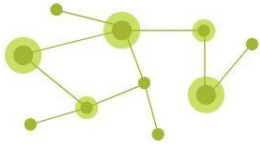


ÉNERGIE
ÉLECTRIQUE 4.0



Maîtrise Energétique des Entraînements Electriques

COMITE DE SUIVI EE4.0-MEDEE

Projet CALIX
10 avril 2026



Données du projet

Nom du projet : Diagnostic des limites de performances de batteries à matériaux d'insertion

Projet CALIX CALorimétrie pour matériaux d'insertion à Ions X

Nom du porteur : Christophe Forgez (PR)

Equipe : Khadija El Kadri Benkara (IR), Joanna Kozma (post doc), Elissa Abou Halka (stagiaire SFRI)

Laboratoires GE : Roberval

Subventions : 2024 : 182 000€ (CALIX)

Etat de l'art

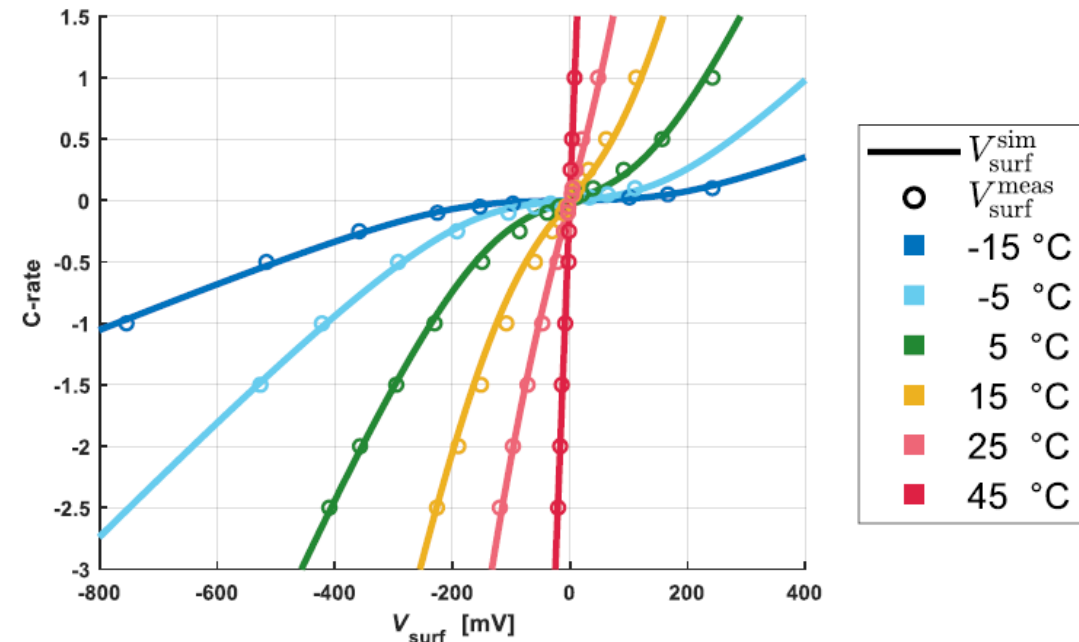
Détermination des limites de performances des batteries à matériaux d'insertion

- Limite de la dynamique d'insertion (Loi de Butler Volmer)
Couplée en $T^{\circ}\text{C}$ et SOC

- Limite en température

=> hautes températures : accélération des mécanismes de vieillissement + risque d'emballement thermique (incendie)

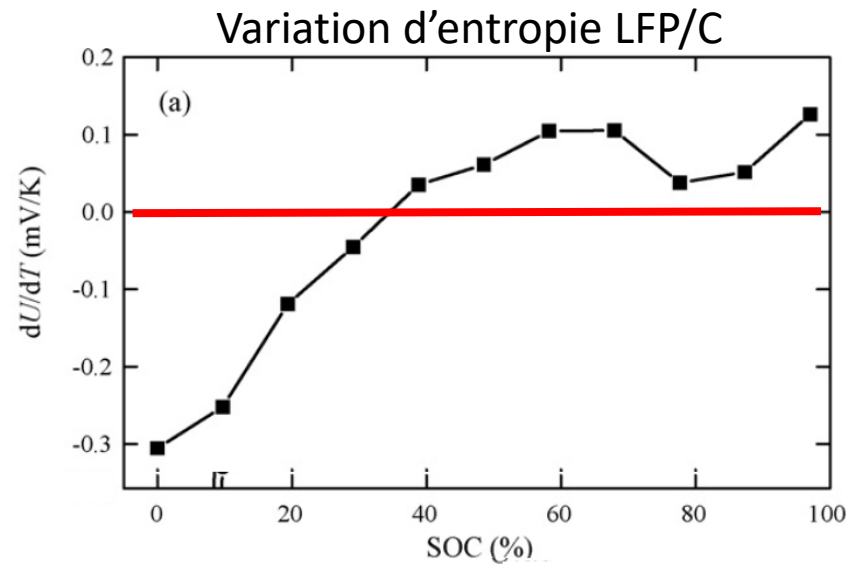
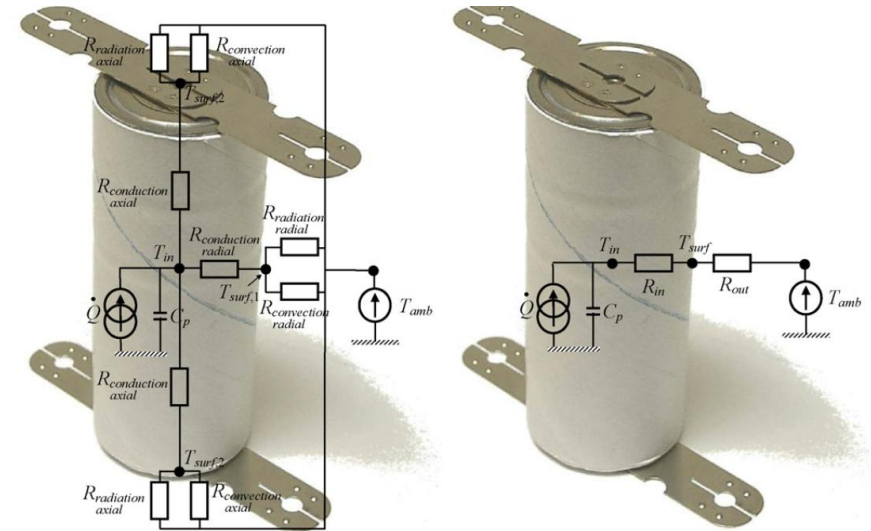
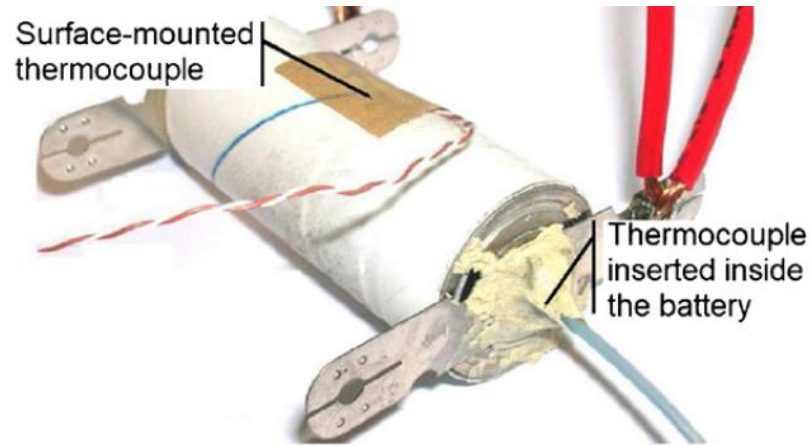
=> basses températures : risque de plating



Nécessité d'obtenir la température interne

Mesure directe de la température interne

Travaux initiés à l'UTC en 2010

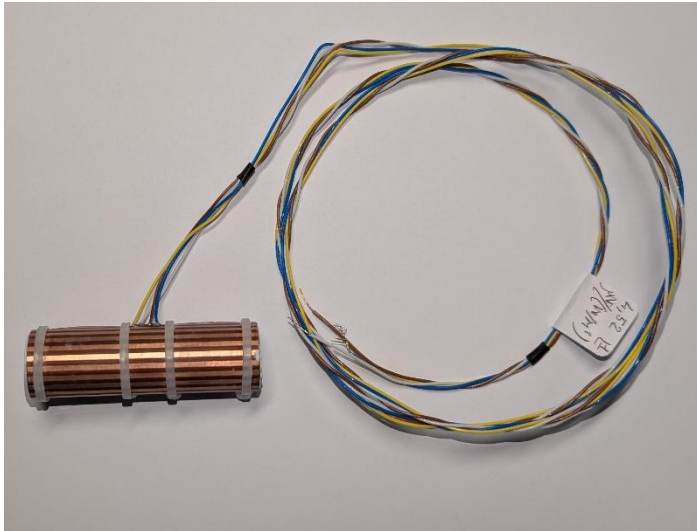


$$\dot{Q} = I(V - U^{avg}) + IT \frac{\partial U^{avg}}{\partial T}$$

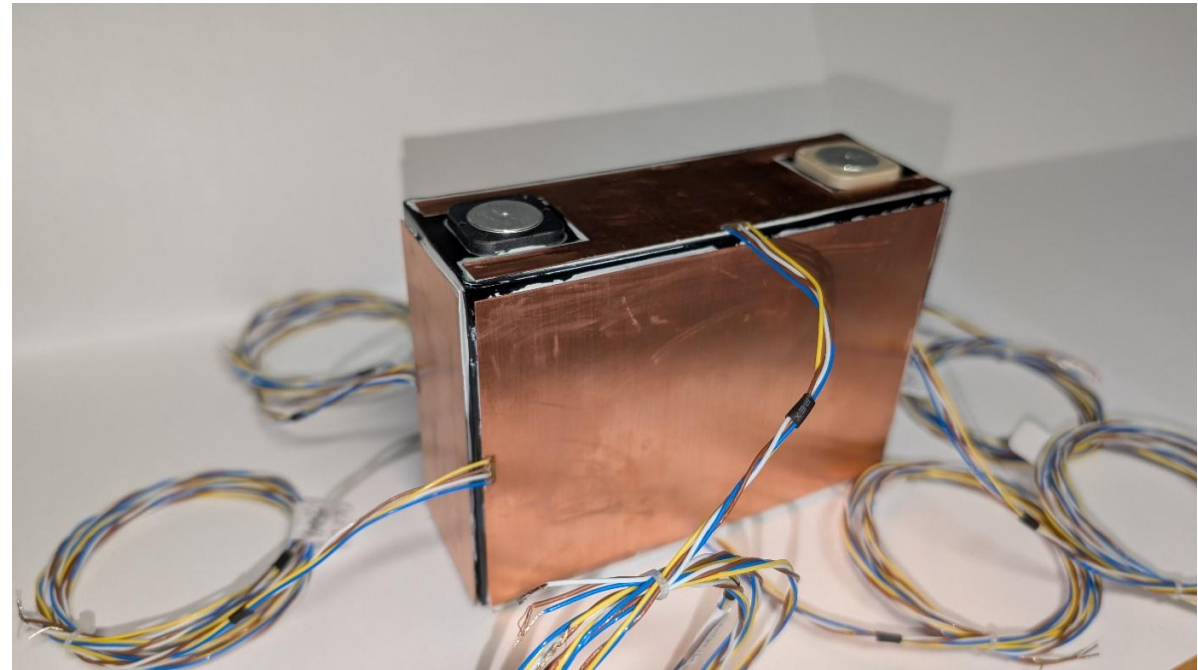
chaleur générée chaleur Irréversible chaleur réversible



Mesure de flux de chaleur avec fluxmètres



Cellule 1Ah Sodium ion TIAMAT



Cellule 35Ah Sodium ion TIAMAT

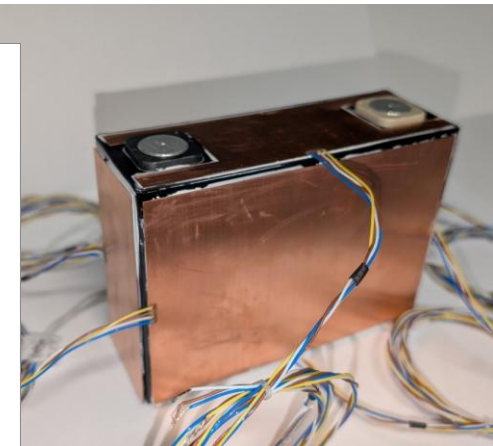
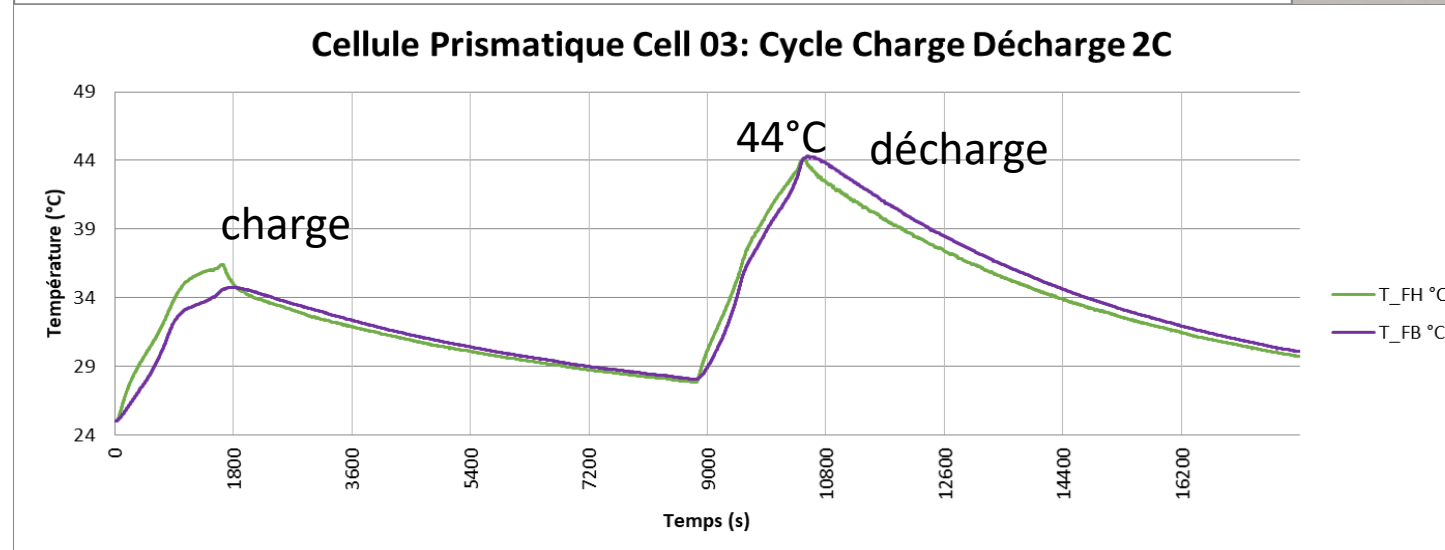
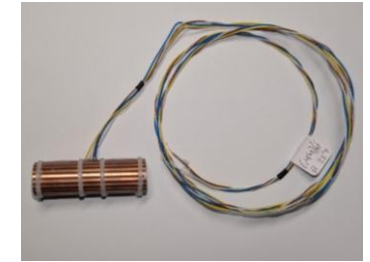
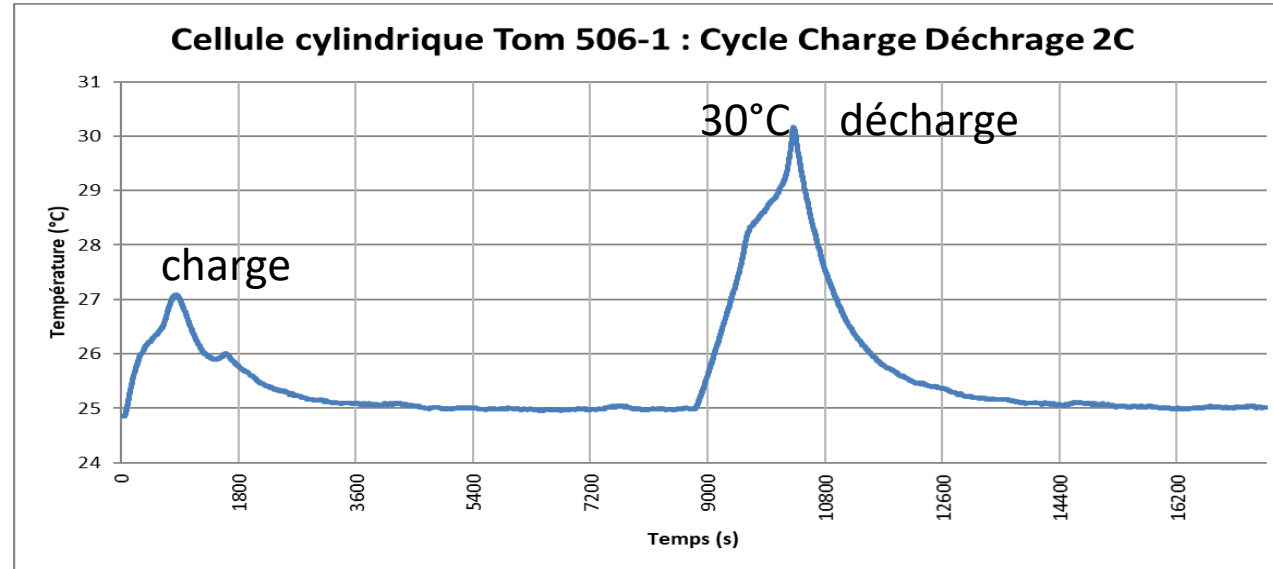
Mesure directe des flux thermiques échangés

$$\dot{Q} = I(V - U^{\text{avg}}) + IT \frac{\partial U^{\text{avg}}}{\partial T}$$

Mesure de température avec fluxmètres

Essai charge et décharge à 2C

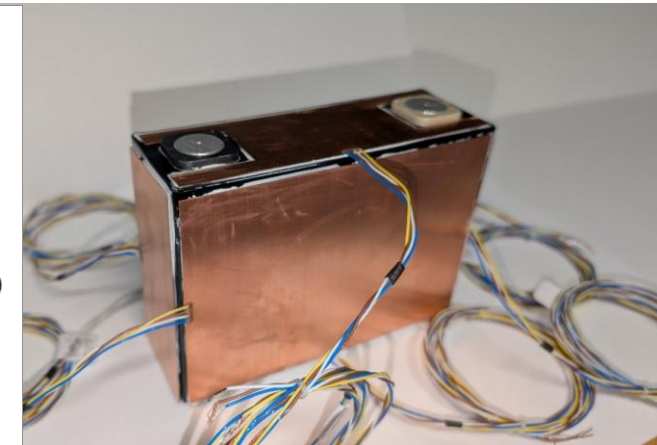
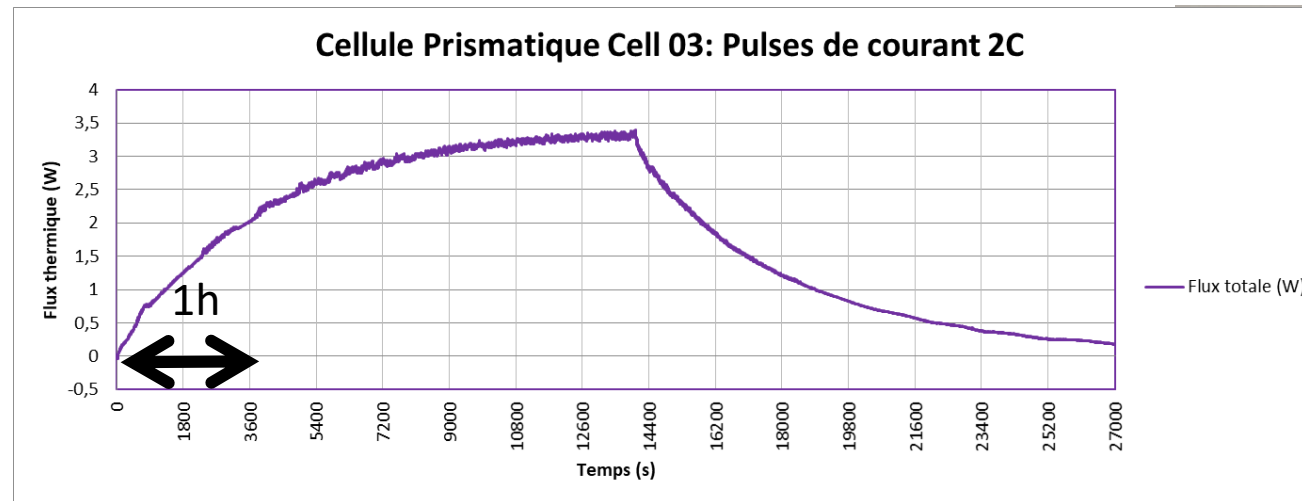
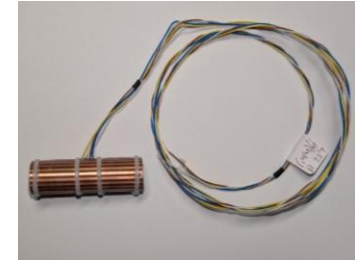
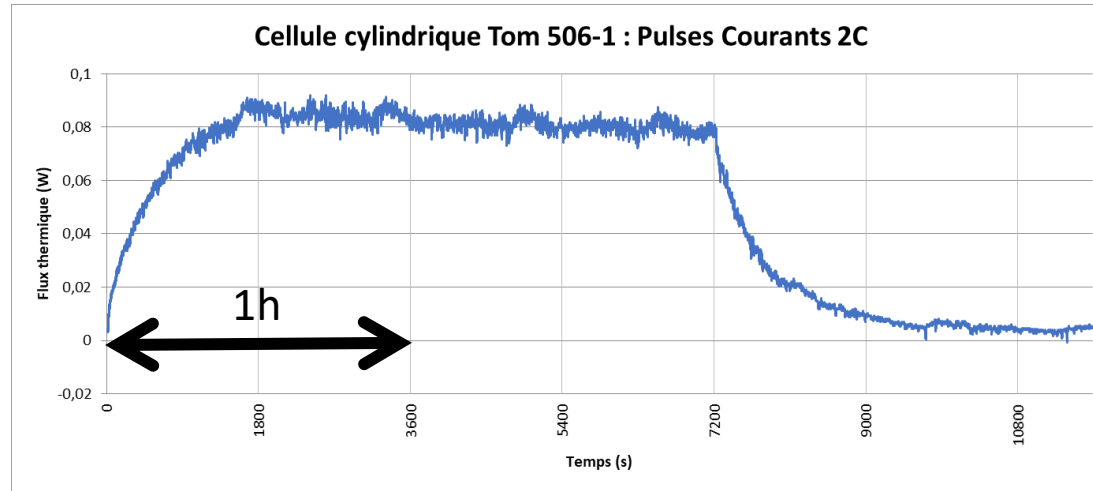
Comparaison du comportement thermique pour une même chimie en fonction du format cylindrique ou prismatique et de la quantité de matière active (capacité Ah)



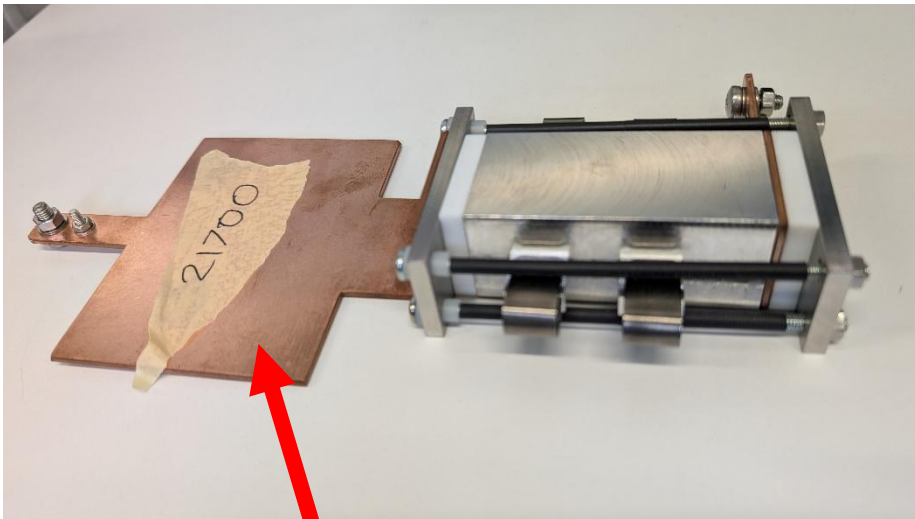
Mesure de flux de chaleur avec fluxmètres

Essai pulses à 2C

Comparaison du comportement thermique pour une même chimie en fonction du format cylindrique ou prismatique et de la quantité de matière active (capacité Ah)

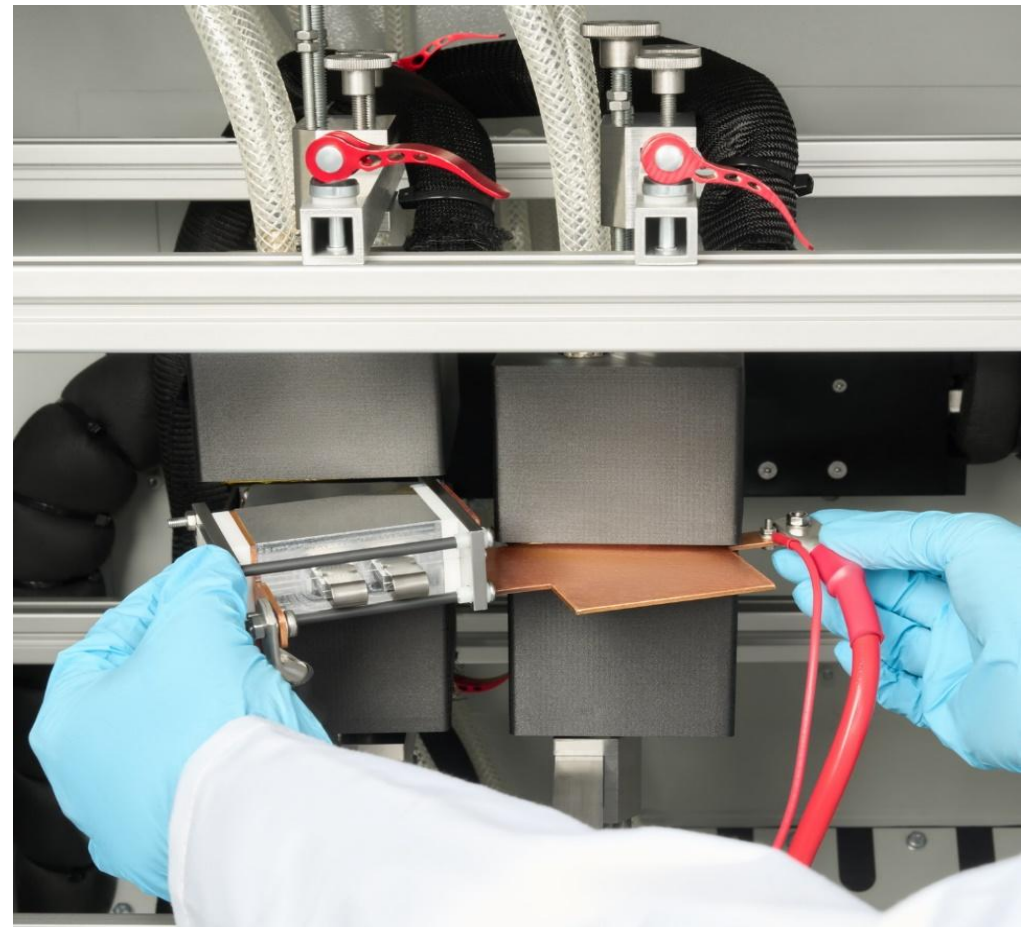


Support batterie cylindrique



Pad pour la compensation thermique
des connectiques,

Insertion du support batterie cylindrique dans
les modules refroidissement du calorimètre



Objectif 1

- Obtenir une méthodologie de mesure directe de la chaleur générée plutôt que par détermination par modèle inverse,
=> Compléter les techniques utilisées (modèle inverse, mesure adiabatique, fluxmetres) par des mesures en calorimètre isotherme

Objectif 2

- Application pour l'identification de modèles thermiques
- Application à la mesure de chaleur lors des cycle de formation

Travaux effectués

Installation du calorimètre THT (**juin 2025**)

Début du **post doc** de Joanna KOZMA (**juillet 2025**)

Automne et hiver 2025 :

- campagne de mesures effectuées avec des flux mètres sur des cellules cylindrique et prismatique sodium ion de TIAMAT

=> base de données pour une même chimie mais des formats différents

- Rédaction manuel d'utilisation du calorimètre

- Débogage matériel

- Essais de mesures de puissance sur un étalon (résistance usinée au format cellule cylindrique)

=> déterminer les performances et domaine d'utilisation du calorimètre

Printemps 2026 :

- campagne de mesures effectuées sur des cellules cylindrique et prismatique sodium ion de TIAMAT avec le calorimètre

=> comparaisons des mesures avec fluxmetres et avec calorimetre

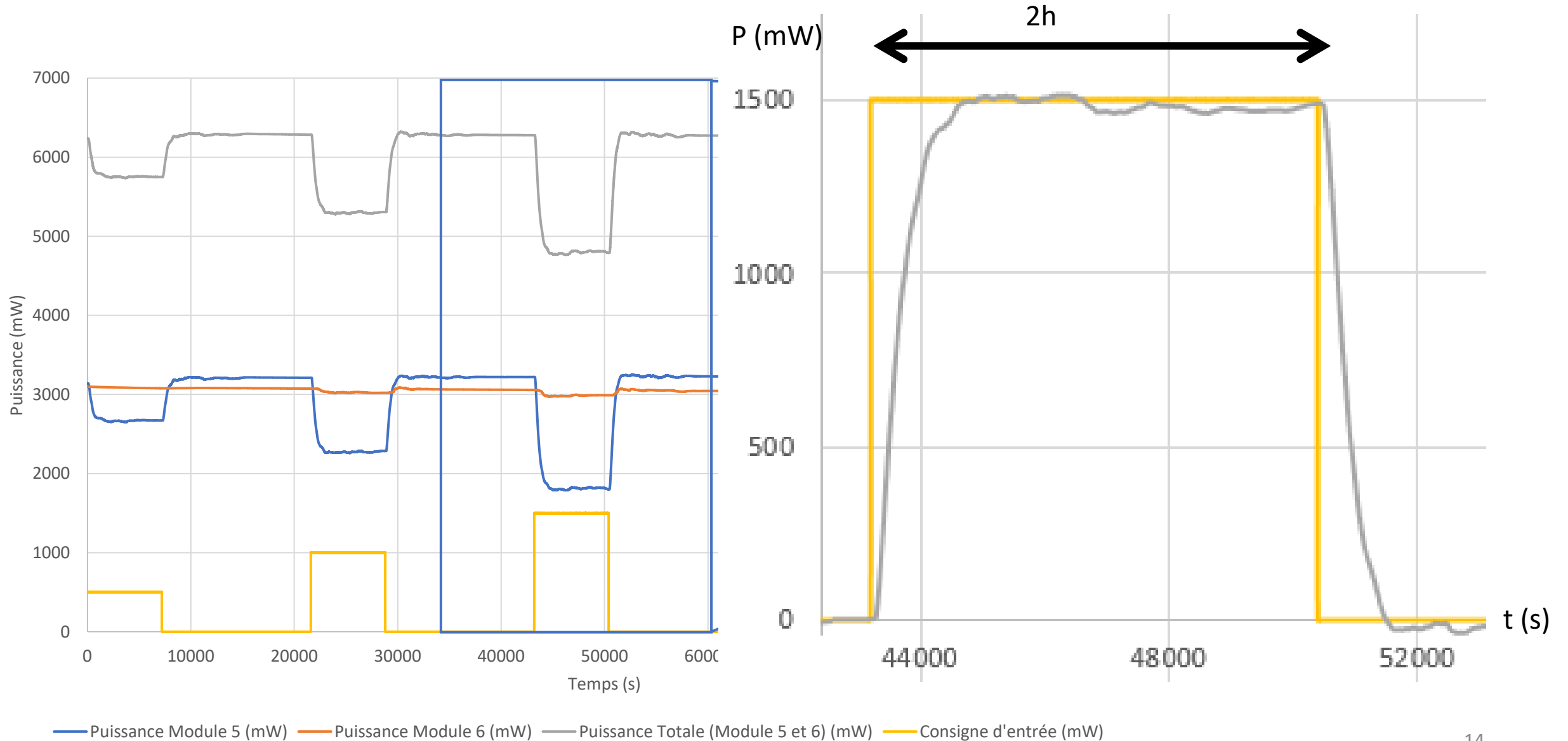
=> analyse des résultats

Travaux effectués

Essai d'évaluation des performances du calorimètre



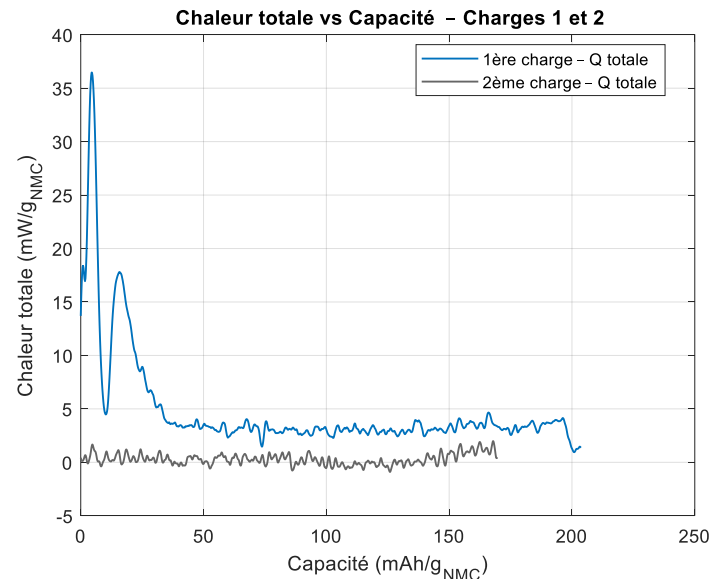
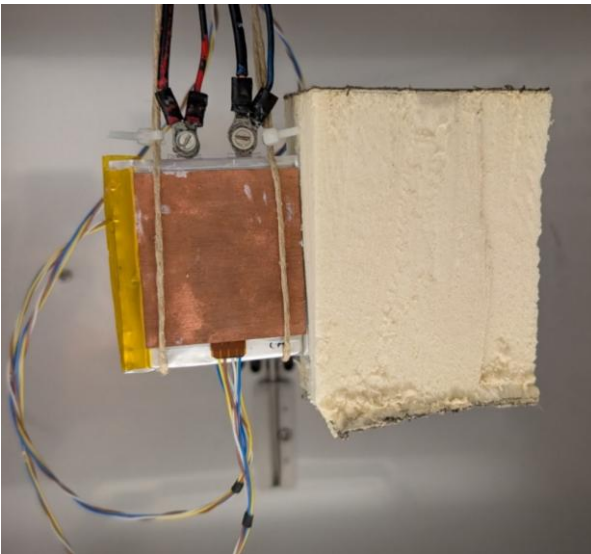
Plateforme/équipements



Applications :

- Stratégies de refroidissement
 - Choix des faces de refroidissement
 - Stratégie de contrôle du cycle de charge

- Redéfinition du cycle de formation
 - Enjeu = réduire ce temps de formation des batteries (réduction des coût de fabrication)



Instrumentation calorimétrie fluxmètre
UTC
Cellule poche 1Ah NMC/C

Résultat confirmé par le Collège de France
avec des fibres optiques internes

Publications :

Direct measurement of heat generation in a cylindrical Li-ion battery using heat flux sensors,

Journal of Power Sources, March 2026

Heat-generation estimation in a cylindrical lithium-ion cell using direct heat-flux measurements, inverse thermal and electrochemical models,
Journal of Energy storage **en cours de review**

- Congrès Electrimacs mai 2026, accepté

Couplage avec autres projet

- Fin 2026 : des travaux à effectuer dans le cadre d'un post doc pour PEPR franco allemand Hipobat

Merci de votre attention

