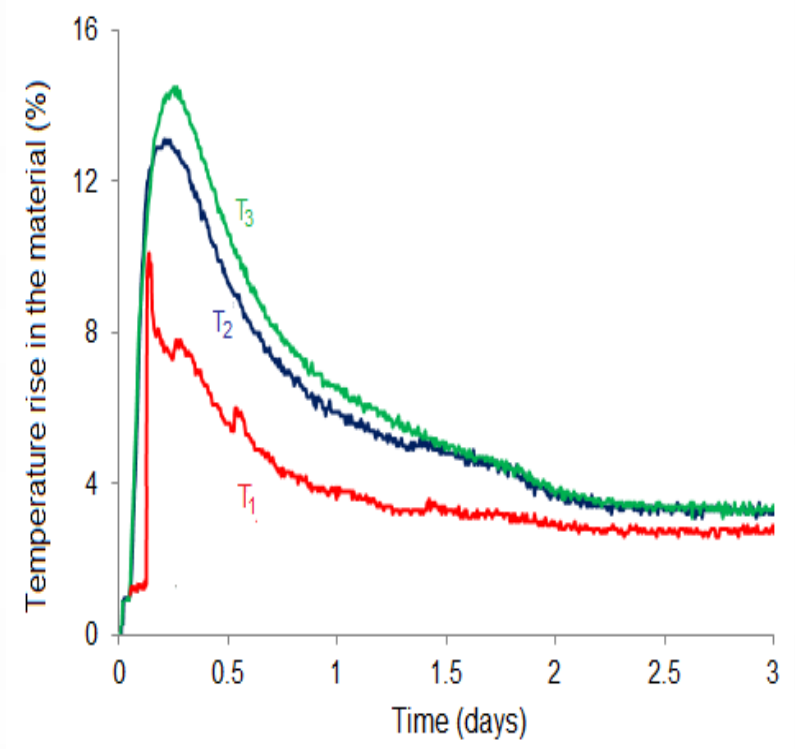
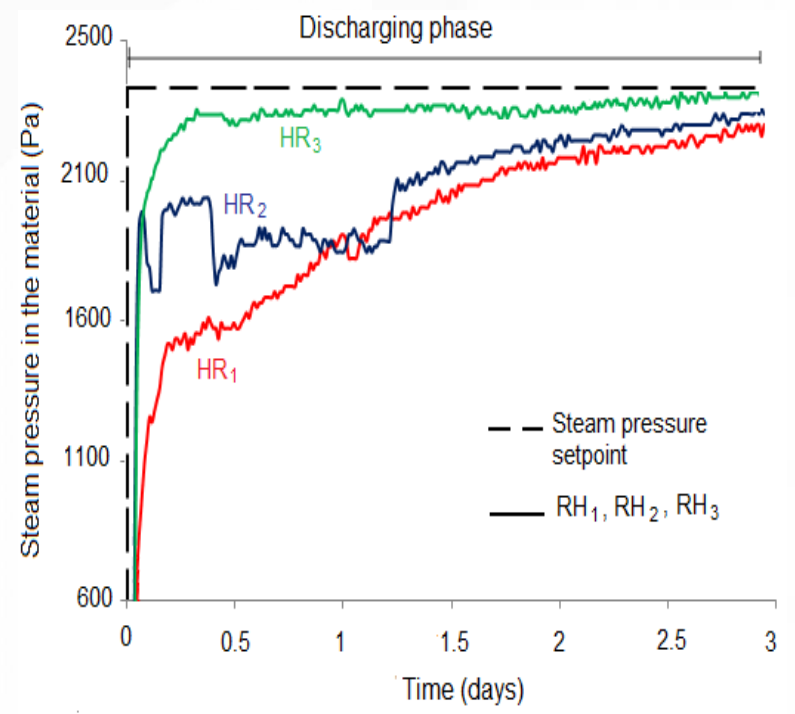
Premier prototype / échelle paillasse



(Ndiaye, 2016)



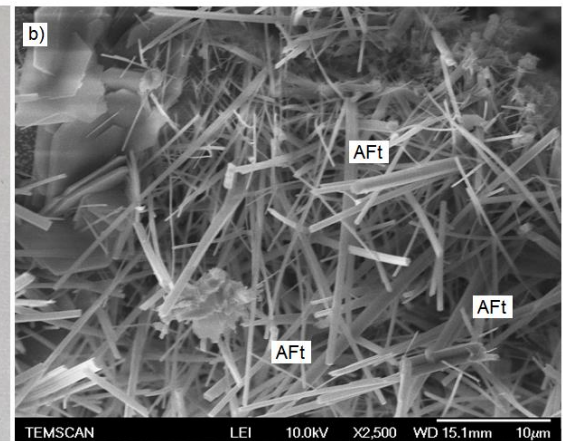
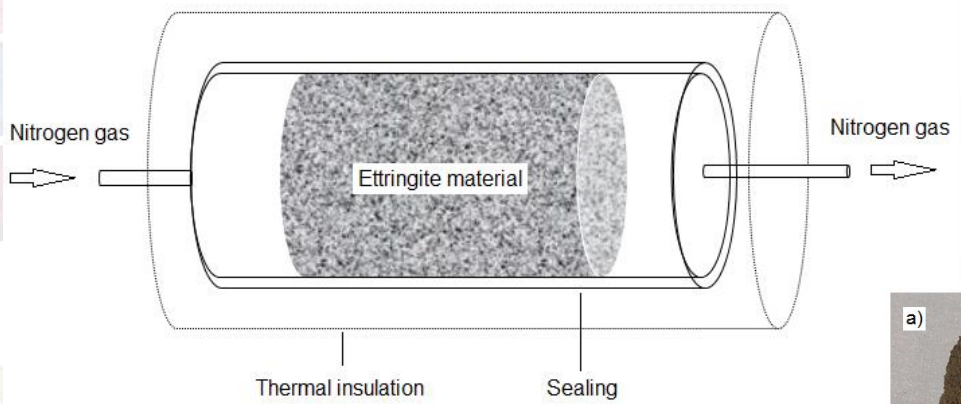
Premier prototype / échelle paillasse



Premier prototype / échelle paillasse

- accord global expérience – modèle
- stockage 61 kWh/m³
- rendement de stockage 44%

Second prototype / échelle paillasse



Second prototype / échelle paillasse

	Phase de chargement	Phase de déchargement
Puissance crête	48 W	9.3 W
Energie	165 kWh/m ³	117 kWh/m ³
Rendement	71 %	



Conclusion prototypes / échelle paillasse

- réversibilité du processus de stockage prouvée
- carbonatation de l'ettringite en présence de CO₂
- prédiction des conditions de fonctionnement du réacteur thermochimique
- premières données sur les performances énergétiques
- preuve de concept du principe

Premier prototype

- accord global expérience – modèle
- stockage 61 kWh/m³
- rendement de stockage 44%

Prototype amélioré

- stockage 117 kWh/m³
- rendement de stockage 71%

Prototype en cours d'exploitation / échelle semi-industrielle

Projet PROTEuS

PROTOTYPE Energy Storage



TOULOUSE
TECH
TRANSFER



PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

Prototype en cours d'exploitation / échelle semi-industrielle



Génération d'azote



Chauffage



Humidification

ou



Réaction



Prototype en cours d'exploitation / échelle semi-industrielle

Matériau concassé



1. Coulage



2. Démoulage



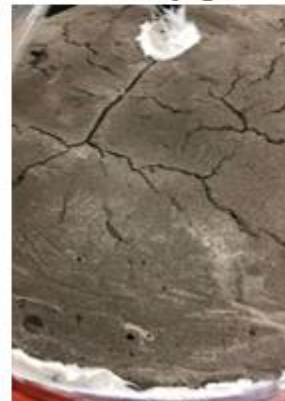
3. Sciage
3. Résinage



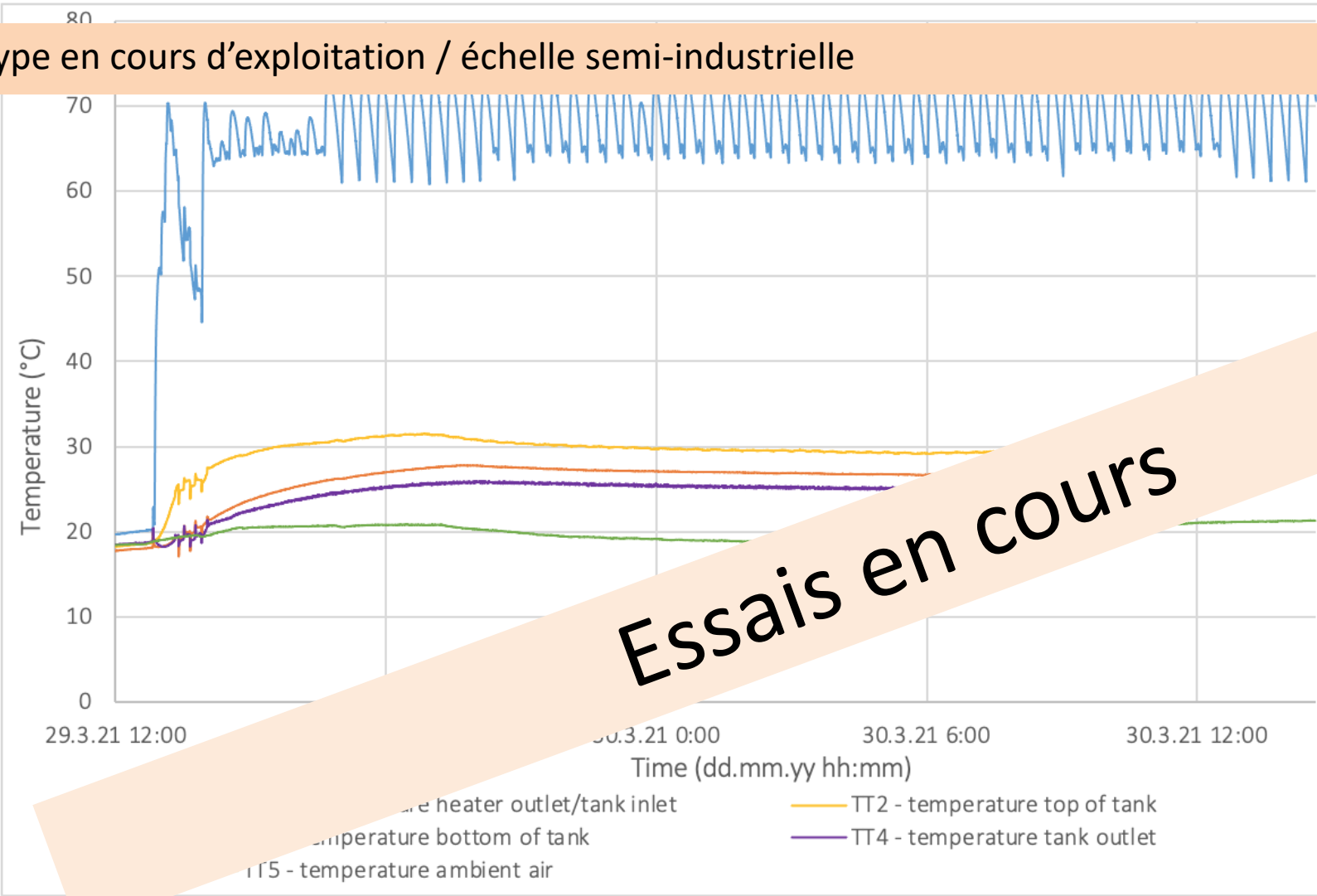
4. Concassage
4. Ponçage



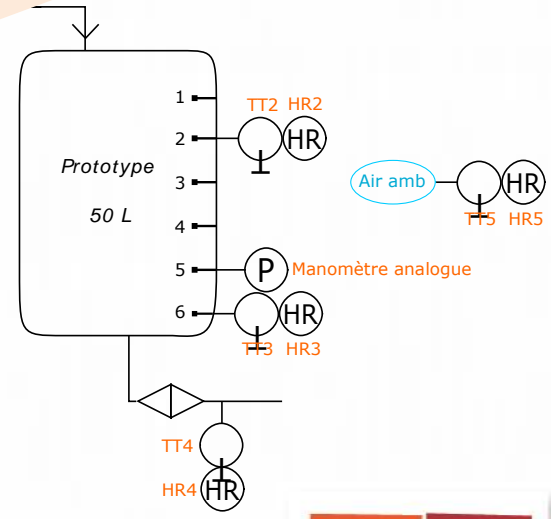
Matériau monolithe



Prototype en cours d'exploitation / échelle semi-industrielle



Débit	10 m ³ /h
Pression	7.8 bars
T entrée	C



Perspectives

Optimisation du matériau (composition, accès à l'ettringite, monolithe vs granulats)

Exploration des plages de fonctionnement (large gamme de températures, humidités, pressions, débits)

Apports à la modélisation et à la simulation

Analyse énergétique du système complet

Références

Kchakech 2012. « Etude du stockage d'énergie basse température par l'ettringite », Mémoire de stage, Master 2 Recherche Génie Civil, Structures et Matériaux, INSA-UPS, 80 p

Ndiaye K, 2016. « Etude numérique et expérimentale du stockage d'énergie par les matériaux cimentaires », PhD Thesis, Université Paul Sabatier Toulouse

Stark J., Bollmann K. 1998. « Delayed ettringite formation in concrete ». Bauhaus-university Weimar/Germany, 25 p

Van Berkel, J. 2000. « Solar thermal storage techniques ». Research commissioned by The Netherlands Agency for Energy and the Environment NOVEM, project # 143.620-935.8.

Stockage d'énergie thermo-chimique dans un matériau cimentaire

Merci pour votre attention

Contacts:

Laboratoire LMDC

Stéphane GINESTET

stephane.ginestet@insa-toulouse.fr

Développement industriel

Katia BESNARD

besnard@toulouse-tech-transfer.com



La Région
Occitanie
Pyrénées - Méditerranée



PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

LMDC