



ÉNERGIE SOLAIRE OPÉRATION ET MAINTENANCE DES CENTRALES SOLAIRES

Fiche technique

TABLE DES MATIÈRES

I. Équipements typiques d'un parc solaire photovoltaïque	1
II. Identification des sources de dégradation des équipements	1
III. Plan d'opération et de maintenance.....	3
1. La maintenance préventive	3
2. La maintenance corrective.....	4
a) Pièces de rechange.....	4
b) Remplacement futur des onduleurs.....	4
IV. Main d'œuvre nécessaire pour l'opération et la maintenance	5
V. Coûts d'opération et maintenance	6
Bibliographie.....	7

I. ÉQUIPEMENTS TYPIQUES D'UN PARC SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Un parc photovoltaïque solaire se compose généralement des éléments suivants :

- Panneaux solaires : principaux dispositifs de captation de l'énergie solaire.
- Systèmes de montage (racking) : structures permettant de fixer les panneaux sur un toit ou au sol.
- Suiveurs solaires (optionnels) : dispositifs orientant les panneaux pour suivre la trajectoire du soleil, optimisant ainsi la production d'énergie. Cependant, leur coût élevé, dû à la complexité d'installation et aux composants mobiles (contrôleurs, capteurs), limite généralement leur utilisation.
- Onduleurs : convertissent l'électricité courant continu (CC) produite par les panneaux solaires PV en courant alternatif (CA).
- Balance of System (BOS) : ensemble de câbles, conduits, interrupteurs, disjoncteurs, fusibles, boîtes de jonction, compteurs, et autres équipements nécessaires à l'interconnexion du système.
- Système de contrôle et surveillance (SCADA) : pour gérer et superviser les performances du parc.
- Système de stockage d'électricité (batteries) : utilisé pour assurer l'indépendance du réseau ou pour garantir une alimentation électrique continue en cas de panne.
- Un transformateur : sert à convertir une tension AC vers un autre niveau de tension AC. Dans un parc solaire, un transformateur élévateur est utilisé pour augmenter la tension de l'onduleur afin de le relier au réseau principal de distribution.

II. IDENTIFICATION DES SOURCES DE DÉGRADATION DES ÉQUIPEMENTS

Des arrêts non planifiés pour maintenance peuvent avoir lieu au cours de l'exploitation d'un parc solaire. La figure 1 illustre quelques exemples de pannes affectant les différents équipements d'une centrale solaire. Nous rappelons ici l'intérêt des maintenances programmées pour éviter des pertes de production pendant les périodes d'ensoleillement.

Voici une liste succincte des dégradations potentiels pour chaque composant :

- **Panneaux solaires et racking** : Ces éléments sont particulièrement exposés aux intempéries. Les dégradations observées sont sur les panneaux, les points de fixation, la corrosion de la structure métallique, des bris etc. Un entretien régulier est essentiel, car il est estimé qu'un entretien adéquat des panneaux peut augmenter la production d'énergie de près de 15 %^[1].
- **Onduleurs et autres équipements électroniques** : Ces composants sont susceptibles de subir des pannes de fonctionnement, des infiltrations d'eau, des surchauffes, etc.
- **Balance of System (BOS)** : Les problèmes majeurs dans cette catégorie concernent principalement des déconnexions de câbles, des connecteurs défectueux, des infiltrations d'eau dans les boîtiers, etc.
- **Batteries** : Les différents types de batteries peuvent présenter une variété de dysfonctionnements. Un entretien régulier est indispensable, quel que soit le type de batterie. Il existe des informations détaillées par type de batteries afin de faire la bonne sélection d'équipement correspondant aux besoins spécifiques de chaque client.
- **Suiveurs solaires** : Un entretien périodique est nécessaire pour inspecter l'usure des composants et garantir une lubrification adéquate, afin d'assurer le bon fonctionnement des suiveurs.
- **Les anomalies spécifiques à chaque équipement, avec des exemples concrets peuvent être présentées ultérieurement dans un autre rapport.**



Figure I -
Exemple de dégradations observés dans un parc solaire^[2]

III. PLAN D'OPÉRATION ET DE MAINTENANCE

Un plan d'opération et de maintenance (O&M) d'une centrale photovoltaïque comprend généralement deux types de maintenance : la maintenance préventive et la maintenance corrective.

Un exemple de plan d'opération et de maintenance (O&M), détaillant les actions de maintenance préventive et corrective, ainsi que leurs fréquences et le personnel responsable, est disponible dans le document "Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems" ^[3]. Nergica pourra également fournir un plan O&M personnalisé, adapté aux spécificités de chaque parc solaire, en tenant compte des exigences des fabricants, des caractéristiques du site, ainsi que de son retour d'expérience en matière d'installations solaires.

1. La maintenance préventive

Elle constitue la base d'un plan d'O&M et elle inclut des activités planifiées, telles que les contrôles de routine (inspections visuelles), les tests et les interventions, effectués sur site ou à distance, selon des fréquences et des intervalles prédéfinis. L'objectif de cette maintenance est de maximiser la production d'énergie à long terme et la durée de vie du parc solaire, tout en réduisant le risque de pannes ou de dégradations. En outre, elle assure le respect des garanties des équipements.

Les actions de maintenance préventive sont définies en fonction des recommandations des fabricants, des conditions environnementales du site, et des termes des contrats et accords (garantie, assurances).

Quel que soit la taille de la centrale photovoltaïque, les opérations de maintenance préventive les plus courantes incluent :

- Nettoyage des modules PV : Retrait de la saleté, de la poussière et de la neige accumulées.
- Entretien du site : Gestion de la végétation et enlèvement des objets étrangers.
- Inspections visuelles : Examen régulier de tous les équipements pour détecter les signes de détérioration.
- Mesures électriques périodiques (I-V) : Tests effectués sur des échantillons de modules pour évaluer leur performance.
- Inspections périodiques, telles que l'utilisation de l'imagerie infrarouge pour détecter d'éventuelles anomalies dans les modules PV.

2. La maintenance corrective

La maintenance corrective est déclenchée uniquement à la suite d'événements tels que des pannes, des dysfonctionnements, des anomalies ou des dommages. Ces incidents peuvent être signalés par les alarmes du système SCADA ou repérés lors des inspections régulières effectuées dans le cadre de la maintenance préventive.

L'objectif principal de la maintenance corrective est de rétablir le fonctionnement optimal de la centrale photovoltaïque après une défaillance.

Ce type de maintenance comprend diverses interventions, telles que :

- Le remplacement de fusibles et de connecteurs.
- La réparation de défauts sur les équipements et les structures.
- Le réacheminement des conduits endommagés ou déplacés.
- Le remplacement de câblage défectueux.
- La réinstallation de logiciels pour corriger des erreurs de fonctionnement.
- Etc.

Pour assurer une mise en œuvre efficace de la maintenance corrective, il est essentiel de veiller à ce que les pièces de rechange soient disponibles et accessibles en cas de besoin, afin d'éviter des temps d'arrêt prolongés à cause des dysfonctionnements ou des dommages matériels. Il est également crucial de prendre en compte la durée de vie des équipements, en particulier les onduleurs, qui devront être remplacés au cours de la durée d'exploitation du parc solaire.

a) Pièces de rechange

Il est nécessaire de constituer un stock de pièces de rechange pour les équipements de la centrale. Une liste minimale de ces pièces doit être établie et un stock initial doit être acquis. Par la suite, une gestion continue du stockage et du réapprovisionnement des pièces sera nécessaire tout au long de l'exploitation.

En général, les pièces fréquemment remplacées incluent : attaches de rack (écrous et boulons), pinces pour modules PV, attaches de fils, connecteurs PV, câbles, fusibles, porte-fusibles, disjoncteurs, interrupteurs de déconnexion, filtres à air des onduleurs, joints de boîtiers^[4].

Les pièces de rechange courantes sont : micro-onduleurs ou onduleurs de branche, composants d'onduleur central, contacteurs CA et CC, capteurs et composants d'acquisition de données et de communication, pièces de suiveurs (moteur d'actionneur, roulements)^[5].

Les pièces rarement remplacées comprennent : les fondations et pièces fixes des racks, le transformateur^[6].

b) Remplacement futur des onduleurs

La durée de vie moyenne des onduleurs est d'environ 11 à 12 ans, tandis que la durée de vie des centrales photovoltaïques dépasse généralement 25 ans. Ainsi, le remplacement des onduleurs doit être anticipé pendant la vie de la centrale. Les coûts futurs liés à ce remplacement doivent être intégrés dans les prévisions de coûts d'opération et de maintenance et doivent être estimés avec précision et budgétisés dès la phase de planification et de financement du parc solaire.

IV. MAIN D'ŒUVRE NÉCESSAIRE POUR L'OPÉRATION ET LA MAINTENANCE

Pour garantir le fonctionnement sécurisé d'une centrale photovoltaïque, le personnel chargé de l'exploitation et de la maintenance doit posséder une expertise technique approfondie et des connaissances spécifiques sur l'entretien des équipements et installations électriques du parc solaire. Il est également impératif que ce personnel soit formé et certifié en matière de sécurité pour les systèmes à haute puissance et/ou haute tension en courant continu.

En règle générale, les interventions sur les composants électriques, telles que le nettoyage, l'inspection et la réparation des panneaux solaires et des équipements électriques, peuvent être réalisées par des électriciens qualifiés. Cependant, les travaux sur les onduleurs ou les transformateurs exigent des formations supplémentaires et des certifications spécifiques. Par conséquent, il peut être nécessaire de faire appel à des sous-traitants spécialisés ou aux fabricants eux-mêmes pour mener à bien ces tâches plus complexes.

Le personnel de maintenance doit posséder les compétences et certifications suivantes pour entretenir les centrales photovoltaïques en toute sécurité et avec efficacité :

- Certification d'électricien ou une formation équivalente reconnue.
- Certification en premiers secours d'urgence, notamment en cas de choc électrique.
- Formation en gestion des risques et dangers liés à l'exploitation et à la maintenance des équipements et installations électriques.

- Connaissance approfondie du fonctionnement et de l'exploitation des centrales photovoltaïques, ainsi que des normes et directives spécifiques au secteur PV.
- Connaissance des normes de sécurité électrique en vigueur.

En complément des électriciens responsables des réparations des équipements électriques, d'autres spécialités peuvent être nécessaires :

- Mécanicien : pour l'entretien, la réparation et le remplacement des composants du système de racking et des suiveurs solaires.
- Spécialiste réseau/IT et contrôle-commande : pour assurer le bon fonctionnement des systèmes de communication et de surveillance et de gestion de la centrale (SCADA).
- Ouvriers : pour les tâches de nettoyage, l'entretien général du site et la sécurité.
- Opérateurs/ingénieurs : pour l'exploitation des centrales solaires de grande taille.

Le nombre du personnel nécessaire pour effectuer les activités d'opération et de maintenance (O&M) dépend de plusieurs facteurs, tels que la taille et la complexité du parc solaire, ainsi que les exigences contractuelles. En général, les centrales solaires nécessitent un effectif relativement réduit. Par exemple, la centrale solaire Travers Solar Project en Alberta, qui est la plus grande centrale solaire au Canada avec une capacité de 450 MW, n'emploie qu'une équipe de 10 personnes en temps plein pour l'exploitation et la maintenance (O&M)^[7]. De plus, les installations solaires de puissance inférieure à 1 MW requièrent un niveau de maintenance moins intensif. D'après l'expérience de notre département d'O&M chez Nergica, ainsi que les projets réalisés pour des micro-réseaux

solaires, une équipe de 1 à 3 personnes est généralement suffisante pour garantir l'opération et la maintenance de ces petites installations.

V. COÛTS D'OPÉRATION ET MAINTENANCE

En ce qui concerne les coûts d'opération et de maintenance (OPEX), il n'existe pas de méthode universelle et standardisée pour les estimer avec précision, car ils dépendent de nombreux facteurs, notamment :

- La taille et le type de centrale photovoltaïque (résidentielle, commerciale/industrielle, ou à grande échelle),
- Les technologies employées,
- L'emplacement du site : accessibilité, caractéristiques du terrain, conditions climatiques, etc.
- Les accords contractuels en vigueur,
- Le plan d'O&M adopté : niveau de rigueur, approche, main-d'œuvre nécessaire, etc.

Les coûts d'opération et de maintenance incluent les dépenses nécessaires au bon fonctionnement de la centrale solaire, telles que les frais fixes (assurances, sécurité du site, loyer du terrain, etc.) et les coûts liés au remplacement des équipements usés (comme les onduleurs) ainsi qu'à la maintenance générale. Actuellement, les études montrent que la maintenance préventive et le nettoyage des modules PV représentent entre 75 % et 90 % du total des coûts OPEX, selon le type et la configuration du système. Le reste des dépenses concerne la maintenance non planifiée, les coûts de location des terrains et le remplacement d'autres composants^[8].

Le Tableau ci-dessous présente des valeurs typiques des coûts d'opérations et de maintenance (\$/kW-année) des centrales solaires au Canada en 2022 selon leur taille^[9].

	10 kW	100 kW	1 MW	10 MW	100 MW
PV	39	25	19	14	11
PV + suiveur	50	31	24	17	12

Le Tableau ci-dessous présente des intervalles des coûts d'opérations et de maintenance (\$/kW-année) des centrales solaires en 2023 selon leur type^{[10][11]}.

SOLAIRE RÉSIDENTIEL AU TOIT	SOLAIRE COMMERCIAL AU TOIT	SOLAIRE À GRANDE ÉCHELLE	SOLAIRE À GRANDE ÉCHELLE + STOCKAGE
21-25	17-25	10-19	27-61

BIBLIOGRAPHIE

1. Repsol. <https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/technology-and-innovation/solar-panel-maintenance/index.cshtml>
2. NREL / USAID. Guide de base pour l'énergie solaire hors réseau en Haïti. Installation, exploitation et entretien des systèmes solaires hors réseau <https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/89260.pdf>
3. NREL. Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems; 3rd Edition <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73822.pdf>
4. NREL / USAID. Guide de base pour l'énergie solaire hors réseau en Haïti. <https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/89260.pdf>
5. Ibid
6. Ibid
7. CBC. How Canada's largest solar farm is changing Alberta's landscape. <https://www.cbc.ca/news/canada/calgary/travers-solar-project-vulcan-1.6233629>
8. IRENA. Renewable power generation costs in 2022. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2022.pdf
9. Valeurs typiques des coûts d'opération et de maintenance dans le logiciel RetScreen
10. LAZARD. Levelized cost of energy. <https://www.lazard.com/media/xemfey0k/lazards-lcoepius-june-2024-vf.pdf>
11. Valeurs de coûts calculées en utilisant un taux de conversion 1 USD =1.35 CAD

Pour toute question, communiquez avec notre équipe dédiée :
unispourleclimat@umq.qc.ca

