

Influence de l'équilibrage sur la durabilité des batteries

Bruno Jeanneret¹, Eduardo Redondo-Iglesias¹, Marwan Hassini¹

¹Univ Eiffel, ENTPE, LICIT-ECO7, 69500 Bron, France

RÉSUMÉ – Un pack batterie peut être composé de plusieurs centaines de cellules dont les performances vont évoluer différemment au fil du temps. Ces hétérogénéités de performances peuvent conduire à une réduction significative de la performance et de la durée de vie de l'assemblage et donc du système. Pour faire face à ce problème, une méthode d'équilibrage visant à équilibrer le niveau de tension des cellules est communément utilisée. Dans ce travail, la stratégie d'équilibrage vise à égaliser la capacité des cellules. L'article montre que cette méthode est prometteuse pour réduire les hétérogénéités au sein d'une batterie et ainsi allonger la durée de vie de l'assemblage. Ce travail permet ainsi de réduire l'impact environnemental des batteries tout en facilitant leur éventuelle réutilisation.

Mots-clés – véhicule électrique, batterie, vieillissement, gestion d'une batterie, équilibrage.

1. INTRODUCTION

L'atténuation des effets du changement climatique est considérée comme un défi majeur pour le 21^{ème} siècle. Selon le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), les transports et la production d'électricité sont responsables respectivement de 18 % et 36 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre [1]. Pour réduire cette pollution, les véhicules électrifiés et les énergies renouvelables sont présentés comme des options intéressantes. Pour ces applications, les batteries lithium-ion sont des éléments clés de stockage de l'énergie.

Pour faire face aux besoins en énergie de ces usages, les batteries sont généralement composées de plusieurs dizaines à centaines d'éléments nommés cellules. Ces cellules ont des propriétés et des performances qui peuvent varier dès la sortie de l'usine et tout au long de la vie [2]. Au moment de la fabrication, les intervalles de tolérances sur les caractéristiques (composition chimique, dimensions, température, humidité...) impliquent que chaque cellule a des propriétés différentes. Lorsqu'elles sont assemblées, leurs conditions d'utilisation peuvent également varier en fonction du système de refroidissement utilisé, par exemple [3, 4].

Ces hétérogénéités impliquent des niveaux de sollicitation qui peuvent varier et induire des vitesses de dégradation différenciées. La fonction d'équilibrage permet de compenser les effets des hétérogénéités au sein d'une batterie. Deux méthodes d'équilibrage sont généralement définies en fonction de leur faculté à réutiliser l'énergie dissipée des cellules. L'équilibrage passif consiste à décharger quelques cellules du pack dans une résistance tandis que l'équilibrage actif consiste à réaliser des transferts d'énergie entre les cellules du pack. Pour l'équilibrage actif, un convertisseur performant doit être utilisé [5, 6]. Dans les deux cas, l'équilibrage est communément réalisé en égalisant les niveaux de tension ou d'état de charge des cellules [7]. Des auteurs ont également étudié l'équilibrage de l'état de santé ou cherché à éviter les sollicitations dans des conditions extrêmes afin de ralentir la dégradation de la batterie [8, 9]. Ce type d'équilibrage peut d'ailleurs être judicieux dans le cadre d'une réutilisation afin de réduire la dispersion des per-

formances d'une batterie de seconde vie.

Dans ce travail, l'influence de l'équilibrage sur la durabilité des batteries est étudiée dans différents cas d'usages. L'étude permet d'évaluer l'impact de la stratégie d'équilibrage sur la durée de la vie et sur la dispersion de la batterie. La finalité de ce travail étant d'allonger la durée de vie des batteries afin de tendre vers un idéal de durabilité [10].

Trois scénarios sont considérés : le premier simule la dispersion initiale des cellules. Les caractéristiques des cellules à la sortie de l'usine ne sont pas rigoureusement les mêmes en raison des tolérances de production [11, 12]. Plusieurs études ont montrés que la dispersion de capacité était de l'ordre de 1% à la sortie de l'usine [11, 12]. Ces dispersions ont également tendance à croître avec le vieillissement [13, 10]. Dans un second scénario, l'influence des dispersions en usage sont ajoutées. Dans cette étude, l'influence de la dispersion thermique est évalué. Plusieurs travaux ont montré que des dispersions de plusieurs degrés pouvaient être observés dans des packs en utilisation [14, 15, 16]. Finalement, le troisième scénario évalue l'influence des variations de vitesses de dégradation et évalue comment l'équilibrage peut aider à résoudre cette problématique sans devoir en traiter la cause.

2. MÉTHODE

2.1. Cadre de l'étude

Dans ce travail de simulation, le véhicule étudié est un véhicule électrique BMW i3 alimenté par une batterie de 118 cellules NMC de 94 Ah connectées en série pour former un assemblage de 37 kWh. Les caractéristiques de cette batterie ont été présentés et modélisés dans de précédents travaux [17]. La batterie étudiée est simulée avec des hétérogénéités en terme de capacité, résistance et comportement thermique. La dispersion des caractéristiques suit une loi normale et lorsque plusieurs hétérogénéités sont simulées, le niveau de performance relatif des cellules est le même. Autrement dit, la cellule avec la plus faible capacité aura la plus haute résistance et le moins bon comportement thermique.

Le scénario d'usage utilisé pour la simulation est un scénario de trajets pendulaires répété chaque semaine. La figure 2 présente l'évolution du comportement des cellules au cours d'une semaine.

En semaine, le véhicule est utilisé pour des trajets domicile-travail tandis que de longs trajets sont réalisés les week-ends. Un cycle de conduite WLTC est utilisé pour ces trajets en considérant qu'environ 680 km sont réalisés chaque semaine soit 35 000 km par an. Le véhicule est chargé complètement chaque nuit avec un profil de charge à courant constant puis tension constante.

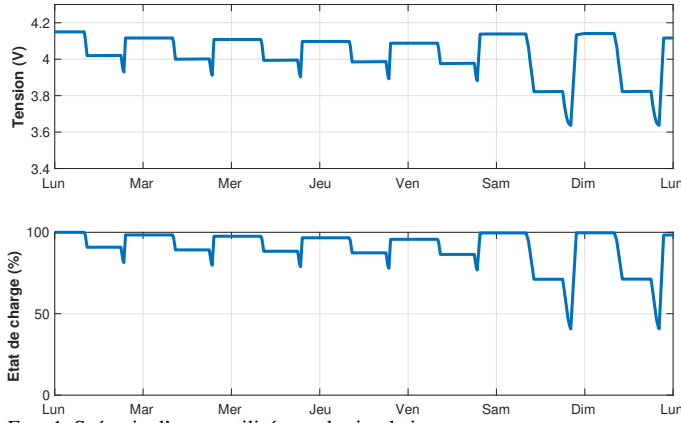


FIG. 1. Scénario d’usage utilisé pour la simulation.

2.2. Modélisation

Pour réaliser cette étude de simulation, le logiciel libre VEH-LIB est utilisé [18]. Chacune des cellules est simulée dans le logiciel en définissant de manière unique ses caractéristiques. Ainsi, chaque cellule peut-être différente de sa voisine, que cela concerne sa capacité initiale, ses caractéristiques intrinsèques électriques et thermiques, ou sa vitesse de vieillissement. Bien que ce choix allonge le temps de simulation, cela permet d’ajuster et d’étudier plus finement les dispersions au sein de la batterie. Le modèle de la batterie est composé de modèles électriques, thermiques et de vieillissement. Le modèle électrique est composé d’une source idéale de tension associée à une résistance dont les caractéristiques varient en fonction de la température et de l’état de charge. Le modèle thermique de chaque cellule est un modèle 0D. Finalement, un modèle de vieillissement basé sur la loi d’Eyring est utilisé. Ce modèle dépend de l’état de charge, du courant et de la température. Les contributions du vieillissement calendaire, du vieillissement en cyclage à chaud et en cyclage à froid sont distingués dans le travail de modélisation puis cumulées pour réaliser les simulations [19].

Pour permettre une simulation rapide du véhicule, des modèles de composants quasi-statiques sont utilisés. La dynamique et la demande de puissance qui en résulte sont modélisées à l’aide d’une approche *backward* avec un pas de temps de une seconde. Dans l’approche *backward*, la vitesse en fonction du temps est connue à l’avance et permet de calculer le couple nécessaire pour vaincre l’inertie du véhicule et les forces de résistance tout au long du cycle. Les composants de la transmission mécanique ont des rendements supposés constants. Des cartes de rendement typiques sont utilisées pour modéliser la machine électrique et son convertisseur.

Plusieurs paramètres peuvent varier pour étudier les disparités au sein d’un pack batterie. Chaque variation suit une loi normale tronquée avec un écart type défini. Lorsque plusieurs paramètres varient simultanément, ils suivent la même distribution normale (i.e. si la capacité initiale et la résistance ohmique varient, la cellule la plus faible a la plus forte résistance et la plus faible capacité). Les paramètres qui sont pris en compte dans cette étude sont les suivants :

- la dispersion de capacité initiale. Le paramètre nommé ΔQ_{BoL} (*BoL* pour *Beginning of Life*, début de vie) représente alors l’écart-type de variation.
- le dispersion de vitesse de vieillissement. Le paramètre correspondant est nommé $\Delta AgingSpeed$.
- la résistance ohmique des cellules, paramètre ΔR_{ohmic}
- le coefficient de convection thermique des cellules, Δh_c

Parmi toutes les combinaisons possibles, le travail exploratoire présenté dans cet article s’est volontairement limité à 3 configurations, en étudiant pour chacune différentes valeurs nu-

mériques des écarts type entre 1% et 6%. Les configurations analysées dans la section 3 correspondent aux combinaisons et valeurs suivantes :

- **configuration 1** : dispersion de capacité initiale. Valeur retenue : $\Delta Q_{BoL} = 1\%$. Cette configuration peut s’apparenter à des disparités de fabrication des cellules par exemple.
- **configuration 2** : dispersion de capacité initiale, de résistance ohmique et de coefficient de convection. (valeurs retenues $\Delta Q_{BoL} = 1\%$; $\Delta R_{ohmic} = 100\%$; $\Delta h_c = 80\%$). Ce scénario volontairement agressif permet d’illustrer les limites des stratégies implémentées.
- **configuration 3** : disparités de vitesse de vieillissement. Valeur retenue : $\Delta AgingSpeed = 6\%$. Cette situation correspondrait à des vieillissements différents sans que l’on puisse leur attribuer une cause clairement identifiée.

Un équilibrage passif est utilisé en associant chaque cellule à une résistance d’équilibrage de 0.5 Ohm pilotée par un interrupteur. La capacité nominale des cellules étant de 94 Ah, cette résistance permet d’équilibrer chaque cellule à un régime de courant d’environ C/15. Cela permet de décharger une cellule de 10% en environ 1,5 heure.

2.3. Stratégies d’équilibrage

La méthode classique d’équilibrage consiste à égaliser les tensions des cellules lors des phases de charge à tension constante, ce qui équivaut à égaliser les états de charge. L’interrupteur d’équilibrage d’une cellule est activé lorsque son niveau de tension est supérieur à la tension moyenne des cellules. Cette méthode sera appelée dans la suite du document **stratégie 1**

Dans cette étude, la méthode classique est comparée à une méthode basée sur la valeur de la capacité de la cellule. Au lieu d’égaliser les tensions (et donc les états de charge), la méthode consiste à abaisser l’état de charge des cellules ayant les capacités les plus faibles pour les protéger. Pendant toute leur vie et à chaque recharge du véhicule, les cellules nécessitant un équilibrage sont identifiées par rapport à leurs capacités à l’aide d’un regroupement par l’algorithme des k-means. Le groupe avec les capacités les plus dégradées voit son état de charge abaissé ce qui produit une dispersion des états de charge au sein de la batterie. Le niveau de dispersion de l’état de charge entre les cellules est utilisé comme paramètre différenciant les stratégies de simulation. Les stratégies **stratégie 2** et **stratégie 3** visent à limiter respectivement des dispersions d’état de charge de 10 et 20%. Ces valeurs de dispersions sont importantes puisqu’il s’agit ici de montrer la sensibilité de la stratégie d’équilibrage sur le vieillissement des cellules. Cette approche est intéressante pour les configurations d’utilisation où l’autonomie du véhicule n’est pas critique. Lorsque l’autonomie devient critique, un équilibrage qui consiste à égaliser les tensions des cellules afin de maximiser l’énergie du pack est réalisé. Dans le contexte du scénario d’usage présenté à la section 2.1, l’équilibrage en tension est donc réalisé uniquement au cours des week-ends.

Comme l’illustre la figure 2, la stratégie entraîne une divergence de l’état de charge des cellules de lundi à vendredi. Les cellules de faible capacité ont alors les plus faibles états de charge. Pendant le week-end, l’état de charge est égalisé de nouveau afin d’obtenir l’autonomie la plus grande possible. Ce choix a été fait en considérant que pendant le week-end, le besoin en énergie est plus important. L’équilibrage est arrêté lorsque la dispersion de tension des cellules est inférieur à 10 mV.

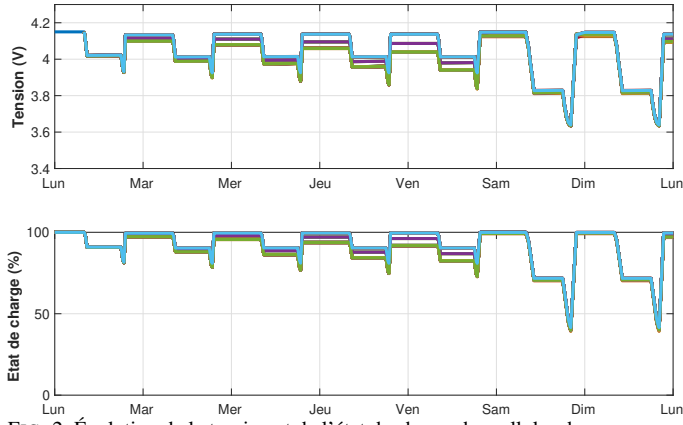


FIG. 2. Évolution de la tension et de l'état de charge des cellules dans un scénario d'équilibrage de l'état de charge avec une dispersion de 10%.

3. RÉSULTATS

3.1. Première configuration : gestion de la dispersion initiale

La première configuration porte sur l'influence de la stratégie d'équilibrage sur la gestion des dispersions initiales de capacités. Les trois stratégies d'équilibrage sont présentées. Pour évaluer les performances des méthodes, le scénario d'usage du véhicule décrit dans la section 2.1 est utilisé à une température de 40°C. La dispersion initiale de capacité (ΔQ_{BoL}) est de 1% autour de la valeur médiane, tandis que les autres paramètres de la batterie (résistance, comportement thermique et de vieillissement) sont identiques. La figure 3 montre l'évolution des capacités des 118 cellules en fonction de la stratégie d'équilibrage utilisée.

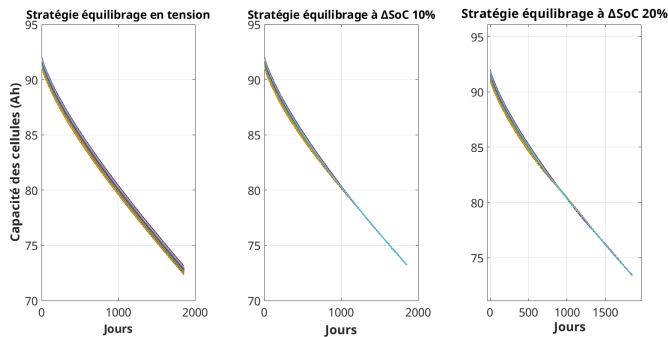


FIG. 3. Évolutions des pertes de capacité en fonction de la stratégie d'équilibrage dans la première configuration.

Les résultats montrent que les méthodes d'équilibrage basées sur la capacité ne permettent pas d'allonger significativement la durée de vie (+0,6 et +1,4% respectivement par rapport à la méthode classique). Par contre, elles permettent d'égaleriser les capacités pendant la durée de vie de la batterie. Après une perte de 20% de la capacité, la dispersion des cellules est restée presque constante lorsque la méthode classique a été utilisée passant de 1 à 1,04%; alors que les cellules se sont homogénéisées avec la nouvelle méthode (0,08 et 0,09% avec un objectif de dispersion de 10 et 20% respectivement). Ce résultat a été confirmé par d'autres simulations avec des valeurs de dispersion initiale de la capacité de 2, 3 et 6%. La figure 4 montre la convergence des capacités au bout de près de 3,5 ans d'usage lorsque la méthode à dispersion de 10% est employée.

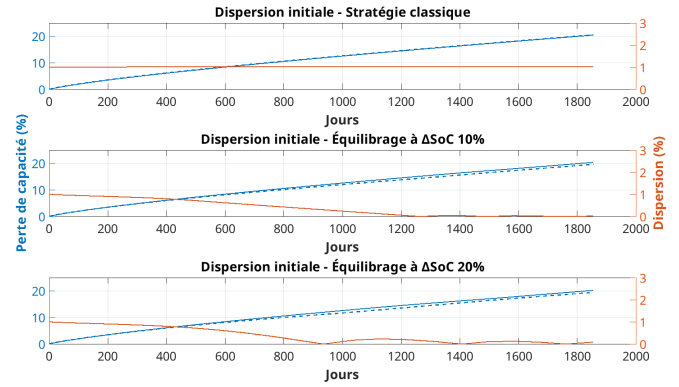


FIG. 4. Évolution de la capacité et de leurs dispersions avec la méthode d'équilibrage basée sur la capacité avec un objectif de dispersion de 10% et 20%. Les lignes bleues continue et pointillé présentent respectivement la perte de capacité de la cellule la plus et la moins performante au début de la vie. La ligne rouge présente l'évolution de la différence de capacité entre ces deux cellules.

Ce résultat permet de conclure que la méthode d'équilibrage proposée présente un intérêt pour uniformiser le niveau de performance des cellules présentant des hétérogénéités au début de la vie.

3.2. Seconde configuration : dispersion de caractéristiques

Dans cette nouvelle configuration, l'usage du véhicule et les stratégies d'équilibrage sont les mêmes que pour la configuration précédente. Par contre, les dispersions de résistance et convection thermique sont considérées en plus de la dispersion de capacité. Une configuration très défavorable a été choisie pour mettre en évidence l'impact des stratégies d'équilibrage : la dispersion de capacité est de 1%, la dispersion de résistance est de 100% et celle de la convection thermique est de 80%. La figure 5 montre l'évolution des capacités des 96 cellules en fonction de la stratégie d'équilibrage utilisée.

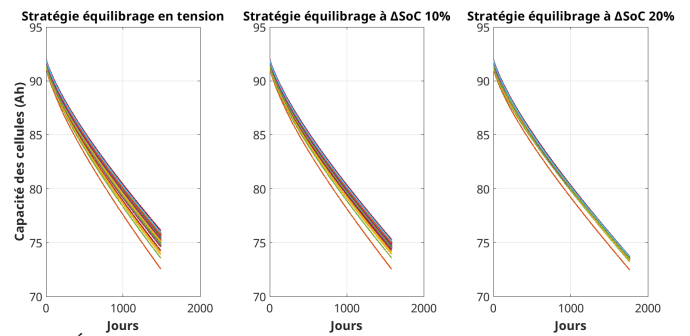


FIG. 5. Évolutions des pertes de capacité en fonction de la stratégie d'équilibrage dans la seconde configuration.

Pour ce scénario, le gain en durée de vie est significatif par rapport à la méthode d'équilibrage basée sur la tension : de l'ordre de 6% pour la stratégie 2 et de 18% pour la stratégie 3. Cependant, dans ce scénario, les nouvelles méthodes d'équilibrage proposées n'ont pas permis d'effacer la dispersion initiale de capacité mais seulement de ralentir l'augmentation de la dispersion. La dispersion de capacité est passée de 1% à l'état initial à 5% pour la méthode classique contre 4 et 2% pour les deux méthodes basées sur la capacité. La figure 6 montre la réduction des dispersions des capacités obtenus en fonction des stratégies d'équilibrage.

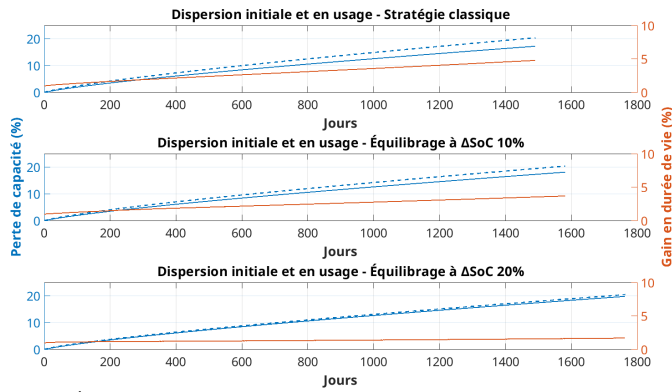


FIG. 6. Évolution de la capacité et de leurs dispersions avec la méthode d'équilibrage basée sur la capacité avec un objectif de dispersion de 10% et de 20%. Les lignes bleues continue et pointillé présentent respectivement la perte de capacité de la cellule la plus et la moins performante au début de la vie. La ligne rouge présente l'évolution de la différence de capacité entre ces deux cellules.

Ce scénario montre que pour la gestion des dispersions en usage les méthodes proposées permettent un gain sur la durée de vie. Leur effet sur la dispersion en capacité est par contre limité.

3.3. Troisième configuration : influence des variations de la vitesse de dégradation

Dans cette configuration, les cellules ont des vitesses de dégradation différentes. L'objectif est d'étudier comment l'équilibrage peut contribuer à réduire les effets de ces hétérogénéités sans nécessairement rechercher leurs causes. La figure 7 présente l'évolution de la capacité et des dispersions de cellules dont les vitesses de dégradation sont hétérogènes.

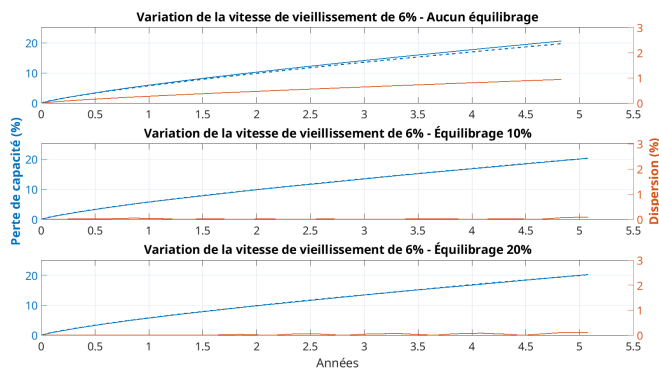


FIG. 7. Évolution de la capacité et du gain en durée de vie de cellules dont les vitesses de dégradation sont hétérogènes avec la méthode d'équilibrage basée sur la capacité avec un objectif de dispersion de 10% et de 20%. Les lignes bleues continue et pointillé présentent respectivement la perte de capacité de la cellule la plus et la moins performante au début de la vie. La ligne rouge présente l'évolution du gain en durée de vie.

Pour ce scénario, le gain en durée de vie est intéressant par rapport à la méthode d'équilibrage basée sur la tension : de l'ordre de 3% pour les stratégies 2 et 3. Les méthodes d'équilibrage proposées ont également permis d'effacer complètement la dispersion initiale de capacité. La figure 6 montre la réduction des dispersions des capacités obtenus en fonction des stratégies d'équilibrage.

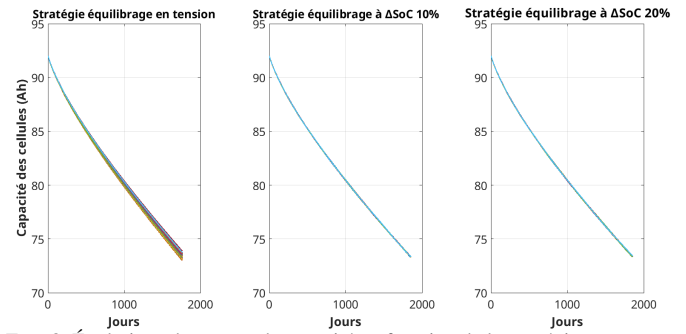


FIG. 8. Évolutions des pertes de capacité en fonction de la stratégie d'équilibrage dans la troisième configuration.

Ce résultat montre l'efficacité de la méthode d'équilibrage proposée.

3.4. Synthèse des résultats

Les tableaux 1 et 2 synthétisent les résultats obtenus en fonction des stratégies d'équilibrage utilisées.

	Stratégie 1	Stratégie 2	Stratégie 3
Dispersion initiale	1803 jours	+1 %	+1 %
Dispersion en usage	1463 jours	+6 %	+18 %
Dispersion en vitesses de dégradation	1792 jours	+3 %	+3 %

TABLEAU 1. Résultats en durée de vie pour les trois méthodes d'équilibrage.

	Stratégie 1	Stratégie 2	Stratégie 3
Dispersion initiale	1 %	- 92 %	- 91 %
Dispersion en usage	5 %	- 23 %	- 64 %
Dispersion en vitesses de dégradation	1 %	-100 %	-100 %

TABLEAU 2. Résultats en dispersion de capacité pour les trois méthodes d'équilibrage.

4. CONCLUSIONS

Dans cet article, une étude de simulation portant sur l'influence de l'équilibrage de la capacité sur la durée de vie des batteries est présentée.

Un outil de simulation basé sur le logiciel VEHLIB a été développé pour mettre en place des études sur la dispersion en prenant en compte différentes conditions d'utilisation du véhicule, de la batterie et du système d'équilibrage.

L'influence de deux stratégies d'équilibrage sur la durée de vie et le niveau de dispersion d'une batterie a été étudié. Les hypothèses de dispersion retenues dans cet article mettent en évidence l'intérêt de notre stratégie d'équilibrage.

Une première configuration a consisté à étudier l'impact de la dispersion de capacité initiale (de 1 à 6%) au sein de la batterie. Dans ce cas, la stratégie d'équilibrage développée n'a pas permis d'améliorer significativement la durée de vie de la batterie (gain inférieur à 2%) par contre elle a permis de réduire fortement la dispersion des cellules au sein de la batterie (jusqu'à 0,1%).

La seconde configuration consistait à ajouter une dispersion sur la résistance et la convection en complément de la dispersion de capacité. Dans ce cas de figure, la nouvelle stratégie d'équilibrage a permis d'allonger fortement la durée de vie de

la batterie (jusqu'à +18% dans certaines configurations) mais l'effet sur la réduction de la dispersion reste limité. La problématique pourrait être reformulée afin de trouver quelles dispersions maximales sont autorisées afin de prolonger la durée de vie et d'homogénéiser l'état de santé des cellules.

La troisième configuration a montré que l'équilibrage pouvait aider à réduire la dispersion de cellules dont les vitesses de dégradation sont différentes.

Le choix de la stratégie nécessite de savoir si l'autonomie est critique. Ce choix peut être laissé au libre arbitre du conducteur mais une perspective de travail serait de prédire l'usage futur en fonction des habitudes passées.

Les algorithmes développés ici permettent de faire un constat intéressant : le paramètre de décision pour créer le groupe de cellules à protéger n'est pas l'état de vieillissement des cellules, mais bien leurs capacités propres. Ainsi, dans une perspective de contrôle des cellules en temps réel par un système BMS, il semble qu'il faille attacher une importance au calcul des capacités de chaque cellule, mais pas nécessairement d'avoir un modèle de vieillissement embarqué et complexe.

Les perspectives de ce travail pourraient consister à effectuer une analyse de sensibilité pour examiner les effets de chaque paramètre du modèle sur les stratégies d'équilibrage, en incluant dans cette analyse les différences de vieillissement des cellules. Cette étude pourrait servir de base au développement de stratégies d'équilibrage intelligentes améliorant le fonctionnement à long terme de la batterie en termes de coûts économiques et d'empreinte environnemental.

5. RÉFÉRENCES

- [1] IPCC, *Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, tech. rep., IPCC, 2022.
- [2] D. Beck, et al., *Inhomogeneities and cell-to-cell variations in lithium-ion batteries, a review*, *Energies*, vol. 14, no. 11, p. 3276, 2021.
- [3] I. Zilberman, et al., *Simulation of voltage imbalance in large lithium-ion battery packs influenced by cell-to-cell variations and balancing systems*, *Journal of Energy Storage*, vol. 32, p. 101828, 2020.
- [4] E. Barbers, et al., *Exploring the effects of cell-to-cell variability on battery aging through stochastic simulation techniques*, *Journal of Energy Storage*, vol. 84, p. 110851, 2024.
- [5] J. Gallardo-Lozano, et al., *Battery equalization active methods*, *Journal of Power Sources*, vol. 246, pp. 934–949, 2014.
- [6] R. Di Rienzo, et al., *A novel methodology to study and compare active energy-balance architectures with dynamic equalization for second-life battery applications*, *Journal of Energy Storage*, vol. 73, p. 108772, 2023.
- [7] J. Brigant, et al., *Système d'équilibrage de l'état de santé des cellules pour l'amélioration de la durée de vie des batteries*, in *Symposium de Génie Électrique SGE 2025*, 2025.
- [8] S. Shili, *Contrôle des circuits d'équilibrage des systèmes de stockage d'énergie (supercondensateurs) en vue d'estimer et d'améliorer leur durée de vie*. PhD thesis, Université de Lyon, 2016.
- [9] J. Kleiner, et al., *Thermal behavior of intelligent automotive lithium-ion batteries : Operating strategies for adaptive thermal balancing by reconfiguration*, *Journal of Energy Storage*, vol. 40, p. 102686, 2021.
- [10] M. Hassini, *Batteries de seconde vie dans une application de recharge de véhicules : Maîtrise des performances*. PhD thesis, Université Claude Bernard Lyon 1, 2024.
- [11] L. Wildfeuer et al., *Quantifiability of inherent cell-to-cell variations of commercial lithium-ion batteries*, *ETransportation*, vol. 9, p. 100129, 2021.
- [12] T. Baumhöfer, et al., *Production caused variation in capacity aging trend and correlation to initial cell performance*, *Journal of Power Sources*, vol. 247, pp. 332–338, 2014.
- [13] S. F. Schuster, et al., *Lithium-ion cell-to-cell variation during battery electric vehicle operation*, *Journal of Power Sources*, vol. 297, pp. 242–251, 2015.
- [14] A. Abbas, et al., *Low-Computational Model to Predict Individual Temperatures of Cells within Battery Modules*, *Batteries*, vol. 10, no. 3, p. 98, 2024.
- [15] Y.-Z. Li, et al., *Temperature uniformity analysis and transient performance of space Li-ion battery pack under different thermoelectric coolers arrangement*, *Journal of Energy Storage*, vol. 92, p. 112213, 2024.
- [16] S. Mishra, et al., *Optimization of lithium-ion battery pack thermal performance : A study based on electrical, design and discharge parameters*, *Applied Thermal Engineering*, vol. 260, p. 125071, 2025.
- [17] M. Hassini, et al., *Modélisation d'une batterie de seconde vie pour le suivi de ses performances dans une station de recharge mobile*, in *Symposium de Génie Électrique SGE 2023*, 2023.
- [18] E. Vinot, et al., *Model simulation, validation and case study of the 2004 THS of Toyota Prius*, *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, vol. 3, no. 3, pp. 139–167, 2008.
- [19] A. Houbbadi, *Optimisation multicritère de la gestion de la recharge d'une flotte de bus électriques*. PhD thesis, Université de Lyon, 2020.