

MESURER L'IMPACT DES PROJETS D'ÉLECTRIFICATION DÉCENTRALISÉE : une approche par triangulation

Jean-Claude Berthelemy
Professeur émérite à l'Université Paris 1,
responsable de programme de recherche, FERDI



Jean-Claude Berthelemy est professeur émérite à l'Université Paris 1, Panthéon-Sorbonne. Spécialiste en économie du développement, il a contribué à la fondation du journal interdisciplinaire *Field Action Science Reports* en tant que rédacteur en chef de la partie économique du journal et rédacteur associé de *Journal of African Economies*, de *Savings and Development*, et de la *Revue d'Economie du Développement*. Jean-Claude Berthelemy a été Directeur de recherche au centre de développement de l'OCDE et du Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales (CEPII). Il est responsable du programme de recherche de la Ferdi sur l'électricité et participe aux travaux sur la santé de la Ferdi.

Je remercie Mathilde Maurel pour ses commentaires. Cette contribution a été préparée dans le cadre du programme de la Ferdi sur le développement durable et a bénéficié à ce titre d'une aide de l'État français gérée par l'ANR au titre du programme « Investissements d'Avenir » portant la référence « ANR-10-LABX-14-01 ». Des informations complémentaires sur la CoSMMA sont disponibles à l'adresse suivante :

<https://ferdi.fr/en/programs/access-to-electricity>

La FERDI a mis au point une initiative originale pour évaluer l'impact et identifier les bonnes pratiques des projets d'accès aux services essentiels, en s'appuyant sur l'exemple des projets d'électrification décentralisée. Un grand nombre de résultats de travaux d'évaluation de tels projets a été rassemblé dans une base de données appelée CoSMMA, pour Collaborative Smart Mapping of Mini-grid Action. La qualité scientifique des évaluations disponibles est variable, mais la plupart sont de faible qualité. Pour pallier cet inconvénient, une approche innovante est proposée, basée sur un principe de triangulation, pour évaluer avec un degré de précision acceptable la réussite des projets. Par la suite, il est possible de construire une méta-analyse qui identifie les facteurs de réussite.

Deux grandes leçons peuvent être tirées des données disponibles dans la CoSMMA. La première est que les projets visant à diffuser des équipements de très faible puissance ont peu de chances d'avoir un succès durable. La réussite de tels projets passera par la construction de mini-réseaux plutôt que par des solutions individuelles, et donc par une action collective locale. La seconde leçon, qui s'inscrit dans cette perspective, est l'importance qu'il faut accorder aux questions de gouvernance. Les gouvernances de type bottom-up sont plus propices au succès que celles de type top-down. Enfin, la qualité de la régulation du secteur augmente la probabilité de succès des projets. Par contraste, cette dernière conclusion met en lumière le manque de données disponibles sur les structures locales de gouvernance de ces projets.

INTRODUCTION

L'électricité est un service essentiel, dont l'accès est très limité dans de nombreuses zones rurales, notamment en Afrique subsaharienne. L'extension des réseaux y est hors de portée, en raison de ses coûts. Toutefois, des solutions d'électrification décentralisée sont maintenant possibles. Les expériences en la matière se sont multipliées ces dernières années, notamment grâce à la baisse des coûts de production des panneaux photovoltaïques. Le passage à l'échelle s'avère cependant difficile, par manque d'identification de bonnes pratiques qui pourraient être généralisées.

La majorité des initiatives en la matière a consisté à diffuser des solutions individuelles (SHS, pour Solar Home System), solutions de loin les plus faciles et les plus rapides à mettre en œuvre. La diffusion des SHS a été incontestablement un vecteur de progrès, mais rencontre des limites. La faible puissance des installations (généralement moins d'un kW) limite la capacité de ces projets à déclencher des progrès socio-économiques suffisants pour assurer leur pérennité. Cependant, les travaux d'évaluation des projets d'électrification décentralisée se sont eux-mêmes

concentrés sur les SHS, rendant difficile la mise en évidence incontestable de meilleures solutions. En particulier les mini ou micro-réseaux, reposant sur la gestion collective d'un générateur de plus grande puissance que ceux des SHS, ont fait l'objet de relativement peu d'évaluations. De même, l'accent mis sur les SHS a largement occulté les questions de gouvernance propres aux problématiques d'action collective que l'on rencontre dans les projets de mini-réseaux, comme dans tous projets de production de services publics locaux.

L'analyse de ces projets comprend un double objectif. Il s'agit tout d'abord de mobiliser les données disponibles pour identifier le succès, ou l'échec de projets d'électrification décentralisée, le succès étant défini par l'observation de preuves avérées de transformations socio-économiques favorables dans leurs localités d'installation. En second lieu il s'agit de mobiliser ces données pour identifier des bonnes pratiques, c'est-à-dire des facteurs pouvant améliorer la probabilité de succès de tels projets. Ces analyses reposent sur la construction d'une base de données originale, la CoSMMA (pour Collaborative Smart Mapping of Mini-grid Action). Les données disponibles dans la CoSMMA sont d'une grande hétérogénéité qualitative au regard de critères scientifiques usuels, avec peu de données de bonne qualité. Nous développons une approche innovante pour pallier cet inconvénient. En combinant les données de bonne qualité et de faible qualité nous disposons alors d'une base d'information suffisante pour aborder l'identification de bonnes pratiques.

LA COSMMA, BASE DE DONNÉES COLLABORATIVE SUR LA MESURE D'IMPACT DE L'ÉLECTRIFICATION DÉCENTRALISÉE

Compte tenu de la grande diversité des projets d'électrification décentralisée, que ce soit au niveau du contexte géographique, des caractéristiques techniques, de la gouvernance ou du mode d'évaluation des projets, la mise en évidence des bonnes pratiques en la matière est complexe. Il n'est possible de tirer des leçons de ces évaluations qu'en procédant à une collecte systématique de leurs évaluations qui codifie dans un cadre harmonisé les informations qu'elles contiennent, de sorte à rendre ces informations comparables.

C'est dans ce but que nous avons construit la CoSMMA (Collaborative Smart Mapping of Mini-grid Action). La CoSMMA rassemble un grand nombre d'informations sur des projets d'électrification décentralisée réalisés depuis 1980 dans des pays en développement et en transition. Les données proviennent de documents d'évaluation de ces projets publiés pour la plupart dans des revues scientifiques. Ces données ont été vérifiées et complétées par un dialogue avec les auteurs. Cette base n'est pas exhaustive mais sa représentativité est assurée par des recherches systématiques à partir de bases bibliographiques faisant référence (Academic Search Premier, Business Source Complete, Econlit, GreenFILE). La première caractéristique qui ressort de cette base est que la grande majorité des évaluations

proposées repose sur des statistiques descriptives ou des dires d'experts, plutôt que sur des tests statistiques rigoureux. Il nous faut traiter ces évaluations que nous appellerons « non-scientifiques » avec prudence, car elles ne sont pas comparables avec des évaluations reposant sur des tests statistiques que nous appellerons « scientifiques ».

La CoSMMA contient 403 projets évalués. Un même projet peut être évalué selon de multiples dimensions, qui couvrent notamment des sujets relatifs aux différents objectifs du développement durable. Les effets les plus fréquemment rapportés correspondent à l'ODD 7, sur l'accès à l'énergie moderne, mais de nombreuses évaluations considèrent les effets liés à d'autres objectifs du développement durable, en particulier éradication de la pauvreté (ODD 1), santé (ODD 3), éducation (ODD 4), égalité des genres (ODD 5) et transformation économique (ODD 8). Certains effets testés correspondent également à des améliorations sociales et environnementales : communauté (ODD 11), environnement (ODD 13) et sécurité (ODD 16). Enfin, certains effets observés ne sont pas particulièrement liés aux ODD mais peuvent néanmoins être significatifs, tels que les effets sur la disponibilité du temps ou l'accès à l'information et à la communication. Ainsi la base rassemble un total de 2 712 effets observés.

Compte tenu de l'hétérogénéité des effets recherchés par les évaluateurs, nous considérons tous ces effets comme porteurs d'information sur le succès ou l'échec des projets : dans notre approche, un projet est considéré comme potentiellement réussi si et seulement si il a conduit à des améliorations économiques, sociales ou environnementales significatives dans sa localité de mise en œuvre.

Un effet est considéré comme significatif au seuil de 5 % si on n'a pas plus de 5 % de risque de se tromper en concluant à l'existence de cet effet alors qu'il n'y en a pas. C'est ce que l'on appelle un « faux positif », expression potentiellement trompeuse dans notre contexte, car un faux positif peut vouloir dire aussi bien qu'on se trompe en concluant à un effet favorable ou défavorable d'un projet. Pour évaluer un projet, on cherche à savoir s'il a eu un effet favorable et on traduit les résultats obtenus en construisant un intervalle de confiance à 95 % de la vraie valeur de cet effet. On s'appuie pour cela sur le fait que les estimateurs usuels sont sans biais et que leur distribution est symétrique, de telle sorte que dans le cas d'un effet significatif au seuil de 5 %, on n'a que 2,5 % de risque qu'un effet estimé positif soit en réalité négatif.

Comme le montre le tableau 1 les tentatives scientifiques pour tester l'impact des projets d'électrification décentralisée ont mis l'accent sur l'éducation, la santé, et dans une moindre mesure sur l'accès à l'énergie. Par contraste, les évaluations descriptives et sur dires d'experts ont mis l'accent sur l'accès à l'énergie, la transformation économique, et l'environnement.

TABLEAU 1 : DISTRIBUTION DE DONNÉES D'ÉVALUATION SELON LE TYPE D'EFFET

Type d'effet Mode d'évaluation	Données scientifiques	Données non-scientifiques
<i>ODD (numéro de l'ODD)</i>		
Education (4)	205	144
Santé (3)	174	139
Accès à l'énergie (7)	136	847
Transformation économique (8)	32	212
Revenu et conditions de vie (1)	30	61
Egalité des genres (5)	24	57
Sécurité (16)	21	35
Communauté (11)	1	81
Environnement (13)	0	222
Autres effets		
Temps utilisable et loisirs	51	31
Information et communication	38	53
Travaux ménagers	34	15
Transformation financière	6	52
Migration	0	11
TOTAL	752	1960

En ce qui concerne les caractéristiques techniques des projets, nous considérons deux dimensions principales : la source d'énergie utilisée et la puissance des installations. Sur ces deux dimensions, le recours aux seules données scientifiques conduit à un biais d'échantillonnage, avec un accent très marqué mis sur les installations utilisant l'énergie solaire et de faible puissance. Ces systèmes sont principalement des SHS, des lanternes solaires et des lampadaires solaires. Ils ont fait l'objet de recherches car ils s'appuient sur une technologie nouvelle, facile à installer et abordable. Dans la base CoSMMA dans son ensemble, il y a beaucoup d'autres types de projets, utilisant d'autres sources d'énergie et offrant une plus grande puissance, mais ces projets ont été beaucoup plus rarement évalués scientifiquement (voir tableaux 2 et 3), de sorte qu'on peut difficilement tirer de leurs évaluations des enseignements de portée générale sur les bonnes pratiques.

TABLEAU 2 : DISTRIBUTION DES PROJETS PAR SOURCE D'ÉNERGIE

Source d'énergie Mode d'évaluation	Données scientifiques	Données non-scientifiques
Solaire	59 %	38 %
Biomasse	0 %	20 %
Hydroélectricité	12 %	14 %
Éolien	0 %	9 %
Diesel et autres	18 %	8 %
Hybride renouvelable	0 %	4 %
Hybride avec diesel	12 %	4 %
Géothermie	0 %	2 %
Renouvelable non spécifié	0 %	1 %
TOTAL	100 %	100 %

En particulier, la concentration des évaluations scientifiques sur les nano-systèmes constitue une lacune majeure dans la littérature existante sur l'évaluation (Eales et al, 2018). Cela pose problème car nous nous attendons à ce que les nano solutions génèrent relativement peu d'impacts, les appareils qu'elles alimentent étant principalement des ampoules électriques et des chargeurs de téléphones portables, éventuellement des réfrigérateurs ou des téléviseurs, rarement des moteurs électriques.

TABLEAU 3 : DISTRIBUTION DES PROJETS PAR PUISSANCE

Puissance Mode d'évaluation	Données scientifiques	Données non-scientifiques
Nano : <1000 W	71 %	19 %
Pico : de 1 à 5 kW	0 %	3 %
Micro : de 5 à 100 kW	18 %	50 %
Mini : de 0.1 à 1 MW	6 %	12 %
Small : de 1 à 10 MW	6 %	17 %
Large : de 10 à 100 MW	0 %	20 %
TOTAL	100 %	100 %

En ce qui concerne la gouvernance des projets, les documents d'évaluation fournissent peu d'informations, car les questions de gouvernance ont jusqu'à présent rarement été prises en compte dans cette littérature. Nous connaissons généralement le niveau de décision, ce qui permet une discussion sur les mérites relatifs des approches descendantes (top-down) et ascendantes (bottom-up). À cet égard, les caractéristiques de notre sous-échantillon de données scientifiques ne sont pas trop éloignées du reste des évaluations enregistrées dans la CoSMMA, comme le montre le tableau 4, qui présente la structure des projets évalués par niveau de décision, du niveau national au niveau local.

TABLEAU 4: DISTRIBUTION DES PROJETS PAR MODE DE GOUVERNANCE

Gouvernance Mode d'évaluation	Données scientifiques	Données non-scientifiques
Niveau de décision		
National	59 %	47 %
Province	12 %	24 %
Comté	1 %	18 %
Local & district	28 %	12 %
TOTAL	100 %	100 %

ÉVALUATION DES SUCCÈS ET ÉCHECS DES PROJETS

Dans la CoSMMA, nous avons peu de projets évalués scientifiquement, et ces projets constituent un échantillon biaisé sur plusieurs dimensions importantes : la source d'énergie, la puissance des générateurs et la nature des effets évalués. Sans trop les caricaturer, on peut dire que les travaux d'évaluation scientifique ont principalement étudié les effets de projets solaires de taille nano, de type SHS, sur l'éducation et la santé.

Il est donc nécessaire, pour juger de la réussite ou de l'échec des projets d'électrification décentralisée, d'exploiter également les résultats des évaluations non-scientifiques, en gardant à l'esprit les limites de ces données. Cette difficulté est inhérente à la problématique de l'évaluation de projets de petite taille en raison des coûts fixes élevés des méthodes d'évaluation scientifiques, qui réclament des enquêtes sur des échantillons suffisamment grands pour être considérés comme représentatifs, sans parler des coûts encore plus élevés associés à la constitution de groupes témoins sélectionnés de manière aléatoire préconisés par Abhijit Banerjee, Esther Duflo et Michael Kremer, qui ont reçu le prix Nobel d'économie pour leurs travaux dans ce domaine en 2019.

L'approche que nous proposons pour résoudre cette difficulté s'inspire de l'approche empirique des praticiens de l'évaluation, qui consiste à consolider leurs conclusions par une « triangulation » de plusieurs observations indépendantes de la même réalité (Greene et McCormick, 1985). Cette approche est d'autant plus pertinente dans le cas des projets d'électrification que l'on attend, en cas de succès du projet, des effets favorables dans de très nombreux domaines.

Supposons par exemple qu'une observation empirique permette de constater une augmentation de la production agricole après l'arrivée de l'électricité. Cette observation ne permet pas de conclusion précise en l'absence de test de significativité mais nous indique quand même qu'on a moins de 50 % de chances de se tromper en concluant que le projet d'électrification a eu un effet favorable sur la situation socio-économique. Supposons maintenant que, de manière indépendante, on observe que les résultats scolaires des enfants du village se soient améliorés. On a de nouveau moins de 50 % de chances de se tromper en concluant à un effet favorable du projet. La combinaison de ces deux observations indépendantes l'une de l'autre nous permet de conclure qu'on a moins de 25 % (50 %*50 %) de risque de se tromper en concluant à un effet favorable du projet sur la situation socio-

économique du village. Si on a 3 observations indépendantes de ce type, la probabilité de se tromper en formulant cette conclusion est de 12,5 %.

Ainsi l'accumulation d'observations indépendantes favorables permet rapidement de conforter la conclusion que la situation socio-économique du village électrifié s'est améliorée de manière significative après la mise en œuvre du projet d'électrification. C'est le principe de la triangulation. Pour obtenir qualitativement la même précision de conclusion qu'avec un test favorable significatif au seuil de 5 % il faut combiner entre 5 et 6 observations descriptives favorables indépendantes. Cette approche n'est cependant pas sans écueils, qu'il faut bien identifier pour les éviter :

- Les observations utilisées doivent être non-biaisées, ce qui sera le plus souvent le cas sauf situation de non-indépendance manifeste de l'évaluateur. En effet les indicateurs statistiques descriptifs les plus couramment utilisés, notamment la moyenne, sont en principe des estimateurs sans biais.
- Les différentes observations doivent être indépendantes, sinon la probabilité de se tromper en concluant au succès du projet est sous-estimée. Dans le cas des projets d'électrification décentralisée, le fait que ces projets aient potentiellement des effets dans de nombreux domaines indépendants les uns des autres est particulièrement propice à la réussite de la triangulation. Bien entendu, si on cherche des conclusions dans un domaine particulier, par exemple la réduction de la pauvreté, ou l'amélioration de l'éducation, les observations disponibles sont moins nombreuses et moins diversifiées. Pour cette raison, nous limiterons pour l'essentiel l'application de cette méthode à la question du succès ou de l'échec des projets, en donnant le même poids aux différents domaines d'effets qu'ils peuvent avoir.
- On ne peut pas tirer de la triangulation des conclusions sur la causalité : la situation a pu être améliorée pour d'autres raisons, éventuellement inobservables. Dans les approches scientifiques standard, c'est ce qui conduit à préconiser de comparer les résultats observés à ceux d'un groupe témoin constitué de manière aléatoire. Dans la base CoSMMA on n'a pas de groupe témoin (au sens de villages non-électrifiés), mais on peut comparer un projet à d'autres projets. Cela ne permet pas de conclure que l'apport de l'électricité a un effet causal (appelé impact) positif sur le développement socio-économique, mais ce n'est pas la question essentielle pour les promoteurs de ces projets. Par contre on peut comparer des projets entre eux, et ainsi identifier les meilleures pratiques. (cf. section suivante.)

Dans la base CoSMMA nous observons que des projets ont des effets défavorables dans certains domaines. Par exemple un projet reposant sur l'exploitation de la biomasse peut exercer une pression sur les terres avec en conséquence une dégradation de l'environnement et des tensions sociales sur l'accès à la terre. De tels effets défavorables n'impliquent pas nécessairement un échec des projets. Néanmoins, pour les prendre en compte nous considérons dans la suite qu'un projet a réussi si et seulement si les observations d'effets favorables significatifs l'emportent sur les observations d'effets défavorables significatifs.

L'application de cette méthode de triangulation nous permet d'augmenter sensiblement le nombre de projets pour lesquels on peut juger s'ils ont réussi ou échoué. Si l'on ne considère que les évaluations scientifiques, seuls 17 projets sont disponibles dans la

base CoSMMA (dont 75 % peuvent être considérés comme ayant réussi). Si l'on opère une triangulation avec un seuil de 5 effets observés on dispose de 125 projets, dont un peu moins de 80 % peuvent être considérés comme réussis. Ce nombre tombe à 108 projets quand on prend comme critère de triangulation un seuil de 6 effets observés (avec la même proportion de succès).

La proportion relativement élevée de projets jugés réussis doit être relativisée en fonction du délai entre la mise en service des installations et l'observation des effets du projet. Un projet peut sembler avoir réussi à court terme mais ne pas être soutenable à plus long terme. On ne dispose pas toujours de la date d'observation des effets mais on en a une indication en fonction de la date de publication de l'évaluation, sachant que, en moyenne il y a un écart de 2,5 années entre la date d'observation des effets (quand celle-ci est disponible) et la date de publication. Selon notre évaluation par triangulation le taux de réussite des projets tombe à 70 % pour un délai de publication de 12-13 ans, donc un délai d'évaluation de l'ordre de 10 ans.

IDENTIFICATION DES BONNES PRATIQUES

Pour identifier les bonnes pratiques, nous examinons quelles caractéristiques des projets sont le plus souvent associées à un succès. Nous adoptons une démarche statistique plutôt que

purement descriptive. Par exemple, nous observons que les projets évalués par triangulation sont plus souvent jugés réussis que les projets évalués avec des données scientifiques (à 80 % contre 75 %) mais nous voulons savoir si cette différence est significative, c'est à dire si on prend un risque important de se tromper en concluant que cet écart est négligeable. Nous utilisons pour cela une méthode classique en économétrie (appelée probit) consistant à évaluer si la probabilité d'observer un succès est corrélée de manière significative, dans notre exemple au fait que la conclusion de succès a été obtenue par triangulation plutôt qu'avec des données scientifiques.

Cette méthode présente en outre l'avantage de permettre d'emblée une évaluation multidimensionnelle, en combinant les différentes caractéristiques d'intérêt. Quand ces caractéristiques sont partiellement corrélées entre elles positivement (par exemple un projet solaire est le plus souvent de taille nano), une analyse unidimensionnelle risquerait de biaiser l'attribution d'un résultat favorable à une caractéristique donnée.

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau 5. Ce tableau rapporte, en lignes, les différentes caractéristiques testées, les paramètres reportés correspondant aux effets marginaux moyens¹ de ces caractéristiques sur la probabilité de succès des projets, les * indiquant si ces paramètres sont significatifs (** au seuil de 1 %, ** de 5 % et * de 10 %). En colonnes, les différentes spécifications alternatives sont présentées.

TABLEAU 5 : DÉTERMINANTS DE LA RÉUSSITE DES PROJETS

	[1]	[2]	[3]	[4]
	Triangulation 5 facteurs	Triangulation 6 facteurs		
			(avec interaction nano-Deval)	(avec Rise off-grid)
Données scientifiques	-0,162	-0,137	-0,172	0,108
Délai d'évaluation (deval)	-0,013**	-0,012**	-0,006	0,001
source d'énergie (réf = solaire)				
Eolien	-0,207	-0,339	-0,321	..
Geothermale
Hydro	0,168**	0,106	0,093	..
Hybride avec fioul	-0,031
Hybride renouvelable	0,102	-0,024	-0,043	-0,029
Biomasse	0,071	0,002	-0,003	-0,092
Indéterminé	0,122	0,065	0,031	..
Fioul	-0,373**	-0,339**	-0,356**	-0,154
puissance < 1 kW (nano)	0,091	0,025	0,159	0,089
nano * deval			-0,015*	-0,019**
Niveau de décision (réf = local)				
province/comté	-0,048	-0,254**	-0,228*	-0,442***
national	-0,069	-0,146	-0,124	-0,110*
Rise off-grid				0,005***
nb, D'observation	115	95	95	51
pseudo R2	0,16	0,22	0,23	0,35

Estimation Probit avec clusters par pays - .. paramètre non estimable - *** (resp. **, *) significatif au seuil de 1% (resp. 5 %, 10 %)

1 Un effet marginal moyen est l'effet d'une petite variation de la variable d'intérêt sur la probabilité de succès, calculé au point moyen de l'échantillon de données. Dans le cas d'une variable catégorielle de type 0-1, l'effet marginal moyen est l'effet du passage de la modalité 0 à la modalité 1 sur la probabilité de succès, calculé au point moyen de l'échantillon.

La première variable d'intérêt considérée est la méthode d'évaluation utilisée pour décider si un projet a réussi ou non (avec des données scientifiques ou à défaut par triangulation). Quand on utilise une triangulation à 5 facteurs, celle-ci apparaît nettement plus optimiste que des évaluations scientifiques (les projets évalués avec des données scientifiques ont 16 % de chances de moins d'être considérés comme ayant réussi que les projets évalués par triangulation, et ce paramètre est presque significatif au seuil de 10 % (il l'est au seuil de 12 %). Ceci pourrait biaiser nos résultats d'identification des bonnes pratiques. Pour tester la robustesse de ces résultats nous reportons dans la 2^e colonne du tableau les résultats obtenus avec une triangulation à 6 facteurs, où la différence avec les données scientifiques est plus faible et moins significative. Pour cette raison nous préférons baser nos conclusions sur cette deuxième estimation en cas de divergence avec la première, bien que ceci soit au prix d'une diminution du nombre d'observations disponibles (il y a dans la CoSMMA une vingtaine de projets pour lesquels on dispose de 5 évaluations d'effets non-scientifiques, qui font l'objet d'une triangulation à 5 facteurs mais ne peuvent pas faire l'objet d'une triangulation à 6 facteurs).

Cette méthode d'évaluation s'inspire de l'approche empirique des praticiens de l'évaluation, qui consiste à consolider leurs conclusions par une « triangulation » de plusieurs observations indépendantes de la même réalité

Dans les deux cas, le délai d'évaluation (année de publication de l'évaluation moins année de mise en service) réduit significativement la probabilité d'obtenir un effet favorable. Notre interprétation de ce résultat est que même si de nombreux projets ont un effet positif à court-moyen terme, leur réussite ne se confirme pas toujours à plus long terme, ce qui suggère un problème de durabilité. Ces problèmes de durabilité ont souvent été mentionnés dans les études sur les projets d'électrification décentralisée (Feron, 2016 ; Roche et Blanchard, 2018, ; Katre et al., 2019). La faible durabilité est souvent associée à des défaites dans la maintenance des installations.

Les caractéristiques techniques des projets sont ensuite examinées sous deux angles : la source d'énergie primaire utilisée et la puissance du générateur.

En ce qui concerne la source d'énergie primaire, nous prenons pour référence l'énergie solaire qui est la plus utilisée. L'utilisation de générateurs diesel donne significativement moins de résultats favorables que celle des panneaux solaires. Les générateurs utilisant d'autres sources primaires renouvelables, de même que les systèmes hybrides ne se

distinguent pas des installations solaires. On bute ici sans doute sur le nombre relativement réduit de projets analysés pour pouvoir obtenir des résultats plus précis. Ainsi les systèmes hydroélectriques, connus pour leur simplicité technologique et leur faible coût dominant les systèmes solaires dans l'échantillon utilisant une triangulation à 5 facteurs mais pas dans celui, plus réduit, utilisant une triangulation à 6 facteurs.

Nous testons l'effet de la puissance du générateur en comparant les systèmes de type nano (puissance inférieure à 1 kW) avec les systèmes de plus forte puissance. Dans l'échantillon avec triangulation à 5 facteurs, les systèmes nano ont plus d'effets favorables que les autres, mais ce paramètre n'est pas significatif et diminue fortement quand on passe à une triangulation à 6 facteurs.

L'hétérogénéité de l'effet de la puissance que révèlent ces résultats est en partie liée à une interaction avec le délai d'évaluation, comme le montre la troisième colonne du tableau 5. La puissance augmente la probabilité de succès des projets au delà d'un délai de l'ordre de 7,5 années entre la mise en service et l'observation des effets du projets. Les projets de taille nano sont donc moins durables que les projets de plus forte puissance.

Une analyse descriptive par types d'effets illustre aussi l'hétérogénéité des effets selon la puissance du générateur (tableau 6). La petite taille peut avoir des effets plus favorables sur l'apport d'une énergie moderne en raison de la simplicité des systèmes mis en œuvre. De même, les effets sociétaux et environnementaux favorables sont plus fréquents dans les projets reposant sur des systèmes de faible puissance : on observe des effets favorables qui reposent sur l'accès à l'éclairage public ou des lieux de réunion, qui ne dépendent pas de la puissance tandis que les bénéfices environnementaux peuvent être contrecarrés par une pression sur des ressources naturelles dans les installations de plus forte puissance. On note aussi des risques de conflits de répartition plus importants dans les systèmes à plus forte puissance. À l'inverse, la taille nano est sensiblement moins favorable en ce qui concerne la transformation économique et l'augmentation des revenus. Ceci peut expliquer leur moindre durabilité à long terme : l'apparition de bénéfices économiques renforçant la volonté et la capacité des bénéficiaires du projet à payer les coûts de maintenance nécessaires à la durabilité des installations.

TABLEAU 6 : PROPORTION DE SUCCÈS PAR TYPES D'EFFET ET PUISSANCE

Type d'effet	Triangulation 5 facteurs		Triangulation 6 facteurs	
	nano	> nano	nano	> nano
Accès à l'énergie	69 %	58 %	71 %	52 %
Bien-être individuel	88 %	92 %	88 %	88 %
Revenus et transformation éco	64 %	100 %	58 %	80 %
Bien-être communautaire	63 %	50 %	80 %	40 %

En dehors des aspects techniques, les principaux facteurs pouvant influencer la réussite de projets de production de services publics locaux relèvent d'une manière générale de leur gouvernance. Compte tenu du caractère local de ces projets, la première question qui se pose est de savoir quel est le niveau de décision le plus approprié. On oppose classiquement une approche de type descendante, où les décisions sont prises par une autorité centrale, à une approche de type ascendante, où les décisions sont prises par une autorité locale (Tenenbaum et al., 2014).

Les travaux théoriques, notamment ceux initiés par Ostrom (1999), privilégient l'approche ascendante. Ostrom montre que les problèmes d'action collective provenant du phénomène de passager clandestin sont mieux gérés localement que de manière centralisée. Ceci s'applique aux mini-réseaux (Berthelemy, 2016).

Cependant le niveau de décision du projet peut avoir en pratique différents types de conséquences. D'une part, un projet décidé localement pourrait mieux prendre en compte les besoins de la population ; il pourrait également s'appuyer sur une structure de gouvernance soucieuse de promouvoir la coopération dans la gestion des ressources. En revanche, les projets décidés au niveau national pourraient bénéficier d'un degré plus élevé d'expertise, d'expérience et d'évolutivité. Des économies d'échelle dans l'accumulation des connaissances et un niveau plus élevé d'expertise peuvent aider à trouver, au moins d'un point de vue technique, les solutions les plus efficaces.

La question du choix entre les deux approches ascendantes et descendantes n'a donc pas de réponse évidente et reste une question empirique. Nos résultats montrent que les projets décidés au niveau local réussissent mieux que les autres. Dans nos estimations sur les données constituées par une triangulation à 6 facteurs, on voit aussi apparaître un effet de courbe en V, les projets décidés à des échelons administratifs intermédiaires (province, comté) étant ceux qui réussissent le moins. Cette courbe en V illustre le fait qu'il y a des arguments en faveur d'une approche descendante comme d'une approche ascendante.

Au delà de ce choix, la qualité des modes de gouvernance peut être très variable au niveau national comme au niveau local.

Nos données ne permettent pas d'aborder la question de la gouvernance locale, qui est sans doute importante. Il faudrait en particulier étudier les principes développés par Ostrom pour concevoir des modes de gouvernance aptes à stimuler une bonne coopération entre les acteurs locaux pour la gestion des communs (Gollwitzer et al., 2018).

Nous pouvons cependant aborder ces questions de gouvernance au niveau national. Le secteur de l'électricité est très réglementé et les régulateurs comme, dans le cas de l'électrification décentralisée les agences d'électrification rurale peuvent par leurs actions faciliter ou au contraire entraver la réussite des projets.

L'initiative Énergie durable pour tous (SE4All) et la Banque Mondiale ont rassemblé les informations disponibles sur les cadres institutionnels des politiques d'accès à l'énergie dans une base de données appelée RISE (pour Regulatory Indicators for Sustainable Energy). La dernière synthèse disponible de l'ESMAP (2018) conclut sur le rôle important joué par les politiques réglementaires et incitatives. Nous complétons la CoSMMA avec cet ensemble de données pour explorer ces questions dans le contexte spécifique de l'électrification hors réseau.

Concernant l'électrification hors réseau, la base de données RISE recueille cinq critères : l'existence d'un programme national, l'existence d'un cadre juridique, la possibilité donnée aux opérateurs de traduire les coûts dans les tarifs, les incitations financières et les normes techniques. La moyenne de ces cinq critères fournit un indicateur (normalisé de 0 à 100) de la qualité du cadre institutionnel dans le secteur de l'électrification décentralisée (que nous appelons Rise off-grid).

Nous introduisons cet indicateur Rise off-grid comme variable explicative de la probabilité de succès des projets (colonne 4 du tableau 5). En raison de données manquantes dans Rise, nous perdons plusieurs observations ce qui limite notre capacité à évaluer simultanément le rôle du choix d'énergie primaire (pour plusieurs sources il n'y a alors plus qu'un petit nombre d'observations, toutes positives, qui empêchent leur prise en compte). Malgré la limitation du nombre d'observations, cette équation montre un effet positif très significatif de la qualité de la gouvernance nationale du secteur. Cet effet est également très sensible : une amélioration de 1 % de cet indicateur se traduit en moyenne par une augmentation de 0,5 % de la réussite des projets. Ce résultat confirme le rôle important de la gouvernance dans la réussite des projets.

En dehors des aspects techniques, les principaux facteurs pouvant influencer la réussite de projets de production de services publics locaux relèvent d'une manière générale de leur gouvernance

CONCLUSION

La faiblesse des systèmes d'évaluation est un obstacle majeur au développement des services essentiels en zones rurales tels que l'électrification décentralisée. Evaluer avec des méthodes scientifiques des projets de développement de cette nature est très coûteux de par la petite taille de ces projets isolés, de sorte que l'on ne dispose pas de preuves irréfutables du bien-fondé de tels projets, ni de moyens d'identifier les bonnes pratiques en la matière.

La FERDI a rassemblé dans la base CoSMMA un grand nombre d'évaluations de projets d'électrification, ce qui permet de confirmer le faible nombre d'évaluations scientifiques qui se sont par ailleurs concentrées sur des SHS et sur des effets sur l'éducation et la santé, ce qui ne permet pas de tirer de conclusions sur les mini ou micro-réseaux ni sur d'autres effets importants concernant par exemple la transformation économique ou la préservation de l'environnement.

Une nouvelle méthode est ici proposée pour utiliser malgré tout ces données, en mobilisant une partie des évaluations non-scientifiques dans une méthode de triangulation.

Cette approche permet d'évaluer le succès des projets recensés, qui serait en moyenne de l'ordre de 80 %, mais seulement de 70 % cinq ans après la mise en service des installations, montrant un problème de soutenabilité, qui a été observé de manière récurrente par les praticiens.

Cette méthode a permis aussi de mettre en évidence des éléments de bonnes pratiques :

- Les projets solaires sont plus efficaces que ceux reposant sur des générateurs diesels ; en revanche on n'a pas d'évidences suffisantes d'une différence d'efficacité entre les projets solaires et ceux utilisant d'autres ressources renouvelables.
- Les projets de taille nano sont efficaces à court terme mais moins durables que les projets de plus grande puissance tels que des mini-réseaux. Ceci peut s'expliquer par le fait que la faible puissance n'est pas propice à des usages permettant une transformation économique et l'augmentation des revenus des usagers, ce qui réduit leur capacité et leur volonté à payer. Il faut toutefois tenir compte d'effets sociétaux et environnementaux potentiellement négatifs dans les projets de plus grande taille.
- La gouvernance des projets est un facteur déterminant essentiel de leur degré de réussite. Les approches bottom-up sont en règle générale les plus efficaces. Il y a malgré tout à prendre en compte une interaction entre le niveau local et le niveau national, ce qui est confirmé par l'influence de la qualité de la régulation du secteur sur la réussite des projets. Malheureusement les données à disposition ne permettent pas d'explorer les modes de gouvernance locaux, qui doivent inévitablement jouer un grand rôle dans les approches bottom-up.

Ceci ouvre la voie à des recherches complémentaires dans deux directions : le développement de méthodes d'évaluation à faible coût reposant sur le principe de triangulation, et l'exploration des caractéristiques des modes de gouvernance des projets au niveau local.

RÉFÉRENCES

- BERTHÉLEMY, Jean-Claude. Mini-grids as an application of Elinor Ostrom's theses on polycentric governance as a way to cope with the tragedy of the commons. *Revue d'économie du développement*, 2016, vol. 24, no 3, p. 85-106
- EALES, Aran, WALLEY, Luke, BUCKLAND, Hannah, et al. Social impacts of mini-grids: towards an evaluation methodology. In : 2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica. IEEE, 2018. p. 354-359
- ESMAP. Policy Matters : Regulatory Indicators for Sustainable Energy (RISE), Washington, D.C. : WorldBank Group, 2018.
- FERON, Sarah. Sustainability of off-grid photovoltaic systems for rural electrification in developing countries: A review. *Sustainability*, 2016, vol. 8, no. 12, p. 1326.
- GREENE, Jennifer, et Charles McCLINTOCK, Triangulation in Evaluation: Design and Analysis Issues, *Evaluation Review*, 1985, vol 9, no 5, p. 523-545
- GOLLWITZER, Lorenz, OCKWELL, David, MUOK, Ben, et al. Rethinking the sustainability and institutional governance of electricity access and mini-grids: Electricity as a common pool resource. *Energy Research & Social Science*, 2018, vol. 39, p. 152-161
- KATRE, Aparna, TOZZI, Arianna, et BHATTACHARYYA, Subhes. Sustainability of community-owned mini-grids: evidence from India. *Energy, Sustainability and Society*, 2019, vol. 9, no 1, p. 2
- OSTROM, Elinor. Coping with tragedies of the commons. *Annual review of political science*, 1999, vol. 2, no 1, p. 49
- TENENBAUM, Bernard, Chris GREACAN, Tilak SYANBALAPITIYA, and James KNUCKLES. From the bottom up: how small power producers and mini-grids can deliver electrification and sustainable energy in Africa. Washington D.C., The World Bank Group, 2014.