

RÉGULATION DYNAMIQUE DE LA PRESSION ET DE LA TEMPÉRATURE DE FONCTIONNEMENT POUR AMÉLIORER LES PERFORMANCES DES BATTERIES DE NOUVELLE GÉNÉRATION

Les batteries de nouvelle génération, y compris celles aux ions de lithium (Li-ion), nécessitent l'application d'une pression pour fonctionner. La pression de fonctionnement exercée sur une cellule (« stack pressure ») influence plusieurs aspects liés à sa performance. La valeur de la pression de fonctionnement exercée sur les cellules a son importance, mais son uniformité est critique, surtout lorsque le volume de la cellule varie en cyclage (« cell breathing ») et lorsque sa structure évolue au fil des cycles. Le choix du principe permettant d'appliquer cette pression est donc déterminant pour exploiter de façon optimale les batteries de nouvelle génération.

APPLICATION DE LA PRESSION DE FONCTIONNEMENT

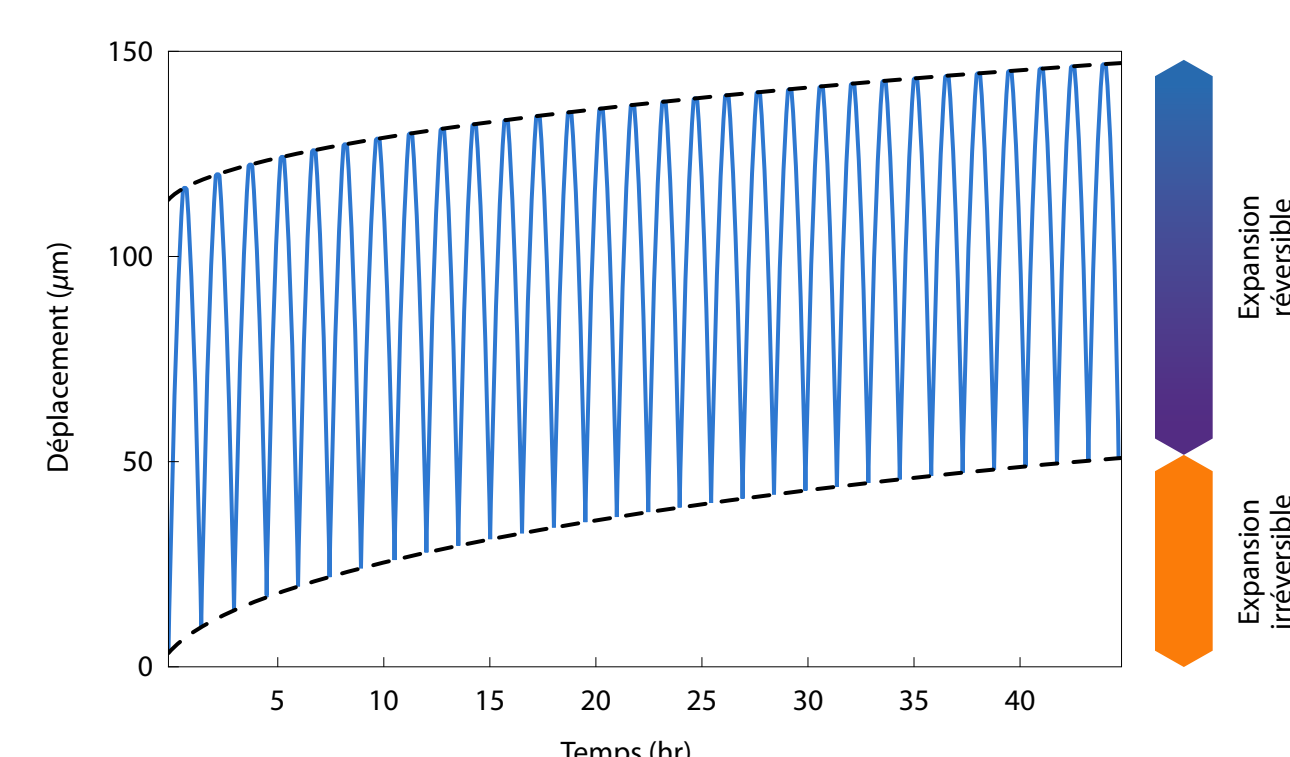
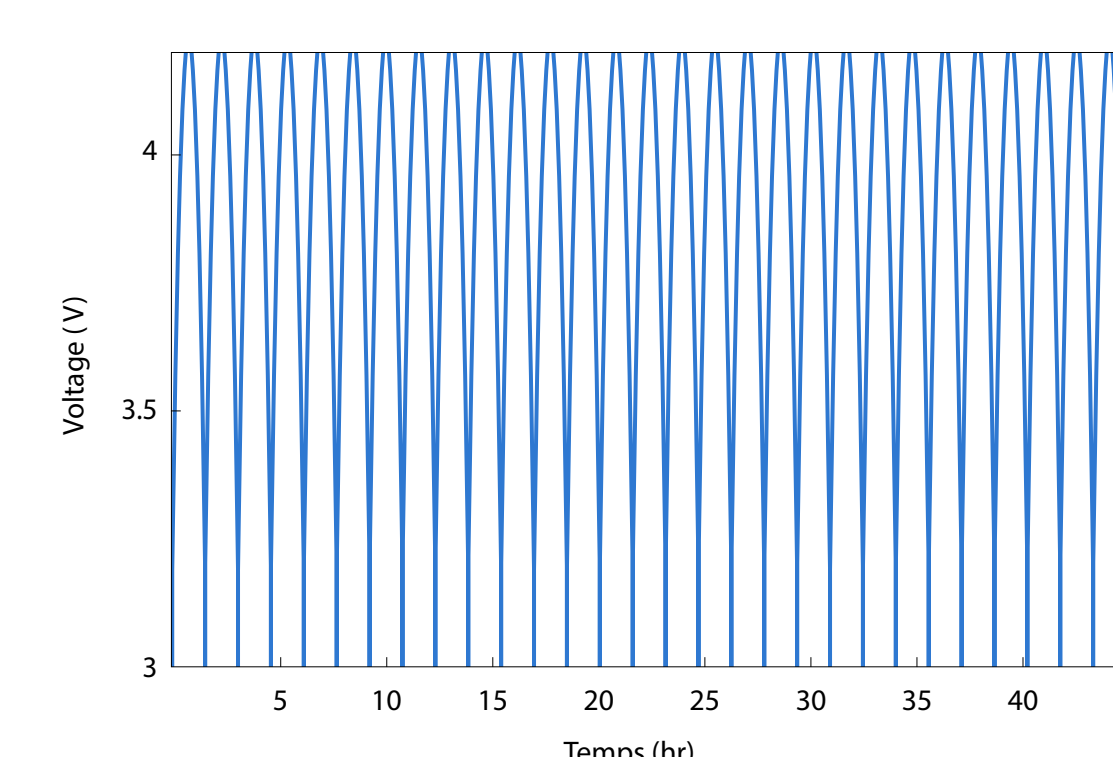
PRESSION DE FONCTIONNEMENT

- Les pressions appliquées lors de la fabrication et de l'assemblage se distinguent de la pression de fonctionnement et ont un effet important sur les performances des cellules. Elles ont aussi une incidence directe sur la pression de fonctionnement à appliquer.
- Les valeurs de pression de fonctionnement varient énormément en fonction de la composition chimique utilisée, notamment le type d'électrolyte (liquide, polymère, oxyde, sulfide, hybride, etc.).
- De plus en plus d'acteurs crédibles dans le développement de batteries tout solide ET l'industrie automobile conviennent qu'il y aurait avantage dans certains cas à moduler la pression de fonctionnement de façon dynamique.
- L'analyse de rentabilisation (la possibilité d'un créneau) pour un système de régulation dynamique de la pression reste à faire par rapport aux enjeux suivants : l'amélioration des performances par rapport à l'énergie spécifique, à la densité énergétique, au coût et à la complexité.
- Hydro-Québec détient la propriété intellectuelle associée à ces systèmes qui sont sous forme d'équipements de laboratoire et de modules de batterie.

CONTEXTE

La pression de fonctionnement exercée sur une cellule influence plusieurs aspects liés à sa performance en produisant les effets suivants :

- minimiser l'apparition de porosités dynamiques en décharge rapide ;
- favoriser un dépôt de lithium dense et uniforme ;
- augmenter la vitesse de charge sans endommager la cellule ;
- augmenter la durée de vie de la cellule ;
- favoriser la qualité, l'intégrité et la stabilité des interfaces cathode-électrolyte-anode ;
- permettre un fluage contrôlé et une meilleure diffusion du lithium ;
- minimiser la variation du volume de la cellule ;
- minimiser la propagation de fissures ;
- minimiser la propagation de dendrites.

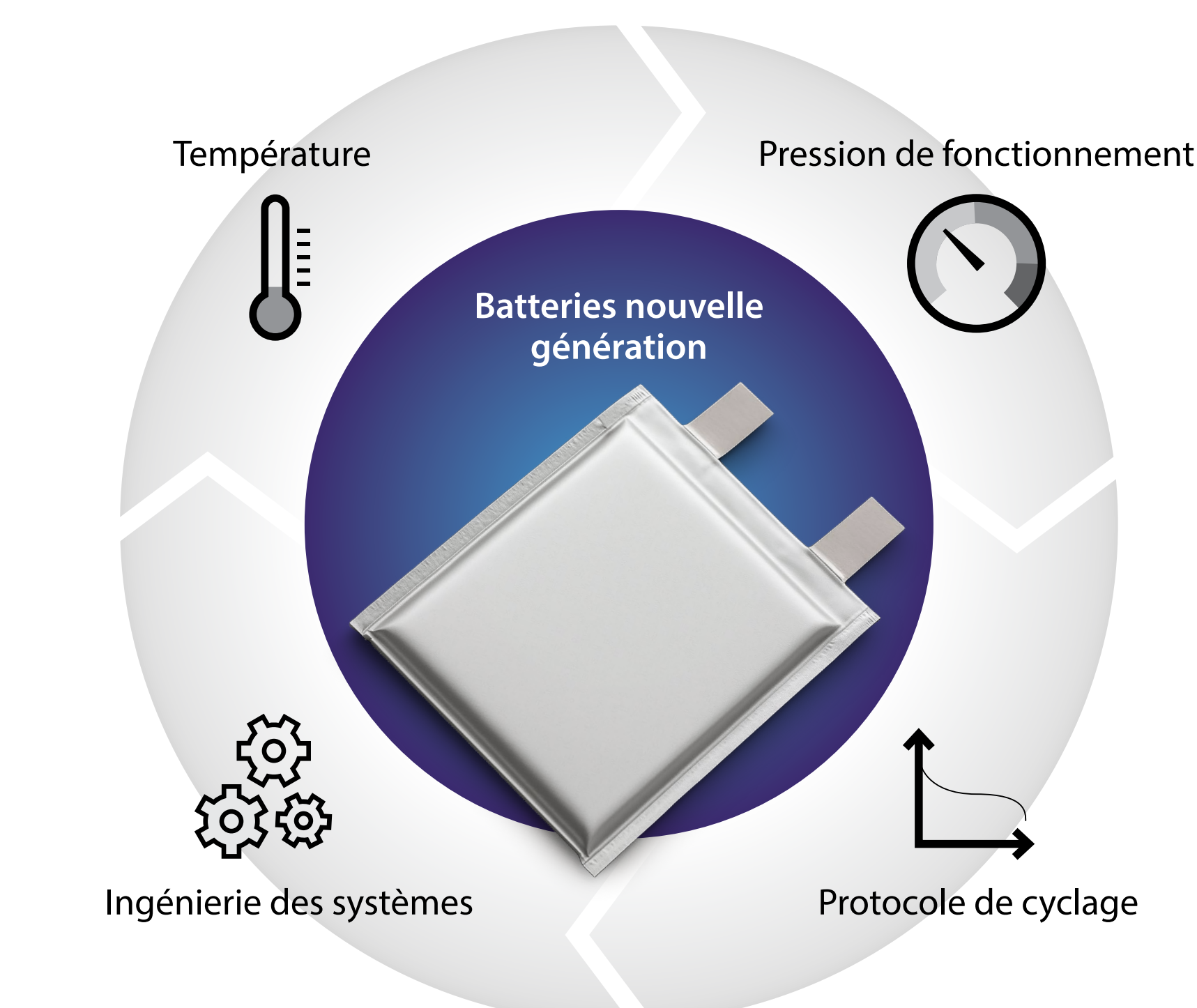


PROGRAMME D'INNOVATION – BATTERIE INTELLIGENTE

PROJET DE CYCLAGE INTELLIGENT

Mesurer, comprendre, maîtriser et valoriser l'effet des paramètres de pression et de température sur les performances des batteries tout solide

Concevoir des systèmes performants et implantables permettant d'exploiter les performances exceptionnelles des batteries tout solide



STRATÉGIES D'INNOVATION

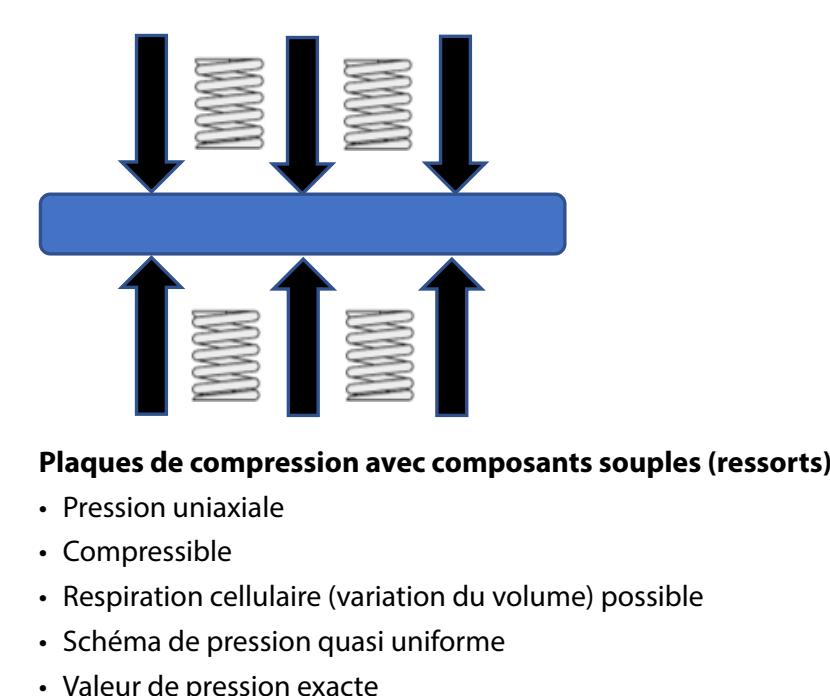
Développer des outils de cyclage novateurs : boîtiers de cyclage (mécaniques, hydrauliques, pneumatiques), système d'asservissement hydraulique (pression, température), logiciel de commande du cyclage et algorithmes basés sur l'IA.

Cycler des cellules de tous formats et de toutes technologies :

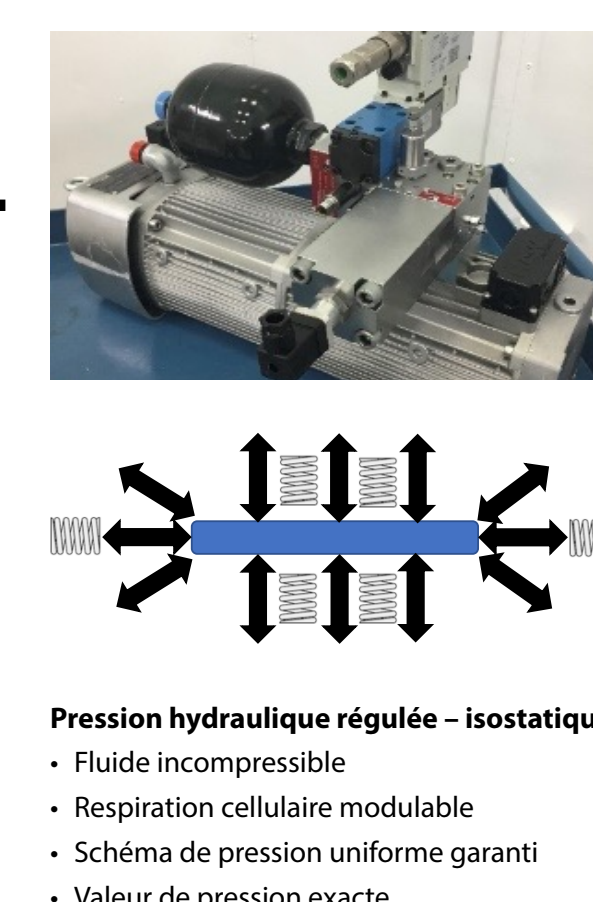
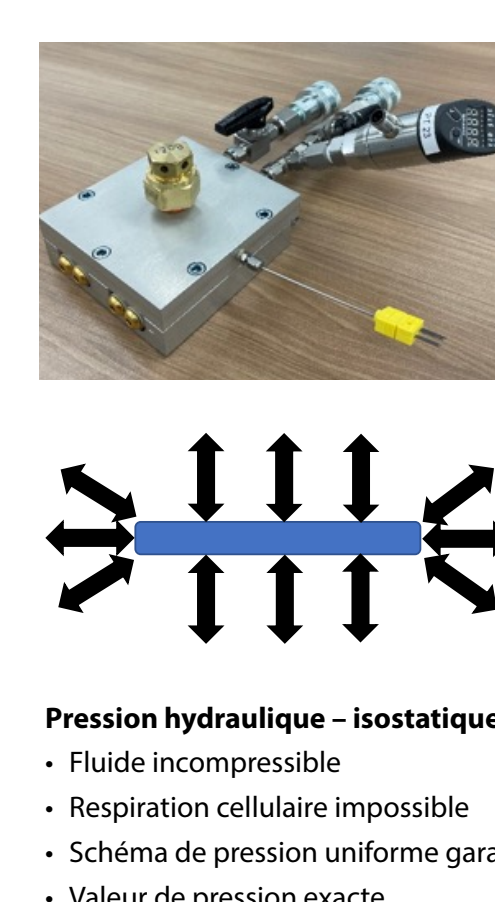
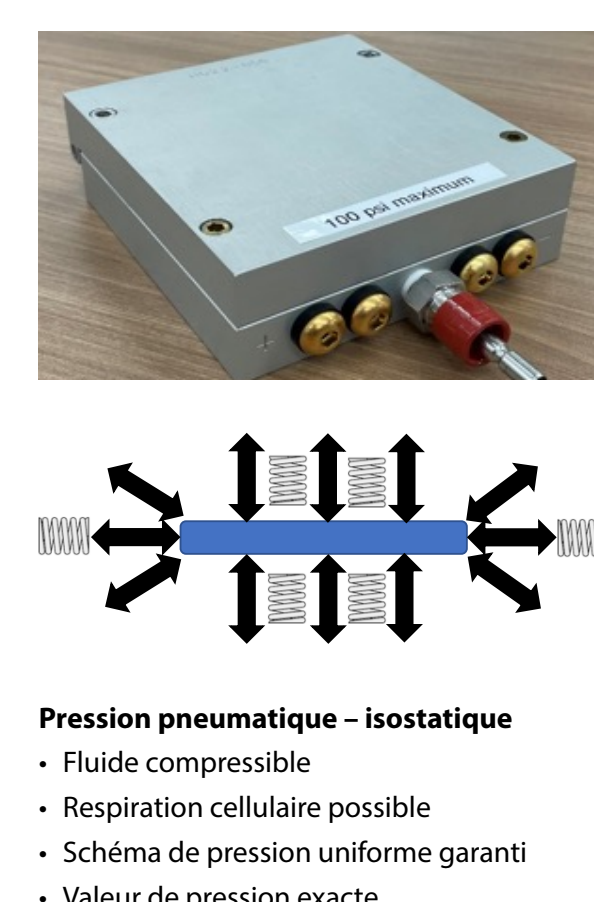
- utiliser les protocoles de charge standards et établir les performances de référence ;
- développer des protocoles d'exploitation novateurs afin de déterminer les paramètres de fonctionnement optimaux des cellules ;
- simuler des conditions d'exploitation très exigeantes en charge et en décharge à l'aide de protocoles provenant de l'industrie automobile ;
- exploiter et combiner des protocoles de charge reconnus pour leurs avantages en matière de performance des piles (« self-healing », « pulse charge »).

Développer les premiers concepts pour la mise au point de modules de batterie permettant d'exploiter ces résultats de recherche.

Approche classique d'application de la pression

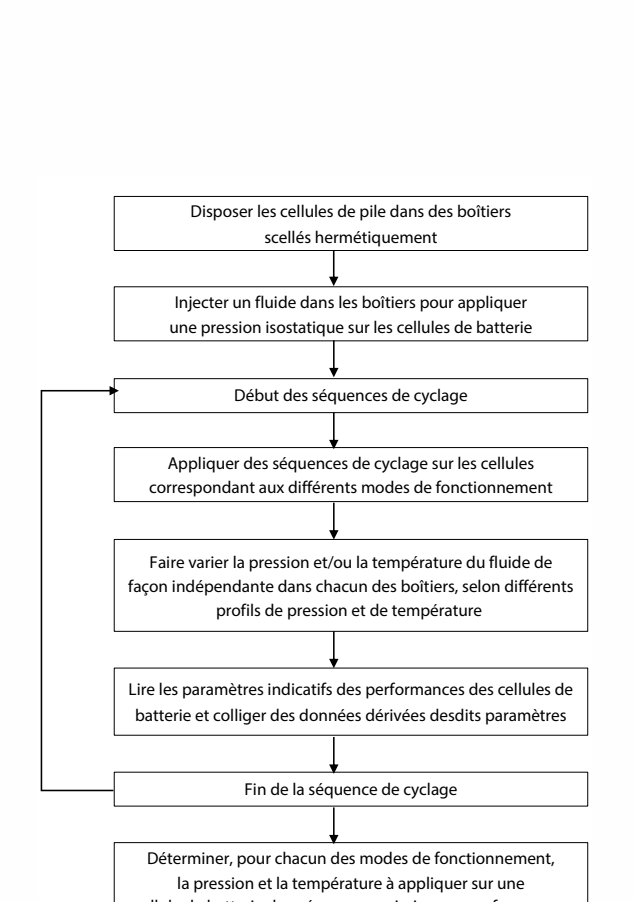
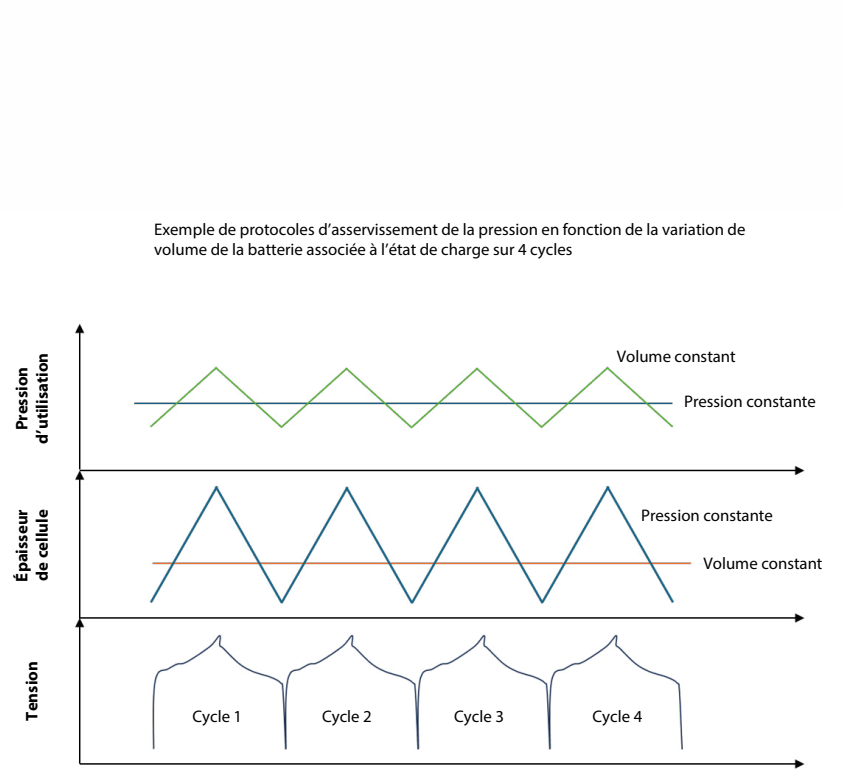
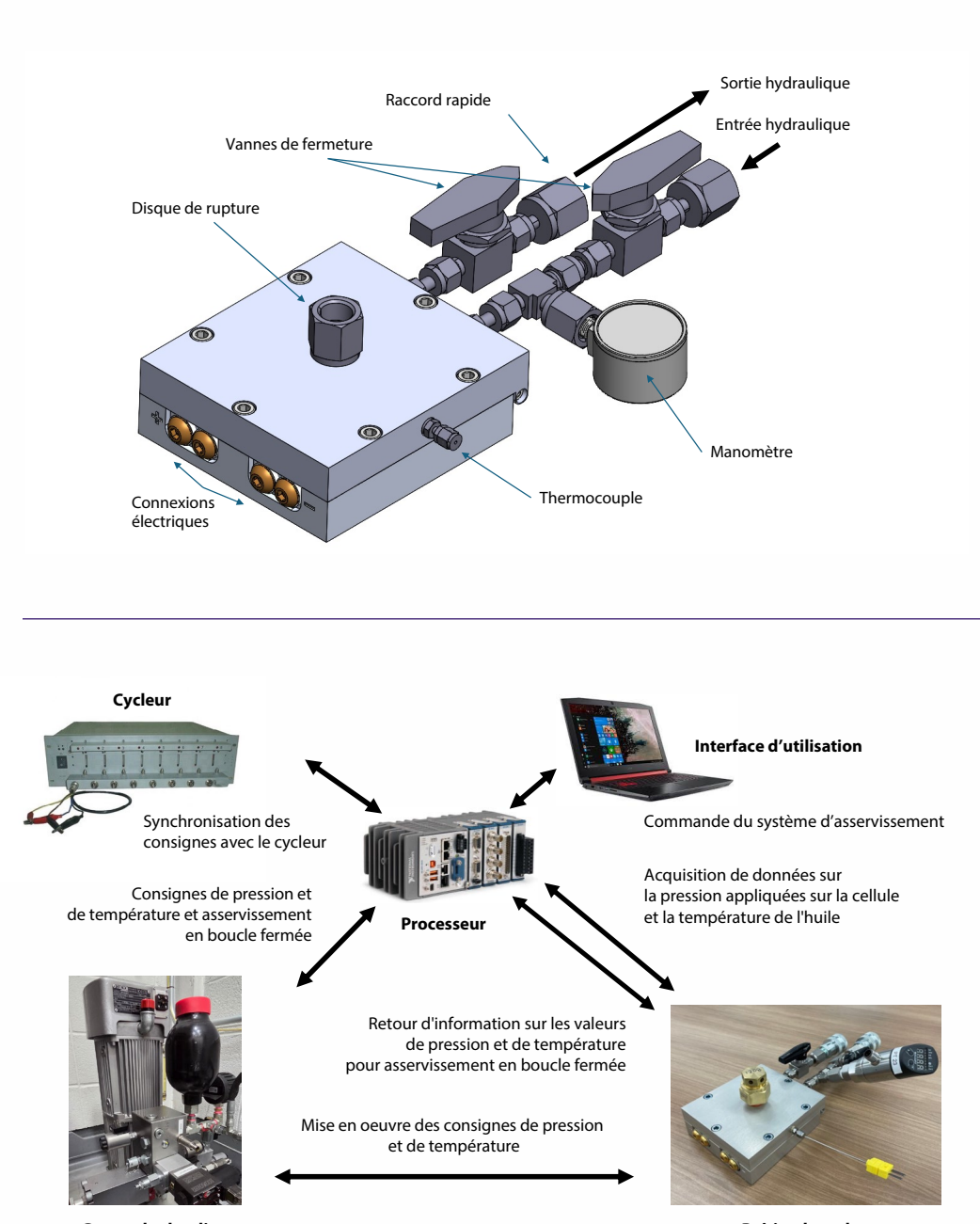


Approches novatrices d'application de la pression

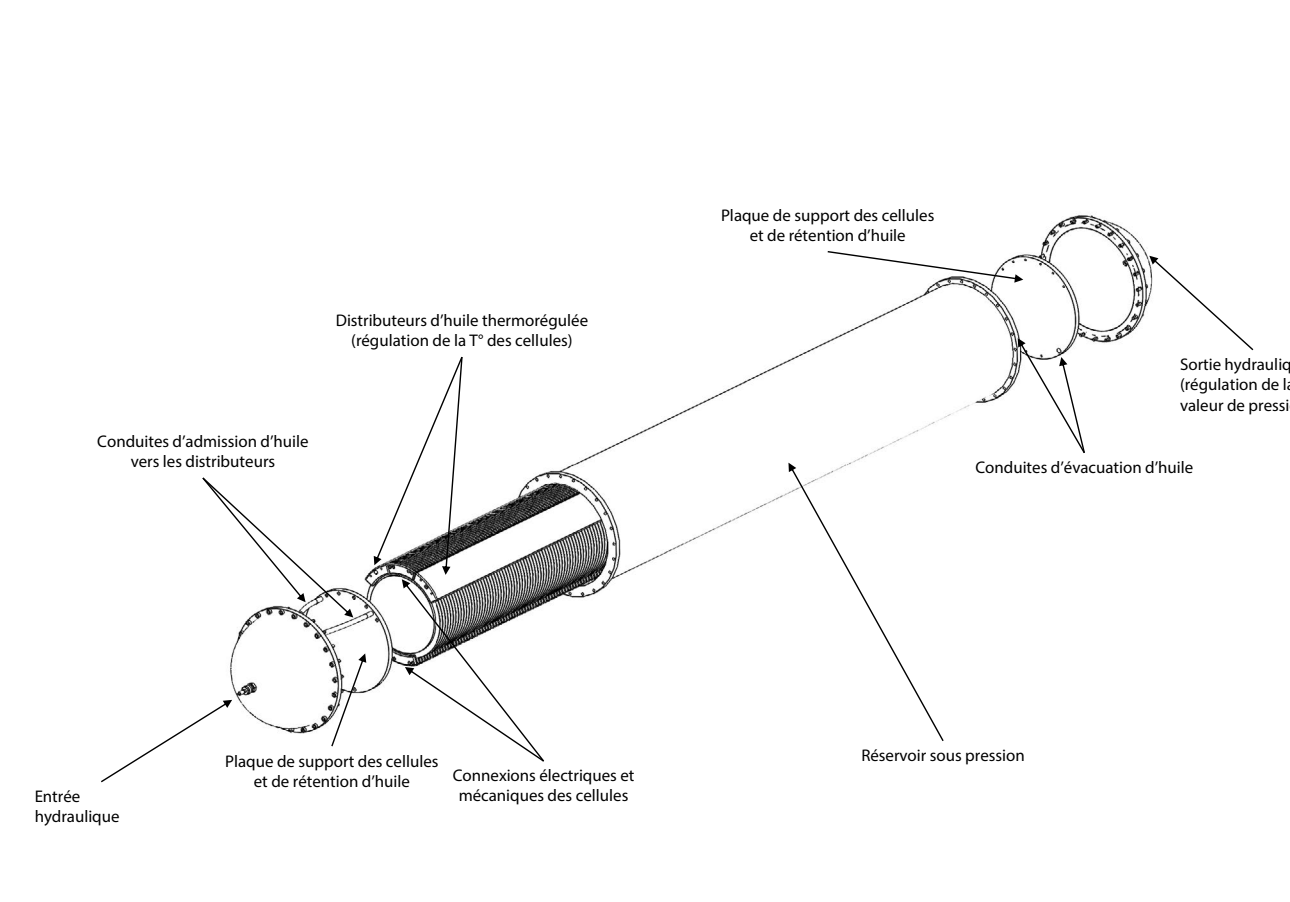
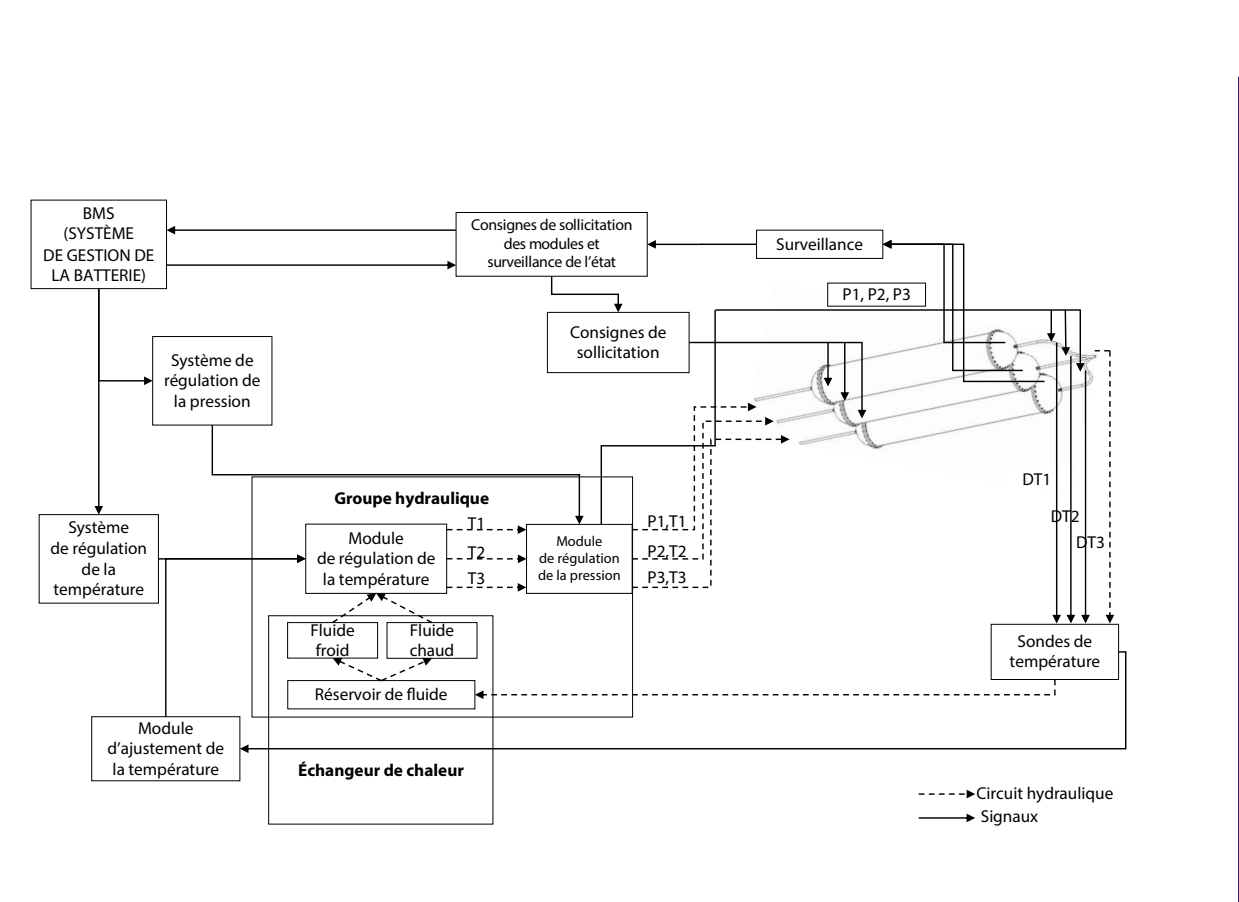


SYSTÈME DE CYCLAGE INTELLIGENT (SCI)

SYSTÈME R&D – DÉVELOPPEMENT DE NOUVELLES TECHNOLOGIES



SYSTÈME COMMERCIAL – MODULE DE BATTERIE



CONCLUSIONS

Le SCI offre un contrôle asservi efficace et précis de la pression et de la température pour améliorer les performances et la sécurité des batteries :

- Permet de déterminer les valeurs optimales de pression et de température de fonctionnement pour toute composition chimique de la cellule (utilisation comme équipement de laboratoire de R-D) ;
- Fournit en temps réel les paramètres de fonctionnement optimaux pour tirer le meilleur parti de la batterie (utilisation comme module de batterie) :
 - vitesse de charge et de décharge plus rapides ;
 - efficacité coulombique plus élevée ;
 - durée de vie améliorée ;
 - sécurité d'utilisation renforcée ;
 - algorithmes de contrôle basés sur l'IA.

Brevets

- WO 2021/226705 A1
- WO 2023/081993 A1
- WO 2024/192527 A1
- PCT/CA2025/051254



Serge Montambault, ing., Ph.D.
* montambault.serge@hydroquebec.com
CEETSE-Partenariats2@hydroquebec.com

