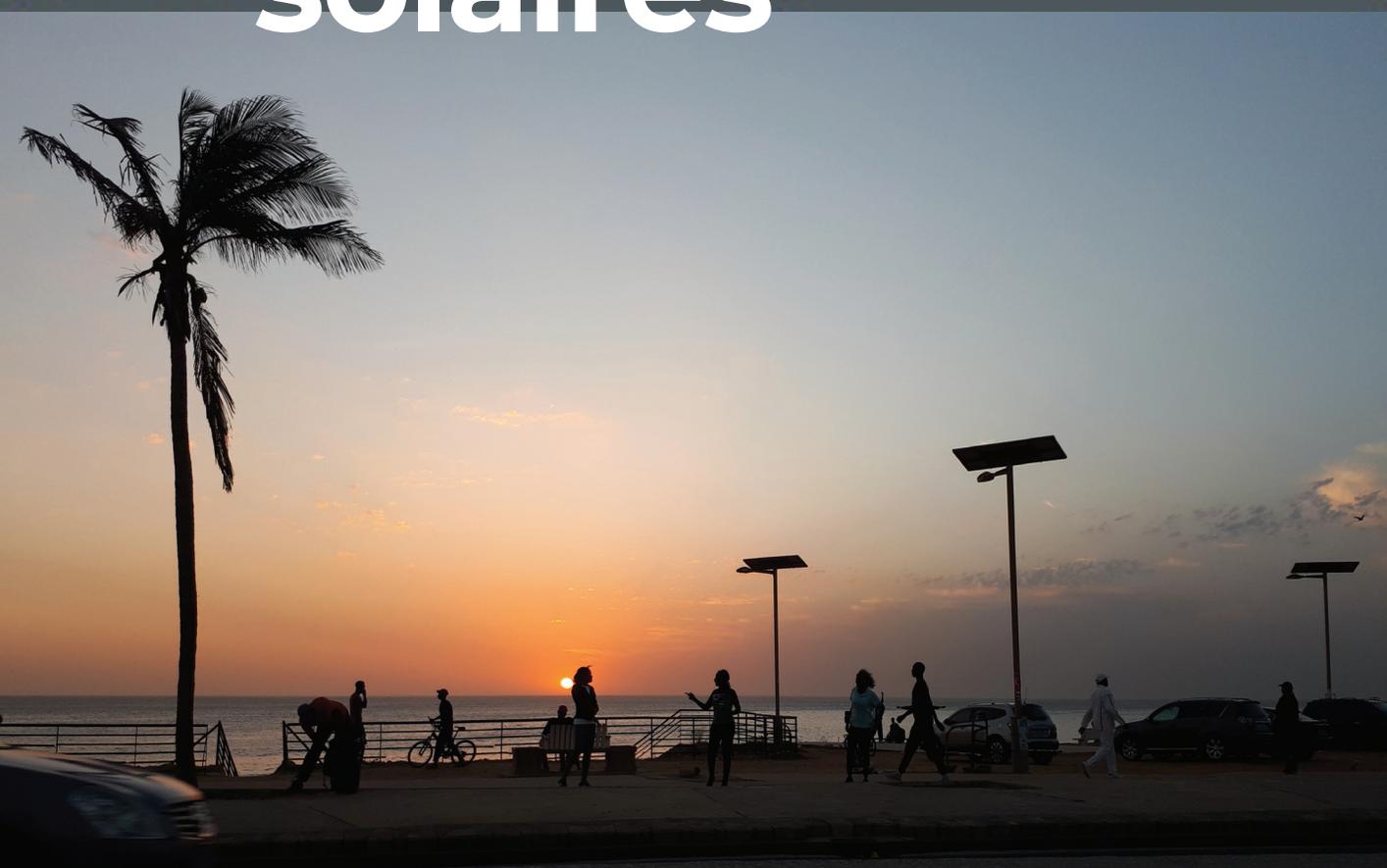


GUIDE PRATIQUE

# Lampadaires solaires



© INES



© Electriciens Sans Frontiere





CE DOCUMENT SE VEUT ÊTRE UN GUIDE À L'USAGE DE TOUT PORTEUR D'UN PROJET DE LAMPADAIRES SOLAIRES. IL PRÉSENTE LES RECOMMANDATIONS PRATIQUES JUGÉES LES PLUS PERTINENTES POUR SA BONNE CONDUITE. CES RECOMMANDATIONS SONT RASSEMBLÉES EN PLUSIEURS CHAPITRES CORRESPONDANT AUX DIFFÉRENTES PHASES D'UN PROJET, DE L'ÉVALUATION INITIALE DES BESOINS ET DU CONTEXTE JUSQU'À L'ÉVALUATION FINALE DES CONDITIONS D'EXPLOITATION ET DES IMPACTS, EN PASSANT ÉVIDEMMENT PAR LES PHASES DU FINANCEMENT ET DE LA RÉALISATION.

CE GUIDE VISE À DONNER À CHACUN LA POSSIBILITÉ DE S'APPROPRIER DES PRATIQUES DÉJÀ VALIDÉES DANS DE NOMBREUX CAS, SANS CHERCHER À ÊTRE À USAGE UNIVERSEL CAR DES ADAPTATIONS PEUVENT ÊTRE NÉCESSAIRES SELON LES CONDITIONS ET L'ENVIRONNEMENT LOCAL. IL EST LE FRUIT D'UN GROUPE DE TRAVAIL(\*) RASSEMBLANT DES INDUSTRIELS, DES ONGS, ET DES REPRÉSENTANTS DES MINISTÈRES, DE L'ADEME, ET DE L'AFD, ANIMÉ PAR L'INES, INSTITUT NATIONAL DE L'ÉNERGIE SOLAIRE, ET QUI S'EST RÉUNI DE SEPTEMBRE 2017 À FIN 2018.

RESTANT ÉVOLUTIF, CE DOCUMENT EST TRADUIT EN ANGLAIS, ET RENDU DISPONIBLE SUR LES SITES INTERNET DE L'ALLIANCE SOLAIRE INTERNATIONALE ET DE L'INES. SERONT ÉGALEMENT ACCESSIBLES EN LIGNE DES FICHES-OUTILS POUVANT SERVIR DE MODÈLES À CHAQUE ÉTAPE D'UN PROJET DE LAMPADAIRES SOLAIRES. TOUTES LES REMARQUES ET CONTRIBUTIONS ADDITIONNELLES PEUVENT ÊTRE FAITES À L'ADRESSE : [SOLENN.ANQUETIN@INES-SOLAIRE.ORG](mailto:SOLENN.ANQUETIN@INES-SOLAIRE.ORG)



LIBERTÉ • ÉGALITÉ • FRATERNITÉ  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

---

MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE  
ET SOLIDAIRE

---

MINISTÈRE  
DE LA COHÉSION  
DES TERRITOIRES

(\*) L'ANIMATION DU GROUPE DE TRAVAIL A ÉTÉ MENÉE PAR SOLENN ANQUETIN ET PHILIPPE MALBRANCHE (INES), DANS LE CADRE DE LA CONVENTION « ENVELOPPE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE » DU MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE, ET DE LA MER (MEEM).

ONT PARTICIPÉ À LA RÉDACTION : Rudy Belliard (Novea-Energies), Valentin Benoit (Fondation Energies pour le Monde), Arnaud Dubrac (AFD), Pierre Giraud et Hervé Gouyet (Electriciens sans frontières), Bruno Lafitte (ADEME), Colas Maloubier (UpOwa), Thomas Samuel (Sunna-Design), Bastien Lanta (Fonroche).

ONT CONTRIBUÉ PAR AILLEURS AU GROUPE DE TRAVAIL : Carré Product, le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA), le GRET, Lumila, Schneider Electric, le Syndicat des Énergies Renouvelables (SER), Verteole

# sommaire

---

<b>RÉSUMÉ</b>	<b>04</b>
A. Les enjeux de société, de financements et de qualité d'un projet d'électrification solaire	04
B. Charte Qualité Lampadaires Solaires Autonomes	06

---

<b>CH. I : AVANT-PROJET SOMMAIRE</b>	<b>09</b>
A. Evaluation des besoins : comment les identifier localement ?	09
B. Analyse économique : pourquoi partir sur un projet de lampadaires solaires ?	14

---

<b>CH. II : MONTAGE FINANCIER</b>	<b>16</b>
A. Mobilisation des financements	16
B. Montages contractuels et Modèles économiques : comment mobiliser les financements sur la durée ?	18

---

<b>CH. III : CONCEPTION</b>	<b>20</b>
A. Rédiger l'appel d'offres	20
B. Décrypter les réponses à l'appel d'offres	23

---

<b>CH. IV : REALISATION</b>	<b>26</b>
A. Installation : comment garantir la qualité de la prestation dans le temps ?	26
B. Maintenance : comment former les techniciens d'Exploitation & Maintenance ?	28
C. Filière de recyclage	33

---

<b>CH. V : EVALUATION</b>	<b>34</b>
A. Evaluation de projet : comment évaluer la pérennité sociale et technique d'un projet ?	34
B. Mesure des impacts : comment mesurer les impacts ? socio-économiques du projet par rapport aux objectifs initiaux ?	36

---

---

# RÉSUMÉ

---

---

## A. Contextualisation des enjeux de société, de financements et de qualité

---

### Principaux objectifs de l'éclairage solaire autonome

L'éclairage public est clairement le symbole d'une certaine modernité. Les systèmes solaires autonomes représentent un formidable outil de développement économique et social, que l'on s'adresse à des zones rurales sans accès à l'électricité, des zones péri-urbaines où le réseau électrique est absent ou intermittent ou des zones urbaines dans une optique d'économies d'énergie.

Un projet d'éclairage public vise avant tout une amélioration de la qualité de vie, via des enjeux de société considérables :

- ▶ La sécurité et le déplacement de tous les usagers en améliorant l'appréciation des distances et vitesses, limitant les pertes de capacité visuelle, améliorant la visibilité du champ périphérique et favorisant le sentiment de sécurité de tous pour l'éclairage sur les routes et voies urbaines.
- ▶ une meilleure perception du cadre de vie et la valorisation des espaces publics quand il s'agit d'éclairer autour des bâtiments publics, des écoles, et des centres de santé
- ▶ L'accès à l'information et le renforcement des liens sociaux, quand il s'agit d'éclairer la place du village, le marché, les commerces ou des lieux de culture et de culte.
- ▶ Le soutien à des activités économiques, et donc l'augmentation du pouvoir d'achat, via l'accroissement des heures d'activité possible, voire même la fourniture éventuelle de services additionnels potentiellement monétisables (recharge téléphone, wifi ...).

Ces objectifs sont par ailleurs amenés à s'intégrer dans une vision, qui peut être, par exemple, une recherche de limitation de la consommation énergétique et des nuisances lumineuses liées à l'éclairage public.

### Avantages et défis

Les systèmes d'éclairage public sont parfaits pour :

- ▶ Les nouvelles constructions
- ▶ Les régions éloignées : sites isolés du réseau et les sites où le réseau ne permet pas une continuité de service
- ▶ Les emplacements existants où les services publics sont défectueux ou ne sont plus conformes aux normes
- ▶ Les endroits où les coûts d'électricité sont élevés
- ▶ Les paysages éco-sensibles
- ▶ Les installations temporaires ou d'urgence



L'option solaire présente plusieurs avantages :

- ▶ Facilité et rapidité de mise en œuvre
- ▶ Coûts d'entretien réduit
- ▶ Coûts d'usage globaux parfois plus économiques qu'une extension d'un service d'éclairage public sur réseau
- ▶ Meilleure disponibilité du service, si les réseaux sont alimentés de manière discontinue
- ▶ Meilleure flexibilité des infrastructures car indépendantes de la présence du réseau électrique
- ▶ Solution écologique si les batteries et les autres composants sont correctement recyclés car elle utilise une énergie propre et inépuisable

L'utilisation de la technologie solaire nécessite la gestion de certaines contraintes :

- ▶ Sa dépendance vis-à-vis de l'ensoleillement
- ▶ Une sélection pertinente des zones à éclairer et du niveau d'éclairement requis
- ▶ Une absence de référentiel technique international conduisant à une grande diversité en matière d'origine, de qualité des produits, et de prix
- ▶ Un entretien et une maintenance accrue
- ▶ Un plus fort risque de vandalisme
- ▶ Le remplacement de la batterie au bout de quelques années si la technologie ou le dimensionnement sont non appropriés
- ▶ La formation de techniciens à la bonne installation et maintenance (nettoyage, gestion SAV)
- ▶ La prise en compte de l'investissement initial et la budgétisation de la maintenance pour évaluer le coût global du projet, en ayant à l'esprit l'équilibre optimal CAPEX / OPEX

Ce document expose des critères de qualité intrinsèques aux projets de lampadaires solaires autonomes. Il a été rédigé dans le but d'aider à comparer les solutions et surtout de donner les meilleures chances de succès au projet d'éclairage public solaire.

Les critères proposés ont pour but d'éviter les contre-références qui se traduisent par un service rendu défaillant, du gaspillage et des insatisfactions légitimes qui nuisent à l'image de l'énergie solaire en général. Le respect de ces pratiques est de nature à faciliter la mise en place des financements nécessaires à la réalisation du projet, et des fonds nécessaires à la maintenance si elle n'est pas incluse dans la commande initiale.

## B. Charte Qualité Lampadaires Solaires Autonomes

---

La Charte Qualité Lampadaires Solaires Autonomes est un outil pour aider les parties prenantes à garantir la qualité attendue de leur éclairage public, dans le but de répondre au mieux aux enjeux de société, de financements et de qualité. Elle propose un condensé des recommandations pratiques majeures qui sont ensuite détaillées par chapitre et forment le fil directeur du guide. L'objectif est « d'éclairer juste », c'est-à-dire comme il faut (au juste niveau), et quand il faut (quand nécessaire) au coût global le mieux disant (investissement et maintenance). La charte recommande de considérer une durée minimale de 10 ans pour l'usage du lampadaire solaire et le calcul du coût global.

**La charte présentée s'appuie sur 2 piliers principaux :**

- ▶ Un engagement à atteindre des objectifs globaux partagés
- ▶ Une méthodologie de développement des projets par étapes successives avec des acteurs identifiés et responsabilisés



## En tant que partie prenante d'un projet d'applications solaire décentralisées dans le cadre de l'Alliance Solaire Internationale, je m'engage à :

		Collectivité	Contractant	Bailleur
<b>Evaluation initiale des besoins et des moyens menée avec les populations locales et basée sur les usages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Identifier les besoins sur place avec, le maître d'ouvrage local et en concertation avec les populations, en définissant :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; l'objectif principal du projet en fonction des enjeux</li> <li>&gt; les lieux stratégiques à éclairer</li> <li>&gt; les usages (activités et horaires d'activités, types de véhicules, types de voies)</li> <li>&gt; La sécurisation des installations contre les actes de vandalismes.</li> </ul> </li> </ul>	X		
	▶ Rédiger un cahier des charges précis basé sur le modèle proposé en annexe	X		
	▶ Baser les spécifications techniques sur les besoins & usages		X	X
	▶ Dresser une analyse comparative des coûts et économies engendrées par le projet	X		
<b>Montage financier (prise en compte des coûts sur 10 ans)</b>	▶ Mobiliser des financements et sélectionner le modèle d'affaires optimisant l'équilibre CAPEX et OPEX	X	X	X
	▶ Concevoir un Business Plan à destination du maître d'ouvrage proposant les temporalités et financements de maintenance	X		X
<b>Conception basée sur les besoins pour assurer la qualité</b>	▶ Garantir la qualité technique des composants, notamment des différentes technologies de batteries, et le bon dimensionnement du système (autonomie, durabilité, réduction du taux de maintenance).		X	
	▶ Intégrer dans les appels d'offres des clauses de contrôle qualité, engagements de performance et garanties d'exploitation et de maintenance sur la durée, adaptées aux besoins et moyens locaux.	X		X
	▶ Prévoir des prestations de service pour accompagner les parties prenantes, des décideurs aux opérateurs et populations.	X	X	
<b>Réalisation concrétisant des engagements de pérennité</b>	▶ Favoriser l'assemblage et la mise en place locale pour optimiser le transfert de compétences à travers des chantiers écoles		X	
	▶ Effectuer un suivi rigoureux des étapes par l'élaboration d'une documentation de contrôle		X	
	▶ Planifier en amont la phase de maintenance avec la formation de personnel local, des supports pédagogiques simples et un modèle économique dédié	X	X	
<b>L'évaluation de l'efficacité, la pérennité, et des impacts</b>	▶ Mettre en place en amont les conditions pour réaliser l'évaluation : les équipes, les supports, les outils de suivi à distance et un calendrier	X		
	▶ Evaluer l'adéquation organisationnelle, technique et économique du projet avec les attentes et besoins des populations	X		
	▶ S'assurer de la pérennité du projet en menant des évaluations, au moins un an après réception, puis quelques années plus tard	X		X
	▶ Mesurer les impacts du projet sur les volets social, technique, environnemental et économique	X		X
	_____			
	_____			
	<b>DATE</b>		<b>SIGNATURE</b>	

### La démarche de recommandations pratiques.

Ce guide des recommandations pratiques explicite les points d'engagement de la charte. Il peut être source d'inspiration pour tout acteur intéressé dans la recherche de qualité des projets. Il peut être utilisé pour :

- i- guider le montage et la mise en oeuvre des projets,
- ii- évaluer la pertinence des projets, puis leur performance après réalisation
- iii- former les équipes-projet

**1. Le chapitre I « Avant-projet sommaire »** se focalise l'évaluation des besoins et l'analyse économique.

**2. Le chapitre II « Montage du projet »** propose une méthodologie de mobilisation de financements et de définitions de modèles économiques associés.

**3. Le chapitre III « Conception »** détaille comment rédiger un appel d'offres puis comment évaluer les réponses.

**4. Le chapitre IV « Réalisation »** comporte des recommandations sur les phases de l'installation à la maintenance de l'infrastructure.

**5. Le chapitre V « Évaluation »** fait le point sur les critères d'évaluation du projet et de mesure d'impacts.



---

---

# CHAPITRE I : AVANT-PROJET SOMMAIRE

---

---

## A. Evaluation des besoins

---

**Avant toute conception, il est essentiel de bien définir à quels besoins l'infrastructure d'éclairage public entend répondre. Cette évaluation des besoins semble être une évidence, cependant il n'est pas toujours aisé d'identifier clairement des parties prenantes, de prioriser les usages et lieux du besoin, et de transcrire les besoins en spécifications techniques. Les recommandations techniques « Evaluation des besoins » donnent des pistes pour répondre à ces problématiques.**

### 1. Intégration du projet aux programmes locaux : comment assurer la cohérence ?

Il s'agit d'intégrer l'accès à l'électricité et aux services énergétiques modernes, dont l'éclairage public solaire, dans le document de plan de développement de la Commune ou de la localité à travers des actions de planification énergétique.

D'une manière générale, cette démarche vise à vérifier la cohérence du projet avec ceux déjà engagés ou à venir à échelles locale et nationale par les politiques publiques du territoire.

► **Mener une étude de l'existant** avec les agences d'électrification, sociétés nationales ou agences dédiées à l'électrification rurale pour s'inscrire dans une dynamique d'aménagement du territoire et de planification énergétique, éviter tout doublon avec un programme existant et respecter les priorités globales en termes d'allocations des ressources.

### 2. Identification sur place des besoins avec des acteurs locaux : quels acteurs et quelle méthodologie pour une analyse locale des besoins et du pouvoir d'achat des populations ?

La première étape cruciale de l'évaluation des besoins est la démarche de mobilisation locale des acteurs en mesure d'identifier adéquatement les besoins locaux.

Cette étape est nécessaire pour éviter que les besoins soient formalisés « par le haut » selon des idées préconçues, sans confrontation avec le terrain. Plusieurs recommandations sont de mise pour mener une identification locale.

► **Aller sur les lieux** : Plutôt que de chercher à comprendre les besoins, coupé du terrain, dans un bureau de la capitale, il est essentiel pour le maître d'œuvre de se déplacer dans les localités où un besoin potentiel est pressenti afin de se saisir de la réalité du terrain en rencontrant les comités de quartiers, les responsables de villages. Cette démarche permettra d'affiner la compréhension des besoins et des priorités définis sous l'égide du maître d'ouvrage local. A ce stade, il est important de s'associer avec des intermédiaires (bureaux d'étude, maîtres d'œuvre, ONGs, associations) locaux qui connaissent le terrain et seront en mesure de converser en langue locale avec les bons interlocuteurs.

► **Mener une concertation avec la population** : pour éviter de se limiter au discours d'un acteur unique, bien souvent le maire, il s'agit d'organiser grâce au maître d'ouvrage local une procédure de concertation avec la population concernée. Cette concertation peut prendre la forme d'une enquête. Elle sera d'autant plus aboutie qu'elle se greffera à des groupes de consultation existants, tels que des comités d'usagers ou des infrastructures communautaires.

► **Impliquer les autorités publiques** : au-delà du retour des besoins, l'étape de concertation permet d'impliquer la collectivité dans le temps du projet. Cette instance d'échanges permet de mettre en lumière les bienfaits de l'éclairage public mais aussi d'engager la discussion sur la nécessité de planifier la maintenance, de dresser un budget post-investissement, de comprendre la capacité à payer des bénéficiaires et de susciter leurs intérêts pour la protection contre les actes de vol ou de vandalisme.

### 3. Définir et prioriser les usages : comment donner un cadre précis aux besoins ?

Une fois les interlocuteurs et les instances de discussion pertinents identifiés, il s'agit d'orienter la discussion sur la définition d'un cadre des besoins et de leur hiérarchisation.

► **Définir un ou deux objectif(s) prioritaire(s) du projet** : plutôt que de vouloir adresser les besoins tous azimuts, il est conseillé d'identifier un ou deux objectif(s) précis qui semble(nt) répondre aux besoins les plus urgents des parties concertées, quitte à ce que le projet produise des effets positifs non escomptés initialement. Parmi les objectifs-phare, les porteurs de projet pourront par exemple mettre l'accent sur la :

**o Sécurisation de quartiers, notamment pour les personnes vulnérables et leurs propriétés.**

**o Fréquentation routière, grands axes ou développement d'axes annexes.**

**o Dynamisation de lieux économiques ou sociaux, par exemple le marché ou les infrastructures communautaires grâce à l'augmentation des heures de travail.**

**o Scolarisation des enfants**

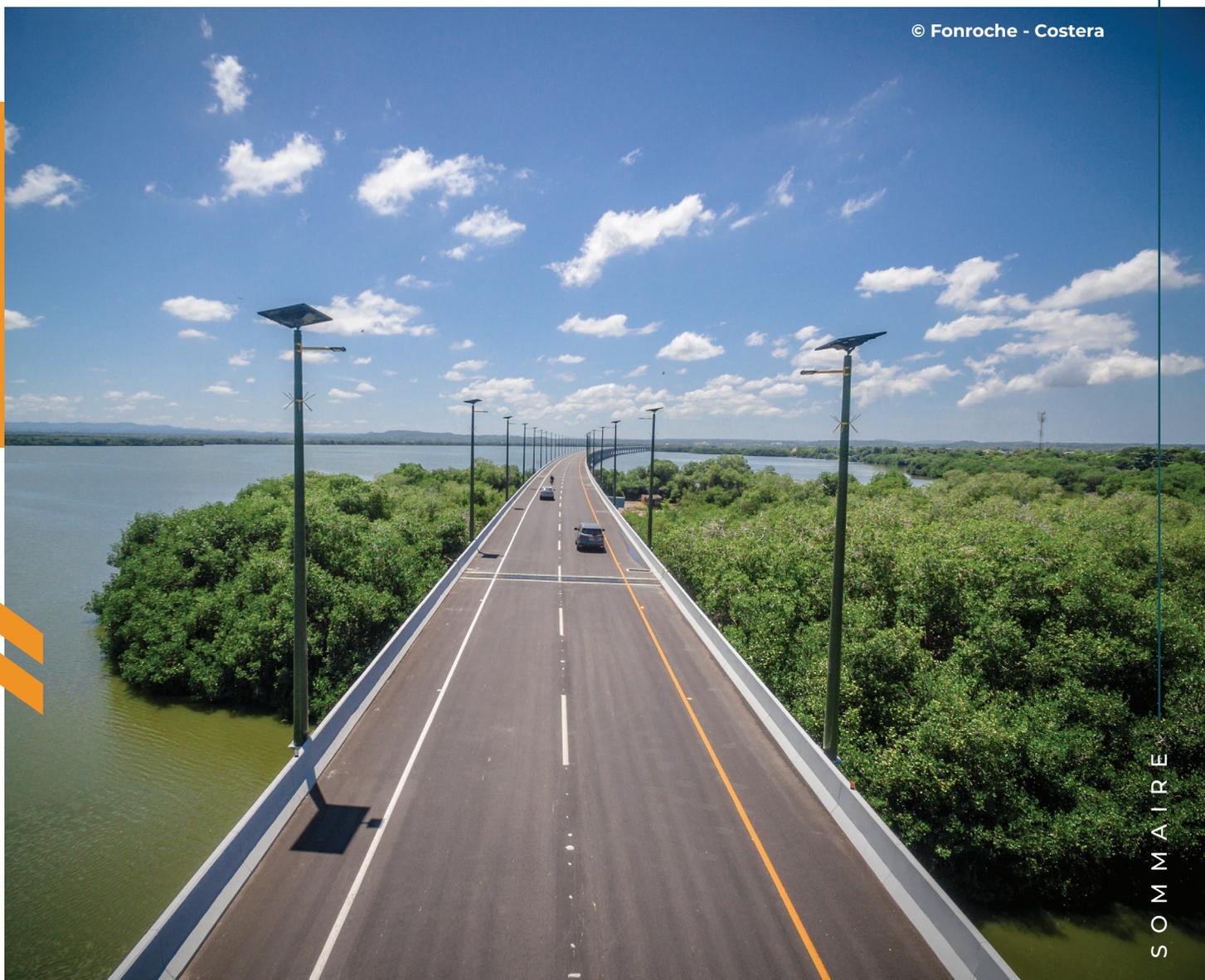
Le travail de priorisation permet également d'anticiper sur la mesure des impacts qui intervient en fin de projet, en définissant clairement et en quantifiant les impacts attendus du projet.

► **Identifier les lieux stratégiques à éclairer** : de la définition des besoins prioritaires s'ensuit nécessairement l'identification des lieux stratégiques à éclairer. Il s'agira en effet d'identifier, non pas des lieux symboliques tels que la rue d'une personne influente dans la communauté, mais des lieux qui permettent de mener à bien les objectifs du projet. Lors de ce choix, une attention tout particulière doit être portée sur les caractéristiques locales à travers le prisme de la vulnérabilité.

En effet, il peut s'avérer stratégique d'éclairer des lieux qui semblent anodins à première vue, tels que les toilettes publiques, les arrêts de bus, les gares, car ces lieux se révèlent être source de forte insécurité pour les personnes vulnérables.

Il est recommandé de formaliser cette identification de lieux par une typologie afin de faciliter le pré-design quantitatif, comme fait figurer le tableau 1.

© Fonroche - Costera



## 4. Pré-design quantitatif : quelles spécifications techniques pour optimiser l'usage de l'infrastructure ?

La dernière étape de l'évaluation des besoins consiste à traduire les besoins exprimés, en termes de priorités, d'objectifs et de lieux stratégiques, dans le langage technique du pré-design quantitatif. Pour trois typologies de voies, les spécifications techniques peuvent être telles que présentées dans le Tableau 1. :

	Route principale	Traversée de village ou petite voie péri-urbaine (largeur 7m)	Lieux/places publics
Eclairage recommandé (fourchette en lux)	15 à 20	10 à 15	5 à 10
Uniformité	0.4	0.4	0.4
Durée d'allumage à pleine puissance	5h minimum	4h minimum	4h minimum
Niveau minimum d'éclairage en gradation (dimming)	60% du recommandé	50% du recommandé	20% du recommandé
Options de gestion à étudier	Gestion simultanée du parc de lampadaires	Extinction Détection de présence collective/communiquante (par groupe) peut être envisagée	Détection de présence
Hauteur de feu (en m)	8	6	4
Température de couleur (fourchette en K)	3000-5000		
Cette typologie est seulement indicative, la technologie LED évoluant très vite et les projets étant ensuite définis au cas par cas.			

Tableau 1. Spécifications techniques selon la typologie de voie

► **Eviter de calquer les standards européens** : en Europe, l'éclairage public est aiguillé par la norme EN 13201 qui définit les typologies d'éclairage en fonction des lieux, et les exigences de performance, calculs et mesures associés. Bien que pouvant servir de référence, cette norme semble être peu en adéquation avec les contextes locaux des projets de l'Alliance. Dans la mesure des objectifs de sécurité, il est donc conseillé de l'utiliser plutôt au titre de maximum.

► **Niveau d'éclairage** : le niveau d'éclairage est exprimé en lux. Il donne une information sur la quantité de lumière au sol.





► **Uniformité d'éclairage :** l'uniformité d'éclairage est un facteur clé car il permet de s'assurer d'une visibilité constante sur l'espace défini à éclairer.

► **Variation de l'éclairage :** en fonction des besoins exprimés, il n'est pas nécessaire de maintenir le système d'éclairage à 100% de sa puissance de fonctionnement durant toute la nuit. Ainsi, il est essentiel de bien définir la durée de fonctionnement par nuit de l'éclairage, ainsi que la variation du niveau d'éclairage sur cette durée. Les outils d'éclairage intelligents complexifient le système par l'ajout du régulateur, rendant de fait la maintenance et la réparation plus difficiles. Néanmoins, ce sont de formidables outils pour faire des économies d'énergie, pour dimensionner le système et éclairer au plus proche des besoins réels, et ainsi faire baisser les coûts de production et de stockage.

► **Hauteur de feu :** la hauteur de feu est déterminée pour que l'uniformité et le niveau d'éclairage soient suffisants pour l'éclairage au sol. Il est également nécessaire de prendre en compte les besoins en matière de hauteur du mat pour le passage des véhicules.

► **Température de couleur :** Bien que le choix de température de couleur repose en partie sur les goûts et habitudes des bénéficiaires, les impératifs de respect de la biodiversité et l'optimisation du dimensionnement et coût du système doivent être pris en compte. Un blanc froid, au-delà de 5000 Kelvin, peut présenter un meilleur ratio lumen / watt car la LED contient moins de phosphore, bien que l'évolution des rendements soit moins liée à la température de couleur qu'avant. Cependant, ce blanc froid se révèle être un perturbateur pour la biodiversité, par exemple en Afrique.

► **Pollution lumineuse :** Il s'agit également de prendre en compte la pollution lumineuse induite par l'installation. Les recommandations produites par Dark Sky Association pourront aiguiller la démarche. Par exemple, il est recommandé de limiter au maximum le gaspillage de la lumière en éclairant au plus juste l'endroit voulu, notamment en n'émettant pas de lumière au-dessus du luminaire. Pour limiter l'impact sur la faune, la flore et l'être humain, une température de couleur maximale de 3000 Kelvin est requise pour les zones sensibles (endroits isolés, parcs naturels ...).



## B. Analyse économique : pourquoi partir sur un projet de lampadaires solaires ?

Une fois les besoins exprimés traduits dans le langage des spécifications techniques, les porteurs de projets ont tous les éléments en main pour décider de l'infrastructure la plus pertinente à mettre en place pour répondre aux objectifs du projet. Est-il plus pertinent de partir sur un projet de lampadaires solaires autonomes, ou au contraire sur un système de lampadaires connectés au réseau ?

Il s'agit de dresser une analyse comparative des coûts et économies engendrées par les deux situations pour identifier à quelles conditions le solaire est plus compétitif que le conventionnel. Ainsi, les moyens disponibles - financiers, humains et d'infrastructure - pour installer et maintenir le projet seront décisifs

### 1. Coûts d'investissement en fonction de l'état du réseau

L'éclairage solaire ayant un coût d'investissement initial supérieur à celui de l'éclairage LED connecté au réseau, les situations dans lesquelles l'éclairage à LED solaire sont habituellement la meilleure option suivent :

- ▶ Capacité de production électrique limitée, instable ou inexistante : dans la plupart des marchés émergents, la demande d'énergie dépasse l'offre et il peut être difficile d'augmenter la capacité de production à temps pour répondre à la demande croissante en éclairage public. Cela est particulièrement vrai sur de nombreux marchés en Afrique et en Amérique du Sud.
- ▶ Emplacements hors réseau: dans les zones à faible densité de population, il est souvent plus rapide et plus économique de fournir un éclairage de rue solaire et autres solutions hors réseau pour les besoins en énergie.
- ▶ Rénovations d'installations : lorsque les coûts énergétiques sont élevés et lorsqu'il est décidé d'éclairer une route déjà existante, il peut s'avérer rentable d'opter pour une solution solaire. On peut économiser sur le réseau de câblage entre les mâts (câbles, enfouissement, coffret de raccordement électrique) et même réduire le nombre de mâts nécessaires par kilomètre grâce à une conception intelligente.

Les questions suivantes peuvent venir affiner la compréhension des coûts d'investissement liés à l'état du réseau électrique :

- ▶ La production d'énergie électrique du pays permet-elle d'offrir un service continu toute la nuit ?
- ▶ Le lieu à éclairer est-il couvert par le réseau ?
- ▶ Le raccordement réseau nécessite-t-il des travaux coûteux ?
- ▶ Le réseau d'électricité est-il en bon état ?
- ▶ Quelle est la part d'énergies renouvelables dans le mix énergétique ?
- ▶ Quelle est la situation financière de la compagnie de gestion du réseau ?

## 2. Coûts de fonctionnement et de maintenance

Les lampadaires solaires sont synonymes d'économies d'énergie plus importantes. Les lampadaires solaires permettent de réaliser des économies d'énergie de 100% par rapport aux lampadaires conventionnels odnc de diminuer la facture énergétique.

Il faut se poser par ailleurs les questions suivantes pour estimer leurs coûts de fonctionnement en comparaison de lampadaires conventionnels :

- ▶ Quelles sont les compétences locales et ressources formées disponibles ?
- ▶ Quel est le niveau de disponibilité des pièces détachées et du matériel de maintenance ?
- ▶ Coût de l'entretien, par exemple du nettoyage des panneaux au moins une fois par an
- ▶ Coût de la maintenance : en plus du coût des pièces à remplacer, la prestation de maintenance et de transports des pièces est une opération qui coûte cher, à prendre en compte dans l'estimation totale du coût du projet.

## 3. Filière de recyclage

- ▶ Quelles sont les options en matière de recyclage, avec une attention toute particulière pour les batteries et modules photovoltaïques ?
  - ▶ Est-il nécessaire de mettre en place une filière de recyclage dédiée au projet ?
- ▶ Afin d'illustrer les analyses proposées dans les points ci-dessus, la photo suivante montre que même avec un réseau électrique existant, un lampadaire solaire peut s'avérer pertinent.



© INES

---

---

# CHAPITRE II : MONTAGE FINANCIER

---

---



Cette partie entend donner des éléments aux porteurs de projets pour qu'ils soient en mesure de fournir :

- 1- Explication d'une évaluation du coût global
- 2- Etude de la rentabilité d'un projet
- 3- Présentation de la pertinence d'un projet pour mobiliser des financeurs

Le programme « Financement abordable à grande échelle » de l'Alliance solaire internationale travaille sur les outils de mobilisation et pérennisation des financements, ce chapitre se restreint donc à introduire les concepts sans chercher à répliquer le travail du programme.

## A. Mobilisation des financements

---

**Une fois le projet défini par les besoins auxquels il se veut répondre et par les moyens de mise en place possible, la mobilisation des financements devient essentielle au montage du projet. Il s'agit d'identifier les acteurs-ressources pouvant soutenir la démarche, et d'avoir les outils pour construire son argumentation auprès de ces acteurs.**

### 1. Cartographie des acteurs : quels acteurs impliquer ?

Plusieurs guichets de financements existent, et il n'est pas toujours aisé de naviguer entre les différents dossiers de propositions de projets et les conditions attenantes, d'autant plus qu'un grand nombre de banques et de gestionnaires d'actifs au niveau international ont une connaissance limitée et une perception souvent déformée de l'investissement dans les énergies renouvelables, qui plus est dans les pays africains. Pour gagner en visibilité auprès de ces multiples interlocuteurs, on peut mettre en avant l'importance de :

- ▶ Intéresser les entreprises pour Partenariats Publics-Privés
- ▶ Organiser des ateliers de sensibilisation et formation auprès des acteurs financiers pour créer un climat de confiance et réduire les distorsions de perception
- ▶ Partager les expériences à l'échelle de plusieurs pays
- ▶ Mettre en place une plateforme commune et unique qui agrégerait les investissements et les projets, sur la base de modèles de contrats standardisés et de garanties communes



## 2. Bancabilité : quels seuils à atteindre ?

Une seconde problématique est de présenter un dossier convaincant, qui saura séduire les investisseurs. Une première étude de faisabilité, ou a minima de préfaisabilité, est un élément qui joue fortement en faveur d'un dossier. Il subsiste cependant l'obstacle pour les pays de l'accès aux fonds permettant de réaliser cette première étude. On peut alors mettre en avant les recommandations suivantes :

- ▶ Mobiliser un fonds international commun de réalisation d'études de préfaisabilité qui mettent en lumière des arguments techniques et socio-économiques convaincants en faveur de la bancabilité du projet, à réaliser par groupe de pays
- ▶ S'adapter aux requêtes des différents acteurs financiers : donateurs, investisseurs, Institutions Financières Internationales (IFIs)

D'autre part, les critères utilisés par les banques pour déterminer les taux de remboursement sont souvent peu explicites et conduisent à des inégalités entre les pays. Il serait donc très utile de :

- ▶ Partager les données de performance financière des actifs afin de constituer un « track record » pouvant servir de référence pour les futurs projets.
- ▶ Uniformiser une liste de critères utilisés dans l'évaluation des taux de remboursement, appuyée sur des exemples concrets.

## B. Montages contractuels / Modèles économiques : Comment mobiliser les financements sur la durée ?

---

**Les recommandations pratiques suivantes se veulent être des outils d'aide à la formalisation des montages contractuels du projet. Il s'agit de dessiner en amont, avant la conception du projet, le business plan pour équilibrer les coûts d'investissement initiaux (CAPEX) et les coûts d'exploitation et de maintenance (OPEX) et d'identifier tout de suite les participants financiers au service d'éclairage.**

### 1. CAPEX et OPEX: quel équilibre pour une minimisation des coûts ?

Un projet de lampadaires solaires peut être envisagé de deux manières. La première consiste à investir dans un système de qualité, qui durera dans le temps, et demandera peu de dépenses financières dans l'entretien et le remplacement des pièces. Ce premier cas de figure représente un fort coût d'investissement (CAPEX) mais des coûts minimes d'opération (OPEX). A l'inverse, le porteur de projet peut décider de réduire les coûts initiaux d'investissement en choisissant un système de moindre qualité, mais qui représentera un coût conséquent pour réparer régulièrement le système et changer les pièces défectueuses. L'idéal est de trouver le meilleur équilibre qualité-prix entre les coûts d'investissement et les coûts d'entretien, tel que le proposent les pistes suivantes.

► **CAPEX** : Les coûts de transaction et de diligence représentent une part considérable de l'investissement initial qu'il s'agit de minimiser par la mise en commun de contrats standards et d'une procédure agrégée de l'offre et de la demande. Dans la phase technique de l'installation, il s'agit aussi de rendre les équipements suffisamment accessibles pour permettre au maître d'ouvrage de passer ou de participer à une nouvelle commande lorsque le remplacement sera nécessaire.

► **OPEX** : Dresser un Business Plan à destination du maître d'ouvrage qui sensibilise celui-ci aux problématiques de maintenance et à leurs coûts (coûts échelonnés dans le temps pour l'entretien, le changement de la batterie, puis de la LED...), permet au maître d'ouvrage de choisir des équipements qu'il sera effectivement en mesure d'entretenir et de remplacer après x années de fonctionnement, au regard de ses capacités financières.

### 2. Qui paye pour le service d'éclairage ?

**L'identification des acteurs « responsables » du maintien du service d'éclairage peut être cernée par les deux questions suivantes.**

- **Que payer ?** La collectivité locale doit pouvoir payer pour :
- L'entretien des équipements assuré soit par une société privée ou par une régie municipale (à condition que celle-ci ait été formée) – pendant et après expiration de la garantie
  - Le remplacement (ou au moins la participation financière au remplacement) des équipements en fin de vie



© Sunna Design

- **Comment payer ?** Deux options, éventuellement cumulables :
  - **Gestion communale** : il s'agit d'étudier les mécanismes budgétaires existants dans la collectivité locale pour mobiliser une ligne qui sera dédiée et sécurisée pour l'éclairage public (budget mis à disposition par l'Etat pour le renouvellement des infrastructures ; participation des usagers à travers un impôt collecté localement...)
  - **Gestion communautaire et bénévole** : l'entretien basique (dépoussiérage) est assuré directement par les populations sur la base du bénévolat. Ce mode de gestion ne prend pas en compte la question des provisions pour remplacement des lampadaires et pourrait donc être cumulé avec un mécanisme communal (par exemple : la population se charge de l'entretien basique à travers le bénévolat ; la collectivité locale se charge de sécuriser une épargne pour participer au renouvellement des composants)



---

# CHAPITRE III : CONCEPTION

---

## A. Rédiger l'Appel d'Offres : Comment garantir la qualité organisationnelle du dispositif ?

---

**La rédaction de l'Appel d'Offres (AO) est déterminante pour la bonne conduite en aval du projet. C'est le moment pour inscrire formellement les engagements de qualité à mettre en application lors de la réalisation et l'exploitation, puis pour sélectionner le prestataire le plus à même de répondre de façon systémique à l'Appel d'offres.**

La rédaction de l'AO se concentre fréquemment sur une description technique des produits à fournir et installer. Or la qualité globale du projet est en grande partie due à l'organisation initiale. Celle-ci se décline en trois volets majeurs pour sécuriser la qualité du projet. Il importe plutôt à l'acheteur de bien préciser dans son cahier des charges :

### 1. Les besoins qu'il cherche à satisfaire

Ces besoins peuvent être le type de lieux à éclairer, l'intensité lumineuse et l'uniformité requise, et la durée (toute la nuit, un nombre d'heures prédéterminé, avec ou sans détecteur de présence, etc.). Il doit indiquer s'il souhaite des possibilités de réglages du profil recherché, pour garder une relative flexibilité d'usage des produits ou non. Il doit aussi dire si ces besoins peuvent être automatiquement réduits pendant un certain nombre de jours (pendant la saison difficile) ou non, de manière à éviter une période de black-out total. Il peut aussi souhaiter avoir accès à des fonctions de monitoring pour suivre le fonctionnement du parc installé. Concernant la gestion et l'exploitation de l'infrastructure, dans un objectif de transfert et renforcement des capacités locales, l'AO peut stipuler la fourniture d'équipements simples de maintenance, par exemple des systèmes de voyants pour un diagnostic rapide des dysfonctionnements éventuels, ou des systèmes de suivi et alerte à distance.

Le dimensionnement de la partie photovoltaïque doit rester de la responsabilité du fournisseur, car il impacte directement les notions de taux de service, d'exploitation et de maintenance, et de durée de vie des composants.

La hauteur de mat doit aussi être déterminée par le fournisseur, surtout pour les usages routiers. Faut-il des points lumineux moins hauts et plus rapprochés, ou des lampadaires plus hauts et plus distants : cette optimisation doit être du ressort du fournisseur. Eventuellement, le bénéficiaire peut être amené à imposer une hauteur minimale ou maximale pour des questions de hauteur au-dessus des voies ou de sécurité.

## 2. Les services attendus

► **Prestations de livraison** : il s'agit d'intégrer et de planifier un ensemble de services autour de la livraison de matériel. Des actions de sensibilisation des décideurs aux enjeux d'entretien et de renouvellement des équipements pourront être mises en place auprès des collectivités et maîtres d'ouvrage. Il est également recommandé d'intégrer à l'offre un volet de formation des opérateurs, pouvant être une régie de maintenance ou une entreprise locale.

► **Conditions de garanties et Service Après Vente (SAV) :**

il incombe à l'AO de définir le cadre de pérennisation de l'infrastructure, à travers les conditions de garanties et de Service Après Vente (SAV). Il s'agit de définir de façon réaliste la durée et les conditions du SAV, notamment les procédures de diagnostic des pannes pouvant éventuellement se faire in situ sur la base de photos, mais également les procédures de démontage, de rapatriement, et de remplacement des pièces défectueuses/usées. Ces tâches seraient idéalement prises en charge par un partenaire local du fabricant, société ayant effectuée la pose des équipements. La durée de garantie des pièces par le fournisseur est recommandée de 10 ans minimum, l'enjeu étant de considérer le système comme un tout, et de faire porter la garantie sur le service dans son ensemble, et non sur le fonctionnement d'un composant (ex : batterie toute seule). Le maître d'ouvrage doit porter une attention particulière à obtenir les réponses suivantes des fournisseurs : que couvre la garantie ? Qui a la charge de ces différentes opérations ? Qui en assure les frais ? Sous quelles conditions ? Pour combien de temps ?

► **Supports pédagogiques de maintenance pratiques**, comprenant des étiquettes robustes et simples de compréhension, ainsi qu'un guide d'utilisation et une notice de maintenance pédagogique. Ce matériel annexe peut se révéler essentiel en cas de changements des équipes de maintenance, notamment de la régie municipale qui peut changer après les élections. Une option complémentaire à envisager est celle du « suivi à distance ». Cet outil permet de récupérer tout le journal de vie journalier d'un produit sur un serveur, et de procéder à un diagnostic très précis par le fournisseur. Cette option doit être déterminée par le contexte et la capacité du maître d'ouvrage à s'approprier l'outil.

► **Campagne d'information et de sensibilisation des utilisateurs** pour préparer le terrain pour l'appropriation collective. A cette fin, l'idéal est de se greffer sur des dispositifs communautaires existants, en insistant sur le fonctionnement de l'éclairage public et les enjeux de pérennité.

### 3. Les informations à fournir impérativement

#### ► Les caractéristiques techniques des principaux composants :

- Le générateur photovoltaïque : Puissance en Wc, tension, etc.
- Le luminaire et son mat : P Led en W, rendement, T couleur, hauteur du mat ... ainsi que la durée d'éclairage, et la consommation énergétique maximale sur un cycle nocturne en Wh (cf la nuit la plus longue).
- La batterie : technologie, tension, capacité C10 et/ou C100, régulation, etc.
- Le gestionnaire d'énergie : réglage des automatismes d'éclairage ou non, gestion de la charge / décharge batterie, possibilité de monitoring, etc.

#### ► Une note de calcul détaillant les hypothèses prises en compte pour les simulations du fonctionnement pluri-annuel, et les résultats obtenus :

- Le « taux de service nominal » : nombre de jours ou d'heures de fonctionnement nominal / nb de jours ou d'heures annuel
- Eventuellement, le « taux de service dégradé », par une réduction de la luminosité ou de la durée quotidienne de fonctionnement, destiné à éviter une rupture plus totale du service.
- Eventuellement, le nombre de jours annuel de non fonctionnement
- Les conditions de cyclage et de température retenues pour estimer la durée de vie prévisionnelle des batteries, et in fine l'estimation de la durée de vie de la batterie.

#### ► Les prix, incluant tous les postes : fourniture des produits, transport, douane, installation, exploitation et maintenance :

- disponibilité des pièces détachées, délais d'intervention, formation du personnel local, our l'installation ou la maintenance, etc...

#### ► Les protocoles de réception du matériel :

- toute commande importante doit prévoir des prélèvements d'un certain nombre d'échantillons qui feront l'objet d'investigations plus précises. Le niveau d'éclairage, à différentes heures de la nuit, fera évidemment partie des caractéristiques contrôlées.
- vérifications au sortir de l'usine, vérifications à la livraison, essais de réception dans des centres d'essais spécialisés, conditions de réception après installation, voire même un certain temps après réception.



## B. Décrypter les réponses aux appels d'offres : comment garantir la qualité technique ?

**Les éléments techniques figurant ci-dessous et le recours à des règles simples – telles que proposées dans ce document - s'avèrent nécessaires pour évaluer avec acuité les propositions des industriels. Les décideurs peuvent confier cette analyse technique à un organisme spécialiste tiers de confiance.**

Le dimensionnement consiste à optimiser le système (caractéristiques des différents composants, modes de gestion de l'électricité) en tenant compte des besoins des usagers et des conditions météorologiques locales. Il permet de « garantir » son bon fonctionnement, en assurant :

- ▶ **A court terme**, le bon équilibre énergétique (production / consommation), quelles que soient les variations du besoin électrique (les durées d'éclairage varient selon la durée des nuits) et de la ressource solaire au gré des variations saisonnières.
- ▶ **A moyen et long terme**, la minimisation du vieillissement irréversible de la batterie.

Le mot « garantir » est entre guillemets, car cette notion ne peut être que statistique, au regard des incertitudes liées aux séquences météorologiques difficiles (nombre de jours consécutifs à faible ensoleillement), ou à des périodes d'encrassement exceptionnel.

Plusieurs associations de composants peuvent convenir. Les stratégies de gestion de l'éclairage et de la batterie sont très déterminantes. Un exemple de gestion d'éclairage fait figure ci-dessous.

### LIGHTING PROFILES INTERTROPICAL REGION

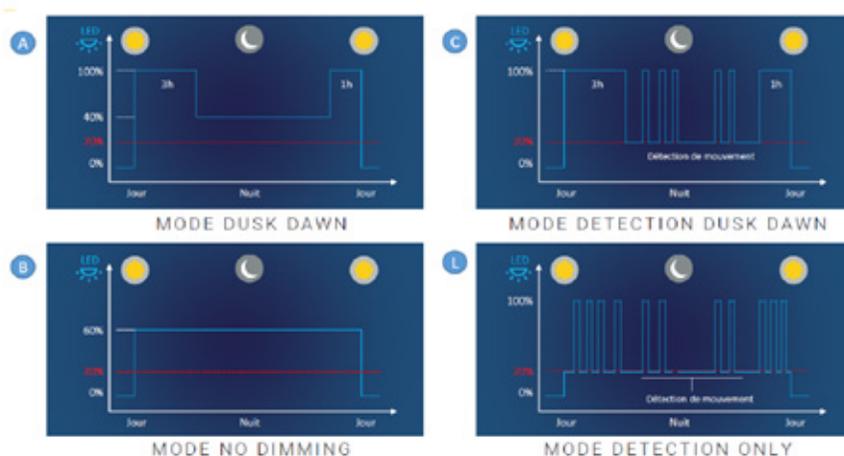


Figure 1 Profils d'éclairage avec outils de gradation et détection

## La solution proposée doit rester de la responsabilité du fournisseur.

Pour l'évaluation des offres reçues, quelques critères peuvent être donnés pour écarter les dimensionnements les moins pertinents pour les zones intertropicales sur la base des informations indiquées par le fournisseur.

► **Critère 1 : Puissance des modules / Puissance du luminaire :** La puissance des modules doit être supérieure à la puissance du luminaire - P module en Wc > P led en W.

Ce ratio « P module en Wc » / « P led en W » peut être représenté sur la flèche graduée suivante



Les dimensionnements dans la zone rouge sont à proscrire, la zone verte est favorable, la zone jaune reste une zone à risques.

Ce premier critère ne tenant pas compte du programme d'utilisation prévue, principalement la durée d'éclairage, il doit impérativement être complété par les autres critères suivants

► **Critère 2 : Puissance des modules / Consommation quotidienne de référence :** L'aptitude à fonctionner lors des périodes à faible ensoleillement, c'est-à-dire pendant quelques jours consécutifs à faible ensoleillement, est un critère important. Pour cela, il est nécessaire de connaître la consommation quotidienne de référence, prise en compte par le fournisseur pour faire le dimensionnement de son produit. Elle est calculée à partir de la puissance de la led, et du programme de fonctionnement pendant les nuits les plus longues (12h ou 13h), qui correspondent souvent aux périodes les moins ensoleillées et s'exprime en Wh.

Si la puissance des modules divisée par cette consommation énergétique quotidienne de référence est trop faible, le luminaire aura des difficultés à assurer le service pendant les périodes de faible ensoleillement.

En **zone équatoriale**, un ratio inférieur à 0,2 sera à proscrire (zone rouge ci-dessous)



En **zone tropicale**, avec des mauvaises saisons plus marquées, un ratio inférieur à 0,3 sera à proscrire (zone rouge ci-dessous).

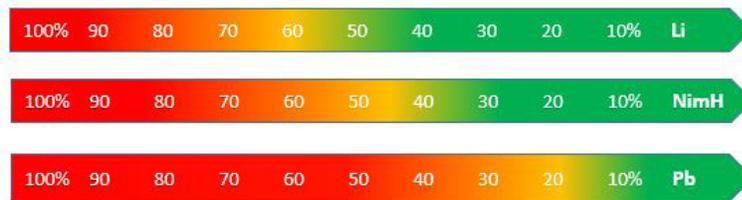


► **Critère 3 : Consommation quotidienne de référence / Capacité nominale de la batterie**

: La consommation quotidienne de référence divisée par la capacité nominale (C5 ou C10) de la batterie va donner une indication du taux de cyclage quotidien, et donc du potentiel de durée de vie de la batterie.

Pour une technologie donnée, une batterie cyclée quotidiennement à 30% de profondeur de décharge durera plus longtemps qu'une batterie cyclée à 50%.

Le nombre de cycles, et donc la durée de vie, dépend des technologies retenues et des conditions de température rencontrées. Les stratégies de gestion des charges et décharges ainsi que leur qualité de fabrication sont d'autres paramètres influents (voir encadré, pour en savoir plus sur les batteries).



La batterie sera vraisemblablement à changer sous moins de 3 ans	Une surveillance accrue est à prévoir au-delà de 3 ans	La batterie pourrait durer au-delà de 8 ans, si les conditions de température ne sont pas trop sévères, cf encadré

\*La seule possibilité de faire fonctionner une batterie au plomb est de limiter le taux de cyclage à 15% ce qui condamne de facto son intérêt économique.

► **Le potentiel de durée de vie de la batterie d'un lampadaire solaire**

Prédire précisément la durée de vie d'une batterie est difficile. La dégradation des batteries varie en effet selon leur qualité, leurs différences technologiques et leurs conditions de fonctionnement comme la température, le dimensionnement global du système solaire et les stratégies de gestion des charges et des décharges, qui elles-mêmes induisent des courants, des niveaux de tension, et des profondeurs de décharge variables.

Très globalement, on peut dire que les technologies au plomb ont été les premières utilisées massivement, notamment dans l'automobile à moteur thermique. Leur éventail technologique est si large que leur tenue au cyclage varie selon un facteur dix.

Les technologies au nickel (NimH) sont apparues ultérieurement avec des tenues au cyclage améliorées, puis, depuis une décennie, celles au lithium, qui envahissent maintenant les appareils nomades et les véhicules électriques.

Dans le contexte de l'éclairage solaire, il est difficile d'être plus prescriptif car de nombreux autres paramètres comme les températures maximales et minimales rencontrées, les conditions de transport du matériel, le recyclage ultérieur entrent aussi en considération. La sélection des composants, le dimensionnement, la stratégie de gestion de l'énergie du système complet doivent rester de la responsabilité du fournisseur, son objectif étant de viser un optimum économique du service rendu sur toute la vie du système ou du projet.

Pour les gestionnaires de projets, il faut surtout insister sur le fait que, quelle que soit la technologie retenue, la qualité des batteries sélectionnées ainsi que la stratégie de gestion mise en œuvre sont deux éléments déterminants, qui doivent être validés par des essais préalables, puis sur le terrain.

Devant la diversité des contextes et des solutions possibles, il n'est pas possible de spécifier plus précisément une technologie adaptée à tous les cas de figures. Par contre, la grande majorité des technologies au plomb ne pourra pas fournir un compromis économique intéressant pour les applications de lampadaires solaires.

# CHAPITRE IV : REALISATION



## A. Installation : Comment garantir la qualité de la prestation dans le temps ?

**La phase de réalisation de l'éclairage représente le premier jalon de mise en œuvre de critères de qualité définis dans la conception de l'AO. Trois éléments sont à promouvoir en priorité :**

### 1. Assemblage local

Dans un souci de renforcement des capacités locales, l'assemblage local des lampadaires est vivement recommandé. L'assemblage local peut être très bénéfique si les entreprises apportent du matériel de qualité, et qu'elles transfèrent leurs compétences en matière de montage.

Cependant, cette étape peut être enrayée par la non-adéquation entre les velléités des entreprises locales et celles des porteurs de projet. Il faut bien choisir les techniciens qui vont participer à l'assemblage, en s'assurant qu'ils maîtrisent les pré-requis.

Il est important de bien qualifier, en coordination avec le maître d'ouvrage, les opérateurs locaux en charge de l'installation pour justifier ses compétences en éclairage public sur les critères suivants :

- Expérience
- CVs et Diplômes des employés
- Inventaire de l'équipement dont les installateurs disposent
- Enregistrement à la chambre de commerce locale
- Références

Mettre en place un chantier école avec 3 phases - expliquer, montrer, puis reproduire - en amont de l'assemblage permet de réaliser le projet de façon plus efficace. Pour assurer le succès du chantier, il est préférable de rester sur un assemblage simple : maximum 4 morceaux - module, luminaire, mât, batterie -, branchements électriques basiques.

### 2. Contrôle qualité

#### Contrôle immédiat

Comme précisé dans le cahier des charges, un test sur 5 produits doit être mené par un bureau d'étude tiers et indépendant au bout de 15 jours pour que le luminaire ait effectué plusieurs cycles. Le test portera sur les éléments

1. Contrôle des niveaux d'éclairement, pour s'assurer du service rendu à différentes heures de la nuit
2. Respect du programme d'éclairage tout au long de la nuit

#### Préparation des contrôles à effectuer sur le long-terme

Faisant suite à l'installation, il est nécessaire d'effectuer un contrôle et de le formaliser par la production d'une documentation de contrôle. Cette synthèse documentée permettra de faire un suivi tout au long du projet et servira de support à l'évaluation de projet.

Le portefeuille de documents atteste du niveau d'installation et détaille les performances des installations en termes de niveau d'éclairage, l'uniformité, les caractéristiques du mât, de la batterie, etc. Il présente la description technique du matériel qui a été installé dans un format clair et précis, par exemple sous le format d'une fiche de contrôle par mât. Pour faciliter cette documentation, il peut s'avérer judicieux de réfléchir à un système de référencement des mâts, par numérotation, position GPS ou code-barres. Ce référencement pourrait servir de base de données enrichie progressivement par la description de chaque produit, les fiches de contrôle après installation, les contacts de l'installateur et du contrôleur, ainsi que le suivi du nombre de visites.

### 3. Marché à la commande

Pour garantir l'engagement sur la durée, il est recommandé de prévoir plusieurs phases d'installation. Ce séquençage permet de ré-équilibrer les coûts d'exploitation et de maintenance, mais également d'apprendre de ses erreurs au cours du projet et de transmettre une formation pérenne aux équipes. Ainsi, une première phase pilote se focalise sur la formation et l'évaluation progressives des équipes par la démonstration et l'exemple. La deuxième phase se concentre sur la mise en pratique et la reproduction. Une troisième phase peut même être envisagée pour une complète autonomisation des acteurs. Le séquençage de la formation en deux temps, un premier volet sans pré-requis sur le nettoyage du panneau PV et de la verrine protégeant les LEDs, un deuxième volet avec pré-requis sur le diagnostic et l'intervention en cas de problème.

### 4. Echéances de paiement

De la même façon que le séquençage de l'installation permet de pérenniser la qualité de la mise en œuvre, les échéances de paiement incitent à la pérennisation des projets et l'implication de tous les acteurs sur la durée. Il est par conséquent recommandé de mettre en place une retenue de garantie de 5%, versée au fournisseur seulement après au moins un an de bon fonctionnement.



## B. Maintenance : comment former les techniciens d'Exploitation & Maintenance (O&M) ?

---

**Les savoirs, savoirs-faire et savoirs-être indispensables à la maintenance d'équipement et de services d'éclairage solaire ne sont encore que partiellement présents dans de nombreux pays.**

**Il y a donc une nécessité d'assurer un transfert des compétences vers les travailleurs locaux pour qu'ils contribuent à la pérennité des équipements. Une main d'œuvre locale doit non seulement être formée mais aussi elle-même pérennisée.**

Pour faire face aux besoins en compétences locales, les entreprises sociales ou tout autre porteur de projet devront construire leur propre stratégie de formation professionnelle interne ou s'appuyer sur les acteurs locaux de la formation ; tout en participant à la conception des contenus de formation là où l'expertise manque. Dans les deux cas, il est important de suivre une méthode de bon sens, allant de l'identification des besoins de formation à l'évaluation du transfert de compétences en passant par la conduite des formations elles-mêmes.

### 1. Conception de la formation

► **L'identification des besoins en formation :** L'identification des besoins de formation est une phase fastidieuse mais indispensable, car elle permettra de définir des objectifs de formation. Il s'agit de qualifier et de quantifier l'écart entre les compétences locales – l'offre – et les besoins en maintenance – la demande. Cette phase se fera soit sur la base d'expériences passées et comparables au projet concerné soit sur la base d'un « audit des compétences nécessaires », sur le terrain. Dans les deux approches il s'agit d'obtenir une liste des compétences nécessaires à la réussite des tâches de maintenance. L'outil le plus simple est un tableau « TOC » (tâche-outils-compétences), à appliquer systématiquement pour chaque tâches confiées aux techniciens de maintenance.

Dans le cas d'un projet innovant, c'est à dire un projet mobilisant des compétences inédites pour lesquelles les techniciens n'ont pas reçu de formations adéquates, il sera indispensable de conduire cette enquête sur le terrain et ce de manière itérative. Autrement dit, un expert technique devra formuler des processus de maintenance (tâches-outils), puis les confronter au réel en en confiant la réalisation à des techniciens. L'observation de la réalisation des tâches et des compétences mobilisées permettra d'affiner le processus lui-même autant qu'elle permettra de mettre en lumière les compétences manquantes, identifiant ainsi les besoins de formation. Un écueil fréquent est l'identification « par le haut » des besoins de formation, c'est à dire une identification à priori et souvent à distance. Ne pas observer la réalité des compétences disponibles (ou non) chez le public concerné par une formation (ici les techniciens) et pré-juger de l'état de leurs compétences risque de produire des formés incompetents, à cause d'une formation inadaptée ; par exemple des techniciens incapables d'assurer les tâches de maintenance qui leurs seront confiées, tout en étant confrontés à

une hiérarchie convaincue du contraire.

Cette réflexion vaut aussi pour l'identification des publics à former. Ici, les techniciens sont-ils les seuls acteurs susceptibles de bénéficier d'un transfert des compétences nécessaires à la bonne maintenance de la solution d'éclairage ? L'enjeu de la maintenance et de la pérennité de l'infrastructure d'éclairage ne doit-il pas être communiqué également aux décideurs politiques et investisseurs ?

► **L'écriture des contenus de formation** : Les contenus de formation émanent nécessairement de l'identification des besoins et doivent coller à la réalité des besoins observés. Cette étape est cruciale pour produire des livrables bien écrits et adaptés, sans quoi les formateurs se détourneront des programmes, ou suivront à la lettre des contenus au détriment des formés. Un outil de travail clé peut prendre la forme de fiches-programme détaillant le thème, les objectifs et le programme de formation. Dans ce sens, plusieurs éléments sont à garder en mémoire :

► **La création de contenu est plus exigeante que prévue** : l'écriture des contenus de formation prend beaucoup de temps en soi, et ceux-ci doivent être revus régulièrement pour s'aligner sur les besoins nouveaux car les besoins évoluent constamment.

► **Elle est plus experte qu'on l'imagine** : l'écriture des contenus de formation exige un savoir-faire de conception et d'animation pédagogique dont ne dispose pas nécessairement les équipes opérationnelles locales, malgré leurs expertises propres.

► **Elle est plus collaborative** : « On ne transmet que ce que l'on est », pour cela l'expert qui est compétent mais ne sait pas transmettre et le pédagogue qui sait transmettre mais n'est pas compétent doivent collaborer pour produire des contenus riches et transmissibles.

► **Elle est plus demandeuse de ressources humaines** : de l'identification des besoins de formation à la rédaction des contenus puis la mise en œuvre des formations, la conception de formation exige des ressources humaines, matérielles et temporelles dédiées.



## 2. Mise en œuvre de la formation

► **La sélection de candidats :** l'identification des profils adéquats de candidats passent par trois éléments clé.

Il s'agit dans un premier temps de faire des efforts pour rendre la formation accessible à égalité aux candidats masculins et féminins. En effet, les formations de techniciens O&M ciblent souvent un public masculin, ce qui prive de trouver des éléments prometteurs chez la moitié de la population. Plusieurs outils peuvent être mis en place pour favoriser l'élargissement du public visé par la formation, par exemple des indicateurs de participation féminine aux formations, ou des taux minimum de mixité.

Dans un second temps, il est important de faire correspondre à chaque type de formation un profil type identifié en fonction de son bagage de compétences, sa localité, ses connaissances linguistiques. Ce profil type permet de lister les caractéristiques typiques d'une formation réussie. Par exemple, en milieu rural, il est nécessaire que le technicien O&M parle la langue locale pour échanger avec les bénéficiaires.

Enfin, le choix de candidats passe par l'identification des canaux de diffusion adéquats, notamment adaptés aux zones rurales. En fonction du lieu du projet, la recherche de candidats passera peut-être par les élites locales, ou plutôt par la radio.

► **L'attractivité de la formation :** Réunir des candidats motivés et prêts à suivre une formation n'est pas une évidence. L'adhésion au projet de formation n'est pas donnée. L'attractivité directe réside dans le coût de la formation. Peut être envisagée pour pallier au pouvoir d'achat faible d'indemniser les futurs techniciens pour le transport, le logement, la nourriture et le matériel le temps de la formation. L'attractivité indirecte réside dans la qualité des contenus et des interventions, dans la certification potentielle à obtenir, et dans la promesse d'un emploi.

► **La formation sélective :** Puisqu'il est extrêmement difficile de préjuger des compétences d'un candidat, le meilleur moyen pour ne retenir que les plus aptes et de profiter d'une formation pour à la fois former tous les candidats et sélectionner les plus compétents. Il est donc recommandé de former plus d'individus que nécessaire, et de n'en garder qu'une partie pour effectuer la maintenance du projet. Cette technique permet en outre d'essaïmer la formation au-delà du cadre du projet.

► **Les moyens matériels et humains de formation :** pour garantir la qualité de la formation, il est essentiel d'investir dans du matériel adéquat, allant de salles de formation aux didacticiels de formation en passant par des plateaux techniques dédiés et des logements pour les techniciens en formation. Il est également essentiel de garantir la qualité des intervenants en fusionnant les rôles de pédagogue et d'expert. Cette fusion nécessite une formation de formateurs ayant pour objectif de faire monter en compétences techniques les pédagogues, et en compétences pédagogiques les experts.



### 3. Pérenniser la main d'œuvre formée

#### **Le changement incessant de techniciens est le fruit de trois mal-pratiques :**

- ▶ La mauvaise sélection des candidats lors de la phase de formation sélective
- ▶ La faible attractivité de l'emploi (rémunération directe, rétributions indirectes)
- ▶ Le mauvais suivi des personnes dans le temps (management et formation continue) menant à la démotivation des équipes et la sensation de faire un travail rébarbatif.

Pour pérenniser les projets, il s'agit d'abord de désigner en amont un comité de gestion qui pourra superviser dans le temps la continuité des formations et l'effectivité des personnes formées.

Comment s'assurer que les personnes techniques formées sur place restent? Souvent ils quittent leur poste car, forts de la formation courte qui leur a été délivrée, ils trouvent un emploi dans une autre entreprise. La rotation peut être vue comme étant naturelle, dépendant des élections, et de nombreux d'aléas. Une solution peut être de ne pas lutter contre, mais plutôt de s'y adapter grâce à une méthodologie agile. Il est donc essentiel d'avoir des supports pédagogiques et équipements simples d'entretien pour que la passation se fasse sans problèmes, grâce par exemple à un journal de bord de suivi.

Si toutefois l'objectif est de former les équipes pour investir sur la durée, la fidélisation des équipes d'O&M passe alors par la garantie d'un emploi stable à l'issue de la formation, par la gestion des équipes dédiées avec éventuellement l'emploi d'un manager. Il peut s'avérer bénéfique de proposer également une gestion de carrière globale reposant sur des formations continues et des perspectives d'évolution. Enfin, la création d'un groupe d'alumni au sein duquel circulent des conseils, offres de formation et offres d'emploi permet de garder un suivi des formés.

#### **Trois axes peuvent être développés pour fidéliser l'équipe technique autour du projet.**

##### **1-Le management et la formation continue**

- ▶ Proposer d'impliquer la collectivité territoriale (municipalité, département) pour effectuer un suivi du groupe de techniciens
- ▶ Avoir à disposition un fichier de contacts, détenu par la collectivité, des techniciens formés
- ▶ Proposer ce fichier de contacts aux fournisseurs / développeurs de projets qui œuvrent sur la localité
  - Possibilité pour un technicien formé par une entreprise d'installer par la suite des lampadaires d'une autre entreprise
  - Possibilité pour un technicien d'ajouter à ses compétences d'installation de lampadaires, l'apprentissage de l'installation de toitures PV
  - Deux avantages pour les techniciens : élargissement des compétences, « missions intérim » régulières dans une localité précise
  - Trois avantages pour les porteurs de projets : recrutement facilité par la liste, techniciens plus compétents, main d'œuvre à disposition pour la phase d'entretien à moyen terme

- Si l'équipe est conséquente et que la logistique s'avère importante, engager un manager – au sein de la collectivité – chargé d'effectuer le suivi et le dispatching des techniciens

- Ce groupe peut être revitalisé par des événements annexes, type rencontres du groupe d'alumni pour échanger sur les expériences respectives, groupe WhatsApp pour tisser des liens, etc.

## **2- La rémunération directe : salaire à la hauteur des attentes et du marché local du travail**

### **3-Les rétributions indirectes**

► Matériel de travail, statut social, régularité et fiabilité du salaire, légalité des conditions de travail (cet élément peut être un point très attractif dans plusieurs pays d'Afrique), compatibilité entre le travail et le reste des activités de la personne (lieu de travail, horaire de travail etc...), permis moto etc...

## **C. Filière de recyclage**

La responsabilité du recyclage doit être clairement établie. Le fabricant est-il responsable du recyclage du matériel ? La collectivité ? A minima, il faut prévoir la collecte et le stockage des batteries, ainsi que les autres composants usagés. La fin de vie de ces éléments doit être prise en compte pour les quatre éléments principaux du lampadaire, panneau solaire, batterie, luminaire LED, structure mécanique, en portant particulièrement attention aux matières potentiellement dangereuses. Il convient de porter une attention particulière au recyclage des cellules de batteries. Ces cellules contiennent les éléments chimiques permettant le stockage et la distribution d'énergie et représentent de par leur toxicité potentielle l'élément critique du recyclage.

Des chartes environnementales et bonnes pratiques dédiées au recyclage existent, comme par exemple sur le site [Recylum](https://www.recylum.com/), et peuvent être source d'inspiration pour que le fabricant et la collectivité prennent des engagements conjoints.





© Fonroche

---

# CHAPITRE V : EVALUATION

---

## A. Evaluation de projet : comment évaluer la pérennité sociale et technique d'un projet ?

---

L'évaluation de projet permet de faire le bilan sur le déroulement du projet, sous un angle à la fois technique et social. Elle vient vérifier le bon respect des spécifications requises par le pré-design technique puis par l'appel d'offres, ainsi que la mise en place pertinente de dispositifs pour faire fonctionner l'infrastructure. Deux dispositifs sont à évaluer : le dispositif technique qui garantit le bon fonctionnement des lampadaires, et le dispositif social qui jauge le niveau d'appropriation collective et le bon fonctionnement de l'ingénierie organisationnelle de maintenance.

Par souci d'indépendance et d'objectivité, l'évaluation relève d'une consultation distincte de la société en charge de la réalisation du projet et s'efforce de passer par des intermédiaires locaux.

## 1. Le contenu de l'évaluation

Un projet est évalué sous trois aspects : **(1)** l'adéquation du projet avec les attentes et besoins des populations, **(2)** l'efficacité du projet à réaliser tous les éléments de l'avant-projet sommaire, et **(3)** l'efficacité et la pérennité du projet.

### **(1) ► Adéquation du projet avec les attentes et besoin des populations :**

il s'agit de s'assurer que tous les jalons du projet sont concordants de l'expression des besoins à la réalisation de l'infrastructure, en passant par la conception du projet à travers l'appel d'offres. Si l'ensemble des lampadaires solaires autonomes ne répondent pas au besoin des bénéficiaires, le bon ou mauvais fonctionnement ne sera pas pertinent. Au contraire, un projet concordant aux besoins de la population facilitera l'appropriation collective, et par conséquent le respect voire la défense du projet de l'infrastructure par les usagers, par exemple en cas de tentative de vol.

**(2) ► Efficacité du projet :** cet aspect vise à déterminer si tous les éléments de l'avant-projet sommaire ont bien été réalisés. Du côté des facteurs de formalisation, il s'agit de vérifier que tous les documents nécessaires au suivi ont été produits, allant du compte-rendu de livraison lors de la mise en service aux fiches de contrôle dûment remplies. Il faut vérifier que les délais aient été respectés également. Du côté du contenu, l'évaluation détermine si le transfert de compétences ainsi que le fonctionnement de l'infrastructure ont été efficaces.

**(3) ► Efficacité et pérennité du projet :** il n'y a rien de pire que de répondre aux besoins mais, qu'au bout d'un an, les produits ne fonctionnent plus. Cette situation crée des contre-références qui déçoivent et détournent du solaire. Il s'agit donc de vérifier que l'ingénierie organisationnelle et le fonctionnement des lampadaires durent dans le temps. Ainsi les trois volets technique, social et économique sont à évaluer :

- Sur le volet technique, vérifier si les performances sont conformes et stables aux résultats à la livraison.
- Sur le volet social, s'assurer de la persistance de la formation délivrée, ainsi que de son impact sur les comportements, en terme de méthode travail, de choix du matériel.
- Sur le volet économique, dresser le bilan financier de l'opération en incluant l'analyse des différents postes

## 2. Méthodologie d'évaluation

► **Personnes-ressource :** L'évaluation doit être réalisée par des intermédiaires indépendants et objectifs, que l'évaluation s'effectue sur place ou à distance. Outre l'enjeu de ne pas être à la fois juge et partie, les évaluateurs nécessitent des compétences en matière de sciences sociales et d'analyse quantitative et qualitative des données, que ne maîtrisent pas nécessairement le porteur de projet.

Néanmoins, l'évaluation doit se faire sur place et en coopération avec les parties prenantes, notamment les porteurs de projets, les collectivités locales impliquées et le maître d'ouvrage, pour assurer une vraie immersion des évaluateurs dans la réalité de terrain du projet.

► **Support d'évaluation :** En fonction de l'évaluateur retenu, une fiche-modèle à remplir sous forme de campagne d'évaluation, ou une série d'entretiens sont deux supports pertinents à envisager. A noter que l'évaluation nécessite un travail en amont considérable de formalisation qui permettra à l'évaluation de se baser, notamment la rédaction au moment de la réalisation de fiches du matériel installé.

► **Calendrier d'évaluation :** idéalement, plusieurs évaluations successives sont à mettre en place. Une première évaluation, permet de vérifier les premiers résultats techniques et de libérer la retenue de garantie. Une seconde évaluation 3 ans après permet de qualifier la pérennité technique et sociale du projet. L'idéal est de faire une troisième évaluation 4 ans après pour affiner la mesure des résultats techniques, notamment concernant la batterie, et la fabrique sociale de l'appropriation collective.

## B. Mesure des impacts : comment mesurer les impacts socio-économiques du projet par rapport aux objectifs initiaux ?

**Au-delà du bon déroulement du projet, il faut aussi qualifier et quantifier dans quelle mesure le projet remplit ses objectifs initiaux, identifiés dans l'étape d'évaluation des besoins. Cette dernière étape s'intéresse aux impacts sociaux, environnementaux, et économiques du projet.**

**1. Etablir la situation de référence en début de projet :** confier à un consultant extérieur la réalisation d'enquêtes de terrain permettant d'apprécier la situation socio-économique dans les zones d'intervention du projet. Il s'agit à cette fin de définir une série d'indicateurs tels que :

- le nombre de vols dans la localité concernant les objectifs de sécurité
- le nombre d'activités génératrices de revenus concernant les objectifs économiques
- le taux de fréquentation des places principales concernant les objectifs de dynamisation
- Le nombre de groupes électrogènes utilisés
- La perception du rôle des collectivités territoriales

Le consultant peut être plus ou moins guidé pour ces études : lui confier une liste d'indicateurs, lui confier des questionnaires déjà élaborés...

**2. Mesurer les impacts en fin de projet :** à l'issue du projet, ce même consultant se voit confier la réalisation d'enquêtes similaires qui permettent de mesurer l'évolution des indicateurs et donc de constater les impacts positifs, neutres ou négatifs du projet dans la localité.



© Novea Energies

RECOMMANDATIONS PRATIQUES

# Lampadaires solaires

## CONTACT

-----  
solenn.anquetin@ines-solaire.org  
-----

+ 33 4 79 26 53 27  
-----