

Étude de faisabilité technico-économique d'installation d'une filière de régénération de batteries stationnaires solaires au plomb acide au Bénin

**Ahmed ISSOUFOU IMADAN^{1*}, Guy Clarence SEMASSOU¹, Alain Kossoun TOSSA¹
et Hamidou AROUNA SALEY²**

¹ *University of Abomey-Calavi (UAC), Laboratory of Energetics and Applied Mechanics (LEMA),
01BP 2009, Cotonou, Bénin*

² *Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi (UDDM), Faculté des Sciences Techniques (FST),
Département de Physique (DP), BP 465, Maradi, Niger*

(Reçu le 10 Janvier 2024 ; Accepté le 19 Février 2024)

* Correspondance, courriel : ahmedissoufimadan@gmail.com

Résumé

Prolonger la durée de vie des batteries au plomb utilisées dans les systèmes solaires est un projet de recherche important pour le développement futur du solaire en raison de l'efficacité énergétique et économique des systèmes photovoltaïques, de la nature limitée des ressources pour la fabrication des nouvelles batteries (le plomb), mais aussi pour une meilleure réussite de la transition énergétique. En partant de l'hypothèse que la détérioration des batteries est causée par la sulfatation au niveau des anodes, il est possible d'appliquer la régénération par le procédé électrique sur les batteries afin de les activer, les réutiliser et donc prolonger leur durée de vie. Cette action bi-objective rendra les systèmes photovoltaïques autonomes plus économiques donc plus compétitifs et préservera notre environnement des déchets chimiques polluants et dangereux. Notre travail vise donc à utiliser cette action de régénération pour traiter les gisements des batteries endommagées qui prolifèrent depuis 2010 dans la sous-région ouest-africaine. Au Bénin, un potentiel total de 15 000 batteries gel 12 V / 150 Ah et 5 000 batteries gel OPzV 2V / 2000 Ah régénérables et immédiatement exploitables a été évalué, à sa suite, les résultats de l'analyse financière montrent que l'installation d'une filière de régénération serait rentable déjà à partir de sa 3^{ème} année d'exploitation sur une période 5 ans. On peut conclure qu'un projet d'installation d'une telle filière est réalisable autant sur le plan financier que technique. Une telle filière permettrait non seulement d'aider à la protection de l'environnement par la réduction massive des déchets des batteries endommagées, mais aussi aider au niveau social par la création de plus de vingt (20) emplois directs avec de bons revenus. Son champ d'action pourrait atteindre à long terme toute la sous-région ouest africaine.

Mots-clés : *régénération, batteries, stationnaires, solaires, Bénin.*

Abstract

Technical and economic feasibility study for the installation of a regeneration process for stationary solar lead-acid batteries in Benin

Extending the life of lead-acid batteries used in solar systems is an important research project for the future development of solar energy, in view of the energy and economic efficiency of photovoltaic systems, the limited nature of the resources for manufacturing new batteries (lead), and the success of the energy transition. Based on the assumption that battery deterioration is caused by sulfation at the anodes, it is possible to apply electrical regeneration to batteries in order to activate them, reuse them and thus extend their service life. This bi-objective action will make stand-alone photovoltaic systems more economical and therefore more competitive, and preserve our environment from polluting and hazardous chemical waste. Our work therefore aims to use this regeneration action to treat the deposits of damaged batteries that have been proliferating since 2010 in the West African sub-region. In Benin, a total potential of 15,000 12 V / 150 Ah gel batteries and 5,000 OPzV 2V / 2,000 Ah gel batteries that can be regenerated and used immediately has been assessed, and the results of the financial analysis show that the installation of a regeneration plant would be profitable from its 3rd year of operation over a 5-year period. It can be concluded that a project to install such a plant is both financially and technically feasible. Such a plant would not only help to protect the environment by massively reducing waste from damaged batteries, but would also help on the social level by creating over twenty (20) direct jobs with good incomes. In the long term, its scope of action could extend to the entire West African sub-region.

Keywords : *regeneration, batteries, stationary, solar, Benin.*

1. Introduction

Les batteries solaires au plomb acide représentent le maillon faible des systèmes photovoltaïques actuels lorsqu'on tient compte de la durée de vie des autres composants. Elles constituent à elles seules plus de 30% du coût initial d'investissement. De plus, leur renouvellement constitue pratiquement le seul coût du fonctionnement des systèmes PV autonomes [1]. D'un autre côté, la durée de vie de ces batteries dépend non seulement de la technologie (ouverte, étanche, Gel, AGM etc.) mais aussi des conditions de fonctionnement (température, décharge profonde etc.). Bien dimensionnées et entretenues, les meilleures batteries solaires au plomb acide peuvent atteindre une durée de vie allant de 7 à 15 ans [1]. Très souvent, les durées de vies observées sur le terrain, sont plus faibles. Cependant parmi les causes de dégradation de batteries au plomb acide, citées par [2], la sulfatation est à elle seule à plus de 80 % la principale cause de la perte de capacité de batteries au plomb. Cette dernière se traduit par le dépôt de sulfate de plomb sur les plaques positives et négatives de la batterie pendant la décharge. Ce dépôt est normalement très finement divisé et facile à récupérer pendant la recharge, mais avec le temps et les cycles, il a tendance à s'agglomérer et devient plus difficile à recharger, ce qui entraîne finalement une perte de capacité. Il y aura donc une augmentation de la résistance interne de la cellule et une perte de performance. La sulfatation sera accrue si la batterie est laissée dans un état de décharge partielle ou totale pendant de longues périodes [3]. Le processus permettant de récupérer et de redonner une nouvelle vie aux batteries sulfatées est appelé la régénération ou désulfatation. Cette régénération peut se réaliser par trois procédés différents qui ont tous comme effet de faire éclater le dépôt de sulfate de plomb sur les plaques et de le faire dissoudre dans l'électrolyte de la batterie pour que cette dernière retrouve enfin ses performances initiales. On peut citer : le procédé électrique, le procédé chimique et le procédé combiné (électrochimique) [4]. En plus, ces procédés peuvent être utilisés dans trois domaines d'applications pour prolonger la durée de vie des batteries à savoir : (1) les

batteries neuves, (2) les batteries en cours d'utilisations et (3) les batteries endommagées destinées à être remplacées [5]. Dans ce cas, le choix stratégique du meilleur procédé doit forcément prendre en compte les contraintes locales. Comme l'équipement existe déjà, breveté et commercialisé, nous nous sommes lancés dans l'étude de faisabilité d'installation d'une usine de régénération de batteries solaires au plomb acide afin d'évaluer la taille et les critères de rentabilités d'un tel projet qui a deux objectifs principaux à savoir : la réduction des coûts d'exploitation de systèmes photovoltaïques autonomes (en réduisant les coûts liés au remplacement des batteries par la réutilisation des batteries régénérées) et la réduction massive de déchets dangereux et polluants dans notre environnement (en traitant de la plus bonne manière les batteries en fin de vie), puisqu'il n'en existe pas du tout des politiques favorables au traitement de déchets des batteries solaires dans presque tous nos pays de la sous-région ouest-africaine [6].

2. Méthodologie

Notre méthodologie est basée sur les points suivants : évaluation de potentiel des batteries régénérables, choix du procédé de régénération, le montage d'un business model passant par la définition des hypothèses nécessaires à la réalisation d'étude, mais aussi spécifiques à la zone d'étude concernée.

2-1. Évaluation de potentiel de batteries à régénérer

Cette évaluation se fait à travers les différentes réalisations et infrastructures disponibles au Bénin dans le domaine des énergies renouvelables et le solaire photovoltaïque notamment [7]. Pour le faire, nous nous sommes servis des rapports obtenus auprès des institutions compétentes à savoir le : Ministère de l'Énergie du Bénin (MEB) et l'Agence Béninoise d'Electrification Rurale et de la Maitrise d'Énergie (ABERME) grâce à la réalisation de deux grands projets qui sont PRODERE (Programme Régional de Développement de Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique) & PROVES (Projet de Valorisation de l'Energie Solaire) dans la période 2015-2020 [8]. Ces rapports indiquent dans un premier temps l'ensemble des installations réalisées en matière de lampadaires solaires et microcentrales solaires sur le territoire Béninois et dans le second temps la quantité des batteries endommagées. Ainsi il a été recensé un total de 20 783 lampadaires solaires PV & 80 microcentrales solaires PV déjà installés sur l'ensemble du territoire entre 2015 et 2018. Puis en tenant compte de la durée de vie des batteries au Bénin [9], nous avons déterminé un potentiel intéressant des batteries au plomb déjà endommagées sur l'ensemble de ces installations. En prenant en compte les critères de régénération et un taux de régénérabilité de 80 % [10], nous avons déterminé le potentiel de batteries régénérables qui est donné dans le **Tableau 1** ci-après :

Tableau 1 : Potentiel de batteries régénérables

Batteries	Quantité
12 V / 150 Ah (Lampadaires)	15 305
2 V / 2000 Ah (Microcentrales)	5009

2-2. Choix du procédé de régénération

2-2-1. État de l'art des procédés de régénération

Trois procédés de désulfatation (régénération) ont été identifiés au cours de cette étude à savoir le procédé chimique, le procédé électrique et le procédé combiné (électrique et chimique). Ci-dessous sont présentés les modes de fonctionnement de ces trois procédés

2-2-1-1. Procédé chimique de régénération

Ce procédé met en œuvre uniquement une composante chimique. Le procédé chimique consiste à ajouter à l'électrolyte de la batterie une petite quantité de polymère organique [5], sulfate de magnésium, EDTA, ou peroxyde d'hydrogène [4], entre autres sous forme de liquide, de poudre ou de gélules. Ces composés chimiques vont dissoudre la croûte de sulfate de plomb dans l'électrolyte. L'inconvénient de ce procédé réside dans la détermination complexe du volume spécifique de l'additif à ajouter et variable selon les caractéristiques et l'état de la batterie à régénérer ainsi que dans la manipulation des produits chimiques toxiques et dangereux [11]. Le traitement par le procédé chimique se fait généralement en vidant l'électrolyte, puis rinçage, puis adjonction de la solution de nettoyage, vidange, puis réinjection de l'électrolyte filtré. Il est également possible d'ajouter directement le composé chimique dans l'électrolyte sans le vidanger (en prenant la précaution de ne pas dépasser le niveau d'électrolyte). Quant aux professionnels, chacun a sa propre manière de faire, mais l'ensemble a des points communs à partir desquels on a pu réaliser le schéma synoptique de la **Figure 1** suivante.

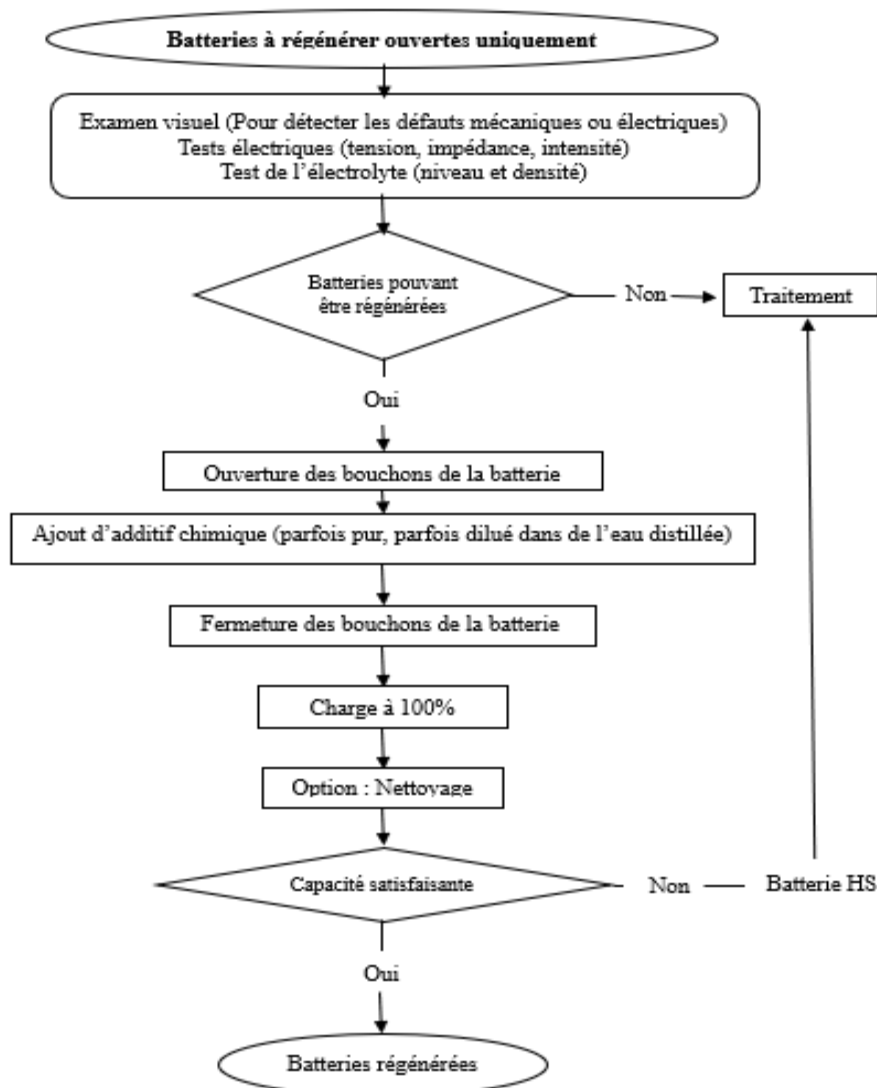


Figure 1 : Synoptique type du procédé chimique [10]

Lors de la préparation, un examen visuel de la batterie est réalisé, afin de s'assurer qu'elle peut être régénérée (désulfatée). Il s'agit notamment d'éliminer d'emblée les batteries présentant des fuites, de la corrosion ou des cosses abîmées, ou toute autre dégradation visible et irréversible. Des tests de tension, d'impédance, d'intensité et de densité de l'électrolyte viennent clôturer la phase préparatoire.

La désulfatation (régénération) en tant que telle peut alors commencer : les acteurs injectent un additif chimique dans l'électrolyte. La quantité versée est calculée en fonction des paramètres de la batterie (principalement sa capacité). De l'eau distillée peut également être ajoutée pour ajuster le niveau de l'électrolyte. Pour finaliser la désulfatation, la batterie est chargée à 100 %. Cette action permet d'activer l'additif puis de réutiliser la batterie.

2-2-1-2. Procédé électrique de régénération

Le procédé électrique met en œuvre uniquement une composante électrique. La régénération électrique exploite la fréquence de résonance propre de la batterie. Un équipement spécial appelé régénérateur (désulfateur) émet des impulsions de fréquences variées alternativement positives et négatives, pour faire éclater les cristaux de sulfate de plomb. Une fois détachés des plaques de plomb de la batterie, ces cristaux vont se dissoudre dans l'électrolyte, la résistance interne de la batterie va baisser, et la recharge en sera plus aisée [12]. L'inconvénient de cette méthode réside dans le fait que la fréquence des impulsions ne peut être fixe, car la fréquence de résonance propre de la batterie va changer au fur et à mesure de l'avancement du processus de la régénération. Un équipement de traitement électronique devra donc être capable d'identifier à tout instant la fréquence de résonance propre de la batterie en cours de traitement, et d'ajuster les fréquences d'impulsions en conséquence d'où l'intérêt des derniers régénérateurs [13]. Le traitement se fait essentiellement par branchement sur régénérateur. Ainsi d'après les professionnels, le synoptique de la **Figure 2** suivante peut être retenu.

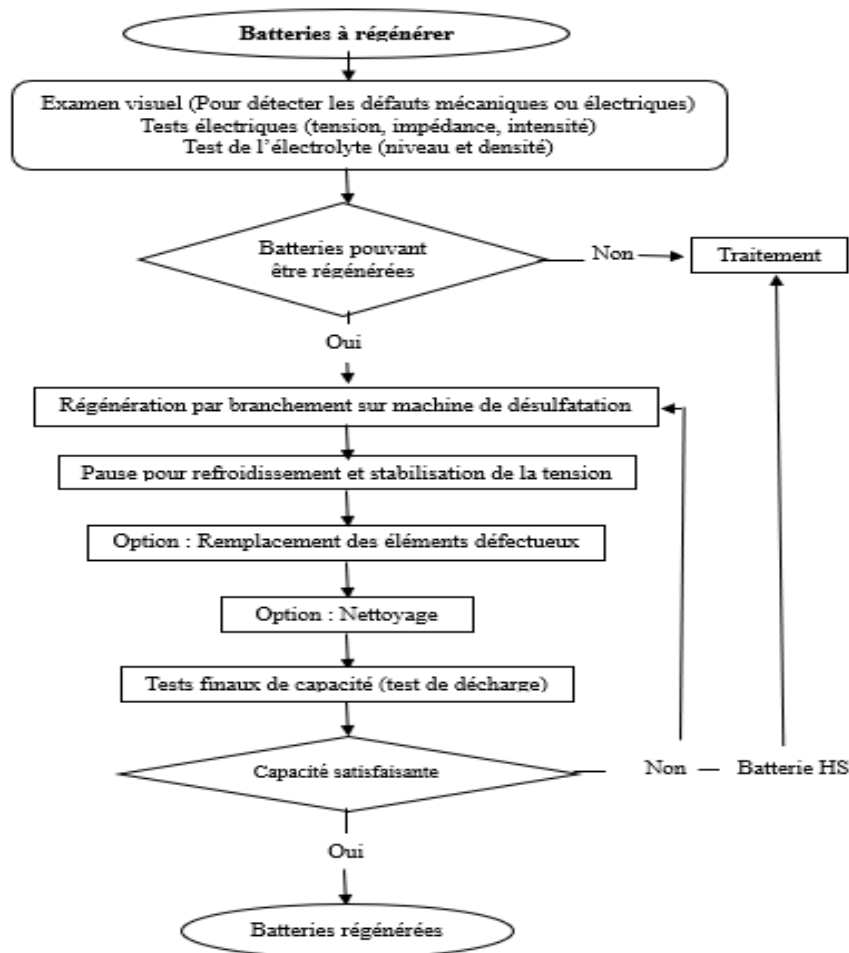


Figure 2 : Synoptique type du procédé électrique [10]

Les étapes préparatoires sont identiques à celles du procédé chimique, une fois cette préparation effectuée, la batterie peut être désulfatée. La régénération est provoquée par l'application de pulsations électriques.

Ces pulsations sont d'intensité variable selon les acteurs : forte le plus souvent (120-300 A), elle est faible pour d'autres (8 A) [14]. À l'issue de la désulfatation, la batterie est refroidie et sa tension stabilisée. Les éventuels éléments endommagés et identifiés sont remplacés s'ils ne l'ont pas été au préalable. Des contrôles finaux sont ensuite réalisés, notamment un test de décharge (qui permet de vérifier la capacité de la batterie régénérée pour les batteries industrielles), ainsi que des tests de tension, d'intensité et du niveau de l'électrolyte [15].

2-2-1-3. Procédé combiné de régénération

Ce procédé met en œuvre une combinaison électrique et chimique. Il consiste donc à brancher une batterie contenant des additifs chimiques sur un régénérateur qui émet des impulsions électriques de fréquences variées [16]. Lorsque le régénérateur a la capacité de déterminer la fréquence propre de la batterie, l'inconvénient de ce procédé reste toujours la détermination du volume spécifique de l'additif chimique à injecter. Le traitement se fait en deux ou trois temps selon les acteurs : injection de l'additif chimique, branchement sur régénérateur et branchement d'un boîtier électronique aux bornes de la batterie. Ce processus est décrit sur la **Figure 3** suivante.

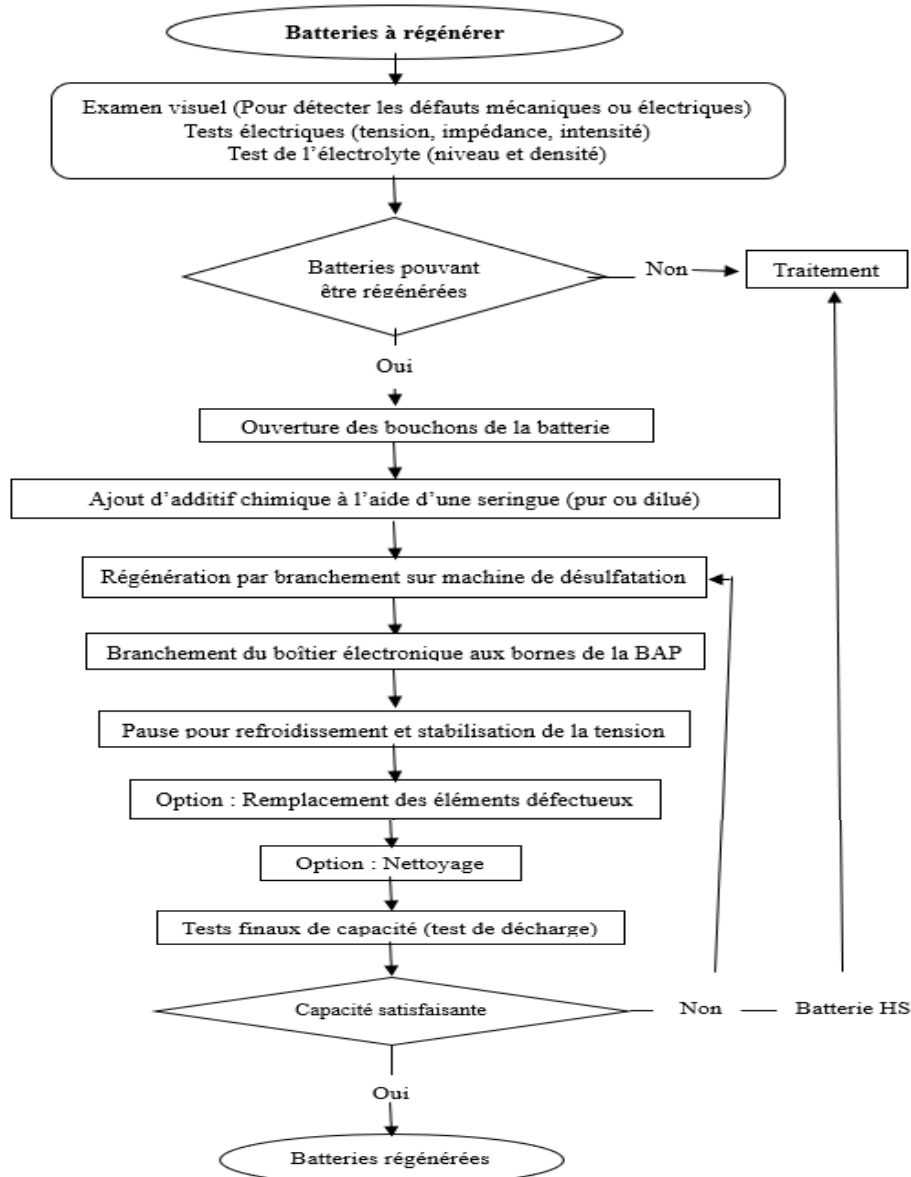


Figure 3 : Synoptique type du procédé Combiné [10]

Les différentes étapes de préparation sont identiques aux procédés chimique et électrique : examen visuel, nettoyage puis tests électriques et test de densité de l'électrolyte (selon le type de batterie). Ce procédé a la particularité de proposer une désulfatation en deux, ou en trois temps (selon les acteurs). Un additif chimique est d'abord injecté dans la batterie. De l'eau distillée et/ou de l'électrolyte est parfois ajouté suite à l'ouverture des bouchons de la batterie. Dans un second temps, la batterie est branchée sur une machine de désulfatation. Certains acteurs connectent en troisième lieu un boîtier électronique aux bornes de la batterie : celui-ci envoie en permanence des impulsions électriques. Pour les professionnels qui l'utilisent, ce boîtier fait partie intégrante du procédé de désulfatation. Suite à un temps de refroidissement, des tests identiques aux tests initiaux sont menés en fin de procédé. Un test de décharge est réalisé de façon courante pour toutes les batteries.

2-2-2. Étude comparative des trois procédés

Avant de porter notre choix sur le procédé électrique, nous avons d'abord soumis tous les trois procédés de régénération dans une série de trois comparaisons (technique, environnementale et économique). Le résultat de cette série de comparaisons est résumé dans le **Tableau 2** suivant, qui justifie également le choix stratégique du procédé électrique par ses avantages par rapport à deux autres.

Tableau 2 : Comparaison des trois procédés

Caractéristiques	Chimique	Electrique	Combiné
Application	Une fois	Une fois	Une fois
Usage préventif	Oui	Oui	Oui
Types de batteries	Ouvertes	Ouvertes et étanches	Ouvertes et étanches
Taux de succès	70 à 90 %	85 à 100 %	80 à 95 %
Capacité possible	85 à 95 %	95 à 100 %	90 à 98 %
Durée d'usage	Fois 1,5	Fois 2	Fois 1,75
Durée de procedé	7 à 14 jrs	1 à 4 jrs	3 à 5 jrs

Outre les avantages techniques que présente le procédé électrique, il est aussi le plus rapide car le processus est automatique, le plus économique car il utilise moins de mains d'œuvres et encore le plus respectueux de l'environnement car il ne généré pas de déchets après traitement, le plus expérimenté et immédiatement disponible sur le marché.

2-3. Méthode d'évaluation des critères de rentabilité

En finance, toute activité nécessitant un investissement au départ est considérée comme un projet d'investissement dont l'évaluation de la rentabilité est nécessaire avant tout engagement, qu'il s'agisse des projets potentiels générateurs de revenu et non générateurs de revenu [17]. Pour un projet d'investissement, la décision d'investissement repose en partie sur un calcul permettant de s'assurer que les flux futurs de trésorerie anticipés ont une valeur actuarielle supérieure au coût des moyens nécessaires à la réalisation de l'investissement [18]. Les critères d'évaluation de la rentabilité financière d'un projet en fonction de son coût d'investissement sont [19] : Le Coût d'Investissement (CI) : est l'ensemble des coûts engendrés par l'achat des équipements et fournitures, la construction des infrastructures. C'est le coût global du projet. La Valeur Actuelle Nette (VAN) : Indicateur financier qui permet de mesurer la profitabilité d'un investissement. La VAN permet de s'assurer de la capacité d'un investissement à créer de la valeur dans le temps compte tenu du taux de rentabilité exigé par l'entreprise. Une VAN positive est synonyme d'un projet rentable. L'Indice de Profitabilité (IP) : il est un indicateur de rentabilité, qui permet de mesurer la valeur créée par chaque franc dépensé dans l'investissement. Un indice profitabilité supérieur à 1 est l'équivalent d'une valeur actuelle

nette positive. Le Délai de Récupération du Capital Investi (DRCI) : permet de connaître le nombre de périodes nécessaires à la récupération d'un investissement, en mois ou années. L'investissement à privilégier est celui pour lequel le délai de récupération est le plus rapide. Le Taux Interne de Rentabilité (TIR) : C'est le taux de rentabilité minimum que doit avoir un projet d'investissement, pour qu'il ait une équivalence entre son coût d'investissement initial et ses flux de trésorerie future, autrement dit, c'est le taux pour lequel la VAN est nulle. Il mesure donc la rentabilité d'un investissement. Pour évaluer tous ces critères, nous avons monté un business modèle à l'aide de logiciel Excel.

2-3-1. Hypothèses de business model

Puisque nous connaissons déjà la quantité de batteries à régénérer et que nous voyons clairement le procédé idéal pour notre étude, il nous faut donc faire des hypothèses permettant de régénérer par le procédé électrique la totalité de nos batteries endommagées en 5 ans. Plusieurs hypothèses et paramètres seraient pris en compte lors de la réalisation cette évaluation financière dont les plus importantes sont :

- Durée d'exploitation : 5 ans ;
- Prestation annuelle : régénération de 3 000 batteries de 12 V / 150 Ah et 1000 batteries de 2V / 2 Ah par an soit donc un total de 4000 batteries à régénérer par an ;
- Prix de régénération variable : de 20 à 60 % du prix d'une batterie neuve de même type tenant compte de la zone et un prix de régénération de 30 à 60 % selon les professionnels [20].

3. Résultats

En fonction du pourcentage du prix de régénération nous avons pu évaluer les différents critères de prise de décision d'investissement de notre projet à savoir : le CI (en francs CFA), la VAN (en francs CFA), l'IP, la DRCI et le TIR qui sont présentés dans le **Tableau 3** suivant.

Tableau 3 : Critères d'évaluation de rentabilité

Prix (%)	CI (FCFA)	VAN (FCFA)	IP	DRCI	TIR (%)
20	305 741 545	-27 900 114	0,90	Plus de 5 ans	-4
25	315 978 532	139 875 514	1,44	2 ans 9 mois 14 jrs	16
30	326 215 518	307 651 141	1,94	2 ans 3 mois 16 jrs	31
35	336 452 504	475 426 769	2,41	1 an 11 mois 11 jrs	44
40	346 689 490	643 202 397	2,85	1 ans 6 mois 10 jrs	56
45	356 926 477	810 978 025	3,27	1 ans 3 mois 7 jrs	66
50	367 163 463	978 753 652	3,66	1 ans 1 mois 4 jrs	76
55	377 400 449	1 146 529 280	4,03	11 mois 26 jrs	85
60	387 637 436	1 314 304 908	4,39	11 mois 2 jrs	94

4. Discussion

En référence aux définitions des critères évalués, on peut noter qu'à 20 % du prix de régénération, l'investissement ne serait pas rentable et qu'à partir de 25 % le projet est rentable sur 5 ans. La première ligne du tableau 3 (prix de régénération à 20 % du prix d'une batterie neuve de même type) indique que le projet n'est pas rentable sur 5 ans puisque qu'on se retrouve avec une VAN négative (ce qui veut dire qu'à la fin de projet sur 5 ans, on aurait perdu une somme de 27 900 114 FCFA), un IP inférieur à 1 qui prouve

l'incapacité de chaque franc investi de créer au moins la valeur du même franc, un DRCl qui dépasse les 5 ans d'exploitation et un TIR (-4 %) négatif ; ce qui est bien normal puisque ce prix de régénération est hors de portée des prix standards de la régénération en général. Cependant, à partir de 25 % du prix de régénération, l'investissement est rentable déjà vers la fin de sa 3ème année et que le projet peut être profitable avec un gain global de 139 875 514 FCFA estimé à la fin de la 5ème année du projet. A partir de 25 %, plus on augmente le prix de régénération, plus le projet est économiquement et financièrement rentable puisque l'appréciation des différents critères devient de plus en plus pertinente. Néanmoins, la décision du prix de prestation revient aux bailleurs et différents acteurs et surtout en fonction de leur stratégie de financement et de la zone. Il peut toutefois être possible en cas des subventions intéressantes que le projet soit réalisable à n'importe quel pourcentage puisque la protection, la préservation et la gestion de notre environnement n'ont pas de prix face aux crises climatiques actuelles.

5. Conclusion

Le Bénin importe presque la totalité de son électricité en provenance du Nigéria voisin. Mais, avec sa lancée dans la transition énergétique et compte tenu des programmes engagés dans les installations solaires à l'échelon du pays, les besoins en sauvegarde pour les industriels, les institutions et administrations en cas de coupures de réseau, les installations solaires hors réseau se multiplient compte tenu du potentiel solaire considérable du pays. Ce qui permet de dire que le marché de la régénération des batteries a de beaux jours devant lui. Cette étude a été réalisée dans le but de pouvoir régénérer les batteries sur l'ensemble du territoire Béninois, mais aussi dans la perspective de pouvoir étendre l'activité de régénération des batteries solaires au plomb dans la sous-région ouest africaine à long terme, car il y existe pour l'instant que quelques-unes. Après traitement des données pour l'évaluation de potentiel des batteries à régénérer et le choix stratégique de procédé de régénération et l'analyse financière du projet, à l'issue de différents résultats, il serait juste de dire que l'atelier de régénération de batteries est rentable à partir de sa 3ème année d'exploitation. En plus de l'aspect financier rentable, un tel projet apportera beaucoup au Bénin en termes de création d'emplois notamment les emplois verts.

Références

- [1] - C. GLAIZE, « À chaque application, une technologie de batterie adaptée », Journées Captronic, 9 (2014) 43 p.
- [2] - G. J. MAY, A. DAVIDSON et B. MONAHOV, « Lead batteries for utility energy storage : A review », doi: 10.1016/j.est.2017.11.008, *J. Energy Storage*, Vol. 15, N° 2 (2018) 145 - 157
- [3] - J. SCHIFFER, D. U. SAUER, H. BINDNER, T. CRONIN, P. LUNDSAGER et R. KAISER, « Model prediction for ranking lead-acid batteries according to expected lifetime in renewable energy systems and autonomous power-supply systems », doi: 10.1016/j.jpowsour.2006.11.092, *J. Power Sources*, Vol. 168, N° 5 (2007) 66 - 78
- [4] - S. IKEDA, « Innovations of Lead-Acid Batteries », doi: 10.5796/electrochemistry.76.32, *Electrochemistry*, Vol. 76, N° 1 (2008) 32 - 37
- [5] - H. IKEDA, S. MINAMI, H. WADA et A. KOZAWA, « Outline of Three Main Businesses of Lead-acid Batteries Using ITE's Organise Polymer Activators », doi: 10.4130/jaev.5.987, *J. Asian Electr. Veh.*, Vol. 5, N° 1 (2007) 987 - 988
- [6] - OMS, « Recyclage des batteries au plomb usagées : considérations sanitaires », Organisation mondiale de la Santé, Genève, (2017), Disponible sur : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/259446>, Consulté le 24 décembre 2021

- [7] - C. BEURAIN et M. B. AMOUSSOU, « Les enjeux du développement de l'énergie solaire au Bénin. Quelques pistes de réflexion pour une approche territoriale », doi: 10.3917/med.176.0059, *Mondes En Dév.*, Vol. 176, N° 12 (2016) 59 - 76
- [8] - ESEIM, « Exploitation de quatre-vingt mini-réseaux photovoltaïques au Bénin », Rapport de synthèse, ESEIM/ABERME, Bénin, 5 (2019) 121 p.
- [9] - K. G. M. YEHOUENOU, « Transition énergétique au Bénin : quel apport du solaire photovoltaïque ? », Thèse unique, Université de Strasbourg/Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, (2020) 292 p.
- [10] - ADEME, « Etat de l'art des technologies de désulfatation des accumulateurs au plomb », Rapport d'enquête, Paris, (2011) 76 p.
- [11] - A. PAGLIETTI, « Electrolyte Additive Concentration for Maximum Energy Storage in Lead-Acid Batteries », doi:10.3390/batteries2040036, *Batteries*, Vol. 2, N° 11 (2016) 36 - 50
- [12] - N. S. M. IBRAHIM et al., « Parameters observation of restoration capacity of industrial lead acid battery using high current pulses », doi: 10.11591/ijpeds.v11.i3.pp1596-1602, *Int. J. Power Electron. Drive Syst. IJPEDS*, Vol. 11, N° 9 (2020) 1596 - 1602
- [13] - A. C. OHAJIANYA, E. C. MBAMALA, C. M. AMAKOM et C. E. AKUJOR, « An empirical investigation of lead-acid battery desulfation using a high-frequency pulse desulfator », doi: 10.37121/jase.v4i1.140, *J. Adv. Sci. Eng.*, Vol. 4, N° 1 (2021) 44 - 52
- [14] - L. T. LAM et al., « Pulsed-current charging of lead/acid batteries - a possible means for overcoming premature capacity loss? », doi: 10.1016/0378-7753(94)01988-8, *J. Power Sources*, Vol. 53, N° 2 (1995) 215 - 228
- [15] - YAN ZHANG, SONGJIE HOU, SHIGEYUKI MINAMI et AKIYA KOZAWA, « A high current pulse activator for the prolongation of Lead-acid batteries », doi: 10.1109/VPPC.2008.4677701, IEEE, Vehicle Power and Propulsion Conference, Harbin, Hei Longjiang, China, 9 (2008) 1 - 4
- [16] - H. IKEDA, S. MINAMI, S. J. HOU, Y. ONISHI et A. KOZAWA, « Nobel High Current Pulse Charging Method for Prolongation of Lead-acid Batteries », doi: 10.4130/jaev.3.681, *J. Asian Electr. Veh.*, Vol. 3, N° 1 (2005) 681 - 687
- [17] - BAD, « Analyse financière et évaluation des projets : Directives pour la gestion financière et l'analyse financière des projets du Groupe de la Banque Africaine de Développement », Guide, Abidjan, (2019) 47 p.
- [18] - F. DELAHAYE-DUPRAT et J. DELAHAYE, « Finance d'entreprise », Manuel, 7e Ed, Éditions Francis Lefebvre Dunod, France, (2018) 42 p.
- [19] - B. LUCIE, « Elaboration d'une méthode de calcul de retour sur investissement applicable aux projets immobiliers des établissements publics de santé. Réflexions à partir des projets du Centre Hospitalier Universitaire de Nancy. », Thèse unique, Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, Nancy, (2008) 108 p.
- [20] - AFRIQUE AVENIR, « Régénérer des batteries au plomb acide, le coup de pouce de Marly Diallo à l'environnement », BBC News Afrique, <https://www.bbc.com/afrique/56665416>, consulté le 3 mars 2022