

PV PERFORM MOD

Menu d'aide



Version 1.1
2016

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada
représentée par le Ministre des Ressources
naturelles du Canada, 2016

Préparé par :
CanmetÉNERGIE-Varenes

Novembre 2016

Mise en garde

Ressources naturelles Canada et ses employés ne font aucune garantie, formelle ou tacite, et n'assument aucune responsabilité légale ou autre à l'égard de l'exactitude ou de l'exhaustivité du contenu de ce document. Ressources naturelles Canada ne pourra être tenu responsable dans toute cause résultant d'une négligence ou de toute autre faute commise dans l'utilisation des informations contenues dans ce document.

Droit d'auteur

Le contenu du présent document peuvent être reproduites, en totalité ou en partie, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit, à des fins personnelles ou non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

Nous demandons aux utilisateurs de :

- faire preuve d'une diligence raisonnable en s'assurant de l'exactitude des documents copiés;
- indiquer le titre complet du matériel reproduit et l'organisation qui en est l'auteur;
- indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada (RNCa) et que la reproduction n'a pas été faite en association avec RNCa.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales est interdite, sauf avec la permission écrite de RNCa. Pour plus de renseignements, contactez RNCa à l'adresse copyright.droitdauteur@nrcan-rncan.gc.ca.

Table des matières

1.	Introduction	1
1.1.	Onglets <i>Modèle</i> et <i>Analyse</i>	2
1.2.	Données du système PV requises	2
1.3.	Méthodologie.....	2
2.	Menu.....	3
2.1.	Fichier	3
2.2.	Barre d'accès rapide	4
3.	Zoom sur les graphiques	5
4.	Onglet Modèle	7
4.1.	Système PV	7
4.1.1.	Paramètres	7
4.1.2.	Chargement des données	9
4.1.3.	Recalculer	10
4.2.	Visualisation des données	10
4.3.	Modèle.....	11
4.3.1.	Nettoyage des données	11
4.3.2.	Modèle de la puissance électrique alternative	13
5.	Onglet Analyse.....	15
5.1.	Chargement des données	15
5.2.	Visualisation des données	16
5.3.	Analyse	16
5.3.1.	Modèle de puissance électrique alternative et données fautives.....	16
5.3.2.	Rapport de performance.....	17
5.3.3.	Rapport de performance supérieur à 100 %	18

Liste des figures

Figure 1 : Onglet Fichier	3
Figure 2 : Barre d'accès rapide : boutons enregistrer et ouvrir	4
Figure 3 : Exemple de zoom pour un nuage de points.....	5
Figure 4 : Exemple de zoom pour une droite	6
Figure 5 : Section Système PV	7
Figure 6 : Paramètres du système PV.....	8
Figure 7 : Exemple d'un fichier au format .csv contenant les données à charger	9
Figure 8 : Exemple d'un fichier Excel contenant les données à charger	10
Figure 9 : Section de la visualisation des données.....	10
Figure 10 : Section Modélisation	11
Figure 11 : Données nettoyées	13
Figure 12 : Modèle de la puissance électrique alternative.....	14
Figure 13 : Bouton de chargement des données (<i>Importer données</i>)	15
Figure 14 : Visualisation des données	16
Figure 15 : Section Analyse.....	16
Figure 16 : Écran du Rapport de performance	18

1. Introduction

L'outil logiciel exécute une procédure automatique pour détecter les fautes des systèmes photovoltaïques (PV). Les fautes sont définies comme étant les périodes où la production de d'électricité est anormalement basse : le système produit moins d'électricité que ce qu'il devrait produire étant donné ses conditions d'opération – irradiation solaire et température des panneaux PV.

La procédure de détection de fautes consiste à comparer la production de courant alternatif du système PV à la production du système attendue dans des conditions d'opération normales (sans fautes). Des différences considérables, selon des limites d'opération normales préétablies, entre ces deux valeurs constituent des fautes.

La production normale d'électricité est établie par un modèle qui calcule la puissance électrique alternative attendue du courant produit par le système PV. Le modèle est constitué d'une équation qui tient compte de l'irradiation solaire et de la température des panneaux PV.

Le rapport de performance (RP) est calculé automatiquement par l'outil logiciel. Le RP évalue l'efficacité du système PV en comparant sa production d'électricité réelle à sa production idéale. Le RP se marie bien à l'approche de détection de fautes par modèle, puisqu'il évalue la performance à long terme du système PV.

La procédure de détection de fautes suit les étapes suivantes:

1. nettoyage des données avant le développement du modèle – suppression des données qui ne sont pas représentatives d'une opération normale du système PV
2. développement du modèle prédisant la puissance électrique alternative du courant produit par le système en condition d'opération sans fautes
3. calcul des limites normales du système PV
4. détection des fautes

1.1. Onglets *Modèle* et *Analyse*

L'onglet **Modèle** du logiciel permet à l'utilisateur de définir les caractéristiques du système PV, charger un fichier contenant les mesures du système PV, visualiser ces mesures, nettoyer automatiquement les données, développer un modèle permettant de prédire la production de courant alternatif du système PV et calculer les limites d'opération normale.

L'onglet **Analyse** du logiciel permet à l'utilisateur de charger un fichier contenant des nouvelles mesures du même système PV utilisé dans le développement du modèle et d'analyser les performances du système PV à l'aide du modèle et des limites d'opération normale calculées dans l'onglet *Modèle*. Les mesures de courant alternatif que le modèle reconnaît comme des fautes sont automatiquement repérées. Le rapport de performance du système PV est aussi calculé automatiquement dans l'onglet *Analyse*.

1.2. Données du système PV requises

Les données suivantes sont requises pour mener à la détection de fautes :

- puissance électrique alternative (kW)
- irradiation solaire dans le plan du système PV (W/m²)
- température des panneaux PV (°C)

La puissance électrique continue nominale (kW) est nécessaire pour calculer le rapport de performance.

Il est important que les unités de mesure (indiquées entre parenthèses) soient respectées.

1.3. Méthodologie

Même si certains calculs sont décrits dans ce document d'aide, veuillez vous référer au document *Méthodologie* pour obtenir une description complète du nettoyage des données, du développement du modèle de la puissance électrique alternative du courant produit par le système PV, du calcul des limites d'opération normales ou du calcul du rapport de performance.

2. Menu

2.1. Fichier

L'onglet **Fichier** du menu est présenté dans la Figure 1. Cet onglet permet à l'utilisateur de :

- enregistrer le projet en cours (1)
- ouvrir un fichier existant (2)
- exporter les résultats des calculs (3)
- accéder au fichier d'aide (4)

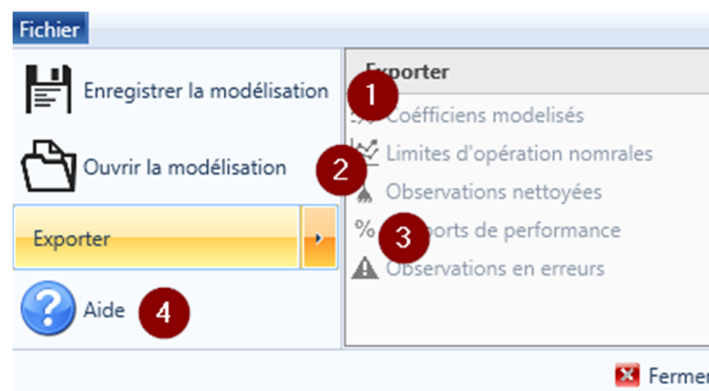


Figure 1 : Onglet Fichier

Le projet est enregistré dans un répertoire par défaut. Pour enregistrer un projet à un autre emplacement, sélectionnez un autre répertoire dans la liste des répertoires. Les fichiers de projets sont enregistrés au format *.afd*. Un projet déjà enregistré peut être chargé avec l'option **Ouvrir**.

Les résultats de calculs suivants peuvent être exportés en fichiers *.csv* pour être utilisés par un autre programme :

- coefficients du modèle prédisant la puissance électrique alternative
- limites d'opération normales
- données nettoyées

- données fautives
- rapports de performance

2.2. Barre d'accès rapide

La Figure 2 montre la **Barre d'accès rapide**. Celle-ci permet à l'utilisateur de :

- enregistrer le projet (1)
- ouvrir un projet existant (2)

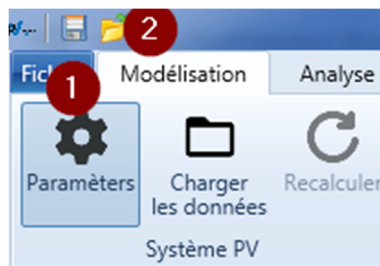




Figure 2 : Barre d'accès rapide : boutons enregistrer et ouvrir

3. Zoom sur les graphiques

Dans le cas des nuages de points (voir exemple dans la Figure 3), il y a 4 manières différentes d'effectuer un zoom :

1. sélectionner le carré blanc  et glissez-le pour effectuer un zoom de l'axe des x (1)
2. sélectionner le carré blanc  et glissez-le pour effectuer un zoom de l'axe des y (2)
3. cliquer avec le bouton gauche de la souris et le maintenir enfoncé, et glisser, à droite ou à gauche du graphique, pour sélectionner la zone à agrandir (3)
4. pointer une zone du graphique avec la souris et faites tourner la roulette de la souris pour agrandir ou rétrécir le zoom (4)

Afin de voir les valeurs numériques d'un point en particulier, positionnez le curseur de la souris sur le point en question. Les valeurs numériques associées à ce point seront affichées sous la légende du graphique (5).

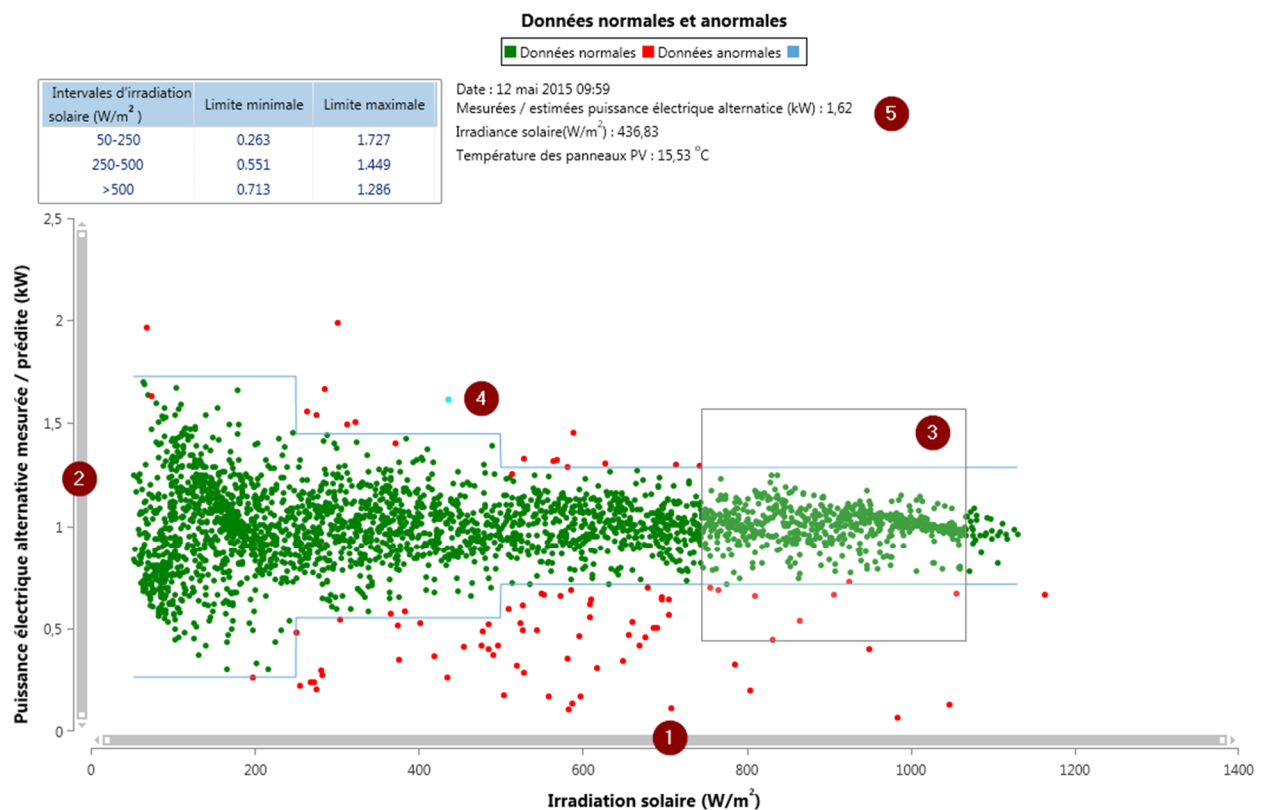



Figure 3 : Exemple de zoom pour un nuage de points

Dans le cas d'un graphique (voir exemple Figure 4), il y a 3 manières différentes d'effectuer un zoom :

1. sélectionnez le carré blanc  et glissez-le pour effectuer un zoom de l'axe des x (1)
2. cliquer avec le bouton gauche de la souris et le maintenir enfoncé, et glissez, à droite ou à gauche du graphique, pour sélectionner la zone à agrandir (2)
3. pointez une zone du graphique avec la souris et faites tourner la roulette de la souris pour agrandir ou rétrécir le zoom

Afin de voir les valeurs numériques d'un point en particulier, positionnez le curseur de la souris sur le point en question. Les valeurs numériques associées à ce point seront affichées sous la légende du graphique (3).

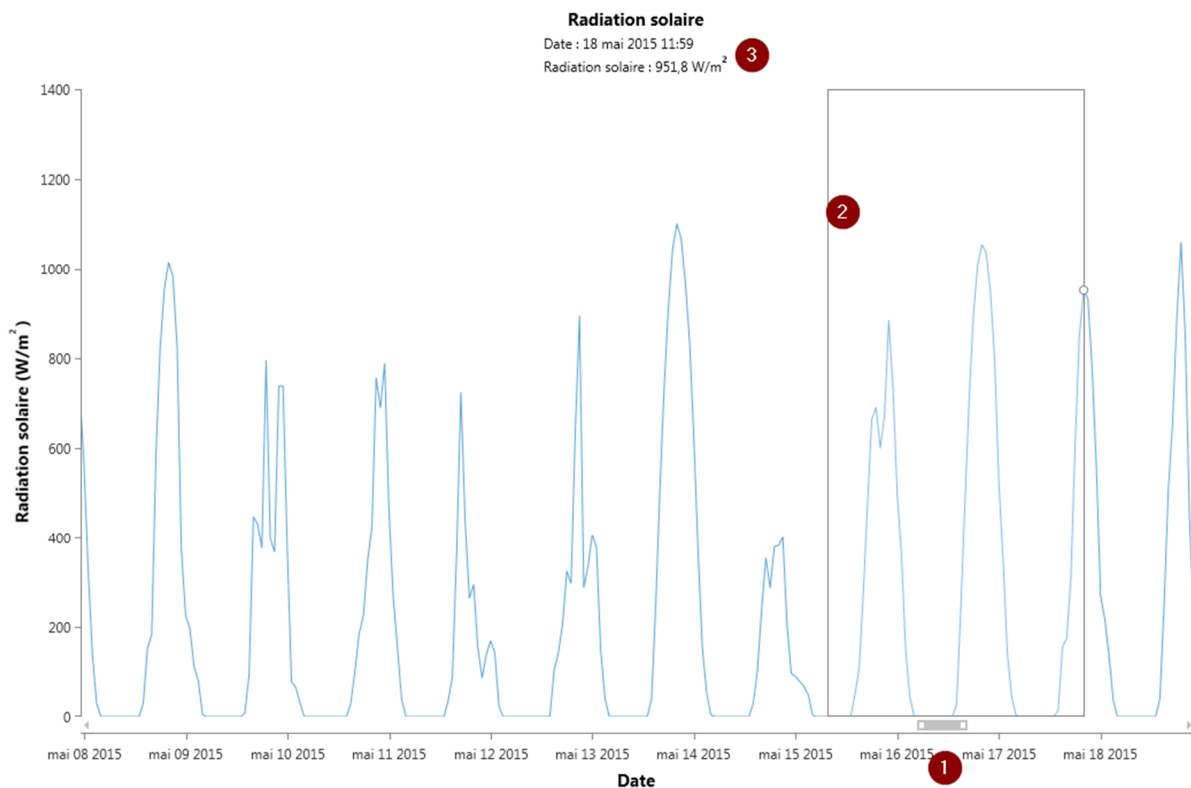


Figure 4 : Exemple de zoom pour une droite

4. Onglet Modèle

L'onglet **Modèle** permet à l'utilisateur de :

- spécifier les caractéristiques du système PV à analyser
- charger un fichier contenant les mesures du système PV
- visualiser ces mesures
- développer automatiquement le modèle de détection de fautes

4.1. Système PV

La section *Système PV* permet à l'utilisateur de :

- spécifier les caractéristiques du système PV à analyser
- charger un fichier contenant les mesures du système PV
- effectuer des nouveaux calculs sur les données déjà chargées



Figure 5 : Section Système PV

4.1.1. Paramètres

L'utilisateur peut spécifier les paramètres suivants, tel qu'illustré à la Figure 6 :

- type de système PV (1)
- température maximale des panneaux PV (2)
- puissance électrique alternative maximale du système PV (3)
- relation linéaire minimale entre l'irradiation et la puissance électrique alternative (4)
- langue de l'interface de l'outil logiciel (5)

Paramètres | Charger les données | Recalculer

Irradiation solaire vs puissance électrique alternative | Irradiation solaire | Puissance électrique alternative | Température des panneaux PV | Nettoyage des données | Moyenne de la puissance

PV PERFORM MOD

Type de système PV: **Système PV monté** **1**

Température maximale des panneaux PV (°C): **60** **2**

Puissance électrique alternative maximale (kW): **100** **3**

Valeur minimale de la linéarité irradiation - puissance: **70 %** **4**

Langue: **Français** **5**

Figure 6 : Paramètres du système PV

Type de système PV

L'utilisateur peut choisir entre un système PV monté sur support ou intégré au bâtiment.

Température maximale du panneau PV (°C)

Les valeurs par défaut de la température maximale du panneau PV sont de 60 °C pour les systèmes montés sur support et de 90 °C pour les systèmes intégrés aux bâtiments. L'utilisateur peut modifier ces valeurs. Ces valeurs de températures sont utilisées dans le procédé de nettoyage des données visant à supprimer les températures du panneau PV anormalement élevées.

Puissance électrique alternative maximale (kW)

La valeur de la puissance électrique alternative maximale du système PV est utilisée dans le nettoyage des données afin de supprimer les puissances électriques anormalement élevées. Cette valeur maximale doit être spécifiée par l'utilisateur.

Relation linéaire minimale entre l'irradiation et la puissance électrique

La relation linéaire minimale entre l'irradiation solaire et la puissance électrique alternative est utilisée dans le nettoyage des données pour repérer les mesures qui ne correspondent pas aux conditions d'opération normales. Dans des conditions d'opération normales, il y a une relation linéaire forte entre l'irradiation et la puissance. Par défaut, cette valeur minimale est de 70 %, mais l'utilisateur peut la modifier. Les données dont la relation linéaire entre irradiation et puissance est inférieure à cette valeur ne seront pas utilisées dans le développement du modèle, et un message d'avertissement apparaîtra à l'écran. Réduire cette valeur peut nuire à la précision des modèles développés. Il est donc recommandé de maintenir cette valeur au-delà de 70 %.

4.1.2. Chargement des données

L'utilisateur sélectionne un fichier qui contient les mesures du système PV afin de commencer l'analyse du système PV. Le fichier doit contenir les mesures de puissance électrique alternative, les mesures de l'irradiation solaire dans le plan du système PV et les mesures de température des panneaux PV.

Le fichier doit répondre aux exigences suivantes (voir les exemples des Figures 7 et 8) :

- doit être un fichier .csv ou un fichier Excel
- dans le cas d'un fichier .csv, le contenu doit être séparé par des « ; »
- dans le cas d'un fichier Excel, le fichier ne doit avoir qu'un seul onglet
- les entêtes doivent contenir les champs « DateTime », « ACProduction », « SolarIrradiance » et « SensorTemperature » (*l'ordre n'est pas important*)
- la date et le temps doivent respecter le format « mm/jj/aaaa hh:mm »

```
DateTime;ACProduction;SolarIrradiance;SensorTemperature
01/08/2014 00:00;;0;17.7
01/08/2014 00:10;0;0;17.6
01/08/2014 00:20;0;0;17.5
01/08/2014 00:30;0;0;17.3
01/08/2014 00:40;0;0;17.2
```

Figure 7 : Exemple d'un fichier au format .csv contenant les données à charger

	A	B	C	D
1	DateTime	ACProduction	SolarIrradiance	SensorTemperature
2	2014-08-01 07:00	18.08	152.17	20.38
3	2014-08-01 08:00	45.07	359.17	29.07
4	2014-08-01 09:00	69.42	569.00	37.65
5	2014-08-01 10:00	85.34	748.00	44.83
6	2014-08-01 11:00	79.55	811.33	45.95

Figure 8 : Exemple d'un fichier Excel contenant les données à charger

4.1.3. Recalculer

Cette option permet à l'utilisateur de modifier les valeurs de la section Paramètres et d'effectuer une nouvelle fois les calculs sur les données déjà chargées.

4.2. Visualisation des données

La section *Visualisation des données* (voir Figure 9) permet à l'utilisateur de visualiser les données contenues dans le fichier chargé. Un graphique associant la puissance électrique alternative à l'irradiation solaire peut être affiché, ainsi que des graphiques montrant l'irradiation solaire, la puissance électrique alternative et la température des panneaux PV.



Figure 9 : Section de la visualisation des données

4.3. Modèle

La section *Modèle* permet à l'utilisateur de :

1. nettoyer automatiquement les données – supprimer les mesures qui ne sont pas représentatives des conditions d'opération normales du système PV
2. développer un modèle prédisant la puissance électrique alternative du système PV
3. calculer les limites d'opération normales

Ces opérations doivent être effectuées dans l'ordre établi plus haut. Les données doivent d'abord être nettoyées avant que le modèle puisse être développé. Ensuite, les limites d'opération normales peuvent être calculées. L'utilisateur peut effectuer chaque opération en cliquant sur le bouton correspondant. Les options de la section *Modèle* sont présentées à la Figure 10.



Figure 10 : Section Modélisation

Les données nettoyées, les coefficients du modèle prédisant la puissance électrique alternative dans des conditions d'opération normales et les limites d'opération normales du système PV peuvent être exportées vers un fichier .csv (voir Section 2.1 Fichiers pour plus de renseignements).

4.3.1. Nettoyage des données

Cette fonctionnalité repère automatiquement les mesures qui ne sont pas représentatives des conditions d'opération normales du système PV. Les étapes du nettoyage des données sont les suivantes :

- les mesures sont pondérées par heure
- les mesures correspondant à une température du panneau PV supérieure à la valeur spécifiée dans la section *Paramètres* sont supprimées
- les mesures correspondant à une puissance électrique alternative supérieure à la valeur spécifiée dans la section *Paramètres* sont supprimées

- les mesures correspondant à une irradiation solaire supérieure à $1,300 \text{ W/m}^2$ sont supprimées (dans l'espace, l'irradiation solaire maximale, avant d'entrer dans l'atmosphère de la Terre, est légèrement supérieure à $1,300 \text{ W/m}^2$)
- les mesures correspondant à une irradiation solaire inférieure à 50 W/m^2 sont supprimées, car la précision des instruments de mesure est considérablement réduite à des niveaux de rayonnement solaire très bas
- la relation linéaire entre l'irradiation solaire et la puissance électrique alternative est utilisée pour repérer les mesures qui sont représentatives des conditions d'opération normales. On considère que les mesures près de la droite exprimant cette relation linéaire sont représentatives des conditions d'opération normales. La relation linéaire est établie par le facteur R^2 . Une valeur R^2 de 100 % indique une relation linéaire parfaite

En raison de leurs caractéristiques techniques, l'efficacité des systèmes PV dépend des niveaux d'intensité du rayonnement solaire. À des niveaux d'irradiation bas (généralement inférieurs à 300 W/m^2), l'efficacité est faible. L'efficacité augmente avec de plus grands niveaux de rayonnement solaire, demeure relativement stable jusqu'à que l'irradiation atteigne des valeurs plus élevées, et diminue légèrement quand l'irradiation dépasse un certain niveau. Pour représenter le fonctionnement du système PV d'une manière plus précise, la procédure de nettoyage des données est effectuée pour les intervalles d'irradiation suivantes : 50-250, 250-500 et au-delà de 500 W/m^2 .

Les mesures sont représentées sur un graphique associant la puissance électrique alternative à l'irradiation solaire. Les données correspondant à des conditions d'opération normales sont en vert, alors que les données correspondant à des conditions d'opération anormales sont en rouge. On y retrouve les valeurs des facteurs R^2 des données originales et des données nettoyées, ainsi que le nombre de mesures supprimées de l'ensemble de données original pendant le nettoyage des données (voir Figure 11).

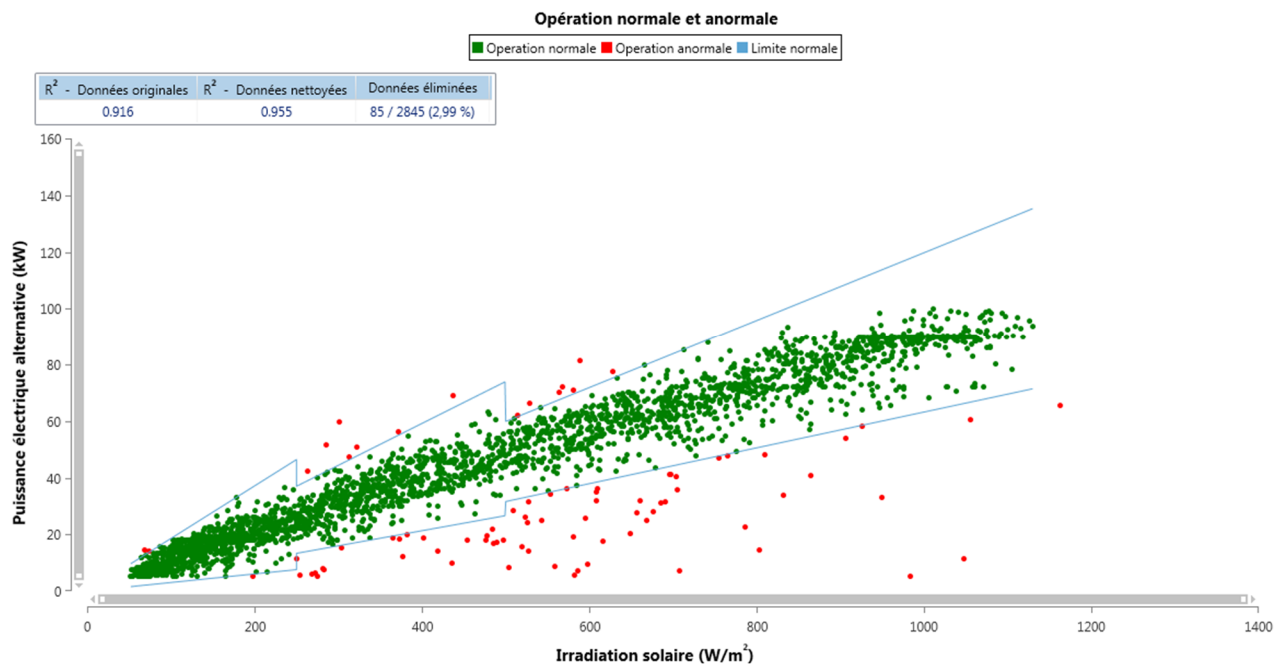


Figure 11 : Données nettoyées

4.3.2. Modèle de la puissance électrique alternative

Les données nettoyées sont utilisées pour développer le modèle permettant de prédire la puissance électrique alternative du courant produit par le système PV dans des conditions d'opération normales. Le modèle est basé sur une approche paramétrique de modélisation de système PV qui calcule la puissance par l'équation suivante :

$$P_{CA} = Irrad. \times [a_1 + a_2 Irrad. + a_3 \log(Irrad.)] \times [1 + a_4 (T_{module} - 25)]$$

où P_{CA} = puissance électrique alternative (W)

$Irrad.$ = irradiation solaire (W/m^2)

T_{module} = température des panneaux PV ($^{\circ}C$)

a_1, a_2, a_3 et a_4 = paramètres calculés afin que les résultats du modèle soient le plus près possible des données mesurées

Des modèles ont été développés pour les intervalles d'irradiation suivantes : 50-250, 250-500 et au-delà de 500 W/m^2 . Les modèles développés pour ces niveaux d'irradiation sont plus précis qu'un modèle global qui décrit toute l'étendue d'irradiation.

Un graphique montre la puissance électrique alternative mesurée et alternatif prédite par le modèle. Pour chaque niveau d'irradiation solaire on peut aussi y voir les coefficients des

modèles et les erreurs de chaque modèle. Il peut exister des périodes de temps pour lesquelles il n'y a aucune valeur de production d'électricité. Ces périodes correspondent aux mesures supprimées pendant le nettoyage des données (voir Figure 12).

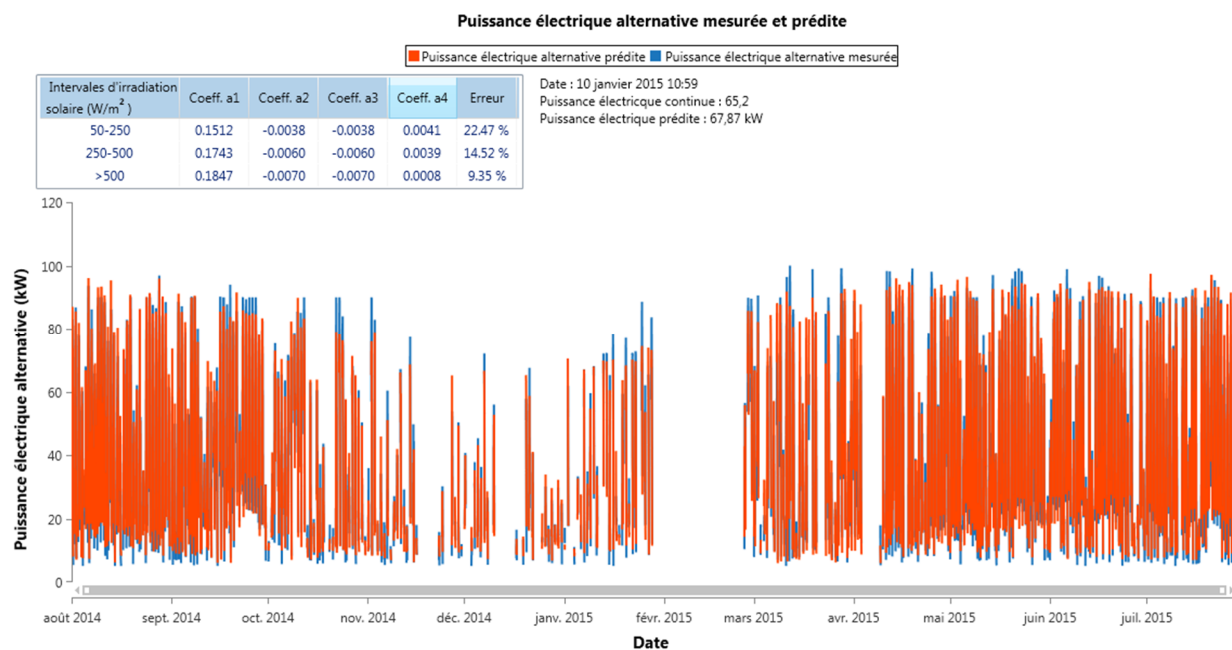


Figure 12 : Modèle de la puissance électrique alternative

5. Onglet Analyse

L'onglet **Analyse** du logiciel permet à l'utilisateur de charger un fichier contenant des mesures provenant du même système PV qui a été utilisé dans l'onglet *Modélisation*. Le modèle et les limites d'opération normale calculées dans l'onglet *Modélisation* sont appliquées aux nouvelles données afin d'identifier des fautes et d'évaluer la performance du système PV.

5.1. Chargement des données

L'utilisateur sélectionne un fichier qui contient les mesures du système PV en utilisant le bouton « Chargement des données » (voir Figure 13).

Le fichier doit répondre aux mêmes exigences que celles spécifiées pour la section **Modèle** :

- doit être un fichier .csv ou un fichier Excel
- dans le cas d'un fichier .csv, le contenu doit être séparé par des « ; »
- dans le cas d'un fichier Excel, le fichier ne doit avoir qu'une seule feuille
- les entêtes doivent contenir les champs « DateTime », « ACProduction », « SolarIrradiance » et « SensorTemperature » (*l'ordre n'est pas important*)
- la date et le temps doivent respecter le format « mm/jj/aaaa hh:mm »

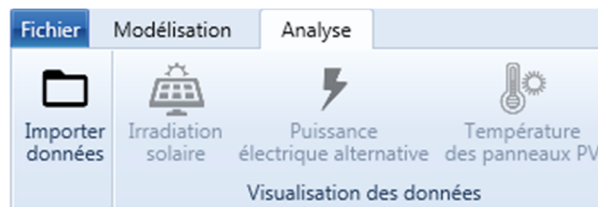


Figure 13 : Bouton de chargement des données (*Importer données*)

5.2. Visualisation des données

Cette option permet à l'utilisateur de visualiser les données contenues dans le fichier chargé. Des graphiques présentant l'irradiation solaire, la puissance électrique alternative et la température des panneaux PV peuvent être affichés. La Figure 14 montre les options de visualisation des données.

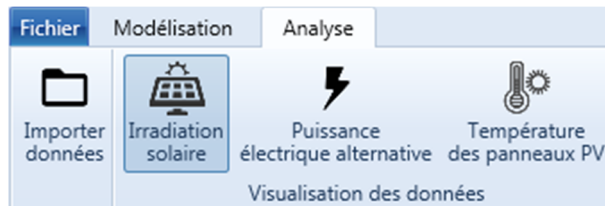


Figure 14 : Visualisation des données

5.3. Analyse

5.3.1. Modèle de puissance électrique alternative et données fautives

Cette fonctionnalité permet à l'utilisateur d'appliquer le modèle de puissance électrique alternative et les limites d'opération normales calculées dans la section *Modèle* aux nouvelles données chargées dans l'onglet *Analyse*. Le modèle de la puissance est automatiquement calculé en cliquant sur le bouton *Modélisation de la puissance électrique alternative*, alors que les données fautives sont repérées en cliquant sur le bouton *Fautes*. Les valeurs de la puissance électrique alternative prédites par le modèle ainsi que les données fautives peuvent être exportées dans un fichier .csv.

La Figure 15 montre les options de la section *Analyse*.



Figure 15 : Section Analyse

5.3.2. Rapport de performance

Le rapport de performance (RP) évalue l'efficacité du système PV en comparant sa production d'électricité réelle à sa production idéale. La production idéale est considérée dans des conditions normales d'essai (STC, *Standard Test Conditions*), c'est-à-dire une irradiation solaire de 1,000 W/m² et une température du module PV de 25 °C – c'est la capacité nominale en courant continu du système. Le RP est calculé sur une période de temps donnée et est utilisé pour évaluer la performance du système au fil du temps. Le RP tient compte de la production d'électricité et de l'énergie solaire captée pendant la période de temps donnée. Le ratio de performance *RP* est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$RP = \frac{\text{Production électrique alternative totale (kWh)}}{\text{Puissance nominale en courant continu (kW) x Insolation totale (Wh/m}^2\text{) / 1 000 (W/m}^2\text{)}}$$

où *Production électrique alternative totale* = énergie électrique alternative (kWh) produite dans la période de temps sur laquelle le rapport de performance est calculé

Puissance nominale en courant continu = puissance de design en courant continu du système PV (kW)

Insolation totale = énergie solaire captée par le système PV dans la période de temps sur laquelle le rapport de performance est calculé (Wh/m²)

Plus la valeur RP s'approche de 1, plus le système s'approche de sa production électrique idéale. Avant que le rapport de performance soit calculé, les étapes suivantes sont automatiquement exécutées par le logiciel:

- les mesures qui correspondent à niveaux d'irradiation inférieurs à 50 W/m² sont supprimées, afin d'éviter l'incertitude des mesures prises à des niveaux de rayonnement solaire faibles
- les mesures qui ont des données manquantes sont supprimées

L'utilisateur définit la période de temps pour laquelle le rapport de performance est calculé. La période minimale recommandée est de 7 jours. L'utilisateur doit spécifier la puissance nominale en courant continu (kW) du système PV.

Pour plus de renseignements, consultez la section *Rapport de performance* du document *Méthodologie*.

La Figure 16 montre l'écran du rapport de performance.

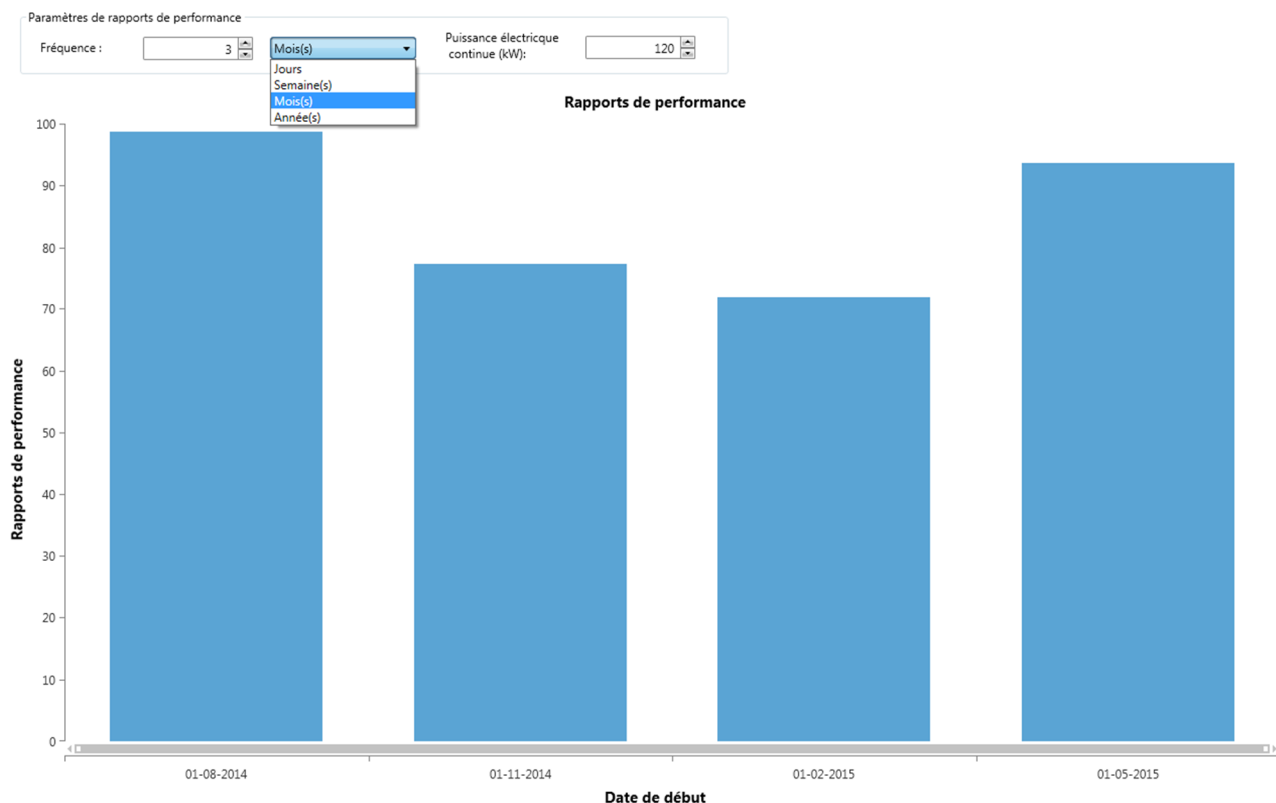


Figure 16 : Écran du Rapport de performance

5.3.3. Rapport de performance supérieur à 100 %

Le rapport de performance ne peut pas dépasser 100 %. Si un tel résultat est obtenu, la cause la plus probable est une mesure erronée de l'irradiation, due à une mauvaise calibration du pyromètre qui sous-estime alors le niveau d'irradiation. Dans ce cas, les données indiquent à tort que la production d'électricité du système PV a lieu à des niveaux de rayonnement solaire inférieurs au niveau de rayonnement réel.