



TOOLKIT

SOLARISATION



Décembre 2024

Auteur principal : **Electriciens sans frontières** (Raymond Izquierdo et Tania Chauvin)
et **Pascal Carré** (Climate Action Accelerator)



À propos du Climate Action Accelerator

Climate Action Accelerator est une initiative à but non lucratif basée à Genève qui vise à mobiliser une masse critique d'organisations intermédiaires dans le monde entier afin d'amplifier la mise en œuvre de solutions pour le climat, augmenter la résilience au changement climatique et contenir le réchauffement de la planète sous 2°C.

L'objectif est de contribuer à faire évoluer les secteurs de l'aide, de la santé et de l'enseignement supérieur vers une transformation radicale de leurs pratiques, grâce à une augmentation exponentielle du nombre d'organisations poursuivant des cibles de réduction d'émissions (-50% d'ici 2030) et vers un avenir net zéro, conformément à l'Accord de Paris.

Remerciements

Ce toolkit a été produit avec l'appui expert d'Electriciens sans frontières (Raymond Izquierdo et Tania Chauvin) et de Pascal Carré (Climate Action Accelerator). Son développement a été coordonné et supervisé par Sonja Schmid (Climate Action Accelerator).

Le toolkit s'appuie également sur les projets de mise en œuvre des feuilles de route climatiques et environnementales des partenaires du Climate Action Accelerator. Nous leur sommes reconnaissants pour leur engagement ainsi que pour la richesse des connaissances et de l'expérience développées grâce à leur collaboration.

Il a été édité par Macarena Castro (Chargée de la communication) et traduit vers l'anglais par Noa Jay (stagiaire Solutions).

Ce toolkit a été développé grâce au soutien généreux du Centre de Crise et de Soutien du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères français (CDCS), de la République et Canton de Genève et du service de protection civile et aide humanitaire de la Commission européenne (DG ECHO).





INTRODUCTION

Pourquoi solariser une structure?

Le principal moteur du changement climatique est l'émission de dioxyde de carbone (CO₂), et la principale source d'émissions de CO₂ est l'utilisation des combustibles fossiles. Les organisations d'aide internationale s'appuient souvent sur de puissants générateurs diesel, qui génèrent des émissions importantes de gaz à effet de serre tout en engendrant des coûts élevés. Cela engendre également une dépendance au carburant, dont l'approvisionnement peut s'avérer complexe, voire impossible dans certaines situations. Le passage aux énergies renouvelables, en particulier à l'énergie solaire photovoltaïque, réduit les émissions et les coûts, et rend l'organisation plus autonome sur le plan énergétique.

Objectif de ce toolkit

L'objectif de ce toolkit du Climate Action Accelerator est de fournir aux organisations un ensemble de ressources et d'informations introductives sur les systèmes de production d'énergie photovoltaïque, y compris le dimensionnement et la sélection des équipements, ainsi que l'installation et la maintenance. Il n'a pas vocation à remplacer une formation sur ces enjeux.

Public cible et utilisateurs

Ce Toolkit est conçu pour aider les coordinateurs environnementaux, les logisticiens et les techniciens chargés de programmer et d'assurer le suivi de projets de production d'énergie solaire photovoltaïque.

Retour d'informations

Ce Toolkit est un document vivant qui sera continuellement mis à jour pour refléter l'évolution des bonnes pratiques. Les partenaires du Climate Action Accelerator et les autres organisations sont invités à faire part de leurs suggestions, de leurs difficultés et de leurs réussites.

N'hésitez pas à nous contacter à l'adresse contact@climateactionaccelerator.org pour nous faire part de vos commentaires et de vos contributions.

VUE D'ENSEMBLE

PARTIE I : PREPARATION

Étape 1 : Définir les ressources et les éléments clés

- Définir les besoins
- Définir le budget

Étape 2: Dimensionner l'installation

- Evaluer la puissance instantanée maximale totale
- Estimer l'énergie électrique à produire
- Calculer la consommation journalière
- Définir la puissance totale des panneaux solaires à installer





PARTIE II : MISE EN ŒUVRE

Étape 3 : Choisir les équipements

- Choisir des panneaux photovoltaïques
- Sélectionner les batteries
- Déterminer le régulateur de charge
- Sélectionner l'onduleur

Étape 4: Installer les équipements

- Points d'attention

Étape 5 : Maintenir les équipements

- Checklist Maintenance

PARTIE III : RESSOURCES COMPLÉMENTAIRES

- [Pour aller plus loin](#)
- [Définitions](#)
- [Exemple de projet photovoltaïque au Niger](#)

PARTIE I : PRÉPARATION

ETAPE 1 : DÉFINIR LES RESSOURCES ET LES ÉLÉMENTS CLÉS

Objectif

La définition des besoins et des objectifs est une étape majeure dans la préparation d'un système d'énergie solaire. Elle permet d'adapter précisément le système et ses différents composants (panneaux, batteries, etc.) aux besoins des utilisateurs. La production d'électricité photovoltaïque peut avoir plusieurs objectifs – autonomie énergétique, réduction des coûts d'exploitation, réduction des émissions de CO₂ – dont il faut tenir compte car cela aura un impact sur la solution technique choisie.

1. Définir ses besoins

Il faut dès le départ se poser les bonnes questions sur les équipements à installer, les pièces à solariser, et penser à une solution hybride si nécessaire (usage complémentaire d'un générateur et d'un système photovoltaïque). L'installation photovoltaïque sera différente selon le type et la taille de la structure à équiper :

Types d'installation

- Pour les besoins de petits centres de santé de base avec des besoins limités en puissance, voire des centres avec maternité en zone rurale isolée du réseau, une installation photovoltaïque autonome avec stockage d'énergie comme source d'alimentation unique peut convenir.
- Pour les niveaux supérieurs : hôpitaux, structures aux exigences élevées ou sans interruption d'alimentation envisageable (salle opératoire, équipement énergivore, climatisation, etc.) une hybridation de l'énergie solaire avec une énergie plus stable est souvent indispensable pour des raisons de sécurité :



- Soit avec le réseau s'il est présent. On parle d'installation solaire connectée au réseau ou « on-grid ».
- Soit avec un groupe électrogène de secours.

Sans cette hybridation, le parc de batteries sera souvent bien trop important et coûteux.

Checklist définition des besoins

- Quels sont les équipements qui seront raccordés au système photovoltaïque et quelle est leur puissance ?
- Quels sont les consommations mensuelles moyennes en carburant pour les générateurs et en kWh d'électricité s'il y a un fournisseur local ?
- Quelle durée d'autonomie sans soleil des batteries est souhaitée (ex : 1 jour, 2 jours) ?
- Quelle est la part d'énergie « verte » ?
 - Demandée par le bailleur
 - Souhaitée par le client
- Quelles sont les conditions géographiques d'accès au site ?
- Quelle est l'orientation du site par rapport au soleil et existe-t-il des zones d'ombre ?
- La surface disponible (au sol ou en toiture) permet-elle l'implantation du champ PV ?

2. Définir le budget

Prévoir un budget suffisant pour l'installation photovoltaïque initiale, y compris les panneaux, les batteries, l'équipement et le montage. Il faut également tenir compte des coûts d'exploitation futurs, de la maintenance et du remplacement du matériel au fur et à mesure de son vieillissement.



Checklist budget

- Comment sont financées les charges d'investissements initiales ? A-t-on prévu les financements nécessaires et suffisants ? Attention, le coût de la solarisation est souvent sous-estimé et mal anticipé (exemples : solarisation d'entrepôts, usages énergivores comme la climatisation).
- Comment sont financées les charges de renouvellement ? (Renouvellement des batteries ou des panneaux photovoltaïques (PV) ou du groupe électrogène (GE))
- Comment sont financées les charges d'exploitation actuelles ? (Carburant du GE, maintenances préventive et corrective). Dans le calcul des coûts d'exploitation, il est important de tenir compte de la pérennité réelle du matériel (notamment équipements électroniques).
- Est-ce que la réglementation nationale permet d'injecter l'énergie produite dans le réseau national ? Quelles sont les conditions de vente de l'énergie électrique le cas échéant ?

Les définitions des différentes parties composants une installation de production d'électricité photovoltaïque sont mentionnées dans l'annexe I, à la fin de ce toolkit.



ETAPE 2: DIMENSIONNER L'INSTALLATION

Objectif

Dimensionner précisément le système projeté pour assurer un fonctionnement optimal. Le dimensionnement commence par une évaluation rigoureuse des besoins, qui permet ensuite de déterminer le nombre de panneaux et de batteries nécessaires.

1. Evaluer la puissance instantanée maximale totale

La connaissance de la puissance instantanée maximale totale passe par l'inventaire des équipements à alimenter et leurs horaires d'utilisation (nombre d'heures d'usage, en journée ou de nuit).

La puissance instantanée maximale totale correspondra à la puissance cumulée maximale des équipements qui seront utilisés simultanément. Il faut distinguer les usages purement de jour (au fil du soleil) alimentés uniquement par les panneaux solaires, des usages de nuit qui doivent bénéficier d'un circuit dédié relié à des batteries.

Compte tenu du coût d'investissement des installations photovoltaïques (panneaux mais surtout batteries), il convient d'intégrer les points suivants dès la conception :

- La maîtrise des consommations énergétiques et de l'efficacité énergétique par le choix systématique d'appareils à haut rendement étudiés pour un usage photovoltaïque.
- L'identification des appareils trop consommateurs pour être raisonnablement alimentés par l'installation.





2. Estimer l'énergie électrique à produire

L'énergie à produire est donnée par la somme totale des consommations unitaires des appareils affectés à l'installation précédemment définie.

L'évaluation des besoins en termes d'énergie électrique est un élément déterminant de l'installation photovoltaïque pour :

- Le dimensionnement du champ de panneaux PV.
- Le dimensionnement du parc de batteries.

Si les consommations réelles sont différentes de l'évaluation cela aura pour conséquence :

- Une installation plus chère que nécessaire en cas de sous-consommation
- Une usure prématurée des matériels en cas de surconsommation et donc une durée de vie limitée.

Il ne faut pas hésiter à remettre en question certains appareils, ou leur alimentation par le système, notamment les appareils thermiques (production de chaud et de froid hors réfrigérateur) en vue de minimiser la taille et le coût de l'installation photovoltaïque.

Il faut éviter, voire proscrire, le raccordement des équipements de climatisations qui sont énergivores. Ce type d'équipement très consommateur doit être alimenté, soit par le réseau de distribution d'électricité national ou de la ville, soit par un générateur dédié.

Par exemple : Une climatisation peut être remplacée par une ventilation avec brumisateur. C'est une solution qui peut répondre à certains besoins de confort, notamment quand le lieu est bien ventilé. Son avantage est d'être bien moins énergivore.

3. Calculer la consommation journalière

La consommation journalière s'exprime en Wattheure/jour ou Wh/j. Il est important de connaître la consommation journalière existante afin de dimensionner au mieux le système photovoltaïque à installer.

Pour cela, il suffit de prendre le nombre d'heures d'utilisation par jour de chaque équipement, et de le multiplier par la puissance dudit équipement. Puis de faire la somme de toutes les consommations journalières unitaires pour connaître la consommation totale journalière.

Par exemple : un équipement qui a une puissance de 50W, utilisé 5h par jour aura une consommation journalière de 250 Wh/j.

Puissances de quelques équipements types des infrastructures de santé :

- Conservateur de vaccins : 50 à 80 W permanents (préconisation → sur batterie autonome)
- Stérilisateur : 600 W
- Brasseurs d'air : Puissance unitaire 50 W
- Echographe : 300 W

Il faut aussi déterminer quels appareils peuvent être :

- Alimentés sur un circuit au fil du soleil (consommation en même temps que la production d'énergie solaire),
- « Délestés » en cas de sous production ou de surconsommation,
- En aucun cas manquer d'alimentation en énergie.

Les équipements consommateurs doivent être limités exclusivement à ceux prévus initialement afin de garantir la pérennité de l'installation. Si de nouveaux équipements sont branchés, l'installation est mise en péril.

La gestion des consommations peut être assurée par un dispositif contrôlant les consommations, avec coupure selon des critères programmés, ou alarme ou délestage des charges non prioritaires. Exemple : gestionnaires Michaud.

Le lien ci-dessous donne plus d'informations sur les dispositifs automatiques de gestion de l'énergie : [Michaud Export | Gestionnaire d'énergie](#)

Le tableau suivant propose une liste théorique d'équipements à alimenter, ainsi que leur puissance et leur temps de fonctionnement quotidien. La somme des résultats donne l'énergie totale journalière à produire.



Equipements	Puissance unitaire	Fonctionnement	Nombre d'équipements	Energie journalière
Ampoules des salles	7 W	5 h	= 2 x 5 = 10	350 Wh
Ampoules couloir	7 W	5 h	= 3 x 1 = 3	105 Wh
Réfrigérateur	300 W	8 h	1	2400 Wh
Ventilateur	60 W	8 h	= 1 x 5 = 5	2400 Wh
Equipements médicaux	250 W	4 h	2	2000 Wh
Ordinateur portable	50 W	6 h	1	300 Wh
Imprimante	50 W	2 h	1	100 Wh
Recharges téléphones	10 W	2 h	5	100 Wh
	Puissance totale			Energie totale
Total	1341 W			7755 Wh

4. Définir la puissance totale des panneaux solaires à installer

Dimensionnement solaire (panneau) : la puissance crête des panneaux dépend des **consommations**, du **gisement solaire** et d'un coefficient de pertes au niveau des panneaux (rendement). La puissance s'exprime en Watt crête ou Wc.

Pour déterminer la puissance totale des panneaux solaires à installer, il faut connaître la valeur de l'**ensoleillement quotidien moyen dans la zone géographique**. Cette valeur est rendue disponible e sur plusieurs sites internet.

Le plus utilisé est le site [PVGIS \(Photovoltaic Geographical Information System\)](#) développé par le Centre de Recherche de l'Institut pour l'Environnement et le Développement Durable de la Commission Européenne.

La capture d'écran ci-dessous montre la page du site PVGIS où sont mentionnées les données mensuelles d'irradiation solaire. La procédure d'utilisation de ce site est détaillée dans l'annexe II à la fin de ce toolkit.



Un autre site peut également être consulté : [GAISMA](#) (Site utilisant des données de la NASA).

Attention : Une étude ne doit pas être réalisée sur la référence d'une seule année. Elle doit être faite sur une **moyenne de plusieurs années** (au minimum 5 ans) ce qui permet un nivelage des valeurs extrêmes et éventuelles spécificités.

Exemple de différence d'irradiation solaire entre la France et un pays africain proche de l'équateur

Nombre d'heures d'ensoleillement par an

France	1600 à 2800 (4,4 à 7,6 h/j)
Afrique	3100 à 3700 (8,5 à 10,1 h/j)

PARTIE II : MISE EN ŒUVRE

ETAPE 3 : CHOISIR LES EQUIPEMENTS

Objectif

Choisir des équipements de qualité, qui dureront plus longtemps, et qui sont adaptés à leur usage, c'est-à-dire sélectionnés et dimensionnés avec précision en fonction des appareils à alimenter.

1. Choisir des panneaux photovoltaïques

Technologie utilisée pour les cellules au silicium

Il existe deux principaux types de cellules photovoltaïques au silicium : monocristallin et polycristallin. Leur différence réside dans leur processus de fabrication.

A ce jour, la différence de performance entre ces deux technologies a été fortement réduite. La technologie polycristalline a quasiment disparu au profit de la technologie monocristalline (désormais moins chère et plus performante).

Puissance

Appelée Watt Crête (Wc), elle est caractérisée suivant des Conditions de Test Standard (STC Standards Tests Conditions en Anglais) qui correspondent à une irradiation sous la lumière naturelle du soleil normée à 1000 W/m² et une température de 25°C. Nous trouvons des panneaux produisant une puissance de 400 W (avec une irradiation de 1000 W/m² et une température de 25°C) pour une surface de l'ordre de 1,7 m².



Influence de la température

La température est un paramètre important dans la production électrique des panneaux. L'ensemble des fournisseurs ou fabricants de panneaux photovoltaïques communiquent les facteurs de corrections pour la puissance, la tension et le courant. Un panneau peut perdre 5 % de puissance avec seulement une élévation de température de 15°C.

Vieillessement

Le vieillissement du panneau photovoltaïque entraîne une perte de puissance de ce dernier mais relativement faible. Cette perte de puissance est comprise entre 15 et 20 % après 25 ans de fonctionnement. Ces pertes de puissance sont sensiblement linéaires dans le temps.

2. Sélectionner les batteries

La batterie joue un rôle de stockage de l'énergie électrique. Il y a nécessité de stockage chaque fois qu'il y a décalage entre la production et la consommation (décalage dans le temps ou dans la puissance consommée), il faudra des batteries dès qu'il y a des consommations nocturnes ou des appels de puissance.

Dimensionnement des batteries (capacité)

Le dimensionnement dépend des consommations journalières, du nombre de jours d'autonomie recherchés (= jours sans soleil), de la tension et du type de batterie utilisée. Elle s'exprime en Ampère heure ou Ah.

Attention : les batteries sont la partie la plus coûteuse de l'installation au niveau financier, et au niveau environnemental : durée de vie relativement courte par rapport aux panneaux, extraction de terres rares pour la production, gestion de fin de vie.

Pour dimensionner les batteries, il faut définir le nombre de jour d'autonomie souhaité (généralement 3 pour un centre de santé par exemple) mais également la technologie de celles-ci.



Il existe plusieurs types de batterie :

A/ au plomb

Batterie de démarrage (pour une voiture par exemple)

Supporte de fortes intensités pendant un temps très court et n'accepte qu'une profondeur de décharge faible < 30 %.

- Batteries à plaques fine

Batterie de cyclage (ou solaire)

Supporte une intensité (faible ou moyenne) pendant plusieurs heures et accepte des profondeurs de décharge de 70 % voire plus.

- Batteries à plaques épaisses ou tubulaires.

Facteurs influents sur la durée de vie d'une batterie plomb

- le nombre de cycles et la profondeur de décharge par cycle
- la température

B/ au lithium

Technologie devenue plus diffusée et abordable récemment, en comparaison avec les batteries plomb elles sont considérées comme plus performantes, plus légères, résistent aux températures élevées mais sont plus chères à l'achat et parfois moins disponibles localement.

Le tableau ci-dessous compare les deux technologies :

	Plomb	Lithium LiFeOO4
Autodécharge	5 %	2-3 %
Capacité max	50 % de la charge	100 % de la charge
Temps de charge	8-10h	2-3h
Durée de vie	300-500 cycles	> 3000 cycles



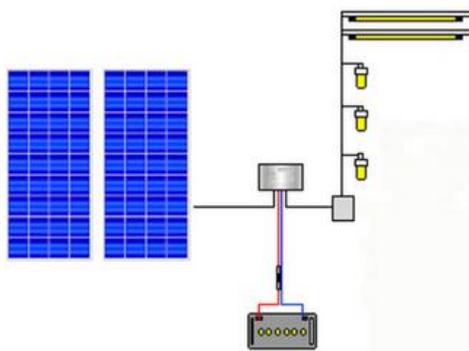
Electriciens sans frontières recommande d'utiliser des batteries Lithium ou des batteries Plomb à anode tubulaire de type OPzV.



Photos : Electriciens sans frontières

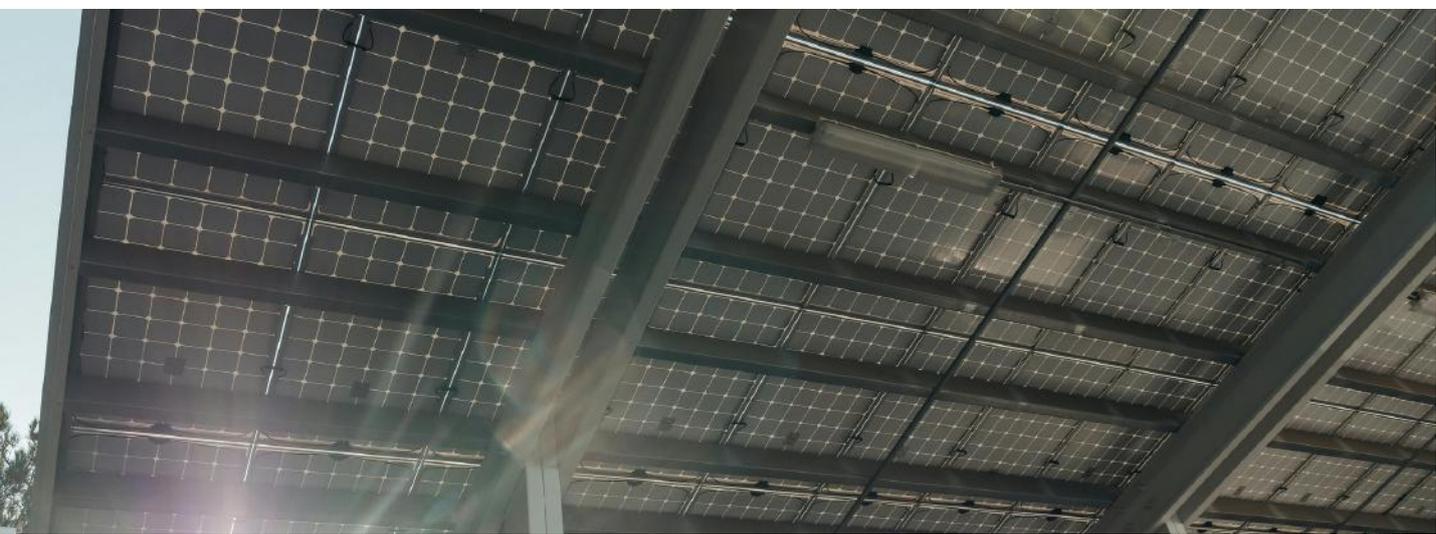
Composant	Durée de vie	Commentaires
Modules PV*	25 ans	Modules polycristallins: perte de 1% de productible/an
Régulateurs	10 ans	
Onduleurs	10 ans	
Batterie OPzV (Etanche au plomb)	8 à 10 ans	
Batterie Li-ION	12 ans	

3. Déterminer le régulateur de charge



Fonctions

- Adapte la tension et le courant pour une charge optimale de la batterie (déconnecte ou limite le courant du panneau solaire en fonction de l'état de charge de la batterie).
- Comporte (suivant les modèles) des voyants fonctionnels, des alarmes et un port de communication pour une gestion à distance.
- Déconnecte l'utilisation en cas de tension basse de la batterie pour les petits modèles.



Le dimensionnement du régulateur de charge se fait, principalement, selon 3 critères :

- La tension du parc de batteries (12, 24 ou 48 V),
- L'intensité de charge maximale acceptée par le régulateur qui doit être compatible avec la puissance des panneaux et la tension du parc de batteries.
- La technologie : PWM (petites puissances) ou MPPT (meilleur rendement).

A savoir : beaucoup de fabricants de régulateurs indiquent la puissance maximale en Watt crête (Wc) que peut accepter le régulateur.

4. Sélectionner l'onduleur

Il transforme le **courant continu** produit par le système PV en **courant alternatif**. La plupart des appareils électriques fonctionnent avec un courant de **230 Volts alternatif** (certains pays ont un réseau en 110 Volts).

L'onduleur sera choisi en fonction de la puissance totale de l'installation, à laquelle on ajoute une marge de sécurité de 1500 ou 2000 Watts. On trouve dans le commerce des onduleurs de 1200, 1600 ou 2000 Watts. Il est conseillé de choisir un onduleur d'une puissance supérieure à celle de l'installation pour compenser les pertes dues au vieillissement du matériel électronique.



Photo : Electriciens sans frontières

ETAPE 4 : INSTALLER LES EQUIPEMENTS

Objectif

Eviter les erreurs qui pourraient être faites lors de l'installation du système en prenant en compte différents éléments clés comme la sécurité, la maintenance ou l'accessibilité.

Type de pose des panneaux solaires	Avantages	Inconvénients
Au sol	<ul style="list-style-type: none"> • Accessibilité (pose et entretien) • Facilité pour prise en compte de la meilleure orientation 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques de dégradation (cailloux, ballons...) • Nécessité de grillager • Terrassement et travaux de maçonnerie • Risque d'ombre portée (arbres, bâtiment)
En toitures	<ul style="list-style-type: none"> • Moins de risque de vol • Liaison électrique plus courte 	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien difficile (échelle) • Capacité de charge de la charpente de la toiture • Risque accru au vent violent

Une attention toute particulière devra être portée lors de l'implantation d'une installation photovoltaïque sur les points suivants :

- L'orientation des panneaux dépend de l'hémisphère où sera implantée l'installation photovoltaïque. Les panneaux sont installés au sud dans l'hémisphère nord et au nord dans l'hémisphère sud.
- Les ombrages (éléments extérieurs et panneaux entre eux).
- Les structures ou supports métalliques doivent pouvoir supporter les rafales de vents.
- Les distances entre équipements (sources de pertes supplémentaires) surtout pour les lignes en basse tension.
- L'accessibilité pour la maintenance.
- La non-accessibilité pour une personne non autorisée.
- Pour le matériel électronique (chargeur, onduleur et batteries) réduire au maximum l'effet de la chaleur (source de pertes de rendement) > il est préconisé de les installer à l'intérieur d'un local technique dédié.



- Dans le cas de la création d'un local technique, celui-ci devra avoir des dimensions suffisantes pour accueillir les équipements électroniques, les tableaux électriques, les batteries. Il devra permettre sans risque électrique de pouvoir intervenir pour la maintenance et/ou le remplacement d'un élément. Le local sera sécurisé, bien ventilé, protégé de la chaleur et de la poussière. Il devra être doté d'un point d'éclairage et d'une prise de courant.
- Être vigilant sur les sections de câbles, sur la qualité de l'étanchéité des presse-étoupes, sur le choix des organes électriques, notamment des disjoncteurs, sectionneurs, etc.
- Il est conseillé de mettre en place un moyen de télésurveillance et de monitoring.

ETAPE 5: MAINTENIR LES EQUIPEMENTS

Objectif

Entretenir une installation photovoltaïque est primordial pour assurer son bon fonctionnement. Si aucun entretien n'est effectué, en particulier si les panneaux ne sont pas nettoyés, l'efficacité du système peut diminuer considérablement. Il y a relativement peu d'interventions à faire sur les systèmes PV. Il s'agit principalement de mettre en œuvre les points mentionnés dans la checklist ci-dessous.

Checklist Maintenance

- Nettoyer les panneaux dès qu'on constate de la poussière ; utiliser une brosse souple, une éponge non grattante ou un chiffon (pas de produits corrosifs ou abrasifs ni d'outils durs) ; ne pas utiliser d'eau sous pression. Attention au besoin de nettoyage après les tempêtes de sable.
- Pour accéder à des panneaux en toiture, utiliser une échelle en bon état, positionnée de manière stable et maintenue au sol par un second opérateur.
- Lors du nettoyage, ne pas asperger les modules solaires avec de l'eau froide quand le soleil est trop fort afin d'éviter de détériorer les panneaux.
- Ne pas marcher sur les modules solaires.
- Vérifier le serrage de la visserie sur les structures (tous les ans) et les étanchéités aux presse-étoupes.
- Vérifier l'état des connexions électriques (dommages mécaniques, corrosion) et l'étanchéité des passages de câbles (tous les ans).
- Vérifier que les boîtiers électroniques (chargeurs et onduleurs) n'ont pas une élévation de température excessive (relever la température d'entrée et de sortie).
- Eventuellement, vérifier l'électrolyse des batteries (niveau et acidité).
- D'une manière générale, vérifier la propreté de l'ensemble du matériel.
- Contrôler et enregistrer les informations des divers écrans mis à disposition.
- Enregistrer la production électrique.
- Effectuer un monitoring continu et s'assurer que le transfert des informations est correct.

Liste non exhaustive des diverses causes de perte de rendement

- Vieillessement des panneaux.
- Effet de l'orientation des panneaux.
- Effet de la propreté des panneaux.
- Pertes thermiques du câblage.
- Rendement du régulateur/chargeur.
- Rendement de l'onduleur.
- Effet de la capacité de la charge des batteries et de sa décharge possible.
- Intégration ou non de la possibilité de délestage de certains équipements.



Photo : Electriciens sans frontières

PARTIE III : RESSOURCES COMPLÉMENTAIRES

Pour aller plus loin

- Le guide Oscaro Power donne de nombreuses informations sur le choix des différents composants d'un système PV (panneaux, stockage, onduleur, supervision et câblage), et sur son installation, y compris des détails techniques de mise en œuvre très précis.
<https://guide.oscaro-power.com/hc/fr/articles/9626173592604-Comparatif-des-panneaux-solaires>
- Ce document, intitulé « Outil de dimensionnement de source d'énergie » et produit par Médecins Sans Frontières, est un tableau permettant d'estimer les besoins en énergie d'une structure à partir de l'inventaire des appareils électriques à alimenter.
https://logistic.ocg.msf.org/#/KBD/u=c&_f_uid=5d94da2675a74c0382618eaff93648b8&custom_order=title&src_lang=fr
- Le document « Outil de suivi de consommation d'énergie » et réalisé par MSF, propose une méthode de relevé et de suivi des consommations d'énergie sur le terrain.
https://logistic.ocg.msf.org/#/KBD/u=c&_f_uid=e6a97fbf5a234ae8b8af598a3a6c422d&custom_order=title&src_lang=fr
- Ce « Guide des bonnes pratiques » réalisé par Electriciens sans frontières avec l'appui du Groupe URD propose un référentiel basé sur 12 critères pour améliorer le montage des projets et à mettre en œuvre des solutions durables adaptées aux besoins de populations.
https://www.urd.org/wp-content/uploads/2018/09/Guide_bonnes_pratiques_ESF_bd.pdf
- Les équipes logistiques de Médecins Sans Frontières ont testé une solution innovante d'installation photovoltaïque qui peut être déployée rapidement et dans les contextes les plus difficiles. Il s'agit d'un conteneur supportant 150m² de panneaux solaires qui peuvent produire jusqu'à 60 kWh.
<https://www.msf.ch/nos-actualites/articles/energie-solaire-mobile-solution-reside-t-elle-ce-conteneur>

Des recommandations précises faites sur le dimensionnement de la solarisation des centres de santé à Madagascar, produites par SEforALL : www.seforall.org/publications/powering-healthcare-in-madagascar-market-assessment-and-roadmap-for-health-facility

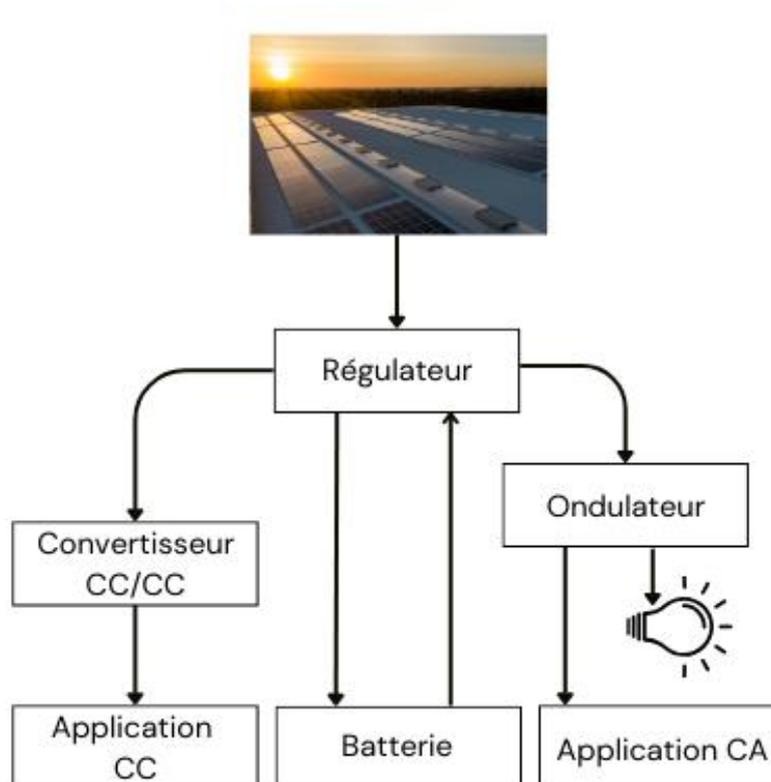
Des recommandations précises faites sur le dimensionnement de la solarisation des centres de santé au Burkina Faso, produites par IRENA et la fondation indienne SELCO : <https://www.irena.org/Publications/2022/Oct/Electrification-with-renewables-Enhancing-healthcare-delivery-in-Burkina-Faso-FR>

Le module de formation ci-dessous sur la réduction de l'empreinte carbone des ONG, développé par Coordination Sud, donne un exemple concret de la solarisation des bâtiments au Liban dans la section « Exemples d'actions et retours d'expérience » : <https://www.coordinationsud.org/formation/reco-module-3-prioriser-et-mettre-en-oeuvre-des-actions-de-reduction-de-l'empreinte-carbone-des-activites-d'une-ong/>

En plus des étapes de solarisation d'une structure, le guide de l'International Medical Corps (en anglais) inclut une section sur l'évaluation et la comparaison des coûts entre générateurs et solutions solaires, non compris dans le toolkit de l'Accelerator. <https://internationalmedicalcorps.org/wp-content/uploads/2024/11/Solarization-Guidance-International-Medical-Corps.pdf>

Définitions

Définitions des différentes parties d'une installation photovoltaïque



- **Panneau ou champ photovoltaïque** : convertit l'énergie solaire en courant électrique
- **Régulateur** : contrôle la charge et la décharge de la batterie
- **Convertisseur CC/CC** : transforme par exemple du 12 V CC en 24 V CC
- **Batterie** : stocke et restitue l'énergie
- **Application CC** : appareils fonctionnant en courant continu
- **Onduleur** : transforme le courant continu en courant alternatif
- **Application CA** : appareils fonctionnant en courant alternatif



Unités électriques

- **Tension en Volts (V)** : différence de potentiel entre 2 bornes d'un même circuit
- **Intensité en Ampères (A)** : quantité d'électricité circulant dans un dipôle ou fil
- **Puissance en Watts (W ou kW)** : la puissance électrique est définie comme l'énergie électrique transférée dans un circuit par unité de temps.
- **Energie en Wattheure (Wh ou kWh) ou en Joule (1 Wh = 3600 J)** : l'énergie électrique est l'énergie associée au déplacement des électrons à travers un conducteur ou dipôle : $E (J) = P(W) \times t(s)$
- **Capacité de batterie en Wattheure**: capacité (Ah) x tension (V)
 - Elle est souvent exprimée en Ah avec la tension qui est implicite (12V par ex)
- **Rendement (en %)** : $\eta = \text{Puissance utile sortante (Ps)} / \text{Puissance fournie entrante (Pe)} \times 100$.



Photo : Electriciens sans frontières

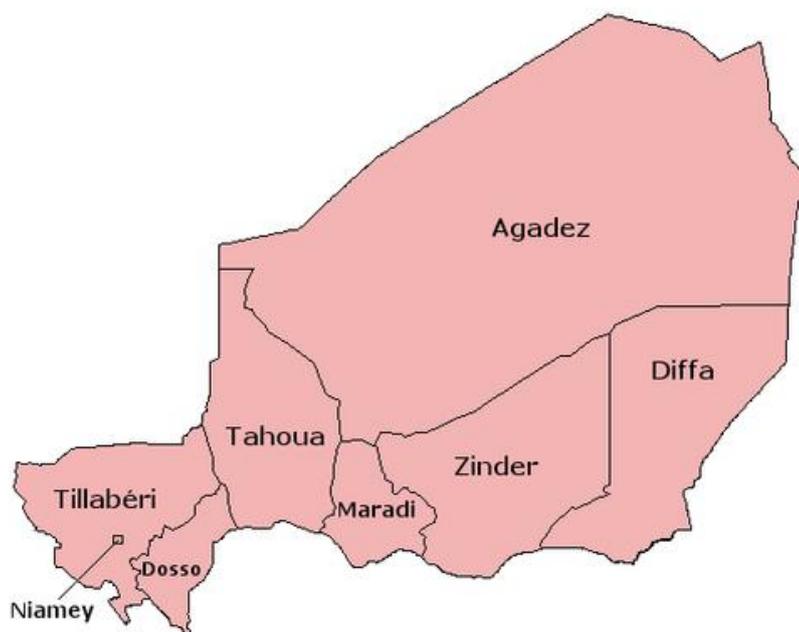
Exemple de projet photovoltaïque au Niger

Etablissement étudié : Centre de santé

Situation géographique : Agadez au Niger

Liste des équipements à alimenter

- 2 ampoules à LED de 7 W pour chacune des 5 salles fonctionnant 5 h par jour
- 3 ampoules à LED pour le couloir fonctionnant 5 h par jour.
- 1 réfrigérateur de 200 l, consommant 300 W ayant un fonctionnement moyen de 8 h par jour.
- 1 ventilateur de 60 W pour chacune des 5 salles fonctionnant 8 h par jour.
- 2 équipements médicaux de 250 W unitaire ayant un fonctionnement moyen de 4 h par jour.
- 1 ordinateur portable de 50 W fonctionnant 6 h par jour.
- 1 imprimante de 50 W fonctionnant 2 h par jour.
- 5 recharges de téléphones portables de 10 W, fonctionnement quotidien de 2 h.



1. Détermination des besoins

Equipements	Puissance unitaire	Fonctionnement	Nombre d'équipements	Energie journalière
Ampoules des salles	7 W	5 h	= 2 x 5 = 10	350 Wh
Ampoules couloir	7 W	5 h	= 3 x 1 = 3	105 Wh
Réfrigérateur	300 W	8 h	1	2400 Wh
Ventilateur	60 W	8 h	= 1 x 5 = 5	2400 Wh
Equipements médicaux	250 W	4 h	2	2000 Wh
Ordinateur portable	50 W	6 h	1	300 Wh
Imprimante	50 W	2 h	1	100 Wh
Recharges téléphones	10 W	2 h	5	100 Wh
	Puissance totale			Energie totale
Total	1341 W			7755 Wh

2. Détermination de l'irradiation solaire

Pour déterminer l'irradiation solaire l'outil PVGIS sera utilisé en suivant le lien ci-dessous : https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/

Attention : des mises à jour sont effectuées sur le site qui peuvent occasionner des changements de valeur.

Une fois sur le site, il faut choisir le lieu de l'étude, dans notre cas l'installation à étudier est située à Agadez, au Niger.



Pour cela, 3 possibilités de localisation :

- Par les coordonnées GPS : en bas à droite de la carte proposée (lettre A, fig. 1),
- Avec la souris directement sur la carte et nous cliquons (lettre B, fig. 1),
- Ou en indiquant directement l'adresse du lieu, si c'est possible (lettre C, fig. 1),
- Il est possible de bouger la carte par l'intermédiaire d'un clic droit de la souris.

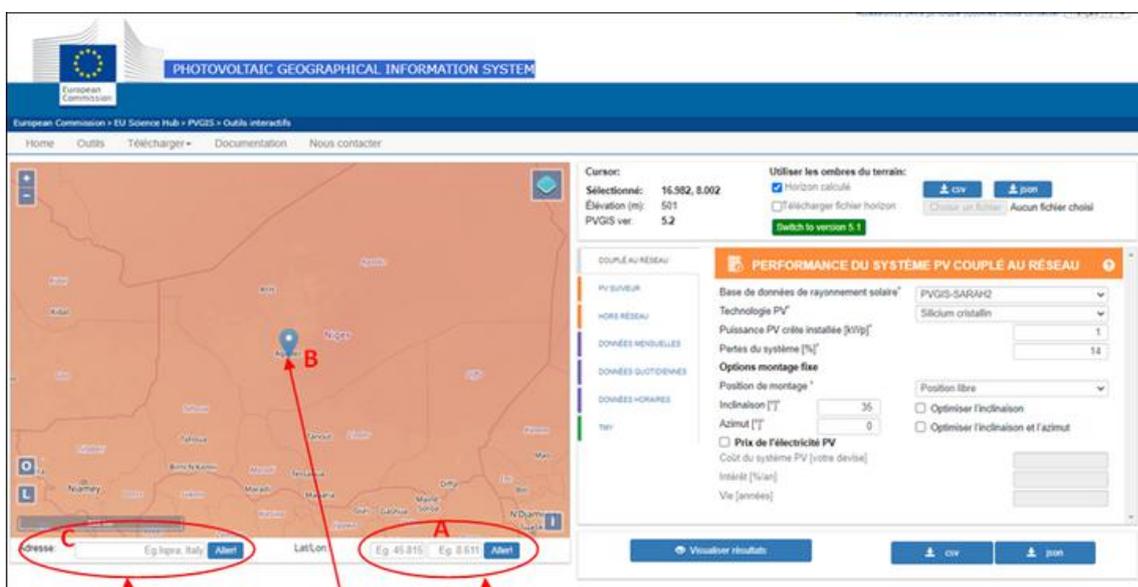


Fig. 1

Nous indiquons ici, l'adresse du lieu de l'installation étudiée

ou Nous indiquons ici, les coordonnées GPS du lieu de l'installation étudiée

ou Nous indiquons ici, par un clic de la souris le lieu de l'étude

Maintenant, il faut se positionner sur l'onglet « Données mensuelles » (lettre A, fig. 2), et indiquer la base de données de rayonnement solaire choisie (lettre B, fig. 2) : retenir « PVGIS-SARAH2 ».

Pour avoir une étude la plus réaliste possible, elle doit être faite sur une période d'au moins 5 ans (afin de lisser les extremums). Il faut indiquer l'année de début (lettre C, fig. 2) et de fin de la période souhaitée (lettre D, fig. 2) pour l'étude. Dans notre cas, nous retiendrons de 2015 à 2020 soit 6 ans.

Fig. 2

L'étude nécessitant l'irradiation globale avec un angle de positionnement (lettre E, fig. 2) des panneaux par rapport à l'horizontal de 17° (lettre F, fig. 2). Cette valeur de 17° correspond à la latitude du site. Le calcul se fait en cliquant sur le bouton « Visualiser résultats » (lettre G, fig. 2).

Pour sortir les valeurs dans un tableau Excel, il faut, après avoir visualiser les résultats, cliquer sur le bouton « csv » (lettre H, fig. 2).



Photo : Electriciens sans frontières



Le tableau Excel obtenu est de la forme CSV suivante :

Latitude (decimal degrees):16.976	
Longitude (decimal degrees):7.987	
Radiation database:PVGIS-SARAH2	
yearmonthH(h)_mH(i)_m	
2015Jan218.88	
2015Feb203.32	
2015Mar218.32	
2015Apr228.81	
2015May219.74	
2015Jun197.29	
2015Jul203.42	
2015Aug197.38	
2015Sep203.52	
2015Oct222.99	
2015Nov214.09	
2015Dec216.39	
2016Jan210.02	
2016Feb213.24	
2016Mar215.17	
2016Apr217.46	
2016May216.39	
2016Jun185.96	
2016Jul202.05	
2016Aug199.42	
2016Sep205.46	
2016Oct211.56	
2016Nov209.79	
2016Dec205.76	
2017Jan214.26	

C'est la date. Année puis mois.
Dans notre cas, année : 2017 et
mois de janvier.

C'est la valeur de l'irradiation
globale solaire en kWh/m²/mois.

Soit ici, 214,26 kWh/m² pour le
mois de janvier 2017.

De ce format, il faut réaliser une mise en forme pour que les informations soient utilisables. Les valeurs obtenues sous forme CSV seront placées dans un tableau (voir ci-dessous) qui permettra de calculer l'irradiation moyenne mensuelle et journalière.

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	Moyenne mensuelle	Moyenne journalière
Jan	31	218,88	210,02	214,26	218,11	214,45	217,18	215,48	7,0 kWh/m2/j
Feb	28	203,32	213,24	201,72	203,48	205,15	214,27	206,86	7,4 kWh/m2/j
Mar	31	218,32	215,17	240,52	236,04	229,58	236,72	229,39	7,4 kWh/m2/j
Apr	30	228,81	217,46	216,38	231,68	218,49	226,91	223,29	7,4 kWh/m2/j
May	31	219,74	216,39	214,28	219,3	216,16	218,96	217,47	7,0 kWh/m2/j
Jun	30	197,29	185,96	183,85	192,23	191,29	199,3	191,65	6,4 kWh/m2/j
Jul	31	203,42	202,05	197,85	203,4	203,28	203,07	202,18	6,5 kWh/m2/j
Aug	31	197,38	199,42	201,1	200,94	194,57	192,29	197,62	6,4 kWh/m2/j
Sep	30	203,52	205,46	214,42	200,96	210,18	208,49	207,17	6,9 kWh/m2/j
Oct	31	222,99	211,56	229,98	218,5	209,47	218,77	218,55	7,0 kWh/m2/j
Nov	30	214,09	209,79	210,68	207,69	208,54	214,7	210,92	7,0 kWh/m2/j
Dec	31	216,39	205,76	197,02	211,17	215,2	211,63	209,53	6,8 kWh/m2/j

Fig. 3

Mini : 191,7 kWh/m2/M **6,4 kWh/m2/j**
 Maxi : 229,4 kWh/m2/M

De ce tableau la valeur à retenir est l'irradiation journalière minimale, soit dans notre exemple, 6,4 kWh/m2/j.

Elle est calculée de la façon suivante :

$$\text{Min (Irradiation moyenne mensuelle) / Nbre de jours du mois considéré} \\ = 191,65 \text{ kWh/m}^2/\text{mois} / 30 \text{ jours} = 6,4 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$$

> L'irradiation moyenne journalière théorique est de 6,4 kWh/m2/j.

3. Déterminer la puissance des panneaux photovoltaïques

La valeur ci-dessus correspond à l'irradiation moyenne journalière théorique. Il faut prendre en compte les pertes dues à différents effets :

- Effet thermique sur la production électrique (-5%)
- Propreté des panneaux (-2%),
- Vieillesse sur 10 ans (-10%),
- Orientation (-2%).

Calcul des pertes

Effet thermique x Effet salissures x Effet vieillissement x Effet orientation = Rendement Panneaux (hors conversion photovoltaïque)
 $(1-5\%) \times (1-2\%) \times (1-10\%) \times (1-2\%) = 0,95 \times 0,98 \times 0,9 \times 0,98 = 0,82$.

Cette valeur de 0,82 ou 82% correspond au rendement de la chaîne de production des panneaux (hors conversion photovoltaïque).

La somme des pertes est égale à $1 - 0,82 = 0,18$ ou 18%

Dans notre cas, en prenant un coefficient de réduction de 18%, l'irradiation moyenne utile solaire (sortie panneaux) est de :

$$6,4 \times (1 - 0,18) = 5,2 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$$

Il faut également tenir compte des divers rendements électriques :

- Chargeur (-5%)
- Onduleur (-5%)
- Effet Joule (-10%)
- Batteries (-10%)

Calculs des pertes dues aux divers rendements

Rendement Chargeur x Rendement onduleur x Rendement câbles x Rendement batteries = Rendement de conversion

$$(1-5\%) \times (1-5\%) \times (1-10\%) \times (1-10\%) = 0,95 \times 0,95 \times 0,9 \times 0,9 = 0,73$$

La somme des pertes est égale à $1 - 0,73 = 0,27$ ou 27%

Le coefficient de réduction retenu est de 27%. L'irradiation moyenne utile électrique (à la sortie de l'onduleur) devient :

$$5,2 \times (1 - 0,27) = 3,8 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$$



Maintenant, il est possible de déterminer la puissance des panneaux photovoltaïques à installer :

$$\begin{aligned} & \text{Puissance Panneaux} \\ & = \\ & \frac{\text{Energie consommée (Wh/j)} \times k(\text{W/m}^2)}{\text{Irradiation moyenne utile électrique (Wh/m}^2\text{/j)}} \\ & = \\ & \frac{7755 \times 1000}{3830} = 2025 \text{ Wc} \end{aligned}$$

Le coefficient k correspond à la production électrique pour une **irradiation solaire moyenne de 1000 W/m²**.

- > La puissance des panneaux photovoltaïques installée devra être au moins égale **à 2025 Wc**.

**Il faudra donc installer : soit 4 panneaux PV d'une puissance de 500 W chacun,
soit 6 panneaux PV d'une puissance de 330 W.**

Pour accélérer la charge des batteries, la puissance des panneaux photovoltaïques pourra être maximisée de 10 à 20 %.



4. Déterminer la capacité du parc de batteries

Pour connaître la capacité des batteries, il faut effectuer le calcul suivant :

$$\begin{aligned}
 & \text{Capacité des batteries} \\
 & = \\
 & \frac{\text{Energie consommée} \times \text{Autonomie} \times \text{Coef. sécurité}}{\text{Degré de décharge admis des batteries} \times \text{Tension batteries}} \\
 & = \\
 & \frac{7755 \times 2 \times (1 + 25\%)}{50\% \times 48}
 \end{aligned}$$

- Energie consommée : 7755 Wh (voir tableau besoins énergétiques)
- Autonomie (en jours) : 2
- Degré de décharge admis pour les batteries : 50%
- Tension batteries : 48 V
- Coef. Sécurité : 25%

→ La capacité du parc des batteries sous 48 V doit être **de 808 Ah**.

Il faudra donc installer 4 batteries de 200 Ah

N.B. : Les divers % relatifs aux pertes et majorations ne sont qu'informatifs. Dans le cas d'un projet réel, il faudra les définir ou les calculer en fonction des équipements réellement installés.



Climate Action
Accelerator

Contactez-nous

Chemin des Mines 2

1202, Genève

contact@climateactionaccelerator.org



climateactionaccelerator.org

