

Impact des modèles batteries dans le dimensionnement en puissance d'un convertisseur pour HESS

Angélique ROY, Stanislas ALLOUCHE, Caio FONSECA DE FREITAS, Tedjani MESBAHI

Université de Strasbourg, 67000, France

Institut National des Sciences Appliquées (INSA Strasbourg), 67000, France

CNRS, ICube Laboratory UMR 7357, Strasbourg, 67000, France

RESUME – L'architecture hybride cascade à source de courant contrôlée permet de réduire la puissance nominale requise pour le convertisseur DC-DC. Cependant, la plupart des études existantes reposent sur des modèles simplifiés de batteries, qui ne prennent pas en compte les effets internes tels que la résistance ohmique ou les dynamiques des réactions électrochimiques. Cet article propose d'évaluer l'impact de l'intégration de modèles réalistes de batteries sur le dimensionnement en puissance du convertisseur. Des modèles, issus de caractérisations expérimentales, sont intégrés dans une simulation de l'architecture étudiée, permettant une comparaison directe avec les résultats obtenus à partir de modèles idéalisés. Il apparaît que la puissance de dimensionnement du convertisseur est fortement sous-estimée lorsque les effets internes des batteries sont ignorés, le passage d'un modèle idéal à un modèle réaliste entraînant une augmentation d'un facteur six.

Mots-clés—Véhicules électriques, Architectures de couplage, Modélisation de batteries, Convertisseur DC-DC.

1. INTRODUCTION

À ce jour, la majorité des véhicules électriques (VE) sont alimentés par des batteries type énergie (BE) avec densité d'énergie (DE) élevée mais faible densité de puissance (DP) [1]. Ce type de batterie est parfaitement adapté aux VE haut de gamme, qui visent une longue autonomie [2]. La masse importante de batterie embarquée compense la faible DP. On peut ainsi obtenir des VE capables de supporter des dynamiques de puissance élevées (hautes vitesses et accélérations). Cependant, dans le cadre d'un déploiement massif de solutions de mobilité individuelle écologiquement responsables, il est nécessaire d'explorer d'autres alternatives. En particulier, la démocratisation des VE passe par le développement de véhicules plus légers, équipés de batteries de plus petite capacité et offrant une autonomie réduite, mais suffisante pour les trajets du quotidien. Ces véhicules sont moins consommateurs en ressources et en énergie.

Le principal inconvénient des BE réside dans leur compromis DE/DP, qui entraîne une dégradation notable des performances de puissance. Pour pallier cette limite, les systèmes hybrides de stockage d'énergie (HESS – *Hybrid Energy Storage Systems*) constituent une solution prometteuse. Ils associent une source à forte DE à une autre à forte DP, permettant ainsi de combiner les avantages respectifs de chacune en termes d'autonomie et de réponse dynamique.

Traditionnellement, les couplages HESS les plus étudiés combinent des BE lithium-ion (Li-ion) avec des supercondensateurs (SC), réputés pour leur très haute DP [3].

Toutefois, l'émergence de batteries Li-ion type puissance (BP), capables de supporter des régimes de charge et de décharge très élevés, remet en question l'usage des SC. Les BP peuvent rivaliser avec les SC en termes de performances de puissance, tout en présentant une compatibilité de tension et une capacité énergétique supérieure. D'après [4], remplacer des SC par des BP permettrait de réduire la masse du système de 10%, son volume de 20%, et son coût de 22%.

La gestion énergétique d'un HESS repose sur l'utilisation d'un ou plusieurs convertisseurs DC-DC, dont l'agencement définit l'architecture de couplage. Ces convertisseurs assurent une répartition maîtrisée des puissances entre les deux sources, garantissant le respect de leurs limites opérationnelles et une décharge cohérente. En particulier, bien que la BP ne soit pas dimensionnée pour assurer l'autonomie principale, elle doit disposer en permanence d'une réserve suffisante d'énergie pour répondre aux besoins ponctuels de puissance du véhicule. Ainsi, les états de charge (SOC – *State of Charge*) des deux batteries doivent évoluer de manière coordonnée tout au long du trajet.

Les architectures de couplage mettent en évidence les défauts et les qualités de chaque stockeur via des paramètres comme le coût ou le nombre de simulations. Ces dernières sont importantes lors des phases de dimensionnement, afin de s'assurer que le système est robuste, mais aussi que l'électronique de puissance présente est suffisante en termes de puissance. La puissance transmise par le convertisseur est sensible aux variations de tension des batteries, elles-mêmes dépendantes de leur SOC, de leur dynamique interne et de leur comportement transitoire. Or, ces effets sont absents des modèles simplifiés généralement utilisés dans les premières phases de conception [5]. Comme ils influencent directement la tension aux bornes du convertisseur, et donc la puissance qu'il doit traiter, l'oubli de ces phénomènes peut conduire à un sous- ou surdimensionnement du convertisseur.

Pour répondre à cette limitation, l'objectif principal de cette étude est d'intégrer des modèles fiables de batteries dans le dimensionnement en puissance d'un convertisseur utilisé au sein d'un HESS. L'approche vise à démontrer comment une modélisation précise des batteries peut anticiper les niveaux de puissance gérées par le convertisseur et donner des indices d'amélioration des performances globales.

La section suivante propose un état de l'art des différentes architectures de couplage. La section 3 discute les différents types de modèles de batteries existants et justifie le choix du modèle retenu dans cette étude. La section 4 décrit la campagne de caractérisation expérimentale menée sur les cellules. La

section 5 présente les résultats de simulation, en comparant les performances du système avec et sans modélisation réaliste des batteries, notamment en termes de puissance instantanée et de puissance de dimensionnement du convertisseur. Enfin, la section 6 discute les implications de ces résultats pour la conception des systèmes d'électronique de puissance, tout en identifiant les limites du modèle adopté et les perspectives d'amélioration envisagées.

2. ARCHITECTURES DE COUPLAGE

Il existe plusieurs moyens d'interconnecter les sources d'énergie d'un système hybride [6]. Certaines architectures de couplage, qualifiées ici de « classiques », sont largement étudiées dans la littérature. Elles sont illustrées dans la Fig. 1.

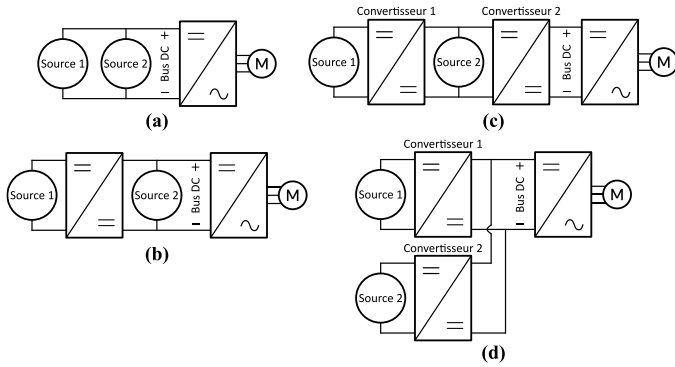


Fig. 1. Architectures classiques de couplage : (a) Connexion directe, (b) Architecture semi-active, (c) Architecture active cascade, (d) Architecture active parallèle, (adaptée de [6]).

La connexion directe (Fig. 1.a) permet de relier directement les deux batteries sans utiliser un convertisseur. Elle a l'avantage d'être simple et économique mais ne laisse pas la possibilité d'optimiser l'énergie transitée. Dans l'architecture semi-active (Fig. 1.b) un seul convertisseur est utilisé, dans deux configurations possibles où soit la BE est contrôlée via le convertisseur, soit la BP. Avec les architectures actives (Fig. 1.c et Fig. 1.d) un contrôle total des puissances est possible. La source de tension étant indépendante de la tension du bus DC, cette architecture offre une flexibilité des tensions des sources. Cependant, la masse importante des deux convertisseurs dégrade les performances du système, une fois que d'un point de vue énergétique, c'est un « poids mort » [5].

Pour pallier les différents problèmes des architectures « classiques », une architecture basée sur une source de courant contrôlée (SCC) a été proposée pour réduire la puissance transitée par les convertisseurs [7]. Inspirée de l'architecture semi-active, la sortie du convertisseur est connectée, dans ce cas, entre les deux batteries. En utilisant des batteries avec tensions proches, la puissance transitée par le convertisseur est donc minimisée. De ce fait, un dimensionnement réduit du convertisseur est justifié. De plus, l'utilisation d'une batterie comme source de puissance, plutôt qu'un SC, limite la puissance de dimensionnement du convertisseur, permettant d'optimiser la performance globale du système.

Dans cette structure (Fig. 2), un étage onduleur est intégré, suivi d'un transformateur pour l'adaptation des niveaux de tension, puis d'un étage redresseur. La tension de sortie est rendue réversible, permettant une opération dans les deux sens du courant. Par rapport à une architecture classique semi-active, une réduction de coût de 65,7% ainsi qu'une diminution de masse de 67,3% sont observées.

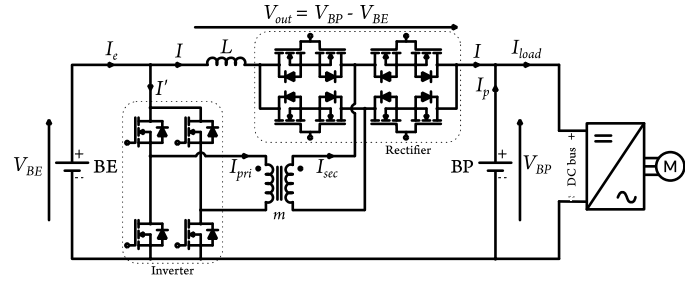


Fig. 2. Architecture cascade à Source de Courant Contrôlée (SCC) [7].

Dans [8], un agencement alternatif de l'architecture cascade à SCC (Fig. 3) a eu son fonctionnement validé en simulation et expérimentalement. Cependant, aucun modèle de batterie, permettant de rapprocher les simulations du comportement réel, n'y est intégré.

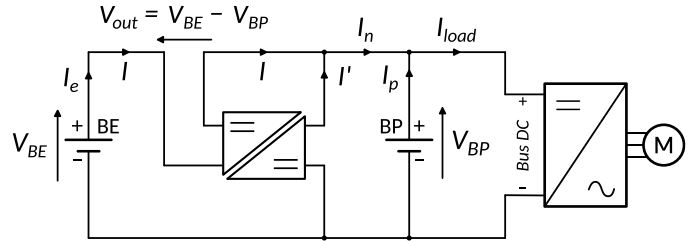


Fig. 3. Agencement alternatif de l'architecture cascade à SCC [8].

Afin de rendre l'étude plus représentative de la réalité, des modèles de batteries sont pris en compte dans ce travail. Le modèle le plus adapté est déterminé à partir de l'état de l'art présenté dans la section suivante.

3. MODÈLES DE BATTERIES

Dans la littérature, plusieurs approches ont été proposées pour la modélisation du comportement des batteries. Trois grandes catégories peuvent généralement être distinguées :

a) Modèle Électrochimique

Deux modèles électrochimiques peuvent être listés [9][10]:

- Le *Single Particle Model* (SPM) simplifie la diffusion des ions lithium en les représentant par une seule particule, ce qui facilite la modélisation mais limite la précision et l'applicabilité physique.
- À l'inverse, le modèle Doyle-Fuller-Newman (DFN), grâce à une approche pseudo-bidimensionnelle, offre une grande précision en modélisant les variations de concentration et de potentiel, mais sa complexité mathématique et le nombre élevé de paramètres nécessaires compliquent sa mise en œuvre.

b) Modèle Mathématique

Ce modèle se base sur les équations de Shepherd et permettent une intégration de nombreuses variables telles que la température ou le vieillissement [11]. Ils sont simples à utiliser mais moins précis (5 à 20 % d'erreur) et nécessitent des ajustements pour améliorer leur exactitude.

c) Modèle de Circuit Électrique Équivalent

Avec cette approche, le comportement de la batterie est modélisé par un circuit électrique dont les composants traduisent le comportement des réactions au sein de la batterie.

La modélisation la plus simple est celle où uniquement la résistance interne de la batterie est prise en compte, ce qui limite la précision.

D'autre part, le Modèle de Thévenin introduit des couples RC pour prendre en compte les différentes dynamiques des réactions électrochimiques au sein de la batterie. Avec plusieurs couples RC, la précision s'améliore, mais la modélisation devient plus complexe.

Dans le but d'obtenir un modèle à la fois précis mais simple à mettre en place, le modèle de Thévenin avec un couple RC a été choisi (Fig. 4). Ce montage est alors composé d'une source parfaite, symbolisant la tension en circuit ouvert (OCV – *Open Circuit Voltage*), d'une résistance R_{int} représentant la résistance interne, ainsi que d'un couple RC. Avec ce montage, la tension de la batterie est donnée par (1). Ce montage permet d'allier une simplicité de création avec une précision importante.

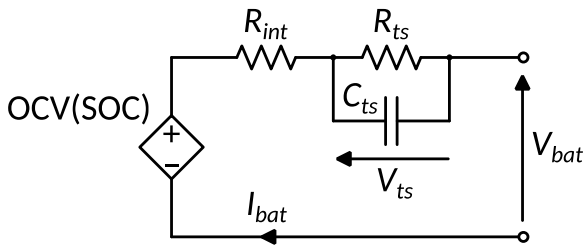


Fig. 4. Schéma du modèle de Thévenin.

$$V_{bat} = OCV(SOC) - R_{int} \cdot I_{bat} - V_{ts} \quad (1)$$

Une fois le modèle choisi, des campagnes de caractérisation expérimentale ont été réalisées. Les caractéristiques principales des cellules retenues ainsi que la procédure de caractérisation est détaillée dans la section suivante.

4. CARACTERISATION DES CELLULES ET DIMENSIONNEMENT DES BATTERIES

Dans cette section, les résultats de la caractérisation expérimentale des deux cellules retenues pour cette étude sont présentés. L'objectif est de paramétrer le modèle de Thévenin utilisé dans les simulations, en s'appuyant sur des données expérimentales fiables. Le Tableau 1 résume les caractéristiques principales des cellules utilisées.

Tableau 1. Caractéristiques des cellules utilisées.

	Cellule énergie RS PRO 880-1558	Cellule puissance NA18650-1250
Tension	3,7 V	3,8 V
Capacité	2,6 Ah	1,25 Ah
Courant de décharge max	9 A	50 A
Courant de recharge max	-2,4 A	-7,25 A
Masse	30 g	37 g

Les campagnes de mesure ont été menées à l'aide d'un cycleur BaSyTec permettant de piloter précisément les cycles de charge et de décharge selon des profils programmables. Les cellules ont été placées dans des boîtes de sécurité Bat-Safe, conçues pour la protection passive contre les risques thermiques (Fig. 5).

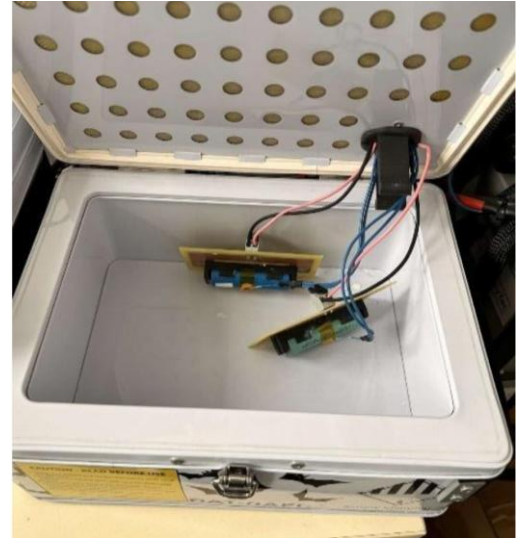


Fig. 5. Cellules caractérisées placées dans une boîte de sécurité.

Les essais se sont déroulés à température ambiante, en deux phases. La première a consisté à réaliser 3 cycles de charge et décharge avec un courant de 1C. La deuxième a consisté à réaliser aussi 3 cycles de charge et décharge, mais avec des temps de pause de 10 minutes à intervalles réguliers. Cela permet d'extraire une *lookup table* OCV(SOC), traduisant la tension à vide en fonction de l'état de charge.

La résistance interne est déterminée à travers la chute de tension présente lors du début de la phase de décharge. Pour la cellule puissance, la valeur trouvée a été de 10 mΩ, tandis que pour la cellule énergie elle vaut 200 mΩ.

Afin de déterminer la valeur du couple RC, une valeur de R_{ts} égale à celle de R_{int} a été posée. La valeur de C_{ts} est ensuite calculée selon (1) pour les différents points de cyclage (Fig. 6). La valeur la plus adaptée est donc choisie.

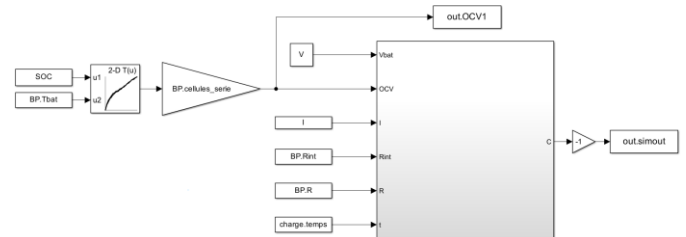


Fig. 6. Schéma de détermination de C_{ts} .

Une tentative de modélisation de la branche RC a été menée pour la BE, mais s'est révélée incohérente : la tension simulée V_{bat} restait confondue avec la tension à vide sur l'ensemble du cycle, sans refléter les variations attendues en réponse aux cyclages de courant. De plus, la forme des courbes de tension issues de la simulation ne correspondait pas à celles observées lors des essais expérimentaux. Par conséquent, seule la résistance interne a été conservée dans le modèle.

Suivant la méthode de dimensionnement présentée dans [12], les batteries, dont les caractéristiques électriques sont données sur le Tableau 2, sont obtenues. Elles sont dimensionnées à partir du cycle normalisé Artemis [13] pour une autonomie de 150 km, comme fait dans [8]. La tension du bus DC est considérée comme 400 V.

Tableau 2. Couple BE–BP dimensionné.

	BE	BP	Batteries combinées
Masse (kg)	32,20	49,63	81,83
Énergie (kWh)	10,32	6,37	16,67
Tension (V)	450	400	400
$P_{bat_{max}}$ (kW)	35,74	254,86	290,60
$P_{bat_{min}}$ (kW)	-9,53	-36,95	-46,48
R_{int} (Ω)	2,75	0,66	–
R_{ts} (Ω)	–	0,66	–
C_{ts} (kF)	–	17,56	–

En résumé, les essais de caractérisation ont permis d'extraire, pour chaque cellule, la résistance interne, et, pour la cellule puissance, la loi OCV(SOC) et le couple RC. Ces paramètres alimentent directement les modèles mis en œuvre en simulation. Dans la section suivante, l'effet de ces modèles sur le dimensionnement du convertisseur sera évalué et comparé au cas idéal où aucun comportement interne de la batterie n'est pris en compte.

5. DIMENSIONNEMENT EN PUISSANCE DU CONVERTISSEUR ET IMPACT DES MODELES BATTERIES

Afin d'évaluer l'influence de la modélisation des batteries sur la puissance de dimensionnement du convertisseur DC-DC, deux simulations ont été réalisées en appliquant la stratégie de gestion d'énergie par limitation de puissance [14], comme présenté dans la Fig. 7. La première utilise des modèles « idéaux » des batteries, c'est-à-dire une tension constante égale à la valeur OCV nominale (indépendante du courant ou du SOC), sans résistance interne ni couple RC. La seconde adopte les modèles réalistes identifiés en section 4 : pour la BE, on associe une source de tension constante à une résistance interne R_{int} ; pour la BP, on intègre la loi OCV(SOC) et la branche RC.

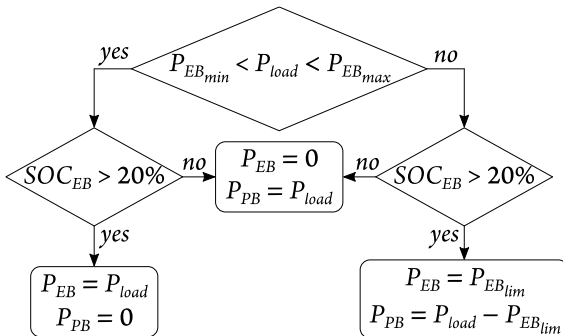


Fig. 7. Diagramme de la stratégie de gestion par limitation de puissance [8].

5.1. Dimensionnement avec modèles « idéaux »

L'évolution des SOC des batteries dans le cas idéal est présentée en Fig. 8. Le système assure un déchargement coordonné des deux sources jusqu'à 20% de SOC en fin de cycle, confirmant la cohérence de la stratégie de gestion d'énergie. La Fig. 9 montre la puissance instantanée traitée par le convertisseur, qui atteint un maximum de 3,97 kW lors des phases de forte dynamique. Cette puissance dépend à la fois du courant fourni par la BE et de l'écart de tension entre les deux batteries, supposé constant dans ce scénario.

La Fig. 10 précise la répartition des contributions en puissance. La BE fournit la quasi-totalité de la puissance moyenne sur l'ensemble du cycle, tandis que la BP intervient principalement en soutien transitoire. Lorsque le SOC de la BE atteint le seuil de 20%, la BP prend le relais pour couvrir les besoins restants. Dans tous les cas, les limites de puissance de l'une ou l'autre des batteries ne sont dépassées.

Dans ce cas de simulation avec modèles idéalisés, les tensions des batteries étant constantes, la puissance de dimensionnement du convertisseur est directement égale à la puissance maximale qu'il transite, soit 3,97 kVA. Elle correspond au produit du courant maximal observé et de la tension fixe appliquée au convertisseur, cette dernière n'étant pas influencée par l'état de charge ni les effets internes des cellules.

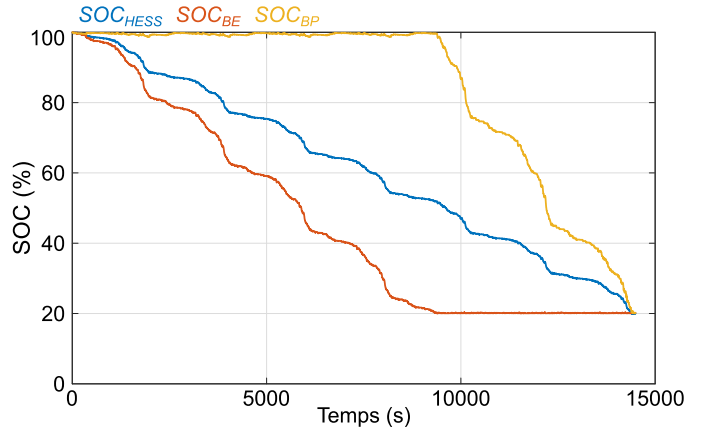


Fig. 8. Évolution des SOC, avec modèles « idéaux ».

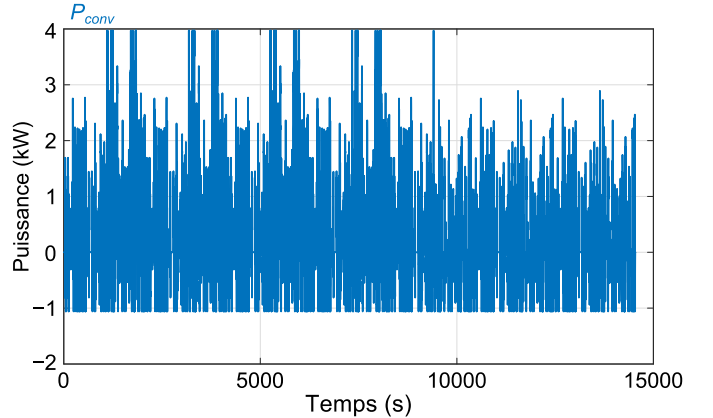


Fig. 9. Puissance transmise par le convertisseur, avec modèles « idéaux ».

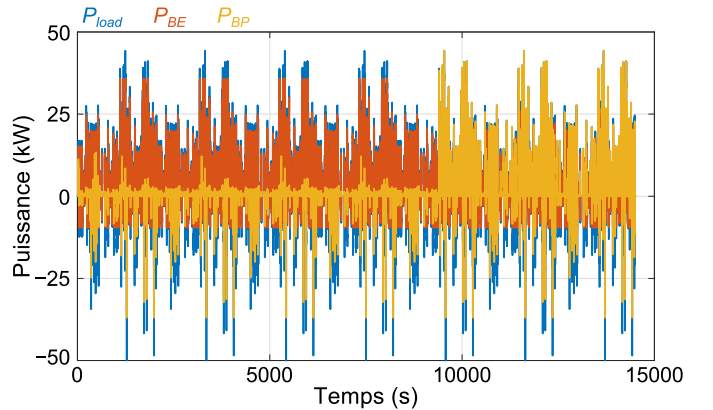


Fig. 10. Puissances de la charge et des batteries, avec modèles « idéaux ».

5.2. Dimensionnement avec modèles réalistes

Lorsque les modèles réalistes des batteries sont pris en compte, l'évolution des SOC (Fig. 11) reste globalement similaire à celle du cas idéal. La stratégie assure un fonctionnement coordonné des deux sources, bien que la décharge de la BE soit légèrement plus rapide. Ce comportement s'explique par la présence de la résistance interne, qui induit des pertes supplémentaires non négligeables.

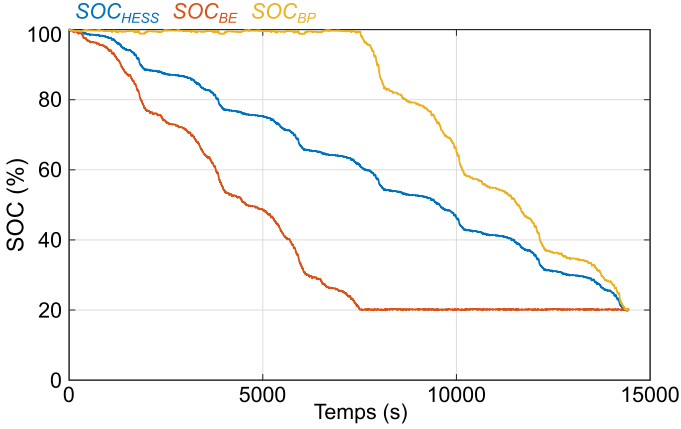


Fig. 11. Évolution des SOC, avec modèles réalistes.

La Fig. 12 montre la puissance instantanée transmise par le convertisseur. Contrairement au cas idéal, les profils sont ici moins symétriques et présentent des fluctuations plus marquées, traduisant la complexité introduite par les modèles physiques des batteries. La Fig. 13 confirme que la puissance moyenne est encore majoritairement fournie par la BE, avec des contributions transitoires de la BP. On remarque cependant que les puissances maximales échangées par les batteries ne correspondent plus exactement aux limites indiquées dans le Tableau 2. En effet, ces limites sont définies à partir des courants maximaux admissibles multipliés par les tensions nominales des cellules. Or, dans le cas avec modèles réalistes, les tensions varient en fonction du SOC et des dynamiques internes. Les valeurs limites de puissance deviennent donc elles aussi variables, ce qui explique les écarts observés par rapport aux valeurs fixes du cas idéal. Cette remarque souligne la nécessité de prendre en compte les tensions réelles dans l'évaluation des contraintes de fonctionnement.

La Fig. 14 présente l'évolution des tensions aux bornes des batteries au cours du cycle. Pour la BE, bien que la tension à vide soit supposée constante, la tension observée varie en fonction du courant traversant la cellule, en raison de la chute de tension induite par la résistance interne. On observe ainsi des baisses de tension significatives lors des phases de forte décharge. Du côté de la BP, le comportement est différent : la tension suit globalement la forme du SOC, du fait de la loi OCV(SOC) utilisée dans le modèle. À cela s'ajoutent les effets modélisés par la résistance interne et la branche RC. Ainsi, les tensions des deux batteries n'évoluent pas de la même manière, en cohérence avec les modèles adoptés, mais influencent directement les contraintes appliquées au convertisseur.

Dans ce contexte, la puissance de dimensionnement du convertisseur ne peut plus être assimilée à la simple valeur maximale de puissance transmise. Elle doit être calculée comme le produit entre la tension maximale appliquée au convertisseur et le courant maximal qu'il est amené à transiter. Dans le cas présent, ces valeurs s'élèvent respectivement à 295,3 V (V_{out}) et 79,43 A (I), conduisant à une puissance de dimensionnement

de 23,45 kVA. Cette valeur, très supérieure à celle obtenue dans le cas idéal (3,97 kVA), met en évidence le risque de sous-dimensionnement majeur si les effets internes des batteries ne sont pas pris en compte lors de la phase de conception.

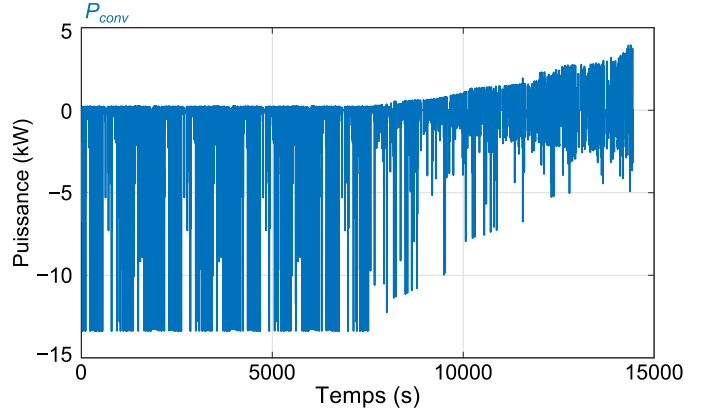


Fig. 12. Puissance transmise par le convertisseur, avec modèles réalistes.

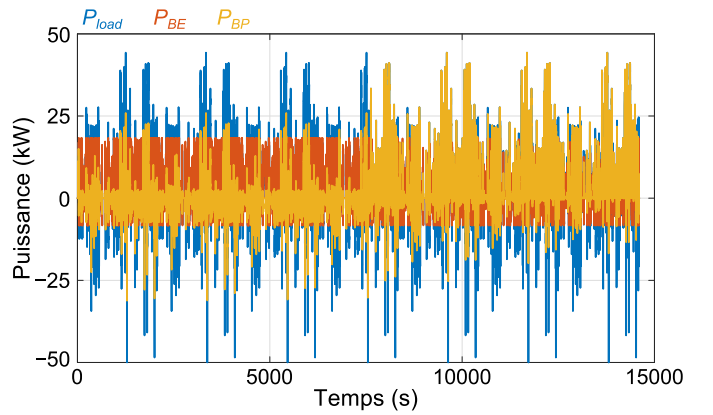


Fig. 13. Puissances de la charge et des batteries, avec modèles réalistes.

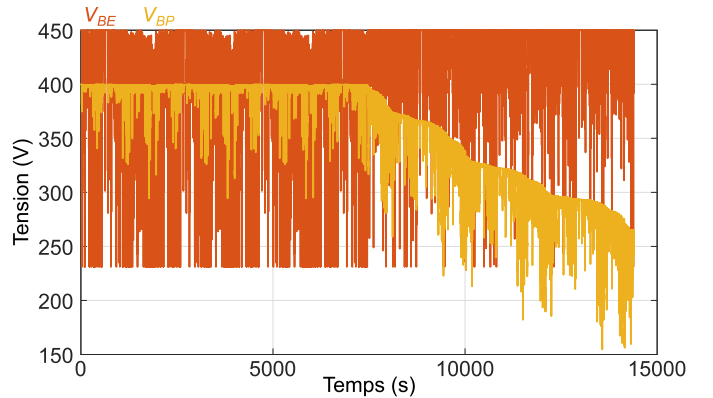


Fig. 14. Évolution des tensions des batteries, avec modèles réalistes.

5.3. Discussion

En résumé, la prise en compte des modèles réalistes de batteries, intégrant les effets de la résistance interne, la dépendance de la tension au SOC, et les dynamiques liées au couple RC, modifie profondément l'évaluation des contraintes appliquées au convertisseur. Alors que les modèles idéalisés suggèrent un dimensionnement de 3,97 kVA, l'intégration des effets internes conduit à une puissance de 23,45 kVA, soit un facteur presque 6 entre les deux estimations. Cette différence majeure souligne l'importance de représenter fidèlement le comportement des batteries dès les premières phases de conception.

L'analyse comparative met en évidence deux origines principales de cet écart. D'une part, la variation de tension due à la résistance interne des batteries, qui affecte directement la puissance transmise par le convertisseur ; d'autre part, les effets dynamiques modélisés par le couple RC dans la batterie puissance, qui filtrent partiellement les transitoires mais peuvent aussi introduire des surintensités ponctuelles. La forme des tensions et courants vus par le convertisseur s'en trouve modifiée, avec des conséquences notables sur les contraintes à respecter.

L'approche proposée repose néanmoins sur certaines hypothèses simplificatrices. En particulier, le modèle de la BE reste incomplet : la tension à vide y est supposée constante. Cette simplification pourrait certainement sous-estimer des contributions dynamiques ou transitoires.

Dans les travaux futurs, il est prévu d'intégrer un modèle plus complet pour la BE, incluant notamment une dépendance de la tension au SOC ainsi qu'une branche RC. Des simulations supplémentaires permettront alors de quantifier plus précisément l'impact de cette cellule sur les contraintes du convertisseur, et d'évaluer si les écarts observés jusqu'ici doivent être révisés à la hausse.

6. CONCLUSION

Cette étude a mis en évidence l'influence déterminante de la modélisation des batteries sur le dimensionnement en puissance du convertisseur dans une architecture hybride à source de courant contrôlée. En passant d'un modèle idéal à une modélisation réaliste incluant les effets internes des cellules, la puissance de dimensionnement passe de 3,97 kVA à 23,45 kVA, révélant un risque majeur de sous-dimensionnement si ces effets sont ignorés. Des perspectives d'amélioration sont ouvertes, notamment par l'intégration d'un modèle plus complet pour la batterie énergie, afin d'approfondir encore l'analyse et d'affiner les critères de conception de l'électronique de puissance.

7. REFERENCES

- [1] S. S. Sinha and P. Bharadwaj, "Hybrid Energy Storage System for the Life Extension of Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles", *2024 IEEE 4th International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET)*, Hyderabad, India, 2024, pp. 1-6, doi: [10.1109/SEFET61574.2024.10718026](https://doi.org/10.1109/SEFET61574.2024.10718026).
- [2] T. Franke and J. F. Krems, "What drives range preferences in electric vehicle users?", *Transport Policy*, vol. 30, pp. 56-62, Nov. 2013, doi: [10.1016/j.tranpol.2013.07.005](https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.07.005).
- [3] T. Mesbahi et al., "Combined Optimal Sizing and Control of Li-Ion Battery/Supercapacitor Embedded Power Supply Using Hybrid Particle Swarm-Nelder-Mead Algorithm", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 8, no. 1, pp. 59-73, Jan. 2017, doi: [10.1109/TSTE.2016.2582927](https://doi.org/10.1109/TSTE.2016.2582927).
- [4] R. Sadoun, « Intérêt d'une source d'énergie électrique hybride pour véhicule électrique urbain – dimensionnement et tests de cyclage », Thèse de Doctorat, Centrale Lille, France, 2013.
- [5] C. Fonseca de Freitas, « Hybridation de batteries puissance-énergie avec convertisseur de couplage à dimensionnement réduit: Application aux véhicules électriques urbains: Application aux véhicules électriques urbains », Thèse de doctorat, Centrale Lille Institut, France, 2023.
- [6] C. F. de Freitas, P. Bartholomeus, X. Margueron and P. Le Moigne, "Low-volume and high-efficiency converter solution for interfacing a Hybrid Energy Storage System (HESS)", *2021 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Gijon, Spain, pp. 1-6, Oct. 2021, doi: [10.1109/VPPC53923.2021.9699150](https://doi.org/10.1109/VPPC53923.2021.9699150).
- [7] N. Allali, « Convertisseur haut rendement à dimensionnement réduit pour batterie hybridée puissance/énergie de véhicule électrique : Principe de source de courant contrôlée », Thèse de doctorat, École Centrale de Lille, France, 2017.
- [8] C. A. Fonseca de Freitas, P. Bartholomeus, X. Margueron and P. Le Moigne, "Partial Power Converter for Electric Vehicle Hybrid Energy Storage System Using a Controlled Current Source Cascade Architecture", *IEEE Access*, vol. 12, pp. 150898-150913, Oct. 2024, doi: [10.1109/ACCESS.2024.3477935](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3477935).
- [9] N. Lotfi, J. Li, R. G. Landers and J. Park, "Li-ion Battery State of Health Estimation Based on an Improved Single Particle Model", *2017 American Control Conference (ACC)*, Seattle, WA, USA, pp. 86-91, 2017, doi: [10.23919/ACC.2017.7962935](https://doi.org/10.23919/ACC.2017.7962935).
- [10] S. Taslimi Taleghani, « Modélisation et simulation des piles aux lithium ions », Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, Canada, 2019.
- [11] Z. M. Salameh, M. A. Casacca and W. A. Lynch, "A mathematical model for lead-acid batteries", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, v. 7, n. 1, p. 93-98, March 1992, doi: [10.1109/60.124547](https://doi.org/10.1109/60.124547).
- [12] C. F. de Freitas, P. Bartholomeus, X. Margueron, and P. Le Moigne, "Ragone plot-based method for sizing an Electric Vehicle's Battery-Battery Hybrid Energy Storage System (HESS)", *2021 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Gijon, Spain, pp. 1-6, Oct. 2021, doi: [10.1109/VPPC53923.2021.9699182](https://doi.org/10.1109/VPPC53923.2021.9699182).
- [13] M. André, "The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions", *Science of the total Environment*, vols. 334-335, pp. 73-84, Dec. 2004, doi : [10.1016/j.scitotenv.2004.04.070](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.070).
- [14] R. Carter and A. Cruden, "Strategies for control of a battery/supercapacitor system in an electric vehicle", *2008 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, Ischia, Italy, pp. 727-732, 11-13 June 2008, doi: [10.1109/SPEEDHAM.2008.4581315](https://doi.org/10.1109/SPEEDHAM.2008.4581315).