

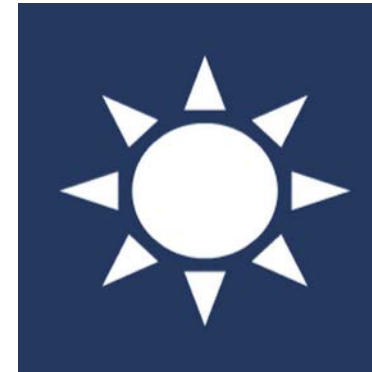
3. Logiciels en énergie

3.2 – *System Advisor Model (SAM), NREL*

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Département de génie mécanique

Valéry J. Bouchard



Plan de la présentation

- Introduction
- Structure et téléchargement
- Modèles de performance
- Modèles financiers
- Outils de simulation
- Fonctionnement
- Exemple

Introduction

- SAM est un modèle technico-économique qui calcule les **performances** et les **paramètres financiers** des **projets d'énergies renouvelables**.
- SAM simule la performance de **l'énergie solaire photovoltaïque (PV)**, **centrale solaire thermodynamique**, du **chauffage solaire de l'eau**, de **l'énergie éolienne**, de **la géothermie** et de la **biomasse**.
- SAM **ne modélise pas** les systèmes d'alimentation **hors réseau** ou les systèmes d'alimentations **hybrides avec plus d'une source de production d'énergie**.

Clientèles cibles

- Développeurs de projets
- «Policy makers»
- Fabricants d'équipements
- Chercheurs

Structure et téléchargement

- SAM est disponible **gratuitement** sous 3 paquets:
<https://sam.nrel.gov>
 - « *Desktop application* »
 - Application complète fournissant une interface utilisateur graphique pour définir les valeurs des entrées, configurer et exécuter des simulations et générer des tableaux et des graphiques des résultats.
 - <https://sam.nrel.gov/download>
 - « *Software Development Kit (SDK)* »
 - Ensemble d'outils permettant aux développeurs de logiciels de créer des applications qui interagissent avec le noyau de simulation SAM (SSC).
 - <https://sam.nrel.gov/sdk>

Structure et téléchargement

– « *Open Sources Repositories* »

- Ensemble des référentiels de code public que NREL utilise pour créer les applications de bureau. Les référentiels sont disponibles pour les utilisateurs SAM qui souhaitent explorer le code pour trouver des équations et des algorithmes pour comprendre le fonctionnement des modèles SAM.

<https://github.com/nrel/sam>

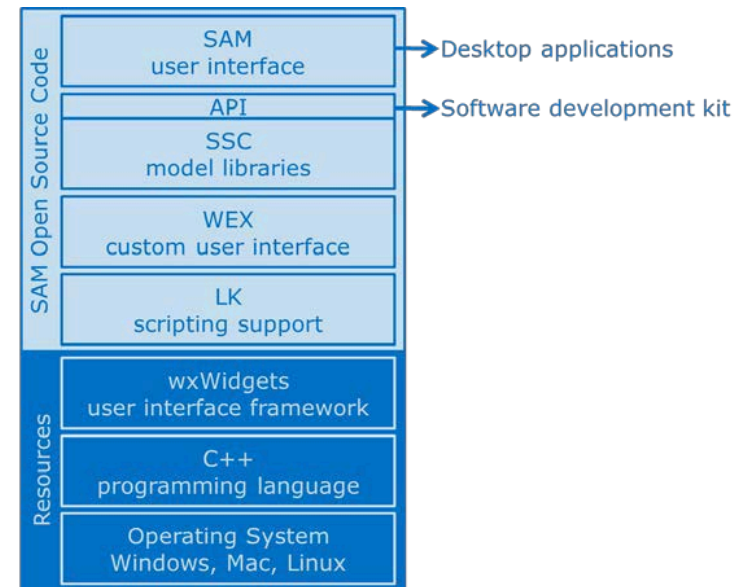


Figure 1. Diagram of SAM's structure

Language

- LK : Language de programmation à multiplateforme simple et rapide écrit en C++.
- Facilement extensible et adaptable aux nouveaux logiciels.
- Automatise la simulation pour le traitement par lots et permettent des analyses plus complexes et la lecture et l'écriture de données à partir de fichiers.
- La fonction SAM Excel Exchange peut également lire les variables d'entrée des feuilles de calcul **Microsoft Excel**.
- Le kit de développement logiciel (SDK) SAM permet d'utiliser des modules de simulation SAM en **C / C ++, C #, Python, MATLAB et d'autres langages**.

Modèles de performance

- SAM (2018.11.11) inclut des modèles de performance pour les technologies suivantes:
 - Photovoltaïque (PV) avec option de stockage par batterie
 - PV à haute concentration
 - « *Concentrated solar power (CSP)* »
 - *parabolic trough*
 - *power tower (molten salt and direct steam)*
 - *linear Fresnel*
 - *integrated solar combined cycle*
 - *dish-Stirling* »

Modèles de performance

- Cuve parabolique de chaleur industrielle et vapeur directe linéaire
- Thermique conventionnelle (un modèle de taux de chaleur simple)
- Chauffage solaire de l'eau pour les bâtiments résidentiels ou commerciaux
- Éolien
- Géothermie et coproduction géothermique
- Biomasse

Modèles financiers

- Utilise la puissance électrique du système calculée par le modèle de performance pour calculer la série des flux de trésorerie annuels.
- Pour la tarification de l'électricité, SAM peut modéliser
 - des tarifs d'achat et de vente simples et forfaitaires;
 - une facturation mensuelle nette;
 - ou des structures tarifaires complexes avec une tarification en fonction du temps d'utilisation et des frais de demande.

Modèles financiers

- Pour ces projets, SAM rapporte les mesures suivantes:
 - « *Levelized cost of energy* »(LCOE)
 - Coût de l'électricité avec et sans système d'énergie renouvelable
 - Économies d'électricité
 - Valeur actuelle nette après impôt
 - Temps de retour sur investissement

Outils de simulation

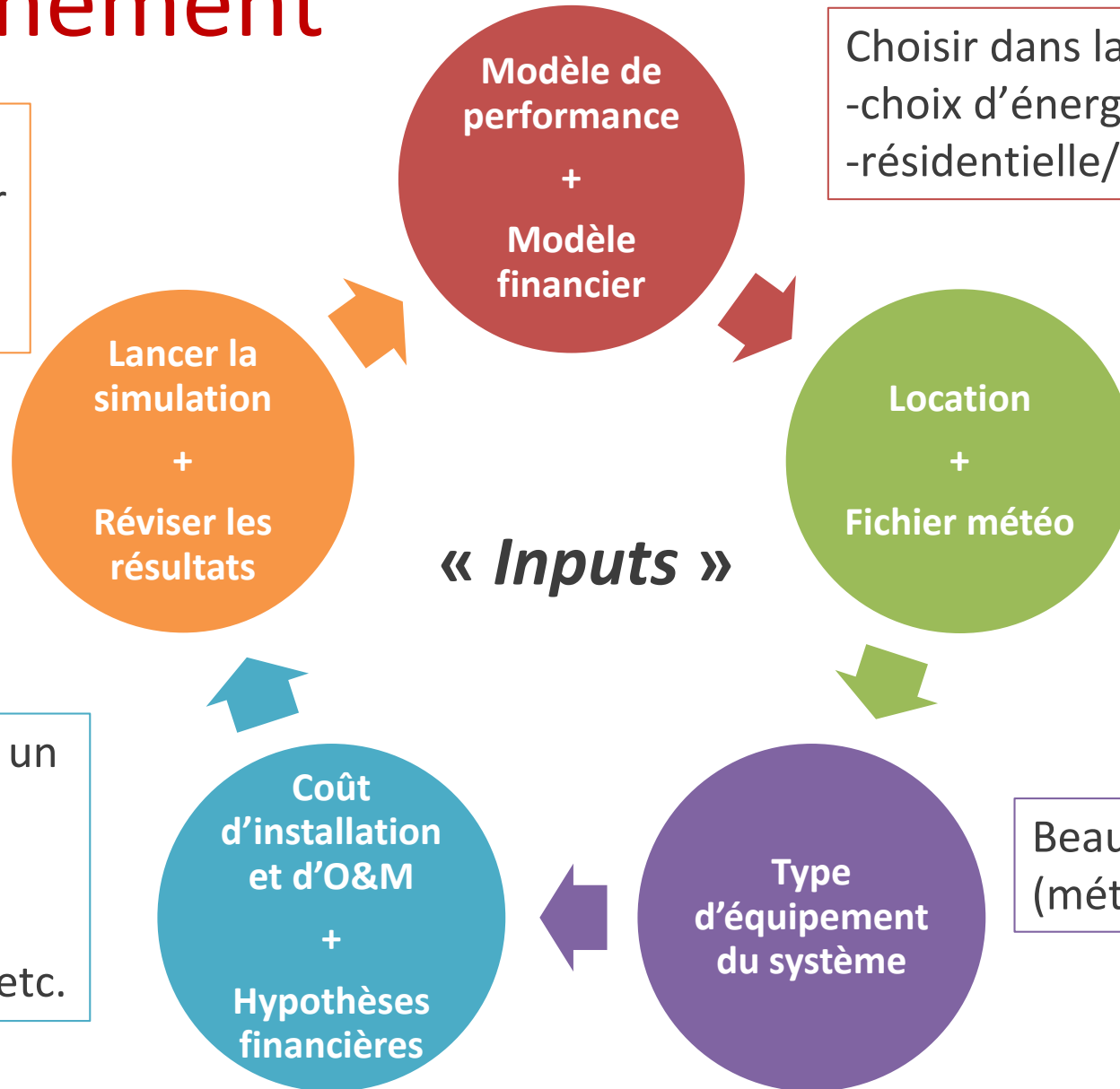
- Permettent de mener des études impliquant plusieurs simulations pour la modélisation **paramétrique** et **stochastique**.
- Pour des analyses qui **étudient** les **impacts** sur les résultats du modèle des **variations** et de l'**incertitude** des hypothèses sur les conditions **météorologiques**, les **performances**, les **coûts** et les **paramètres financiers**.

Outils de simulation

- Analyse paramétrique:
 - Attribuez plusieurs valeurs aux variables d'entrée pour créer des graphiques et des tableaux montrant la valeur des mesures de sortie pour chaque valeur de la variable d'entrée. Utile pour l'optimisation et l'exploration des relations entre les variables d'entrée et les résultats.
- Analyse stochastique:
 - Créez des histogrammes montrant la sensibilité des données de sortie aux variations des valeurs d'entrée. Analyse de probabilité de dépassement.
- Excel Exchange (Windows uniquement):
 - Pour les emplacements avec des données météorologiques disponibles pendant de nombreuses années, calculez la probabilité que la production annuelle totale du système dépasse une certaine valeur.
- LK Script:
 - Écrivez vos propres programmes dans l'interface utilisateur SAM pour contrôler les simulations, modifier les valeurs des variables d'entrée et écrire des données dans des fichiers texte et interagir avec des feuilles de calcul Excel.

Fonctionnement

Si les résultats ne vous conviennent pas, changer les paramètres et recommencer



Choisir dans la librairie
-choix d'énergies renouvelables
-résidentielle/commerciale/etc.

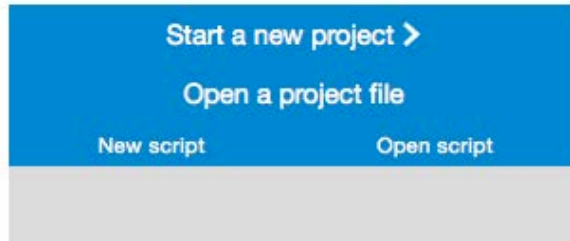
Choisir dans la librairie
ou importer un fichier
(faire attention au format
TMY3,TMY2, CSV, etc.)

Faire attention SAM est un logiciel des É-U.
Beaucoup de modèles financiers américains
taxe, coût d'électricité, etc.

Beaucoup de type et de modèle
(méthode essai/erreur)

Fonctionnement

System Advisor Model 2018



Modèle de performance

Choose a performance model, and then choose from the available financial models.

Photovoltaic (detailed)
Photovoltaic (PVWatts)
High concentration PV
Wind
Biomass combustion
Geothermal
Solar water heating
Generic system
CSP parabolic trough (physical)
CSP parabolic trough (empirical)
CSP power tower molten salt
CSP power tower direct steam
CSP linear Fresnel molten salt
CSP linear Fresnel direct steam
CSP dish Stirling
CSP generic model
CSP integrated solar combined cycle
Process heat parabolic trough
Process heat linear direct steam

Residential (distributed)
Commercial (distributed)
Third party ownership - host
Third party ownership - host/developer
PPA single owner (utility)
PPA partnership flip with debt (utility)
PPA partnership flip without debt (utility)
PPA sale leaseback (utility)
LCOE calculator (FCR method)
No financial model

Modèle financier

Exemple

File Add untitled untitled (1)

Photovoltaic, Commercial

Location and Resource

Module

Inverter

System Design

Shading and Layout

Losses

Lifetime

Battery Storage

System Costs

Financial Parameters

Incentives

Electricity Rates

Electric Load

Solar Resource Library

The Solar Resource library is a list of weather files on your computer. Choose a file from the library and verify the weather data information below.

The default library comes with only a few weather files to help you get started. Use the download tools below to build a library of locations you frequently model. Once you build your library, it is available for all of your work in SAM.

Filter: Name

Name	Latitude	Longitude	Time zone	Elevation	Station ID
daggett_ca_34.865371_-116.783023_psmv3_60_tmy	34.85	-116.78	-8	561	91486
des_moines_ia_41.586835_-93.624959_psmv3_60_tmy	41.57	-93.62	-6	263	757516
fargo_nd_46.9_-96.8_mts1_60_tmy	46.9	-96.8	-6	274	14914
imperial_ca_32.835205_-115.572398_psmv3_60_tmy	32.85	-115.58	-8	-20	72911
phoenix_az_33.450495_-111.983688_psmv3_60_tmy	33.45	-111.98	-7	358	78208

SAM scans the following folders on your computer for valid weather files and adds them to your Solar Resource library. To use weather files stored on your computer, click Add/remove Weather File Folders and add folders containing the files.

/Users/imac_de_anthony/SAM Downloaded Weather Files
/Users/imac_de_anthony/Downloads/CAN_QC_Kuujuuaq.AP.719060_TMYx

Add/remove weather file folders...
Refresh library

Download Weather Files

The NSRDB is a database of thousands of weather files that you can download and add to your solar resource library: Download a default typical-year (TMY) file for most long-term cash flow analyses, or choose files to download for single-year or P50/P90 analyses. See Help for details.

One location Multiple locations Legacy data (advanced)

Type a location name, street address, or latitude and longitude Default TMY file Download and add to library...

[For locations not covered by the NSRDB, click here to go to the SAM website Weather Page for links to other data sources.](#)

Weather Data Information

The following information describes the data in the highlighted weather file from the Solar Resource library above. This is the file SAM will use when you click Simulate.

Weather file [/Applications/SAM.app/Contents/solar_resource/phoenix_az_33.450495_-111.983688_psmv3_60_tmy](#) View data...

- Header Data from Weather File

Station ID	78208	Latitude	33.45	DD	For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.
Data Source	NSRDB	Longitude	-111.98	DD	
Elevation	358 m	Time zone	GMT -7		

- Annual Values Calculated from Weather File Data

Global horizontal	5.79 kWh/m ² /day	Average temperature	21.9 °C	- Optional Data
Direct normal (beam)	7.34 kWh/m ² /day	Average wind speed	1.8 m/s	Maximum snow depth
Diffuse horizontal	1.35 kWh/m ² /day			Annual albedo

*NaN indicates missing data. Annual albedo: 0.183951

+ Albedo - Sky Diffuse Model - Irradiance Data (Advanced)

Figure 2. The location and resource page for photovoltaic resources.

Exemple

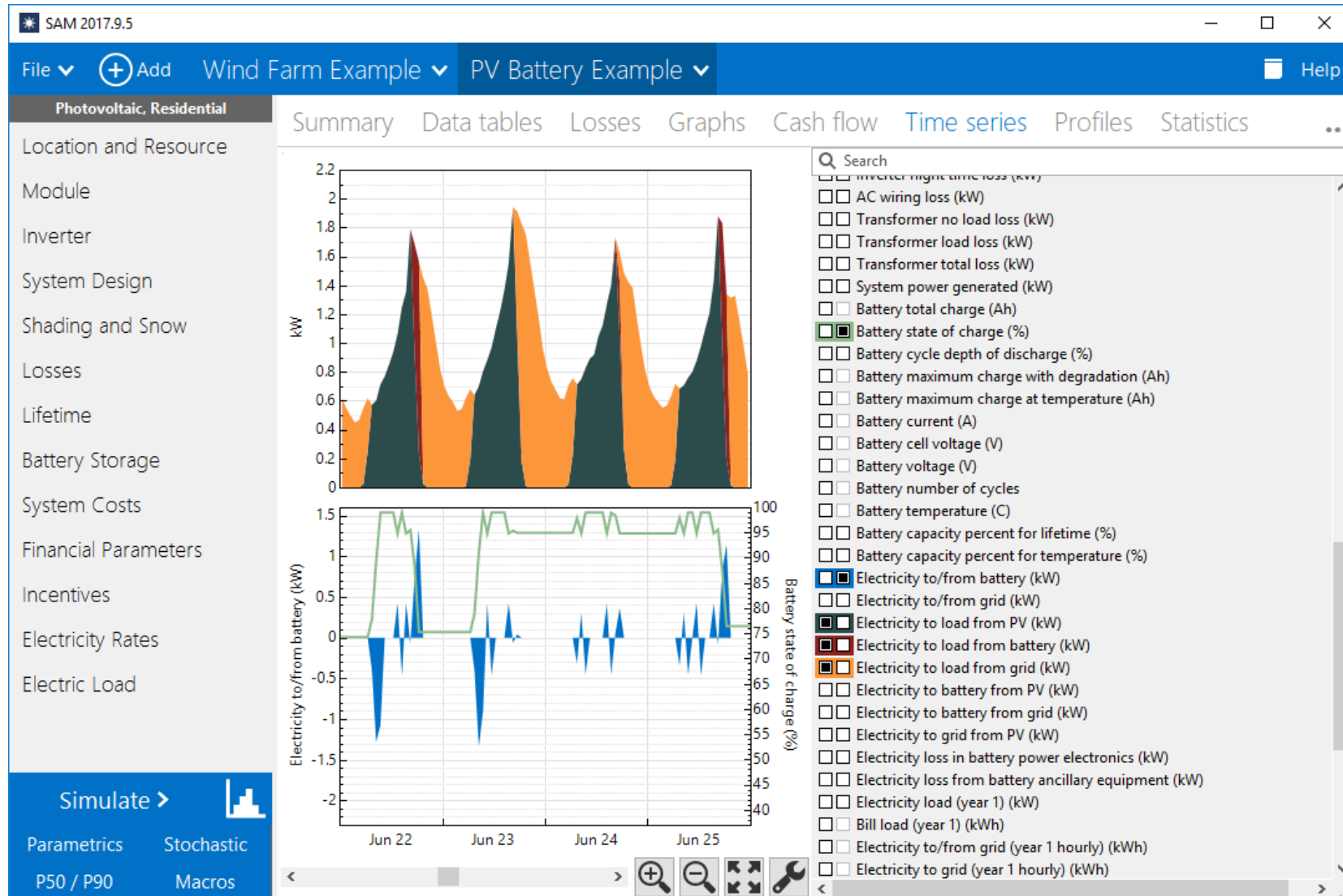


Figure 3. The Results page showing time series results for a PV system with battery storage.

Exemple

SAM 2017.9.5

File Add Parabolic Trough Project Help

Trough (phys), Single owner

Summary Data tables Graphs Cash flow Time series Profiles Statistics Heat map

Copy to clipboard Save as CSV Send to Excel Send to Excel with Equations

	0	1	2	3	4	5	6	7	
PRODUCTION (AC KWH)									
Energy (kWh)	0	354,221,184	354,221,184	354,221,184	354,221,184	354,221,184	354,221,184	354,221,184	
REVENUES									
PPA price (cents/kWh)	0	11.9066	12.0257	12.146	12.2674	12.3901	12.514	12.6	
PPA revenue (\$)	0	54,134,716	54,676,060	55,222,824	55,775,052	56,332,800	56,896,128	57,465,000	
plus PBI if available for debt service:									
Salvage value (\$)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total revenue (\$)	0	54,134,716	54,676,060	55,222,824	55,775,052	56,332,800	56,896,128	57,465,000	
Property tax net assessed value (\$)	0	605,985,600	605,985,600	605,985,600	605,985,600	605,985,600	605,985,600	605,985,600	
OPERATING EXPENSES									
O&M fixed expense (\$)	0	0	0	0	0	0	0	0	
O&M production-based expense (\$)	0	1,416,885	1,452,307	1,488,615	1,525,830	1,563,976	1,603,075	1,643,000	
O&M capacity-based expense (\$)	0	6,593,400	6,758,235	6,927,191	7,100,370	7,277,880	7,459,827	7,646,000	
O&M fuel expense (\$)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Property tax expense (\$)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Insurance expense (\$)	0	3,029,928	3,105,676	3,183,318	3,262,901	3,344,474	3,428,086	3,513,000	
DEPRECIATION AND ITC: STATE									
MACRS 5-yr		92.78	601,529,664.00	0	0	601,529,664.00	601,529,664.00	100.00	0
MACRS 15-yr		1.55	10,025,404.00	0	0	10,025,404.00	0	0	0

Simulate Parametrics Stochastic P50 / P90 Macros

Figure 4. The first several rows of the pro-form cash flow for a PPA power generation project

Exemple

The screenshot shows the SAM 2017.9.5 interface. The 'File' menu is open, and the 'Create report' option is highlighted. Below the menu, a preview of the 'System Advisor Model Report' is visible. The report includes system details, performance and financial models, and a results summary.

System Advisor Model Report
 Photovoltaic System Residential 4.69 kW Nameplate Phoenix, AZ
 \$2.93/W Installed Cost 33.43 N, -112.02 E GMT -7

Performance Model		Financial Model	
Modules		Project Costs	
SunPower SPR-X21-335-BLK		Total installed cost	\$13,758
Cell material	Mono-c-Si	Salvage value	\$0
Module area	1.6 m ²	Analysis Parameters	
Module capacity	335.2 DC Watts	Project life	25 years
Quantity	14	Inflation rate	2.5%
Total capacity	4.7 DC kW	Real discount rate	5.5%
Total area	22 m ²	Project Debt Parameters (Mortgage)	
Inverters		Debt fraction	100%
SMA America: SB3800TL-US-22 (240V) 240V		Amount	\$13,758
Unit capacity	3.8 AC kW	Term	25 years
Input voltage	250 - 480 VDC DC V	Rate	5%
Quantity	1	Tax and Insurance Rates	
Total capacity	3.8 AC kW	Federal income tax	30 %/year
DC to AC Capacity Ratio	1.23	State income tax	7 %/year
AC losses (%)	1.0	Sales tax (% of indirect cost basis)	5%
Array		Insurance (% of installed cost)	1%/year
Strings	2	Property tax (% of assessed val.)	1%/year
Modules per string	7	Incentives	
String voltage (DC V)	401.1	Federal ITC	30%
Tilt (deg from horizontal)	20.0	State ITC	25%
Azimuth (deg E of N)	180	Electricity Demand and Rate Summary	
Tracking	no	Annual peak demand	2.1 kW
Backtracking	-	Annual total demand	6,019 kWh
Self shading	no	Arizona Public Service Co	
Rotation limit (deg)	-	Residential TOU ET2	
Shading	no	Fixed charge: \$16.68/month	
Snow	no	Monthly excess with kWh rollover	
Solling	yes	Tiered TOU energy rates: 4 periods, 1 tier	
DC losses (%)	4.4	Results	
Performance Adjustments		Nominal LCOE	7.1 cents/kWh
Availability/Curtailment	none	Net present value	\$4,600
Degradation	0.5 %/yr	Payback period	11.8 years
Hourly or custom losses	none	Annual Results (in Year 1)	
Annual Results (in Year 1)		GHI kW/m ² /day	5.8
GHI kW/m ² /day	5.8	POA kW/m ² /day	6.0
POA kW/m ² /day	6.0	Net to inverter	9,150 DC kWh
Net to inverter	9,150 DC kWh	Net to grid	8,710 AC kWh
Net to grid	8,710 AC kWh	Capacity factor	21.20
Capacity factor	21.20	Performance ratio	0.79
Performance ratio	0.79		

Figure 5. The report generation exports a PDF showing key assumptions and results from a SAM analysis case

Liens utiles

- Base de données en ligne :
 - [OpenEI Utility Rate Database](#)
 - structure de tarifs d'électricité pour les services publics aux É-U
 - [NREL National Solar Radiation Database](#)
 - Ressources solaires
 - Ressources météorologiques
 - [NREL Wind Integration Datasets](#)
 - Ressources des vents
 - [NREL Biofuels Atlas](#) and [DOE Billion Ton Update](#)
 - Ressources pour la biomasse
- Toutes les informations concernant le fonctionnement ou pour toutes questions se retrouvent sur le site: <https://sam.nrel.gov/>

SAM -- NREL

- Avantages

- « *User friendly* »
- Gratuit
- Facile d'accès
- Fonctionne sur beaucoup d'interface (Windows, Mac,...)
- Simulation de système hybride
- Très grande base de données (Sandia)

- Inconvénients

- Système hybride à seulement deux entrées
- Énergie renouvelable seulement – « *on grid* »
- Base de donnée provenant des É-U (pour la plupart)
- Dimensionnement (essai erreur)



Merci de votre attention !

Lorsque cette capsule de formation est présentée en asynchrone (PDF récupérable sur le site du cours), si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions

