

Étude comparative des dispositifs de stockage d'énergie applicables aux systèmes PV autonomes

Eric Korsaga^{1,*}, Charles Yaguibou¹, Eric Simonguy¹, Dominique Bonkougou¹

¹Laboratoire de Matériaux et Environnement, Université Joseph KI- ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03,
* ekorsaga@gmail.com

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article:

Reçu le : 31 juillet 2019

Reçu en format révisé le : 18 novembre 2019

Accepté le : 23 novembre 2019

Mots-Clés: Technologie de stockage, solaire photovoltaïque, Système autonome, Indice de performance

RESUME

L'énergie solaire photovoltaïque constitue une bonne alternative aux énergies conventionnelles. Toutefois, l'alternance jour/nuite et les aléas climatiques limitent son utilisation de façon permanente. Pour pallier cette insuffisance et assurer la continuité du service dans les systèmes photovoltaïques (PV), l'utilisation de dispositif de stockage d'énergie est nécessaire. Il existe différents types de stockage dont certains déjà utilisés et d'autres en développement. Dans cette communication, nous proposons d'examiner les principales caractéristiques des différentes techniques de stockage d'électricité et leur domaine d'application dans les systèmes PV au Burkina Faso. Pour permettre le choix des dispositifs de stockage adaptés, nous avons développé une approche caractérisée par l'indice de performance que nous avons implémenté en utilisant des matrices élémentaires de décision et des matrices globales de décision. Les résultats obtenus montrent que la méthode proposée permet de déterminer les dispositifs appropriés pour chaque type d'application et selon les besoins de la charge.

I. INTRODUCTION

Le Burkina Faso dispose d'une diversité de ressources renouvelables dont l'énergie solaire photovoltaïque avec un potentiel estimé à 5, 5 kWh/m²/jour. Paradoxalement au taux d'ensoleillement élevé, le taux de la couverture en électricité est très faible en zone rurale (moins de 10%) [Woangoet al, 1012 ; Ramdé, 2013]. Cette disparité entre les villes et les campagnes se justifie par les faibles revenus et la faible densité de la population rurale, mais accentuée par l'insuffisance des solutions énergétiques décentralisées [Bonkougou, 2016]. Cependant, on constate que la majorité des installations photovoltaïques déjà existantes sont soit sous-exploitées, soit défectueuses. Cela est souvent dû au fait que le dispositif de stockage utilisé n'est pas adapté aux besoins de la charge ou aux conditions climatiques (températures élevées, aérosols, etc.).

Dans cet article, nous allons analyser et essayer d'apporter un élément de comparaison entre les différentes technologies de stockage existantes. Plusieurs travaux ont été déjà menés dans ce sens : [Robin et al, 2012 ; Ibrahim et al, 2012, San Martin et al, 2011]. L'objectif principal de cette comparaison est d'identifier en fonction de la nature de l'application, des besoins de la

charge et des conditions météorologiques, la technologie de stockage la mieux adaptée pour les systèmes PV autonomes.

II. DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES DE STOCKAGE

Le stockage de l'énergie électrique est une opération qui consiste à placer une certaine quantité d'énergie dans un lieu donné pour en disposer lorsque la production sera interrompue ou insuffisante. Selon la quantité d'énergie stockée, on peut distinguer les technologies de stockages à petite échelle et à grande échelle (Figure 1) :

- ceux sont des techniques qui permettent de stocker une certaine quantité d'énergie pouvant aller de quelques wattheures à quelques Mégawattheures sur une courte durée (de quelques millisecondes à quelques heures). Il s'agit : des condensateurs, des supercondensateurs, des inductances supraconductrices, du volant d'inertie, des batteries et du stockage d'énergie sous forme d'hydrogène ;

- ceux sont des dispositifs de stockage qui permettent de stocker d'importantes quantités d'énergie (de quelques Mégawattheures à plus du Gigawattheure) sur de longues périodes (de quelques heures à plusieurs jours). Nous

pouvons citer le stockage d'énergie sous forme hydraulique, d'air comprimé et thermique ;

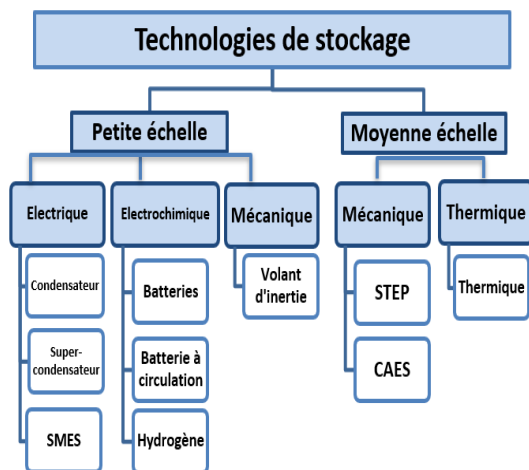


Figure 1 : Différentes types de technologies de stockage.

III. COMPARAISON DES TECHNOLOGIES DE STOCKAGE

Pour faire le choix des technologies de stockage, nous avons considéré un certain nombre de caractéristiques propre aux systèmes PV que sont : une autonomie assez élevée, une capacité énergétique, une puissance disponible assez élevées (au moins d'une centaine de Watts), le rendement, la durée de vie le coût l'écologie et la maturité de la technologie. Le tableau 1 compare les caractéristiques des principales technologies de stockages [Ibrahim et al, 2008 ; Korsaga et al, 2018].

À la suite de cette comparaison, il ressort que les techniques de stockage telles que les STEP, les CAES, les accumulateurs électrochimiques (plomb-acide et lithium-ion), les batteries redox et le stockage d'énergie sous forme d'hydrogène possèdent des caractéristiques proches de ceux applicables aux systèmes PV. Ils peuvent donc être utilisés comme technologies de stockage dans les systèmes photovoltaïques [Ibrahim et al, 2011].

Comparaison selon l'indice de performance

Il s'agit d'une méthode de comparaison s'inspirant de celle utilisée par [Ibrahim et al, 2011, 2012] dans le cas d'un générateur éolien. Pour une comparaison plus fine, nous regroupons d'abord les techniques de stockage en deux catégories d'applications autonomes suivant la valeur de la puissance fournie. Ensuite nous définissons les coefficients de pondération pour chaque catégorie afin de calculer l'indice de performance. Sa détermination se fait à partir d'une matrice de décision qui permet de pondérer l'importance, par des coefficients variant de 5 à 10%, de chaque caractéristique du système de stockage en fonction des exigences spécifiques de l'application considérée. Les matrices élémentaires et de globale de

décision sont données respectivement dans les tableaux 2 et 3

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Dans les applications à petites échelles, les batteries au lithium-ion et plomb-acide affichent de meilleures performances par rapport aux autres techniques de stockages. Les supercondensateurs, les inductances supraconductrices et les volants d'inertie ayant une dynamique plus rapide peuvent aussi être associés à ces batteries (lithium-ion ou plomb-acide) pour réguler l'énergie lors des appels de puissances élevées. Cela permettra d'éviter le surdimensionnement des batteries et d'augmenter leurs performances (Figure 2).

Pour les applications à moyennes échelles, ceux sont : la STEP et le CAES qui sont les plus appropriés. Toutefois, ces technologies de stockages nécessitent des sites adaptés. Les anciens sites miniers sous-terrain peuvent être utilisés pour stocker l'air comprimé. Pour les STEP, Les barrages hydroélectriques existants peuvent être transformés en STEP (Figure 2).

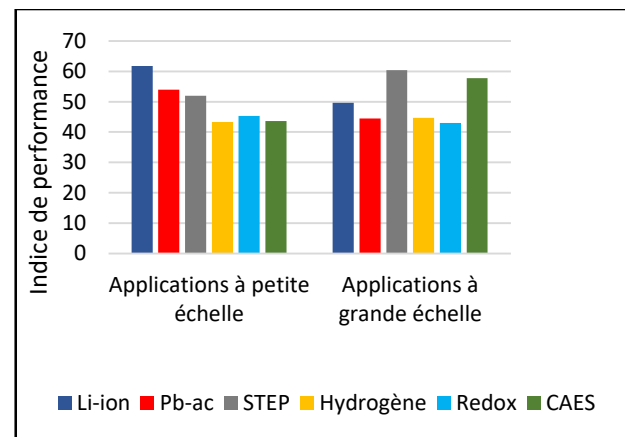


Figure 2 : Indices de performances des technologies de stockage applicables aux systèmes PV suivant deux catégories d'applications.

V. CONCLUSION

L'étude comparative des différents dispositifs de stockage effectué dans ce travail a permis de dégager les technologies de stockage qui peuvent être utilisées dans les systèmes PV. Grâce au regroupement des techniques de stockage en deux catégories d'applications et à l'utilisation de la méthode de comparaison basée sur l'indice de performance, nous avons déterminé pour chaque catégorie, les techniques de stockage les plus adaptées.

Ainsi, pour les applications à petite échelle, la batterie au lithium-ion est la meilleure option comparée aux autres technologies en matière de performances. Pour des applications à moyenne échelle, la station de transfert d'énergie par pompage (STEP) est souhaitable.

Tableau 1 : Données technico-économiques pour les principales technologies de stockage.

| Technologies | Densité (Wh/kg) | Puissance | Capacité | Autonomie | η (%) | Durée de vie (Années) | Coût (FCFA/kWh) | Maturité |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------|---------------|-----------|------------|-----------------------|-----------------|------------|
| STEP | 1Wh/kg pour une chute de 360 m | 0,1-1GW | 1-100GWh | 2-5 jours | 65-80 | > 40 ans | 47500-97500 | Très bonne |
| CAES | 8Wh/kg pour une caverne de 200 bars | 100-1000MW | 10MWh-10GWh | 1h- 2 jrs | 50 | > 30 ans | 32500-52000 | Moyenne |
| Volant d'inertie | 1-5 kWh/kg | 2-40MW | 0.5-10MWh | 5 mn-1h | 80-90 | >30ans | 98250-1310000 | Moyenne |
| SMES | 1-5 Wh/kg | 10kW-5MW | 1-10 kWh | 5 s- 1mn | > 90 | 20-30 ans | > 6550000 | Moyenne |
| Super-condensateur | 5-10 kWh/kg | 10kW-5MW | 1-5 kWh | 2-5 mn | 90- 95 | >20 ans | 10480000 | Moyenne |
| Accumulateurs électrochimiques | 20- 120 kWh/kg | 10kW-1000MW | 10kWh-1000MWh | 10mn-10h | 70- 80 | 2- 10ans | 32750-655000 | Très bonne |
| Batterie à circulation | 33 Wh/kg | 1- 10MW | 10- 100MWh | > 1 mois | 70 | 5- 30 ans | 65500- 196500 | Prototype |
| Hydrogène et pile à combustible | 300-600Wh/kg | 1kW-10MW | 10kWh-10GWh | 1h-3 jrs | 30- 50 | 5-10ans | 325000-975000 | Moyenne |

Tableau 2 : Matrice élémentaire de décision pour le critère de cyclable (petite échelle).

| Cyclabilité | STEP | CAES | Hydrogène | Redox | Pb-ac | Li-ion | Total |
|-------------|------|------|-----------|-------|-------|--------|-------|
| STEP | - | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4.5 |
| CAES | 0,5 | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 4,5 |
| Hydrogène | 0 | 0 | - | 0,5 | 1 | 1 | 2.5 |
| Redox | 0 | 0 | 0,5 | - | 1 | 0,5 | 2 |
| Pb-ac | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Li-ion | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 1 | - | 1,5 |

Tableau 3: Matrice globale de décision (moyenne échelle).

| | Pondération | STEP | CAES | Hydrogène | Redox | Pb-ac | Li-ion |
|----------------------|-------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|
| Coût | 0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,05 | 0,25 | 0,25 | 0,05 |
| Capacité | 0,1 | 0,45 | 0,45 | 0,25 | 0,25 | 0,05 | 0,05 |
| Autonomie | 0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,1 | 0 | 0,2 |
| Cyclabilité | 0,075 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,1125 | 0 | 0,1125 |
| Géologie | 0,075 | 0,0375 | 0,0375 | 0,1875 | 0,1875 | 0,3375 | 0,3375 |
| Influence climatique | 0,075 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,1125 | 0,1125 | 0,1875 |
| Maturité | 0,075 | 0,2625 | 0,075 | 0,1125 | 0,075 | 0,3375 | 0,1875 |
| Adaptabilité aux PV | 0,05 | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,125 | 0,225 | 0,225 |
| Efficacité | 0,05 | 0,125 | 0,125 | 0,05 | 0,125 | 0,2 | 0,25 |
| Autodécharge | 0,05 | 0,25 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0 | 0,05 |
| Diminution des GES | 0,05 | 0,125 | 0,225 | 0,225 | 0,225 | 0,225 | 0,225 |
| Sécurité | 0,05 | 0,175 | 0,175 | 0 | 0,175 | 0,05 | 0,175 |
| Aspect écologique | 0,05 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,075 | 0,05 | 0,05 |
| Temps de réponse | 0,05 | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Simplicité | 0,05 | 0,125 | 0,125 | 0,025 | 0,025 | 0,225 | 0,225 |
| Total | 1 | 3,075 | 2,9375 | 2,275 | 2,1875 | 2,2625 | 2,525 |
| Rang | | 1 | 2 | 4 | 6 | 5 | 3 |

REFERENCES

- Bonkougou, D, 2016. « Étude de l'impact de la variabilité de l'irradiation solaire et des paramètres météorologiques sur la production d'énergie d'une centrale solaire PV alimentant en réseau isolé un village du Burkina Faso » Thèse, Université Joseph Ki-Zerbo.
- Woango, M. Koalaga, Z. and Zougmore, F, 2012. « A guideline for sizing Photovoltaic panels across different climatic zones in Burkina Faso » *iop science*, DOI :10.1088/1757-899X/29/1/012014.
- Ramdé, E.W, 2013. « Concentrating solar power in west Africa: site selection and potential assessment » Thesis, Kwamé N'krumah University.
- Robin, G, Ruellan, M, Multon, B, 2012. « Solutions de stockage de l'énergie pour les systèmes de production intermittente d'électricité renouvelable » Hal-00676109.
- Ibrahim, H, Dimitrova, M, and Dutil Y, 2012. « Wind-Diesel hybrid system: energy storage system selection method » in *nostok*, the 12th International Conference on Energy Storage.
- Ibrahim, H, Ilinca, A and Perron, J, 2008. « Energy storage systems-Characteristics and comparisons » *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.12, pp. 1221-1250.
- Ibrahim, H, Dimitrova, M and Rouse, D, 2011. « Générateur éolien-diesel avec stockage d'énergie : critères de choix du système de stockage » *CIFQ / Énerg. Renouv.* 01, Vol. 10, pp. 1021-1027.
- San Martin, J.I, Zamora, I and Aperribay V, 2011. « Energy storage technologies for electric applications » *RE&PQJ*, N°.1, Vol.9.
- Korsaga, E, Koalaga, Z, Bonkougou, D, 2018. « Comparaison et détermination des dispositifs de stockage appropriés pour un système photovoltaïque autonome en zone sahélienne », *JITIPEE*, Vol. 4, N°1, 3, ISSN 2428-8500, DOI : 10.18145/jitipee.v4i1.161, 2018