

# Refroidissement par immersion des batteries Li-ion

21 mai 2026, 10:14

Carl Emmerechts

## Une technique prometteuse pour limiter la surchauffe des batteries à forte puissance

Le refroidissement par immersion des batteries consiste à immerger entièrement ou partiellement les cellules et certains composants du pack dans un fluide diélectrique, c’est-à-dire non conducteur. Ce fluide évacue la chaleur au plus près de sa source, sans perturber le fonctionnement électrique. Dans les applications à forte puissance ou à recharge rapide, cette technique est-elle le remède universel contre la surchauffe des batteries Li-ion ?

Une analyse de la littérature scientifique révèle des avantages prometteurs, surtout pour les applications à forte puissance par unité de surface et à recharge rapide. Elle montre aussi des limites importantes : coût des fluides, intégration, compatibilité des matériaux, maîtrise des écoulements et impact sur la durée de vie des cellules.

Cet article analyse le principe du refroidissement par immersion, ses avantages face aux solutions conventionnelles, ses contraintes d’intégration et les conditions dans lesquelles son adoption peut se justifier.

## Un contact direct pour mieux évacuer la chaleur

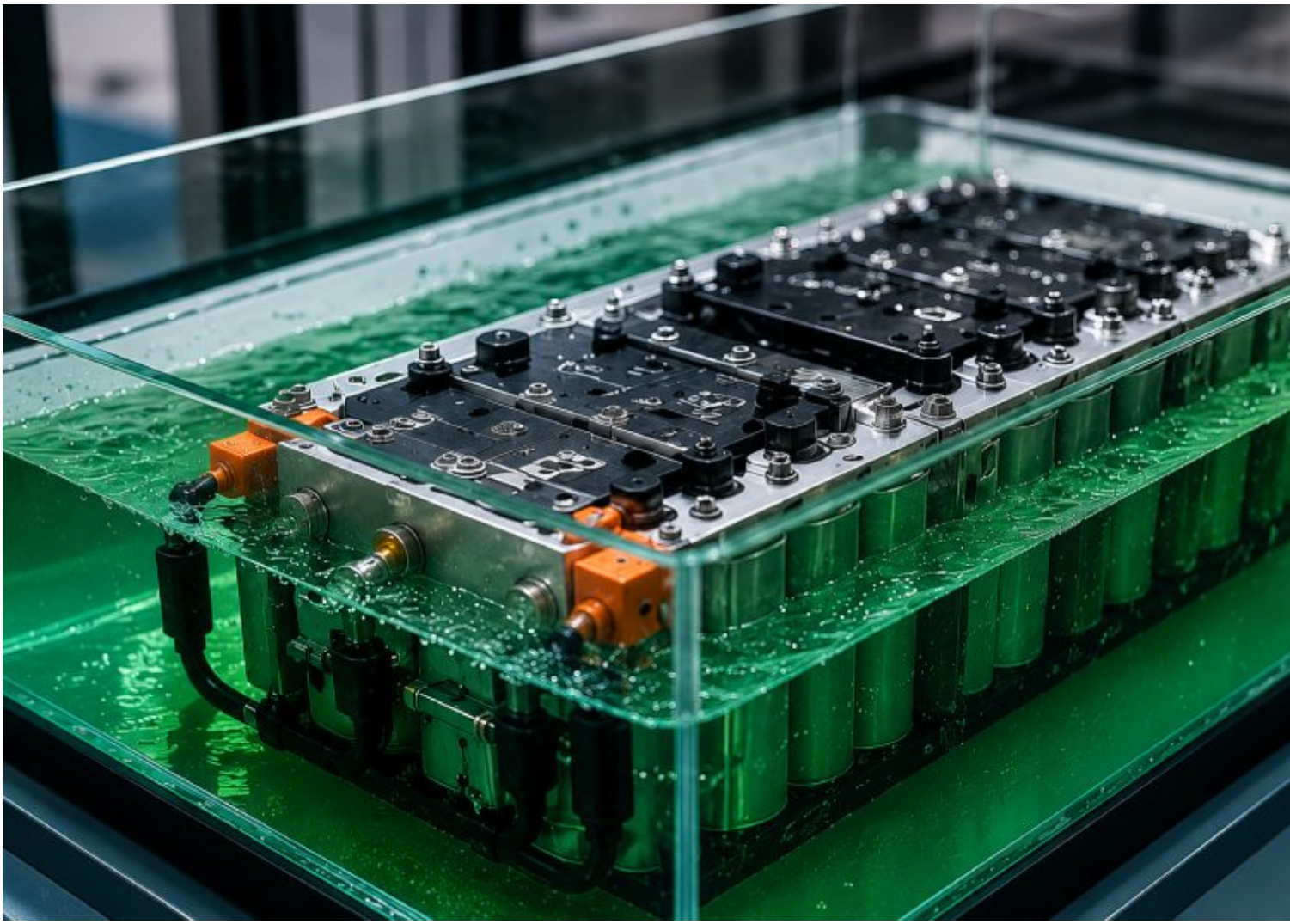
À la lumière de la littérature analysée, voir la liste de références ci-dessous, le refroidissement par immersion s'impose comme une solution particulièrement pertinente pour éviter la surchauffe des systèmes de batteries soumis à des sollicitations thermiques élevées. C'est notamment le cas dans les applications à forte densité de puissance et à recharge rapide [2] [8], comme les batteries Li-ion automobiles.

Cette approche repose sur la mise en contact direct du fluide diélectrique avec les surfaces des cellules électrochimiques. Le fluide peut aussi entrer en contact avec certains composants du pack, comme les busbars et des éléments électroniques. Ce contact direct réduit la résistance thermique globale du système, ce qui diminue les températures maximales et améliore les performances thermiques.

Les bénéfices sont particulièrement marqués dans des conditions de fonctionnement sévères. Dans ces situations, les solutions conventionnelles, comme le refroidissement par air ou par plaques froides, montrent souvent leurs limites.

## Avantages face aux solutions existantes

Le principal avantage du refroidissement par immersion réside dans sa capacité à traiter directement le principal goulot d'étranglement thermique au sein des batteries. En augmentant significativement la surface d'échange entre le fluide et les cellules, cette technologie permet une extraction thermique plus efficace que les méthodes conventionnelles.



#### Un gain marqué face au refroidissement par air

Comparé au refroidissement par air, l’avantage est particulièrement marqué. Les faibles propriétés thermophysiques de l’air limitent sa capacité à évacuer la chaleur sous forte sollicitation. Le refroidissement par immersion offre en revanche des coefficients de transfert thermique nettement supérieurs. C’est surtout le cas dans les systèmes biphasiques, qui exploitent la chaleur latente de vaporisation [1] [5] [8].

#### Un bénéfice plus nuancé face aux plaques froides

La comparaison avec le refroidissement liquide indirect est plus nuancée. Les systèmes à plaques froides présentent une maturité technique élevée et assurent une bonne distribution thermique. Ils restent toutefois limités par les interfaces de contact thermique. Le refroidissement par immersion permet de s’affranchir de ces limitations en assurant un refroidissement direct des cellules et des interconnexions. Dans certains cas, un système à refroidissement liquide indirect bien optimisé peut toutefois offrir une uniformité thermique supérieure [2].

#### Un avantage important pour la sécurité

Les fluides diélectriques peuvent contribuer à limiter ou retarder la propagation de l’emballement thermique. Cette capacité représente un avantage important pour la sécurité des systèmes de batteries. Cet effet s’explique par leur capacité d’absorption thermique, leur isolation électrique et parfois même leur faible inflammabilité ou leur non-inflammabilité [5] [6].

## Une solution efficace, mais pas universelle

La littérature ne permet pas de conclure à une supériorité universelle du refroidissement par immersion. Vous devez tenir compte de plusieurs compromis.

Le premier concerne le coût élevé des fluides diélectriques [5] [8]. Le deuxième porte sur les contraintes d’intégration liées à l’étanchéité et à la compatibilité des matériaux. Le troisième concerne l’augmentation potentielle de la masse et du volume du système. L’uniformité thermique à l’échelle du module dépend aussi fortement de la distribution uniforme de l’écoulement [2]. Dans certains cas, elle peut être inférieure à celle obtenue avec des systèmes à refroidissement liquide indirect bien optimisés.

Enfin, des résultats expérimentaux récents suggèrent qu’une meilleure performance thermique ne se traduit pas toujours par une réduction du vieillissement électrochimique. Des phénomènes comme le lithium plating peuvent être favorisés dans certaines conditions opératoires [4]. Ce phénomène correspond à un dépôt de lithium métallique qui entraîne à terme un empoisonnement de l’anode en graphite.

## Contraintes pour l’intégration industrielle

Malgré ses avantages, le refroidissement par immersion présente plusieurs limitations importantes. Ces contraintes doivent être prises en compte dès la phase de conception.

#### Coût et compatibilité chimique

Le premier point concerne le coût et la disponibilité des fluides diélectriques. Ces fluides restent nettement plus coûteux que les solutions conventionnelles à base d’eau-glycol [5] [8]. La compatibilité chimique avec les matériaux du système constitue aussi un enjeu majeur. Elle nécessite des validations approfondies, car le fluide est en contact direct avec plusieurs composants du système.

#### Maîtrise des écoulements

La gestion du flux de fluide représente également un défi technique significatif. Une mauvaise distribution peut entraîner des gradients thermiques importants à l’échelle du module. Elle peut donc compromettre l’uniformité thermique.

La conception du circuit hydraulique et du champ d’écoulement est déterminante pour les performances globales. L’analyse par Computational Fluid Dynamics, ou CFD, prend ici tout son sens. Elle permet d’étudier les transferts de chaleur couplés aux écoulements.

#### Durée de vie des cellules

Par ailleurs, les effets à long terme sur la durée de vie des batteries restent insuffisamment caractérisés [5]. Certaines études [4] indiquent que des conditions thermiques modifiées peuvent influencer les mécanismes de dégradation électrochimique. Cela nécessite des investigations complémentaires.

#### Complexité des systèmes biphasiques

Les systèmes biphasiques offrent des performances thermiques élevées, mais introduisent une complexité supplémentaire : phénomènes d'ébullition, transitions de régime et risques de formation de films de vapeur isolants. Ces phénomènes doivent donc être pris en compte dès la conception du système.

## Une technologie pour des cas d'usage spécifiques

Le refroidissement par immersion constitue une technologie prometteuse pour la gestion thermique des batteries Li-ion. Cette technologie est particulièrement pertinente dans les applications exigeantes, comme la recharge ultra-rapide ou les systèmes à haute puissance. Elle offre des performances thermiques supérieures en conditions sévères, ainsi que des avantages potentiels en matière de sécurité et d'intégration.

Son adoption à grande échelle reste toutefois conditionnée par la résolution de plusieurs défis. Les plus importants concernent le coût, la compatibilité des matériaux, la maîtrise des écoulements et l'impact sur la durée de vie des cellules.

Le refroidissement par immersion doit être envisagé comme une solution complémentaire aux technologies existantes. Sa pertinence dépend fortement du cas d'usage et des contraintes du système.


### Vous travaillez sur la gestion thermique de batteries ou de systèmes électroniques ?

Les experts de Sirris vous accompagnent dans l'analyse, la modélisation et la validation de vos solutions de refroidissement. Discutons de votre projet.

Demandez conseil à nos experts

### En savoir plus sur l’innovation des batteries ?

Le développement de systèmes de batteries performants ne se limite pas à la gestion thermique. Découvrez comment Sirris développe, dans le cadre du projet SHIFT, des modules de batteries modulaires, des systèmes intelligents de gestion de l’énergie et des systèmes énergétiques hybrides pour des applications exigeantes.

Découvrir le projet SHIFT

### partners

Financé par

Wallonie

LOGISTICS IN WALLONIA connectmoveshare

## Auteurs



Carl Emmerechts