

Article 21. Quels systèmes de stockage de l'énergie pour Madagascar ?

M. Fanampisoa Beatrice^{1,2}, E. J. R. Sambatra^{1,2}, A. J. C. Rakotoarisoa^{1,3}, N. J. Razafinjaka^{1,3}

¹Ecole Doctorale Thématique Energie Renouvelable et Environnement
de l'Université d'Antsiranana

²Groupe de Recherche pour le Développement Durable de Diégo-Suarez
de l'Institut Supérieur de Technologie d'Antsiranana

³Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université d'Antsiranana

Correspondante : fbmilaso@gmail.com

Mots clés : Système de stockage d'énergie, énergies renouvelables, solaire photovoltaïque, éolienne, système hybride.

Résumé

Le besoin de stockage est une réponse à des considérations d'ordre économique, environnemental, géopolitique et technologique. Techniquement et technologiquement, les acteurs de la filière énergétique produisent de l'énergie et contrôlent les dispositifs de production sans difficulté avec des marges bien définies. Seulement, l'ensemble de la communauté scientifique est confronté à des problématiques liées aux systèmes de stockage. Ainsi, ce papier relate les différentes techniques de dispositifs de stockage disponibles sur le marché d'aujourd'hui. Cette contribution met en exergue les atouts et limites de chaque système par le biais d'une analyse comparative technico-économique. Dans l'optique d'optimiser l'efficacité énergétique d'une centrale de production de petite puissance, adaptée aux zones rurales malagasy et à base de sources renouvelables (solaire photovoltaïque, éoliennes), le résultat de l'état de l'art susmentionné permet de proposer les systèmes de stockage les mieux adaptés pour les dispositifs concernés.

Nomenclature

AD	Autodécharge [%]
AFREC	African Energy Commission
Au	Autonomie [h]
C	Capacité [Wh ou Ah]
Na-NiCl ₂	Chlorure de Sodium (Zebra)
CAES	Air comprimé « Compressed Air Energy Storage »
Co	Cout [€/kWh]
Coef	Coefficient de pondération des critères
Cyc	Cyclable [Nombre de cycles]
Dr	Délais de réaction [h]
Dm	Densité massique [Wh/kg]
Dv	Densité volumique [Wh/l]
Dv	Durée de vie [Années]
EnR	Energie Renouvelable
Li-FePO ₄	Lithium Fer-Phosphate
Li-Po	Lithium Polymère
Li-ion	Lithium-Ion
Mat	Maturité
MDM	Matrice de Décision Multicritère
Ni-Cd	Nickel Cadmium
Ni-Fe	Nickel Fer
Ni-Zn	Nickel Zinc
NiMH	Nickel-Hydrure Métallique
NPE	Nouvelle Politique de l'Energie
PV	Photovoltaïque
Pb-Ac	Plomb acide
Pb Block	Plomb block
Pb-OPzS	Plomb OPzS
Pb-OPzV	Plomb OPzV
DOD	Profondeur de décharge [%]
P	Puissance nominale [W]
P _m	Puissance massique [W/kg]
RV	Redox au vanadium
η	Rendement énergétique [%]
NaS	Sodium de Soufre
STEP	Stations de Transfert d'Énergie par Pompage
SSE	Système de stockage de l'énergie
θ _{max}	Température de fonctionnement maximale [°C]
θ _{min}	Température de fonctionnement minimale [°C]
U _{ne}	Tension nominale d'un élément [V]

1. INTRODUCTION

Le mode de vie que l'homme a adopté fait en sorte que l'énergie est un des moteurs de développement incontournable, et Madagascar n'en manque pas pour devenir une nation prospère. En effet, le Pays dispose de multiples ressources énergétiques aussi bien fossiles que renouvelables (l'hydraulique, l'éolienne, le solaire PV, la marine, la géothermie et la biomasse, etc), toutefois, ces sources d'énergies sont sous-exploitées par rapport aux besoins de la population. Parmi les potentiels nationaux, pour ne citer que les types renouvelables, l'hydraulique offre un potentiel de 7800MW distribué dans l'entièreté du pays. Cependant, seulement environ 350MW, c'est-à-dire 2% du potentiel total est exploitée [4]. Le potentiel moyen en ce qui concerne l'ensoleillement est estimé à 2000kWh/m²/an pendant 2800heures par an [1]. Pour l'éolien, Madagascar présente de grand gisement avec des vitesses moyennes du vent évaluées à 6 à 8m/s au Nord et 6 à 6,5m/s au Sud à 50m de hauteur [4]. Les ressources en biomasse agricole (balle de riz, canne à sucre) et les déchets organiques ainsi que solides pouvant aussi renforcer la production électrique.

De nos jours, la production d'électricité à Madagascar est assurée par 66% d'hydraulique et thermique, et 34% d'hydrocarbures [1]. D'après la base de données de l'AFREC en 2017 [3], la Figure 1 montre l'évolution de la production annuelle d'électricité ainsi que celle par sources renouvelables de 2000 à 2017.

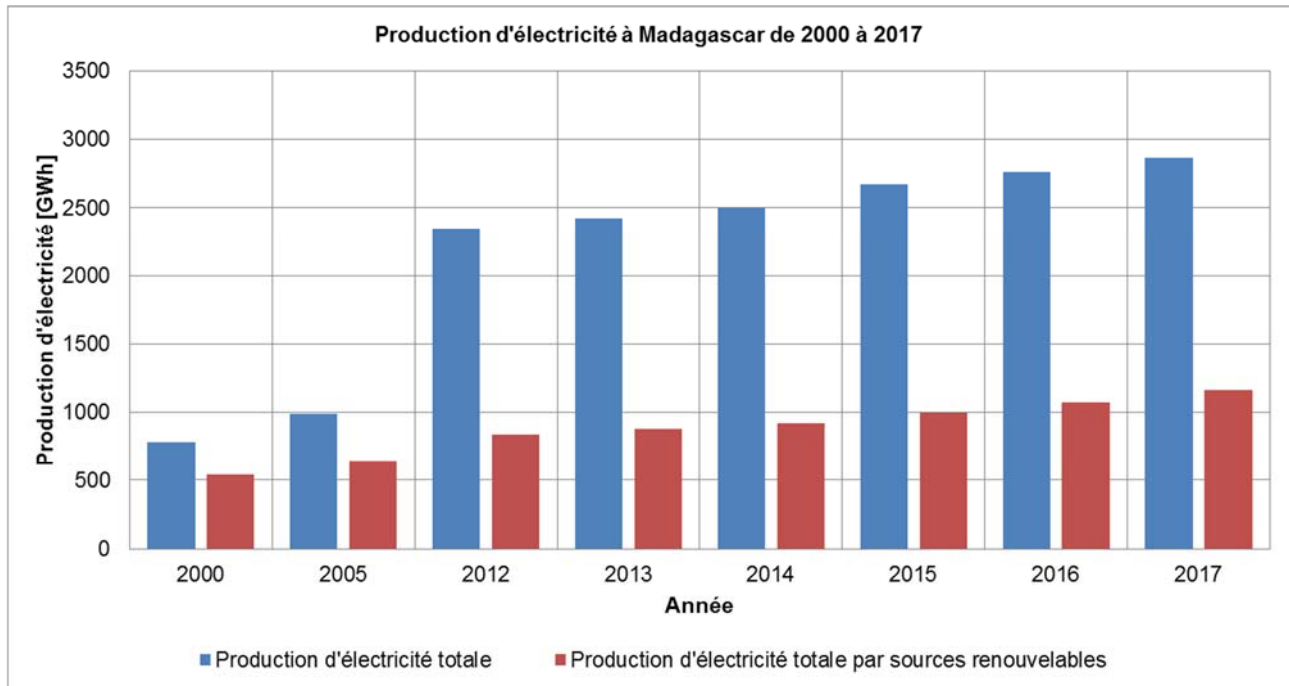


Figure 27

: Productions d'électricité avec sources renouvelables et totale à Madagascar de 2000 à 2017 [3].

Cette figure montre que la production totale d'électricité est passée de 780 à 2865GWh de 2000 à 2017. Un saut brusque est constaté entre 2005 et 2012 car l'évolution a presque triplé. De même pour l'EnR, on constate une évolution positive mais la pente est très faible. La production a presque doublé de 2000 à 2017 par contre le taux de pénétration de l'EnR s'est régressée de 69% en 2000 à 41% en 2017 [3]. Cependant, un regain du recours vers l'EnR est ressenti depuis 2014, même si la progression reste assez faible.

Par ailleurs, en 2015, le taux d'électrification est de 15% seulement dont 4% au niveau rural abritant plus de 66% de la population de Madagascar [1].

Face à ce gouffre et vu les potentiels énergétiques de Madagascar, avec la NPE 2015-2030, l'Etat vise à augmenter le taux d'électrification jusqu'à 70% dont 17% en milieu rural en 2030.

Avec cette vision, les 80% de la production seront de sources à énergies renouvelables, tels que présenté sur la Figure 2.

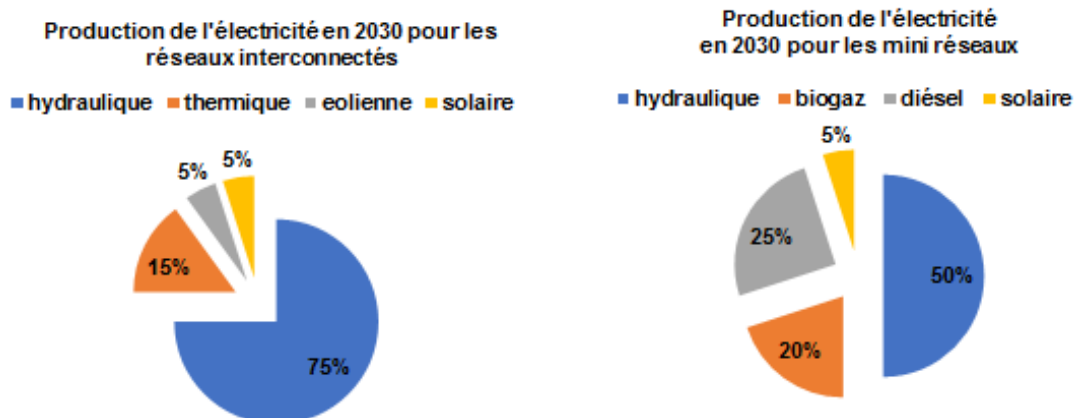


Figure 28 : Statistique de production d'électricité de Madagascar en 2030, source NPE 2015-2030

Dans le cadre de l'engagement de l'Etat Malagasy vers la transition énergétique, il projette de renforcer sa production d'énergie en misant beaucoup plus sur l'EnR. Mais dans tous les cas, le volet stockage est inévitable. En amont, plusieurs formes peuvent être citées : bois secs, charbons, pétroles, gaz, eau, ... Il s'agit de dispositifs et pratiques maîtrisés et utilisés par l'ensemble de la population. Le dilemme se manifeste en aval, au niveau du cas de l'utilisation sous forme électrique de l'énergie car si la production pourrait se faire en très grande quantité, le stockage ne suit pas forcément. Plusieurs technologies de production et de configuration sont répandues dans le territoire sur différents niveaux de puissance et dont la plupart sont à base de PV comme source principale et muni de système d'appoint et/ou de stockage. Face à cette émergence de nouvelle technologie (à l'échelle nationale) de production d'énergie à base d'EnR mais aussi la multitude de technologies de systèmes de stockage de l'énergie sur les marchés, ce papier propose une approche originale de choix de dispositifs de stockage adapté à Madagascar.

Pour cela, la première partie de cette contribution est réservée à un aperçu des différents dispositifs de stockage de l'énergie au sens large. Cette étape permet de mettre en exergue ceux qui seraient exploitables dans le Pays. Ces derniers feront ensuite l'objet d'une analyse approfondie sur la base de matrices de décision en vue de permettre un choix judicieux de dispositifs adéquats.

2. SYSTEME DE STOCKAGE D'ENERGIE OU SSE

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. Les techniques de stockage utilisées sont très nombreuses. Selon leur nature, on peut distinguer le stockage direct et le stockage indirect comme indiqué sur la Figure 3 suivante :

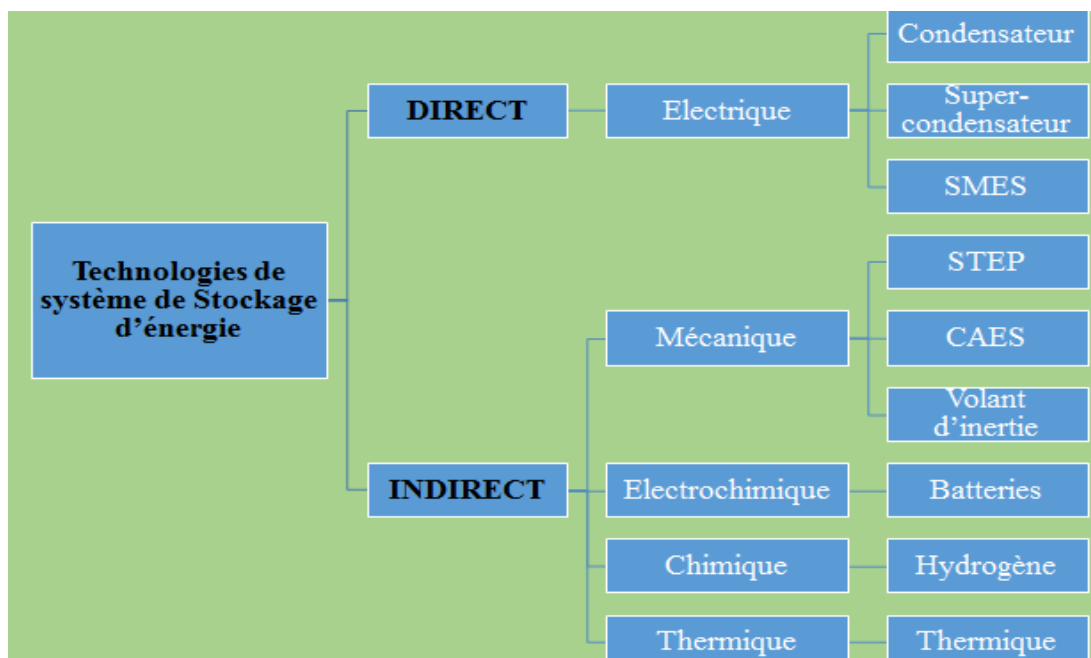


Figure 29: Classification des dispositifs de stockage

2.1. Stockage direct

Ce sont des techniques qui permettent de stocker directement l'énergie sous forme électrique. Il s'agit : des condensateurs, des supercondensateurs et des inductances supraconductrices. Ces techniques de stockage sont considérées comme des sources de puissance à cause de leur grande puissance spécifique et de leur faible densité.

2.2. Stockage indirect

Pour stocker l'énergie de façon significative et l'utiliser sur de longues périodes, il est nécessaire de la transformer d'abord en une autre forme d'énergie intermédiaire et stockable (potentielle, cinétique, chimique ou thermique) tels que les Accumulateurs électrochimiques ; Stockage sous forme d'hydrogène ; Stockage hydraulique (STEP) ; Stockage à air comprimé (CAES) ; Volant d'inertie ; Stockage sous forme thermique.

3. TYPES DE SYSTEME DE STOCKAGE APPLIQUES A MADAGASCAR

Il existe aujourd'hui un grand nombre de technologies de stockage. Leur intégration dans les réseaux électriques soulève des interrogations quant au choix de la technologie la plus adaptée aux besoins. En effet, chaque technologie a ses spécificités en termes de taille, de puissance délivrée, de coût, de nombre de cycles et donc de durée de vie, de densité énergétique, de maturité, etc. Actuellement, la limite principale s'articule autour du coût par rapport à la capacité, l'autonomie et la puissance.

Le Tableau 4 résume les caractéristiques de performance de chaque type de SSE. Les SSE supercondensateurs et supraconductrice sont les plus couteux mais moins puissants. Alors que le STEP est le plus puissant avec un prix abordable

parmi les autres mais d'habitude, il est destiné aux systèmes de production à grande échelle. Les productions à petite échelle, plus précisément les sources éoliennes et PV, sont associées au SSE accumulateurs électrochimiques. Ce système est parmi les plus matures, puissants, durables mais un peu cher.

Sur les marchés, plusieurs accumulateurs électrochimiques sont disponibles. Elles sont distinguées en deux (02) classes, la classe primaire (batteries non rechargeables comme les piles alcalines ZnMnO₂) et la classe secondaire (rechargeables). A part leurs emplois dans l'automatisation, les batteries de type rechargeable sont utilisées pour stocker de l'énergie produite par de sources éoliennes et principalement PV.

Dans ce sens, à Madagascar, l'électrification des villages ruraux se fait par des systèmes autonomes à petite échelle sur la base de batteries d'accumulation à titre de stockage. Ceci est dû au fait que les sources énergétiques renouvelables sont intermittentes et ne sont pas disponibles à tout moment. Le besoin de stockage s'avère ainsi nécessaire pour combler le manque ou inexistence de sources initiales (soleil, vent, ...).

Il existe plusieurs types des batteries rechargeables, tels que les batteries plomb-acide; nickel-cadmium; nickel-métal hybride; Sodium-Soufre; Redox au Vanadium et Accumulateur au Lithium (ion; polymère; métal polymère et Fer-Phosphate). Ce cas fera l'objet d'une analyse plus poussée dans le paragraphe suivant.

Tableau 8: Données technico-économiques des technologies de stockage d'énergie [2] [8] [10] [13]

Technologies	dm	P	C	Au	η	Dv	Co	Mat	Dr	Cyc
STEP	1kWh/m ³	100MW à 1GW	1 à 100GWh	Qlq jours	65 à 80	>40	70 à 150	+++	10min	11000
CASE	12kWh/m ³	100 à 1000MW	10MWh à 10GWh	1h à Qlq jours	50 à 70	>30	50 à 150	++	1min	11000
Hydrogènes et piles à combustible	300 à 600Wh/kg	1kW à 10MW	10kWh à 10GWh	1h-Qlqs jours	30 à 50	5 à 10	<500	+	100ms	
Volants d'inertie	1 à 5kWh/kg	2 à 40MW	0,5 à 10kWh	Qlq mn à 1h	80 à 90		150 à 25 000	++	5ms	1000 à 100000
SMES		10kW à 1MW	1-10kWh		>90	20 à 30	38 000		ms	
Super-condensateurs	5 à 10Wh/kg	10kW à 5 MW	1-5kWh	Qlq mn	90 à 95		10000 à 20000	++	3ms	10000 à 50000
Supraconductrice	1 à 5Wh/kg	10kW à 5 MW	1-10kWh	Qlq s-1mn	>90G	20 - 30	500 à 72000	++	8ms	> 10000
Accumulateurs électrochimiques	12 à 120kWh/kg	10kW à 1000MW	10kWh à 1000MWh	10mn – 10h	70 à 80		50 à 2000	+++	1ms	500 à 4000
Batteries à circulation	33kWh/m ³	1 à 10MW	10 à 100MWh	>mois	70 à 80		101 à 302	-	1ms	2000 à 12000

4. ANALYSE COMPARATIVE DES STOCKAGES ELECTROCHIMIQUES

4.1. Approche méthodologique

Parmi les nombreuses méthodes de comparaison, l'approche adoptée dans le cadre de cette contribution se base sur la « Matrice de décision multicritère (MDM) ». Cette dernière permet d'évaluer plusieurs options dans des situations où toutes possibilités semblent plausibles. Pour ce faire, l'approche consiste à parcourir les 5 étapes suivantes :

- Identifier l'objectif de la démarche et le type de décision ;
- Dresser la liste des solutions possibles ;
- Elaborer la liste des critères à prendre en compte ;
- Evaluer chacune des solutions vis-à-vis de chacune des critères ;
- Pondérer les jugements pour désigner la solution ayant les meilleures évaluations.

4.1.1. Identification de l'objectif de la démarche et le type de décision

La décision à prendre s'agit du type de batteries adapté pour le cas de Madagascar. Selon les besoins actuels du pays et les configurations de sources de production les plus en vogue, le critère « type » est attribué aux « accumulateurs électrochimiques ».

4.1.2. Liste des solutions possibles

Il s'agit concrètement des technologies de batterie à évaluer. Comme il en existe plusieurs types, les technologies suivantes constitueront notre base d'étude. Il faut noter que d'autres technologies ont été recensées mais avaient été délibérément supprimées de la liste due à l'insuffisance de données techniques les concernant. Ainsi, à titre non exhaustif, les technologies retenues pour l'analyse comparative sont :

- Plomb-acide et Block ;
- Plomb OPzS et OPzV ;
- Nickel-Fer;
- Nickel-Cadmium;
- Nickel-Zinc;

- Redox au Vanadium ;
- Sodium-Soufre ;
- Lithium-Ion ;
- Lithium-Polymère ;
- Lithium-Fer-Phosphate ;
- Nickel-Metal Hybride ;
- Chlorure de sodium

4.1.3. Liste des critères à prendre en compte

La littérature propose plusieurs éléments de comparaison des stockages par batteries d'accumulateurs. Les critères sont très variables selon les besoins et les niveaux de précision souhaités. Dans le cadre de cette étude, l'ensemble des critères recensés sont pris en considération dans le choix et à base de MDM. Ainsi, les éléments constituant la MDM sont composés des 16 critères suivants [10] :

Coût, Fiabilité, Autodécharge, Durée de vie, Rendement, Autonomie, Temps de réponse, Capacité de stockage, Temps de décharge, Puissances disponibles, Densités massiques, Densités volumiques, Impact environnemental, Contraintes opératoires, Recyclage, Profondeur de décharge.

Tableau 9 : Tableau comparatif technico-économique des stockages électrochimiques [5] [6] [7] [8] [9] [14] [19].

Critères	Ni-Cd	Ni-Mh	NaS	Pb Ac	Li-ion	Li-Po	Ni-Zn	Na-NiCl2	Li-FePO4	Pb Block	Pb OPzS	Pb OzV	NiFe	RV
dm	45 à 80	60 à 120	100 à 240	30 à 50	110 à 250	180 à 200	70 à 80	120	95 à 140	20 à 35	20 à 35	20 à 35	18 à 25	10 à 35
Dv	10 à 20	5 à 15	10 - 15	4 à 15	5 à 15	5 à 10	10	12	5 à 10	5 à 6	7 à 8	12 à 15	20	6 à 15
Cyc	1500 à 2500	800 à 2000	4000-5300	180 à 1800	500 à 3000	200 à 3000	500	3 000	2500 à 3000	300	1 500	2 200	1500	10000 à 13000
AD	>20	40	0,11	3	3	3	5	>100	1	5	3	3	3	6
η	60 à 85	70 à 75	70 - 90	70 à 90	85 à 96	90	80	99	95	85	85	85	90	60 à 85
θ_{min}	-40	-20	290	-20	-20	0	-20	300	-20	-10	-10	-10	-20	
θ_{max}	70	50	360	60	70	50	60	300	55	40	40	40	50	
DOD	80	80	> 100	80	>100	80			80	80	80	80	80	>100
Co	700 à 1300	850 à 1600	260 à 440	170 à 350	530 à 2500		300	550	675	141	211	295	450	130 à 900
dv	50 à 150	220 à 330	170	75 à 120	220 à 330		120 à 140	180						
P _m	100 à 300	200 à 1500	150 à 230	75 à 700	150 à 2000	250	1 000	200						166
U _{ne}	1,2	1,2	4	225	3,65	3,7	1,65	2,6	3,2					

Dans le but d'avoir, une base de données pouvant permettre d'évaluer les technologies par rapport aux critères, le Tableau 3 regroupe les valeurs des différents critères pour chaque type de batterie. Les éléments y sont fournis sans aucun critère de sélection ni de classification. A ce niveau de l'étude, ils sont justes relevés à titre informatif.

4.1.4. Evaluation des solutions vis-à-vis des critères

A partir des valeurs brutes du Tableau 3, cette étape consiste à classer chaque critère par l'attribution de notes correspondant à leurs valeurs selon chaque technologie comme le montre le Tableau 4 suivant :

Tableau 10: Classification des critères par attribution de notes par intervalle

Paramètres	dm	Dv	Cyc	AD	η	θ_{min}	θ_{max}	DOD	Co	dv	P _m	U _{ne}	Notes
Valeur minimale	0	0	0	0	0	-40	0	0	0	0	0	0	0,1
Valeur maximale	250	20	30000	100	100	0	360	100	2500	333	2000	3,7	1
Pas d'intervalle	25	5	278	10	10	4	36	10	250	33	200	0,37	0,1

Pour chaque critère, une note normalisée de 0,1 à 1 et en 9 intervalles pourrait être attribuée à un critère donné. A titre d'exemple, pour les densités massiques de :

- 24Wh/kg \in [0 ; 25], la note est de 0,1 ;
- 240Wh/kg \in [226 ; 250], la note est de 1 ;

Ensuite, une hiérarchisation des critères selon la littérature ainsi que les particularités des modes d'utilisation à Madagascar est effectuée. Ceci consiste à affecter des coefficients de pondération (**Coef** sur le Tableau 5) selon l'importance des critères. Les valeurs peuvent varier de 0,1 à 1.

Le Tableau 5 résume les notes affectées à chaque technologie selon les critères mais aussi mentionne la pondération affectée à chaque critère.

Tableau 11 : Pondération et des notes attribuées à chaque critère

Critères	Coef.	Ni-Cd	Ni-Mh	NaS	Pb-Ac	Li-ion	Li-Po	Ni-Zn	Na-NiCl2	Li-FePO4	Pb Bock	Pb OPzS	Pb OPzV	NiFe	RV
dm	0,6	0,4	0,5	1	0,2	1	0,8	0,4	0,5	0,6	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
Dv	1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,5	0,3	0,4	0,8	1	0,8
Cyc	0,8	0,9	0,8	1	0,7	1	1	0,2	1	1	0,2	0,6	0,8	0,6	1
AD	0,8	0,5	0,2	1	1	1	1	0,9	0,1	1	0,9	1	1	1	0,9
η	1	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	1	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
θ_{min}	0,4	1	0,6	0,1	0,6	0,6	0,2	0,6	0,1	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	0
θ_{max}	0,4	0,2	0,2	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0
DOD	0,2	0,8	0,8	1	0,8	1	0,8	0	0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1
Co	1	0,5	0,4	0,9	0,9	0,1	0	0,9	0,8	0,8	1	1	0,9	0,9	0,7
dv	0,6	0,5	1	0,6	0,4	1	0	0,5	0,6	0	0	0	0	0	0
Pm	0,6	0,2	0,8	0,2	0,4	1	0,2	0,5	0,1	0	0	0	0	0	0,1
U _{ne}	0,6	0,4	0,4	1	0,7	1	1	0,5	0,8	0,9	0	0	0	0	0

4.1.5. Décision sur le choix de solutions ayant les meilleures évaluations.

Sur la base de l'ensemble des critères établis précédemment, en particulier les notes attribuées aux critères ainsi que les coefficients de pondération, tous les deux sur la base de la MDM, la figure suivante illustre les évolutions des cas de chaque technologie en fonction des importances des critères les concernant :

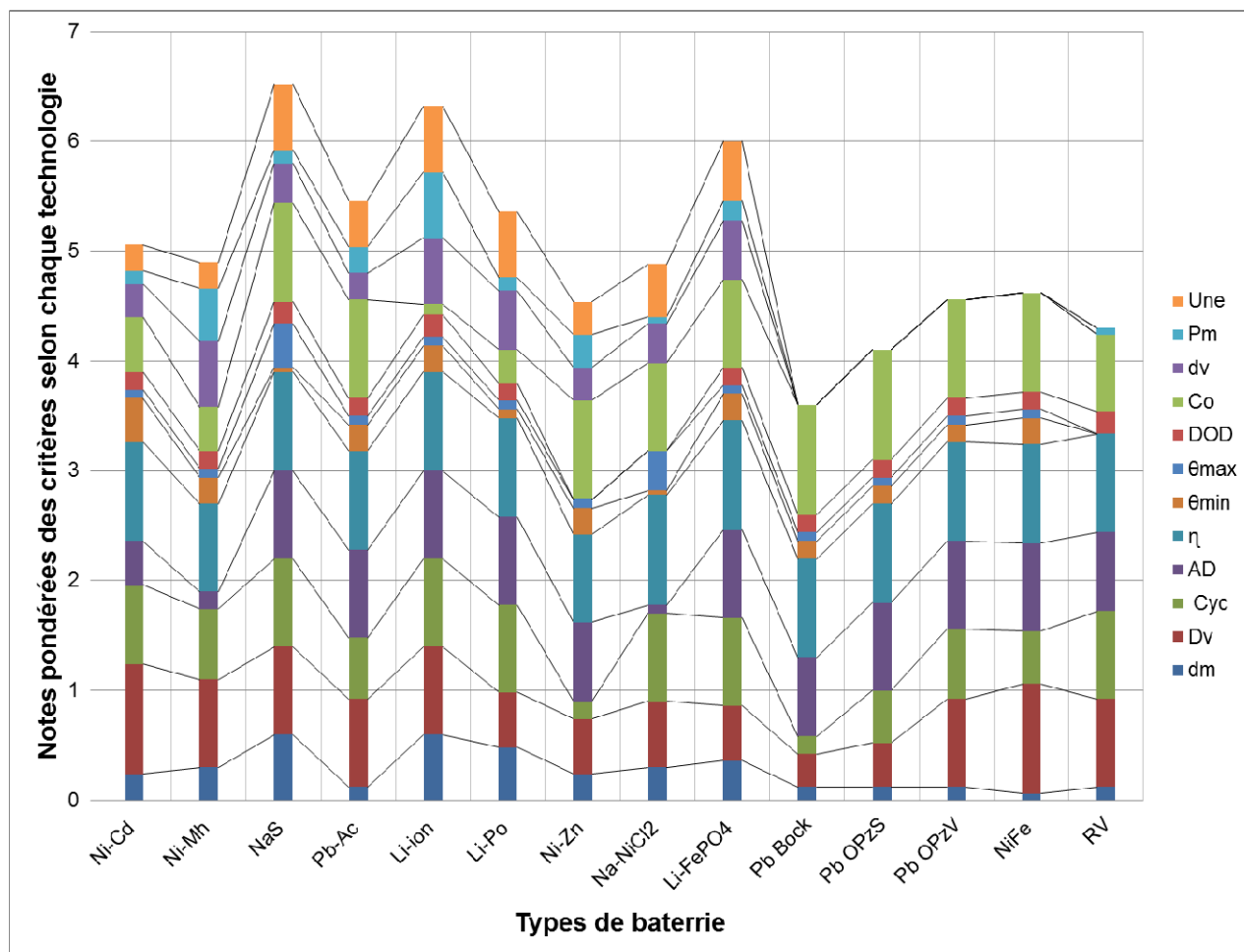


Figure 30: Evolutions des évaluations de chaque technologie de stockage électrochimique selon les différents critères notés et pondérés

D'après la Figure 4, les batteries les plus performantes et par ordre d'importance sont les Sodium de soufre, Lithium-ion, Lithium fer phosphate, Plomb acide, Lithium polymère et Nickel cadmium. A ce même niveau, celles les plus défavorables sont les Plomb Block, Plomb OPzV et Redox au Vanadium.

Le type NaS semble la plus performante de toutes par rapport aux critères prioritaires selon le contexte malagasy. Elle est cependant dépassée par les types « Lithium » en termes de rendement, densité massique, densité volumique, puissance massique et surtout la plage de température de fonctionnement. Cette dernière pourrait faire défaut car elle s'élève à environ 300° pour une valeur minimale admissible assez limitée.

Par ailleurs, elle est encore en phase d'optimisation car selon [6], elle est classifiée parmi les batteries du futur, tels que les Lithium à anode de silicium, Sodium-ion, Lithium-air et Redox flow. Ainsi, de nos jours, pour Madagascar, les types Lithium-ion, Lithium fer phosphate, Plomb Acide, Lithium polymère et Nickel Cadmium occupent encore la tête de liste des solutions les plus adaptées.

5. CONCLUSION

Cette contribution propose une approche multicritère de choix de systèmes de stockage de l'énergie électrique adaptés pour Madagascar. Pour cela, après un état de l'art synthétique des technologies de stockage de l'énergie au sens large, une collecte de données a été entreprise pour former une base de données articulée autour des stockages électrochimiques. Les tableaux qui en découlent, constituent un élément clé de l'étude par la formation d'une Matrice de Décision Multicritère.

L'approche proposée l'exploite en valorisant les multiples critères de choix par une attribution de notes par intervalles pondérés. L'ensemble de ces différentes étapes permettent une analyse fine des solutions les plus adaptées pour Madagascar.

Ainsi, de nos jours, les types Lithium-ion, Lithium fer phosphate, Plomb Acide, Lithium polymère et Nickel Cadmium s'avèrent être les solutions les plus adéquates pour le Pays.

6. REFERENCES

- [1] Nouvelle Politique de l'Energie (NPE) 2015-2030, Ministère de l'énergie et des hydrocarbures de Madagascar, 4 Aout 2017.
- [2] E. Korsaga, Z. Koalaga, D. Bonkougou, F. Zougmoré « *Comparaison et détermination des dispositifs de stockage appropriés pour un système photovoltaïque autonome en zone sahélienne* », Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement (JITIEE), ISSN : 2428-8500 vol. 4, n°1, 3, 2018
- [3] *Base de données énergétiques africaines, Edition 2017*
- [4] A. Georgelin, « *Le secteur de l'énergie à Madagascar Enjeux et opportunités d'affaires, Ambassade de France à Madagascar Service économie* », Service économique de Tananarive de l'Ambassade de France à Madagascar, Aout 2016
- [5] B.Aublin « *Comparatif des types de batteries* », LYCEE EIFFEL DIJON STI2D EE
- [6] S. Raël, « *batteries électrochimiques : principes, technologies et perspectives* », Université de Lorraine, Mars 2017
- [7] S. Baudoin, « *Réseaux électriques isolés et stockage* », MADEEHI Antananarivo Avril 2018
- [8] ENEA CONSULTING, Facts&Figures. « *Enjeux, Solutions Techniques Et Opportunités De Valorisation* ». Mars 2012
- [9] C. Celier, Q. Courseaux, F. Deslandes, A. Huat et T. Piquin. Institut National Des Sciences Appliquées De Rouen (INSA ROUEN), Projet de Physique P6 STPI/P6/2014 – 30 ; 16/06/2014. P.8-9 et 31
- [10] K. Mamadou « *Prévision de la disponibilité énergétique des accumulateurs électrochimiques par estimation d'Etats d'Energie (SoE)* » Université De Grenoble Institut Polytechnique De Grenoble, Aout 2012.
- [11] H. Ibrahim, A. Ilinca, J. Perron (2008) « *Energy storage systems-Characteristics and comparisons* » Science Direct, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.12, pp. 1221–1250. doi: 10.1016/j.rser.2007.01.023.
- [12] R. Kabouche, S. Harrouni, A. Talha (2012) « *Etude comparative des différentes techniques de stockage de l'énergie photovoltaïque* », Revue des énergies renouvelables SIENR'12 Ghardaïa (2012) 115 – 129
- [13] L. Bridier « *Modélisation et Optimisation d'un système de stockage couplé à une production électrique renouvelable intermittente* », Université de la Réunion, Thèse 2016
- [14] Victron Energy « *Batteries* ».