

**RENE092 – NORME D’ESSAI DE RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE KORTRIGHT
RAPPORT PUBLIC FINAL**

Préparé par :

Office de protection de la nature de Toronto et de la région
dans le cadre du
Sustainable Technologies Evaluation Program



2016

© Office de protection de la nature de Toronto et de la région

AVIS

Le contenu du présent rapport ne représente pas nécessairement les politiques des organismes qui l’appuient. Même si tous les efforts raisonnables ont été déployés pour garantir l’intégrité du rapport, les organismes qui l’appuient n’offrent aucune garantie et ne font aucune déclaration, expresse ou tacite, quant à l’exactitude ou au caractère complet des renseignements contenus aux présentes. La mention de marques de commerce ou de produits commerciaux ne constitue pas un aval ou une recommandation de ces produits.

RENSEIGNEMENTS SUR LA PERSONNE-RESSOURCE

Leigh St. Hilaire, B. ing.

Gestionnaire de projet II, Technologies durables
Office de protection de la nature de Toronto et de
la région
9520, promenade Pine Valley,
Vaughan (Ontario)
L4L 1A6

Tél. : 416-277-3849

Courriel : lsthilaire@trca.on.ca

LE SUSTAINABLE TECHNOLOGIES EVALUATION PROGRAM

Le Programme d’évaluation des technologies durables (Sustainable Technologies Evaluation Program – STEP) est un programme réunissant plusieurs organismes et dirigé par l’Office de protection de la nature de Toronto et de la région (Toronto and Region Conservation Authority – TRCA). Le Programme aide à fournir les données et les outils d’analyse nécessaires pour appuyer une mise en œuvre plus généralisée des technologies et pratiques durables dans un contexte canadien. Les principaux objectifs du Programme sont les suivants :

- surveillance et évaluation des technologies touchant l’air pur, l’eau propre et l’énergie propre;
- évaluation des obstacles et des possibilités touchant la mise en œuvre des technologies;
- mise au point d’outils, de lignes directrices et de politiques;
- promotion d’une utilisation plus généralisée de technologies efficaces par la recherche, l’éducation et la défense des intérêts.

Les technologies évaluées en vertu du STEP ne se limitent pas aux produits ou aux dispositifs matériels; elles peuvent également comprendre des mesures de prévention, des concepts d’urbanisme de remplacement et d’autres pratiques innovatrices qui aident à créer des collectivités plus durables et plus axées sur la qualité de vie.

REMERCIEMENTS

Nous remercions sincèrement Ressources naturelles Canada (RNCan) d'avoir financé ces travaux. Certaines composantes de ce projet ont également obtenu un soutien financier du LDC Tomorrow Fund (Fonds pour l'avenir des sociétés de distribution locales).

Nous souhaitons également remercier les personnes et les organismes suivants pour leurs contributions au projet :

- Hany Farag, Ph. D., et Sarah Kandil, de l'Université York, ont offert leur expertise universitaire en matière de surveillance et d'analyse de la qualité de l'alimentation électrique.
- Tanya Deer, de Relsol Inc., a offert son expertise dans l'industrie et en analyse de données, particulièrement sur le modèle thermique de module photovoltaïque CEI 61853-2 et les ensembles de données climatiques CEI 61853-4.
- Les caractérisations des modules photovoltaïques intérieurs en fonction de CEI 61853-1 et CEI 61853-2 ont été fournies par Exova.
- Leidos a offert son expertise en modélisation PVSyst et mis en œuvre la procédure de calcul CEI 61853-3.
- SolarShare a fourni les données sur le rendement du système photovoltaïque dans le monde réel qui ont été utilisées pour faire correspondre les données de simulation PVSyst aux conditions réelles dans l'analyse de la matrice de puissance CEI 61853-1.
- Les services de restauration et les Earth Rangers de la TRCA ont fourni les sites photovoltaïques utilisés pour surveiller la qualité de l'alimentation électrique.

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Le présent rapport résume les travaux qui ont été réalisés entre 2012 et 2016 par la TRCA en vertu de l'accord de financement de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation de RNCan intitulé « RENE092 – Norme d'essai de rendement énergétique Kortright ». Le projet avait pour objectif de réaliser des recherches préliminaires pour éclairer l'élaboration de normes photovoltaïques dans deux domaines différents : la cote de rendement des modules photovoltaïques et les interconnexions réseau des onduleurs photovoltaïques.

La série de normes CEI 61853 offre des avantages considérables par rapport aux cotes de rendement conventionnelles des modules photovoltaïques dans les conditions normales d'essai (*Standard Test Conditions* – STC) puisqu'elle offre une cote liée au rendement attendu dans le monde réel. Elle consiste en quatre parties. Les parties 1 et 2 portent sur les procédures de caractérisation élargie des modules et sont déjà publiées. Les parties 3 et 4 portent sur les ensembles de données climatiques et les procédures de calcul nécessaires pour déterminer la cote du module, appelée Cote énergétique en fonction du climat (*Climate Specific Energy Rating* – CSER). Les parties 3 et 4 ne sont pas encore publiées mais approchent la fin de l'étape de l'ébauche du comité (*committee draft* – CD) à la CEI au moment de la rédaction du présent rapport.

Ce projet comprenait de nombreuses tâches appuyant l'élaboration de la norme CEI 61853. En gros, la série de normes a été mise en œuvre et, dans le cadre de ce processus, on a acquis de l'expérience et des données pour appuyer la préparation et l'amélioration des normes. Même si une grande partie des recherches a été publiée dans des rapports accessibles au public sur la page Web du STEP, les principaux extraits des travaux étaient des formulaires de commentaires présentés à la CEI en ce qui concerne des révisions proposées à la norme – dont beaucoup ont déjà été incorporées dans les normes. En général, les commentaires englobent la constatation que certaines des procédures de la norme CEI 61853 se sont avérées suffisantes alors que d'autres doivent être retravaillées.

Ce projet portait également sur une composante très précise des interconnexions réseau des onduleurs photovoltaïques, soit les émissions de courant harmonique. Les émissions de courant harmonique émanent de nombreuses sources, y compris les onduleurs photovoltaïques, et peuvent nuire à l'équipement électronique. Pour cette raison, les normes au niveau de la composante et au niveau du service public prévoient des exigences en matière d'émissions maximales permises par les onduleurs photovoltaïques ou les installations photovoltaïques connectées au réseau d'électricité. Le présent projet a utilisé la surveillance de la qualité de l'alimentation électrique pour étudier ces exigences par rapport à l'éventail de conditions qui se présente lors d'une utilisation dans le monde réel. Le projet a révélé que le fonctionnement à très faible tension n'est pas pris en compte dans les normes, mais devrait sans doute l'être parce que ces conditions se produisent souvent et qu'une quantité importante d'émissions de courant harmonique a été observée à faible tension dans certains cas anecdotiques. Toutefois, les auteurs font remarquer qu'il s'agit d'un problème facilement rectifié

et qu'il ne s'agit pas d'un obstacle important à une plus grande pénétration des systèmes photovoltaïques dans les systèmes d'alimentation électrique.

TABLE DES MATIÈRES

1.0	Introduction	1
1.1	Aperçu	1
1.2	Normes	1
1.3	Cote de rendement des modules photovoltaïques.....	2
1.4	Interconnexions réseau des onduleurs photovoltaïques	2
2.0	CONTEXTE.....	3
2.1	CEI 61853.....	3
2.2	Qualité de l’alimentation électrique et interconnexion réseau.....	6
2.3	Sommaire	7
3.0	Objectifs.....	9
4.0	CONSTATATIONS	11
5.0	Conclusion	14
6.0	PROCHAINES ÉTAPES	16

1.0 INTRODUCTION

1.1 Aperçu

Le présent rapport résume les travaux qui ont été réalisés entre 2012 et 2016 par le programme STEP de la TRCA en vertu de l’accord de financement de l’Initiative écoÉNERGIE sur l’innovation de RNCan intitulé « RENE092 – Norme d’essai de rendement énergétique Kortright ». Tel qu’indiqué dans les lignes directrices en matière de rapports : « l’un des principaux objectifs de l’Initiative écoÉNERGIE sur l’innovation est de veiller à ce que l’expérience acquise par le promoteur pendant l’exécution du projet soit transmise aux compagnies, aux municipalités ou aux intervenants qui envisagent d’investir ou de mener des recherches supplémentaires dans un projet semblable » [traduction]. Ce rapport public satisfait cette exigence. Les éléments particuliers à aborder, tels qu’indiqués dans les lignes directrices en matière de rapports, comprennent entre autres les éléments suivants :

- Quelle était la lacune en R-D et pourquoi ce projet était-il nécessaire?
- Objectif du projet.
- Évolution du projet :
 - identification et acquisition des partenaires, des permis, etc.
 - activités de R-D exécutées;
 - défis relevés;
 - conclusions :
 - avantages et résultats du projet;
 - prochaines étapes de R-D dans ce domaine?

1.2 Normes

Le Conseil canadien des normes indique que « Les normes sont des principes directeurs qui définissent les pratiques acceptables, les exigences techniques et la terminologie utilisée dans divers domaines ». Elles sont importantes pour de nombreuses raisons. Par exemple, elles servent entre autres :

- à garantir que les produits de consommation sont d’utilisation sécuritaire;
- à garantir que les produits respectent certaines exigences en matière de rendement;
- à favoriser le commerce et l’innovation entre différentes compétences en offrant un jeu d’exigences communes.

Il existe de nombreuses normes dans le domaine des modules photovoltaïques et, pour que les normes atteignent leur but, il est important que leur élaboration soit éclairée par la recherche. Le présent projet a fourni la recherche nécessaire pour améliorer la qualité et l’efficacité des normes touchant les modules photovoltaïques dans deux secteurs différents : la cote de rendement des modules photovoltaïques et les interconnexions réseau des onduleurs photovoltaïques.

1.3 Cote de rendement des modules photovoltaïques

Les cotes de rendement des modules photovoltaïques décrivent la quantité d'électricité que produit un module dans certaines conditions et sont importantes dans le processus décisionnel des consommateurs et dans l'évaluation financière des investissements dans les installations photovoltaïques. Les modules photovoltaïques sont généralement cotés en fonction d'un point de fonctionnement unique, appelé conditions normales d'essai (*standard test conditions* – STC), défini par une température du module de 25 °C, un éclairement énergétique de 1 000 W/m² et un spectre d'éclairement énergétique AM1,5, conformément à la norme 61215 de la Commission électrotechnique internationale (CEI). Même si les STC sont nées d'une convention commode pour les essais en laboratoires, elles ne représentent pas nécessairement le rendement du module dans le monde réel en raison d'un grand nombre de facteurs qui ne sont pas pris en compte dans une cote STC. Cela peut engendrer de l'incertitude pour les consommateurs au moment du choix de modules. En outre, cela ne favorise pas l'innovation dans les caractéristiques de conception des modules, simplement parce qu'une amélioration du rendement dans le monde réel peut ne pas se traduire par une meilleure cote de rendement STC.

La série de normes CEI 61853 aborde ces préoccupations en offrant une cote de rendement des modules qui est plus représentative du rendement attendu du module dans le monde réel. La série de normes est constituée de quatre parties. Les parties 1 et 2 portent sur les procédures de caractérisation élargie des modules et sont déjà publiées. Les parties 3 et 4 portent sur les ensembles de données climatiques et les procédures de calcul nécessaires pour déterminer la cote du module, appelée Cote énergétique en fonction du climat (*Climate Specific Energy Rating* – CSER). Les parties 3 et 4 ne sont pas encore publiées mais approchent la fin de l'étape de l'ébauche du comité (*committee draft* – CD) à la CEI. Ce projet comprenait de nombreuses tâches appuyant l'élaboration de la norme CEI 61853.

1.4 Interconnexions réseau des onduleurs photovoltaïques

Les appareils électroniques sont conçus pour fonctionner en respectant certaines tolérances en matière d'alimentation électrique, et si l'alimentation électrique fournie par le réseau d'électricité ne respecte pas ces tolérances, les appareils électroniques peuvent présenter des dysfonctionnements ou être endommagés. Le niveau de respect des tolérances attendues par l'alimentation électrique est décrit par l'expression « qualité de l'alimentation électrique », et la qualité de l'alimentation électrique peut être « bonne » si l'alimentation respecte les tolérances attendues ou « mauvaise » si elle s'en éloigne sensiblement. Une composante clé d'une bonne qualité de l'alimentation électrique est l'atténuation des composantes harmoniques. Les composantes de courant harmonique sont de petits signaux de courant qui se produisent à des multiples entiers de la fréquence fondamentale de 60 Hz (c.-à-d. à 120 Hz, 180 Hz, 240 Hz, etc.) et qui provoquent une distorsion de la forme purement sinusoïdale de l'onde de courant. Les émissions de courant harmonique découlent de la technologie de commutation non linéaire utilisée dans de nombreux appareils électroniques, y compris les onduleurs photovoltaïques. Il est important que les onduleurs photovoltaïques produisent une

alimentation électrique de bonne qualité pour que cela ne devienne pas un obstacle à une plus grande pénétration de l’énergie photovoltaïque.

Il existe des normes canadiennes et américaines pour aider à garantir une bonne qualité de l’alimentation électrique à partir des onduleurs eux-mêmes (CAN/CSA-C22.2 NO. 107.1-01 et UL 1741) de même qu’à l’interconnexion avec le service public (CAN/CSA-C22.2 NO. 257-06 et IEEE 1547). Même si les normes sont d’accord sur les exigences en matière d’émissions de courant harmonique par les onduleurs photovoltaïques, elles divergent quant à la manière dont le respect de ces exigences est évalué. Dans tous les cas, elles évaluent les émissions de courant harmonique alors que l’onduleur fonctionne à un régime stable et à un point de classement supérieur à 33 % de la capacité nominale de l’onduleur. Toutefois, une installation photovoltaïque réelle connaîtra un éventail beaucoup plus large de points de fonctionnement, y compris des conditions fréquentes d’éclairement énergétique faible et très variable, et il est possible qu’il y ait des problèmes considérables de qualité de l’alimentation électrique à l’extérieur des conditions de mesure recommandées stipulées dans les normes. Le présent projet a utilisé une surveillance à long terme pour déterminer la qualité de l’alimentation électrique des onduleurs photovoltaïques solaires dans un vaste éventail de conditions de fonctionnement dans le monde réel afin de déterminer si les exigences des normes suffisent pour prévenir des émissions de courant harmonique élevées après installation.

2.0 CONTEXTE

2.1 CEI 61853

Les quatre parties de la norme CEI 61853 sont résumées au Tableau 2-1.

Tableau 2-1. Résumé de la norme CEI 61853

Norme	Description
CEI 61853-1	<ul style="list-style-type: none"> ○ Caractérise la production d’électricité par le module en différents points de fonctionnement de température et d’éclairement énergétique du module.
CEI 61853-2	<ul style="list-style-type: none"> ○ Détermine le modificateur d’angle d’incidence du module (<i>incidence angle modifier – IAM</i>). ○ Détermine la réponse spectrale du module. ○ Détermine les coefficients du modèle thermique du module photovoltaïque.
CEI 61853-3	<ul style="list-style-type: none"> ○ Offre une procédure de calcul telle que le rendement du module selon les normes CEI 61853-1 et 61853-2 peut être utilisé avec les fichiers de données climatiques de la norme CEI 61853-4 pour déterminer une cote énergétique en fonction du climat (<i>climate specific energy rating – CSER</i>) pour chaque fichier de données climatiques.
CEI 61853-4	<ul style="list-style-type: none"> ○ Consiste en fichiers de données climatiques horaires pour différents

emplacements représentatifs du monde entier.

2.1.1 CEI 61853-1

L'électricité produite par un module photovoltaïque varie en fonction de l'ampleur de l'éclairement énergétique incident et de la température du module. Dans la norme CEI 61853-1, la production d'électricité par le module photovoltaïque est déterminée dans 22 conditions de fonctionnement différentes de température et d'éclairage énergétique du module (listées au Tableau 2-2). Il existe différentes procédures possibles pour remplir cette matrice, qui sont décrites dans la norme CEI 61853-1. Ces procédures sont les suivantes :

- Procédure 1¹ : procédure simplifiée pour les modules linéaires;
- Procédure 2 : procédure en lumière naturelle du soleil avec dispositif de poursuite;
- Procédure 3 : procédure en lumière naturelle du soleil sans dispositif de poursuite;
- Procédure 4 : procédure avec simulateur solaire.

Tableau 2-2 Conditions d'essai de la norme CEI 61853-1

Éclairage énergétique [W/m ²]	Température du module [°C]			
	15	25	50	75
1 100		x	x	x
1 000	x	x	x	x
800	x	x	x	x
600	x	x	x	x
400	x	x	x	
200	x	x		
100	x	x		

Bien que les procédures 1, 2 et 4 soient des approches établies, la procédure 3 est une nouveauté de cette norme et offre un minimum de conseils. En gros, on munit d'instruments le module à l'essai, puis on le laisse fonctionner normalement sur un dispositif statique pendant une période suffisamment longue pour que les conditions de fonctionnement souhaitées se produisent naturellement.

2.1.2 CEI 61853-2

Lorsque la lumière se transmet d'un médium à un autre (par exemple de l'air au verre), il se produit également une certaine réflexion au point d'interface. La quantité de rayonnement reflété augmente avec l'angle d'incidence. Pour un module photovoltaïque, la relation entre l'angle d'incidence et la fraction d'éclairage énergétique transmise à travers le verre frontal vers les cellules photovoltaïques est définie par un modificateur d'angle d'incidence (*incidence angle modifier* – IAM). L'IAM est un

¹ Remarquez que les numéros de procédure sont utilisés comme abréviation dans le présent rapport et ne figurent pas réellement dans la norme.

paramètre utile pour la modélisation de la production d'énergie et peut être mesuré en utilisant les procédures décrites dans la norme CEI 61853-2 en fonction d'une méthode d'essai intérieure ou extérieure.

L'éclairement énergétique solaire se produit dans un spectre de différentes longueurs d'onde. Le spectre peut changer en fonction de différents facteurs, dont le principal est la masse d'air à travers laquelle la lumière voyage avant de frapper un module photovoltaïque. Cela peut changer au cours d'une journée et en fonction de l'élévation de l'installation photovoltaïque. Le comportement d'un module photovoltaïque à l'égard des changements de spectre est décrit par sa réponse spectrale, que l'on peut mesurer en utilisant une procédure décrite dans la norme CEI 61853-2.

La production d'électricité d'un module photovoltaïque diminue lorsque la température de la cellule augmente, en raison de pertes dans la tension du circuit ouvert. On peut modéliser la température de la surface arrière d'un module au moyen d'une équation simple à deux coefficients qui tient compte de la température ambiante, de la vitesse du vent et de l'éclairage énergétique. La norme CEI 61853-2 offre une procédure pour déterminer les coefficients modèles en fonction des mesures expérimentales.

2.1.3 CEI 61853-3 et 61853-4

La partie 3 de la norme comprend une procédure qui permet de calculer la production d'énergie horaire d'un module photovoltaïque pendant une période d'un an. Pour chaque itération horaire, la procédure commence par des données sur l'éclairage énergétique du plan du dispositif (*plane of array* – POA) et d'autres données climatiques disponibles dans les fichiers de données climatiques (CEI 61853-4). Les données sur l'éclairage énergétique sont ensuite corrigées, d'abord en fonction de l'angle d'incidence puis en fonction du décalage spectral. La température du module est calculée en fonction d'un modèle thermique tiré des expériences réalisées (CEI 61853-2) sur les modules et les données climatiques pour cette heure de la journée. La production d'énergie est ensuite calculée en comparant la température du module et l'éclairage énergétique corrigé à une matrice bidimensionnelle de production d'électricité par le module en fonction de l'éclairage énergétique et de la température du module (CEI 61853-1). La production pour l'année est déterminée en additionnant les résultats horaires, et cette somme est alors utilisée pour calculer la valeur de la cote CSER.

La cote CSER est essentiellement un rapport de rendement. Un rapport de rendement met en relation la production d'énergie réelle avec une production d'énergie « attendue » dans le cas où on présume que toute l'énergie a été produite dans les conditions normales d'essai. Le numérateur du rapport est la production d'énergie réelle sur un an (ou la production d'énergie modélisée dans le cas de la valeur de la cote CSER) et tient compte de toutes les pertes attribuables à la température, au spectre, à l'angle d'incidence, etc. Le dénominateur est une estimation idéalisée de la production d'énergie fondée sur la cote STC du module et l'éclairage énergétique sur un an, sans tenir compte d'aucune perte. Le rapport de rendement est une mesure utile parce qu'il normalise en fonction de la cote de

production STC du module et de l'éclairage énergétique annuel. Ainsi, il contient des renseignements sur les pertes d'énergie que les autres mesures, comme la production d'énergie, ne contiennent pas.

2.2 Qualité de l'alimentation électrique et interconnexion réseau

Au Canada, les pratiques recommandées d'interconnexion d'une ressource distribuée axée sur un onduleur, comme une installation photovoltaïque, avec un système d'alimentation électrique (*electric power system* - EPS) à basse tension sont indiquées dans la norme CAN/CSA-C22.2 NO. 257-06. La norme américaine comparable est la norme IEEE 1547. En général, les deux normes recommandent que l'injection de courant harmonique dans l'EPS du service public ne dépasse pas les limites indiquées au Tableau 2-3.

Tableau 2-3. Limites d'injection de courant harmonique proposées par les normes CSA 257 et IEEE 1547

Ordre harmonique individuel h (harmoniques impairs) ^b	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	Taux de distorsion totale (<i>total demand distortion</i> – TDD)
Pourcentage (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

^a I= la plus grande valeur entre la charge maximale de demande de courant intégrée (15 à 30 minutes) du système d'alimentation électrique (*electric power system* - EPS) sans unité de réduction de la demande et la capacité de courant nominale de l'unité de réduction de la demande (transformée pour le PCC lorsqu'il existe un transformateur entre l'unité de réduction de la demande et le PCC).

^b Les harmoniques pairs sont limités à 25 % des limites susmentionnées pour les harmoniques impairs.

Afin de vérifier que les émissions de courant harmonique respectent les limites indiquées, la norme IEEE 1547 stipule que le taux de distorsion totale (*total demand distortion* – TDD) et les facteurs de distorsion harmonique individuels jusqu'au rang 40 doivent être calculés alors que la ressource distribuée fonctionne à 33 %, 66 % et 100 % de la charge nominale. Par contraste, la norme CAN/CSA-C22.2 NO. 257-06 stipule que les onduleurs individuels qui composent un système de ressource distribuée doivent respecter la norme CAN/CSA-C22.2 NO. 107.1-01. Dans ce cas, le seul point de fonctionnement de la procédure d'essai est à 100 % de la charge nominale. On parle de faire passer cette disposition à 33 %, 66 % et 100 % lors de la prochaine révision, comme dans la norme IEEE 1547.

Ces normes cherchent à quantifier les émissions de courant harmonique des systèmes photovoltaïques connectés au réseau à un petit nombre de points de fonctionnement différents pour garantir qu'elles sont inférieures aux limites recommandées. Il s'agit d'un objectif à la fois raisonnable et pratique. Toutefois, il demeure que ces points d'essai ne représentent pas pleinement le vaste éventail de points de fonctionnement dans le monde réel d'une installation photovoltaïque. La production d'énergie des installations photovoltaïques réelles varie de 0 à 100 % de la capacité nominale et, en outre, les installations sont soumises à des périodes d'éclairage énergétique très

variables en raison de la couverture nuageuse ou de l’effet de lentille des nuages. Les changements rapides dans les conditions d’éclairage énergétique peuvent être à la fois fréquents et d’une grande amplitude.

2.3 Sommaire

Les sections 2.1 et 2.2 de CEI 61853 ont donné un bref aperçu des normes étudiées dans le cadre de ce projet. Pour chacune de ces normes, certaines questions demeurent sans réponse mais sont essentielles au développement des normes. Ces questions sont indiquées au Tableau 2-4 et ont été explorées dans le cadre de ce projet.

Tableau 2-4. Questions sans réponses auxquelles on doit répondre pour assurer le développement des normes

Norme	Question n°	Description/Extrants
CEI 61853-1	1	○ Les conditions de température et d’éclairage énergétique dans la norme CEI 61853-1 sont-elles suffisantes pour un climat canadien? Doit-on ajouter ou enlever des points pour mieux représenter le climat canadien?
	2	○ La procédure 3 (la nouvelle procédure) produit-elle des résultats compatibles avec les autres procédures établies?
CEI 61853-2	3	○ Les procédures intérieure et extérieure d’IAM sont-elles compatibles?
	4	○ A-t-on besoin d’autres conseils quant au type de capteur utilisé pour mesurer l’IAM?
	5	○ La procédure visant à déterminer le modèle thermique du module est-elle réalisable et fait-elle l’objet de conseils suffisants dans la norme?
CEI 61853-3 et 61853-4	6	○ Puisque la cote CSER est un rapport de rendement, la procédure de la norme CEI 61853-3 est-elle compatible avec les prévisions des logiciels standards de l’industrie comme PVSyst? Est-elle compatible avec les données du monde réel?
	7	○ La norme offre-t-elle suffisamment de conseils pour réaliser la procédure de calcul?
	8	○ Quelle est l’incidence des corrections d’IAM et de spectre sur la procédure de calcul?
	9	○ À quel point les profils climatiques choisis dans la norme CEI 61853-4 sont-ils différents?
	10	○ Les fichiers de données climatiques actuels représentent-ils suffisamment le climat canadien? Comment pourrait-on incorporer un fichier de données climatiques canadiennes dans la norme?

CSA 107.1 CSA 257 IEEE 1547 UL 1741	11	<ul style="list-style-type: none">○ Y a-t-il des enjeux notables liés aux émissions de courant harmonique susceptibles de se produire en dehors des points de fonctionnement pris en compte dans ces normes (possiblement attribuables à des conditions transitoires ou de faible éclairage énergétique)?
--	----	---

3.0 OBJECTIFS

Les objectifs particuliers du projet sont énoncés au Tableau 3-1 et ce tableau est tiré de la proposition originale. Remarquez que les questions ont été formulées au Tableau 2-4 puis ajoutées au Tableau 3-1 parce que les objectifs des activités présentées au Tableau 3-1 ne sont pas toujours clairs sans davantage de contexte.

Tableau 3-1. Objectifs du projet tels que proposés à l’origine

Activités	Année	Principaux jalons (indiquer les points de décision « oui » ou « non »)	Extrants – indiquer intérimaire (I) ou final (F)	Question (Tableau 2-4)
Conception du projet	2012-2013	Remplir la matrice d’électricité de la norme CEI 61853 (partie 1) au moyen des procédures intérieure et extérieure des trois modules d’essai d’origine	(I) Préparer des lignes directrices sur la procédure	2
	2012-2013	Établir la faisabilité des conditions d’éclairage énergétique et de température de la CEI pour l’environnement ontarien et formuler des recommandations	(F) Étude d’évaluation	1
	2012-2013	Préparer le protocole de surveillance pour les sites de Solar City	(I) Préparer le protocole	1
Mise en œuvre du projet	2012-2013	Rendre compte des résultats de la méthodologie interne et externe de la norme CEI 61853-1	(i) Évaluer les méthodologies	2
	2013-2014	Exécuter la procédure de calibrage spectral sur les modules choisis	(I) Préparer des lignes directrices sur la procédure	6, 7
	2013-2014	Exécuter la procédure d’angle d’incidence sur les modules choisis	(I) Préparer des lignes directrices sur la procédure	3, 4
	2013-2014	Établir la faisabilité des conditions d’éclairage énergétique et de température de la CEI pour l’environnement canadien	(F) Évaluation des constatations	1
Acquisition des données	2013-2014	Effectuer le calcul de la production pour les modules d’essai conformément à la norme CEI 61853-3	(I) Préparer des lignes directrices sur la procédure	6
	2013-2014	Remplir la matrice d’électricité de la norme CEI 61853 (partie 1) au moyen des procédures d’essai intérieur et extérieur sur la 2 ^e génération de modules d’essai du fabricant canadien	(I) Examen par les pairs	2
	2013-2014	Évaluer le calcul de la production d’énergie (modèle) à partir des mesures de l’électricité de la section 1 avec la production d’énergie mesurée dans les conditions réelles sur le terrain testées par la TRCA. (1 ^{re} génération)	(I) Examen par les pairs; préparer le rapport interne	6
	2014-2015	Analyse des systèmes comparant le rendement des dispositifs du projet à celui des modèles tirés de la norme	(I) Examen par les pairs; préparer le rapport interne	6, 7, 8, 9, 10
	2014-2015	Comparaisons préliminaires entre le modèle de production, la production d’énergie dans les conditions	(I) Examen par les pairs des	6, 7, 8, 9, 10

		sur le terrain et le logiciel de modélisation PVSyst	constatations	
	2014-2015	Rapport par les services publics des constatations préliminaires concernant la qualité de l’alimentation électrique et la fugacité; recommandations d’études plus poussées	(I) Examen par les pairs des constatations	11
Analyse et reddition de comptes	2015-2016	Rapport de production pour les modules d’essai de 3 ^e et de 4 ^e génération	(F) Publier le rapport	6
	2015-2016	Analyse des systèmes du 2 ^e et du 3 ^e site de Solar City	(F) Publier le rapport	1
	2015-2016	Formule pour l’application des cotes de puissance et d’énergie conformément à la norme CEI 61853 au Fichier météorologique canadien pour le calcul énergétique (FMCC) standard	(I) Examen par les pairs de la formule	
	2015-2016	Étude de cas sur l’application de la formule	(F) Publier le rapport	7
	2015-2016	Rapport par les services publics indiquant les principales constatations et les secteurs qui doivent faire l’objet de recherches plus poussées	(F) Publier le rapport	Toutes

4.0 CONSTATATIONS

Le tableau suivant fournit des réponses aux questions de recherche posées au Tableau 2-4. Vous pouvez trouver les détails sur la méthode et les constatations dans l'addenda au présent rapport.

Tableau 4-1. Réponses aux questions posées dans le cadre de ce projet

Norme	Question n°	Réponses aux questions de recherche
CEI 61853-1	1	<p>Q. Les conditions de température et d'éclairage énergétique dans la norme CEI 61853-1 sont-elles suffisantes pour un climat canadien? Doit-on ajouter ou enlever des points pour mieux représenter le climat canadien?</p> <p>A. Certains des points de fonctionnement dans cette norme ne se produiront jamais dans un climat canadien et, puisque la norme ne tient compte que des points de fonctionnement présentant une température du module supérieure à 15 °C, de nombreux lieux canadiens ne sont pas représentés. On recommande des points de fonctionnement supplémentaires à 5 °C.</p>
	2	<p>Q. La procédure 3 (la nouvelle procédure) produit-elle des résultats compatibles avec les autres procédures établies?</p> <p>A. Non. Contrairement à la norme CEI 60904-1, qui éclaire les procédures de cette norme, la procédure en lumière naturelle du soleil sans dispositif de suivi n'incorpore aucun mécanisme pour garantir que la température de la surface arrière du module est représentative de la température de la cellule. Cela introduit une grande variabilité et une grande possibilité d'erreur. On recommande que cette procédure soit retirée jusqu'à ce que le problème soit corrigé.</p>
CEI 61853-2	3	<p>Q. Les procédures intérieure et extérieure d'IAM sont-elles compatibles?</p> <p>A. Oui. On a constaté une bonne compatibilité lors de l'utilisation d'appareils d'éclairage énergétique fondés sur des cellules photovoltaïques. De légers écarts entre des journées successives d'essais à l'extérieur ont été constatés lors de l'utilisation d'un pyranomètre à thermopile. L'incidence de cette observation sur la procédure d'essai n'est pas concluante parce que les essais ont eu lieu sur une journée complète</p>

		plutôt que pendant une heure aux environs du midi solaire.
	4	<p>Q. A-t-on besoin d’autres conseils quant au type de capteur utilisé pour mesurer l’IAM?</p> <p>A. Il serait bénéfique que la norme décrive exactement comment utiliser l’IAM d’un capteur d’éclairage énergétique dans la procédure de calcul.</p>
	5	<p>Q. La procédure visant à déterminer le modèle thermique du module est-elle réalisable et fait-elle l’objet de conseils suffisants dans la norme?</p> <p>A. La procédure exige beaucoup de travail, en particulier parce qu’elle a des répercussions allant au-delà de la norme CEI 61853. La norme CEI 61215 s’appuie maintenant sur la norme CEI 61853-2 pour la procédure d’établissement de la température de fonctionnement nominale des modules (<i>nominal module operating temperature</i> – NMOT).</p>
CEI 61853-3 et 61853-4	6	<p>Q. Puisque la cote CSER est un rapport de rendement, la procédure de la norme CEI 61853-3 est-elle compatible avec les prévisions des logiciels standards de l’industrie comme PVSyst? Est-elle compatible avec les données du monde réel?</p> <p>A. Oui, on a démontré une compatibilité suffisante dans les deux cas.</p>
	7	<p>Q. La norme offre-t-elle suffisamment de conseils pour réaliser la procédure de calcul?</p> <p>A. Oui. On a formulé des commentaires à la CEI sur des changements supplémentaires à la norme. La plupart des commentaires ont été acceptés et les auteurs sont d’avis que la procédure mise à jour offre suffisamment de conseils.</p>
	8	<p>Q. Quelle est l’incidence des corrections d’IAM et de spectre?</p> <p>A. Selon l’emplacement et la réponse spectrale du module, l’effet des corrections d’IAM et de spectre peut varier de négligeable à entre 5 et 6 % (chacun) de changement dans la cote CSER. Il est important que les deux corrections soient prises en compte dans la norme parce que les conditions climatiques de différentes régions géographiques introduisent d’importants écarts dans la valeur de la cote CSER.</p>

	9	<p>Q. À quel point les profils climatiques choisis sont-ils différents?</p> <p>A. Les fichiers de données climatiques originaux qui ont été explorés dans le cadre de ces travaux n’étaient pas suffisamment différents les uns des autres. Toutefois, la dernière ébauche a mis à jour et amélioré les fichiers de données climatiques de sorte qu’ils sont maintenant suffisamment différents les uns des autres et, par conséquent, plus représentatifs du climat mondial.</p>
	10	<p>Q. Les fichiers de données climatiques actuels représentent-ils suffisamment le climat canadien? Comment pourrait-on incorporer un fichier de données climatiques canadiennes dans la norme?</p> <p>A. Les auteurs sont d’avis que les ensembles de données climatiques originaux explorés dans le cadre de cette étude représentaient suffisamment le climat canadien (aussi bien qu’on puisse l’espérer compte tenu qu’on entend représenter les différentes régions climatiques du monde entier au moyen de 6 fichiers de données). Les fichiers de données climatiques ont depuis été mis à jour de manière à inclure un emplacement canadien. Les auteurs sont d’avis que les fichiers de données mis à jour représentent toujours suffisamment le climat canadien.</p>
CSA 107.1 CSA 257 IEEE 1547 UL 1741	11	<p>Q. Y a-t-il des enjeux notables liés aux émissions de courant harmonique susceptibles de se produire en dehors des points de fonctionnement pris en compte dans ces normes (possiblement attribuables à des conditions transitoires ou de faible éclairage énergétique)?</p> <p>A. Oui. Dans les normes actuelles, il est possible pour un onduleur de respecter les exigences tout en présentant des niveaux potentiellement problématiques d’émission de courant harmonique pendant les points de fonctionnement à basse tension. On recommande que les normes comprennent également des limites d’émissions de courant harmonique particulières lors du fonctionnement à basse tension (par exemple, à 10 % de la charge nominale).</p>

5.0 CONCLUSION

Ce rapport résume les travaux qui ont été réalisés entre 2012 et 2016 par la TRCA en vertu de l'accord de financement de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation de RNCAN intitulé « RENE092 – Norme d'essai de rendement énergétique Kortright ». Le projet avait pour objectif de réaliser des recherches préliminaires pour éclairer l'élaboration de normes photovoltaïques dans deux domaines différents : la cote de rendement des modules photovoltaïques et les interconnexions réseau des onduleurs photovoltaïques.

La série de normes CEI 61853 offre des avantages considérables par rapport aux cotes de rendement conventionnelles des modules photovoltaïques dans les conditions normales d'essai (*Standard Test Conditions* – STC) puisqu'elle offre une cote liée au rendement attendu dans le monde réel. Elle consiste en quatre parties. Les parties 1 et 2 portent sur les procédures de caractérisation élargie des modules et sont déjà publiées. Les parties 3 et 4 portent sur les ensembles de données climatiques et les procédures de calcul nécessaires pour déterminer la cote du module, appelée Cote énergétique en fonction du climat (*Climate Specific Energy Rating* – CSER). Les parties 3 et 4 ne sont pas encore publiées mais approchent la fin de l'étape de l'ébauche du comité (*committee draft* – CD) à la CEI.

Ce projet comprenait de nombreuses tâches appuyant l'élaboration de la norme CEI 61853. En gros, la série complète de normes a été mise en œuvre et, dans le cadre de ce processus, on a acquis de l'expérience et des données pour appuyer la préparation et l'amélioration des normes. Même si une grande partie des recherches a été publiée dans des rapports accessibles au public sur la page Web du STEP, les principaux extraits des travaux étaient des formulaires de commentaires présentés à la CEI en ce qui concerne des révisions proposées – dont beaucoup ont déjà été incorporées dans les normes. Certaines des procédures de la norme CEI 61853 se sont avérées suffisantes alors que d'autres doivent être retravaillées.

Ce projet portait également sur une composante très précise des interconnexions réseau des onduleurs photovoltaïques, soit les émissions de courant harmonique. Les émissions de courant harmonique actuelles émanent de nombreuses sources, y compris les onduleurs photovoltaïques, et peuvent nuire à l'équipement électronique. Pour cette raison, les normes au niveau de la composante et au niveau du service public prévoient des exigences en matière d'émissions maximales permises par les onduleurs photovoltaïques ou les installations photovoltaïques. Le présent projet a utilisé la surveillance à long terme de la qualité de l'alimentation électrique pour étudier ces exigences par rapport à l'éventail de conditions qui se présente lors d'une utilisation dans le monde réel. Le projet a révélé que le fonctionnement à très faible tension n'est pas pris en compte dans les normes, mais devrait sans doute l'être parce que ces conditions se produisent souvent et qu'une quantité importante d'émissions de courant harmonique a été observée à faible tension dans certains cas anecdotiques. Toutefois, les auteurs font remarquer qu'il s'agit d'un problème facilement rectifiable et qu'il ne s'agit pas d'un obstacle important à une plus grande pénétration des systèmes photovoltaïques dans les systèmes d'alimentation électrique.

6.0 PROCHAINES ÉTAPES

- Puisque les normes CEI 61853-3 et 61853-4 en sont toujours à l'étape de l'ébauche du comité, les commentaires découlant de ce projet ont déjà été présentés et incorporés à ces normes. Pour l'instant, aucun autre travail de suivi n'est nécessaire eu égard aux conclusions de ce projet.
- De nombreux commentaires ont été présentés à la CEI en ce qui concerne la procédure relative au modèle thermique du module de la norme CEI 61853-2. Plusieurs raffinements à la norme sont nécessaires, en particulier puisque la norme CEI 61215-2 fait maintenant référence à cette norme pour une partie de la procédure d'établissement de la température de fonctionnement nominale des modules (*nominal module operating temperature* – NMOT).
- La procédure de la norme CEI 61853-1 pour utilisation en lumière naturelle du soleil sans dispositif de suivi doit être raffinée. Dans sa formulation actuelle, en raison de conseils limités, elle produira des résultats erronés.
- Des conditions supplémentaires de fonctionnement à 5 °C doivent être ajoutées à la matrice de puissance de la norme CEI 61853-1.
- La norme CAN/CSA-C22.2 NO. 107.1-01 doit être révisée de manière à inclure un point de fonctionnement à faible tension (de l'ordre de 10 % ou moins de la capacité nominale de l'onduleur) dans les exigences actuelles relatives aux émissions de courant harmonique.