

Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques

R. Tchuidjan* et M.J. Tchana Nkouimi

Université de Yaoundé I, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique
Département des Génies Electriques et des Télécommunications, ENSP
P.O. Box: 8390, Yaoundé, Cameroun

(reçu le 20 Août 2009 – accepté le 25 Septembre 2009)

Résumé - Cet article présente un outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques autonomes liés à l'habitat. Cet utilitaire concilie l'usage d'outils informatiques simples et une méthodologie de dimensionnement fiable pour dimensionner des systèmes photovoltaïques. L'outil effectue le calcul du générateur photovoltaïque adéquat pour une installation donnée, le bilan énergétique et environnemental annuel du générateur photovoltaïque calculé. En plus, il propose des équipements pour la mise en place de ce générateur incluant toutes les caractéristiques techniques et coûts. Il génère automatiquement des rapports imprimables relatifs à chacune des fonctions précédentes. De par sa simplicité et sa facilité d'utilisation, cet outil constitue un instrument important de vulgarisation de l'électricité photovoltaïque.

Abstract - This article shows a tool help for sizing of autonomous photovoltaic systems linked to the habitat. This tool conciliates usage of simple computer tools and a reliable methodology of sizing in order to size photovoltaic systems. The tool makes the computation of adequate photovoltaic generator to a given installation, the annual environmental and energetic schedule of the calculated photovoltaic generator. Furthermore, it proposes equipments to set up this generator which includes all the technical characteristics and prices. It generates automatically printable reports in relation with each of precedent functions. Taking into account the simplicity and the easiness of use, this tool constitutes a paramount instrument of vulgarization of the photovoltaic electricity.

Mots clés: Système PV - Modules PV – Régulateur – Batteries - Onduleur.

1. INTRODUCTION

Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, rivalisant avec des énergies fossiles du point de vue coût et performance de production [2, 4]. De ces énergies nouvelles (biomasse, éolienne, solaire, géothermie), le solaire photovoltaïque présente une convenance particulière pour notre continent, puisqu'il dispose d'un gisement solaire fortement propice au développement de cette forme d'énergie.

Les résultats des travaux relatifs au dimensionnement des systèmes photovoltaïques tels que PVSYST, PVSOL et ARCHELIOS sont largement utilisés en France, au Canada RetScreen international du Centre d'aide à la décision sur les énergies renouvelables fait partie des outils d'aide au dimensionnement les plus utilisés, et en Belgique, Sol-utions-Solar évolution assure les mêmes fonctions [10].

* tchuir@yahoo.fr , mjtchana@yahoo.fr

Ces logiciels constituent pour la plupart, des outils d'aide à la décision dans des projets sur des systèmes photovoltaïques. Lorsque ceux-ci effectuent un calcul de générateur photovoltaïque, ils se limitent juste à un pré dimensionnement du système étudié. De plus, Ils sont complètement adaptés au contexte européen et n'intègrent pas de données qui rendraient leur utilisation profitable aux pays en voie de développement.

Dans la grande majorité, ces pays ne disposent pas d'un outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques propre à leur contexte et intégrant les données solaires qui leurs sont propres.

Un outil, qui en plus de rendre la tâche facile aux ingénieurs dans des projets relatifs au photovoltaïque, constituerait un excellent moyen de vulgarisation du photovoltaïque.

L'outil d'aide ainsi conçu est basé sur la méthodologie de dimensionnement des systèmes PV* [1].

La mise sur pied d'une plateforme à partir des outils informatiques simples apportera aux ingénieurs et techniciens des pays en développement, beaucoup d'aisance et de facilité dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques.

La vulgarisation de la production d'électricité photovoltaïque sera facilitée à travers une obtention rapide du coût estimatif du générateur photovoltaïque calculé pour une puissance installée donnée.

2. ANALYSE ET MODELISATION DU PROBLEME

Dans le processus de dimensionnement de systèmes photovoltaïques domestiques, l'évaluation de la consommation journalière moyenne est l'étape de départ [1]. A partir de l'évaluation des besoins journaliers moyens, la puissance installée se déduit sans peine. Trois modes d'évaluation sont prévus à cet effet:

- Un 'mode guidé' au sein duquel l'utilisateur aura à sa disposition une vaste gamme d'équipements répartis par usage. Dans ce mode, l'utilisateur effectuera l'évaluation de ces besoins journaliers moyens en indiquant par récepteur; le nombre d'unités et la durée moyenne d'utilisation par jour; la plate forme se chargera de gérer les puissances associées à chaque récepteur.

Les principaux types d'utilisation y seront présentés avec une grande variété de récepteurs par type d'utilisation (éclairage, réfrigération, congélation, électroménager, audio visuel, informatique). Les appareillages seront classés en trois catégories: la première (déconseillé) correspondant à des appareils courants, bon marché mais grands consommateurs d'électricité. La seconde (standard) correspond à des équipements couramment utilisés et moins énergivores que les premiers. La troisième (recommandé) regroupant les équipements basse consommation, souvent plus chers mais tout particulièrement adaptés aux générateurs photovoltaïques.

- Un 'mode libre' d'évaluation pour les cas où l'utilisateur ne sera pas satisfait par les choix que le mode guidé met à sa disposition. Ici, il indiquera alors par récepteur: l'usage (facultatif), le type d'équipement (facultatif), la puissance unitaire, le nombre d'unités et la durée d'utilisation journalière par unité d'équipement.

- Un 'mode cas type' où l'utilisateur aura le choix entre plusieurs modèles prédéfinis types habitats correspondant à des variétés de puissances installées et consommations journalières moyennes prédéfinies.

Il est alors nécessaire de mettre sur pied une base de données pour le 'mode guidé'. Les 'mode guidé' et 'mode cas type' constituent le 'mode prédéfini'.

Afin de calculer le générateur PV adéquat, il est important d'avoir les informations complémentaires suivantes:

- La station solarimétrique de référence, pour l'obtention de l'irradiation quotidienne moyenne annuelle et l'inclinaison optimale du panneau; le nombre de jours d'autonomie souhaité; le niveau de sécurité de fonctionnement; la puissance crête unitaire des modules disponibles; la capacité unitaire de batteries disponibles.

- La latitude est une donnée géographique qui indique la distance à l'équateur en valeurs angulaires ($^{\circ}$). Elle sera fournie par le logiciel, lorsque l'utilisateur précisera sa station de référence. Cette latitude sera utilisée pour déterminer l'inclinaison optimale des modules photovoltaïques. Il est possible que l'utilisateur se trouve sur un site au climat mal connu (SCMC) dont les caractéristiques climatiques ne correspondent à celles d'aucune station météorologique. Dans ce cas, il devra donc fournir directement l'irradiation quotidienne moyenne annuelle de son site (qu'il aura dans ce cas estimé par ces propres moyens) et la latitude associée.

Par défaut, le besoin de sécurité est moyen (normal). Afin de réduire le prix du système, il est possible d'accepter un risque d'interruption un peu plus important (sécurité faible). Dans le cas contraire, le système sera calculé plus généreusement et présentera donc une autonomie améliorée, mais sera plus cher. Ce paramètre (niveau de sécurité de l'installation) est pris en compte par modification du coefficient correcteur de l'installation (0,8 ; 0,65 ; 0,33). [1]

Afin de faire une proposition à l'utilisateur sur les équipements constituant le générateur PV après calcul de celui-ci, il est nécessaire de mettre sur pied une base de données des équipements constituant les générateurs photovoltaïques (modules PV, régulateurs, batteries, onduleurs). La proposition faite par la plateforme doit découler directement des prescriptions de l'étape du calcul du générateur PV, mais celle-ci doit viser beaucoup plus la fiabilité et la viabilité du système, plutôt que la réduction du coût d'investissement.

Toutefois, l'utilisateur devra avoir la possibilité de disposer d'une vue sur la base de données prévue à cet effet. De manière à faire des choix propres à son goût, sinon 'à la hauteur de ses poches', évidemment à ces risques et périls dans ce cas, la plate forme doit également présenter à l'utilisateur une estimation du coût de la totalité des équipements proposés, avec les coûts unitaires associés à chacun d'eux.

Il est intéressant d'avoir une idée claire de la production annuelle et du bilan environnemental propre au générateur PV calculé par la plate forme. La plate forme devra présenter à l'utilisateur: la production annuelle du générateur PV calculé en fonction du nombre de jours d'utilisation par mois; les déficits annuels; les excédents annuels, le mois le plus défavorable en fonction de la station de référence choisie; l'évolution statistique numérique et graphique de l'irradiation en fonction de la station de référence choisie, l'économie en énergie fossile réalisée et les émissions en CO₂ évitées [11].

Ces données permettront à l'utilisateur d'avoir une maîtrise de la production de son futur générateur PV; de savoir exactement quels sont les mois où il doit faire des réserves sur sa consommation, et les mois où il peut consommer un peu plus que ce qui avait été prévu lors de l'évaluation de sa consommation journalière moyenne; d'avoir une idée sur sa contribution à la lutte contre le réchauffement climatique [5, 6]. Il va de

soit que dans le cas d'un SCMC, l'utilisateur ne pourra disposer d'aucune des informations précédentes.

A la demande de l'utilisateur, la plate forme devra générer automatiquement des rapports imprimables relatifs à chacune des fonctions: évaluation de la consommation journalière moyenne, calcul du générateur PV, proposition des équipements, bilan de production annuelle. De manière à ce que l'utilisateur puisse avoir toutes les données propres au dimensionnement de son futur générateur photovoltaïque sur support papier ou numérique (clé USB universal serial bus, ou CD ROM compact disk read only memory).

Après l'analyse fonctionnelle de la plate forme, il s'en dégage cinq principales tâches qui seront effectuées automatiquement. Ainsi la plate forme comportera cinq principaux modules qui s'exécuteront automatiquement: le module d'évaluation des besoins journaliers moyens; le module de calcul du générateur photovoltaïque; le module de proposition des équipements du générateur photovoltaïque, le module de bilan de production annuelle, le module de génération automatique de rapports imprimables. A ceux-ci, vient s'ajouter le module d'exploitation de la base de données associée au choix des équipements.

Il s'en déduit l'architecture suivante pour la plate forme:

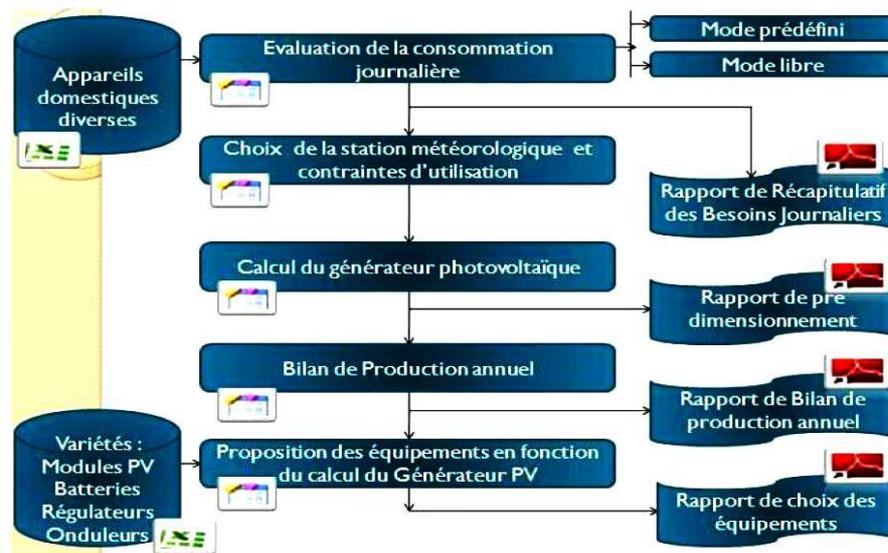


Fig. 1: Architecture de la plate forme

3. OUTILS INFORMATIQUES ET CONCEPTION DES BASES DE DONNEES

Pour mettre sur pied l'outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques liés à l'habitat, un certain nombre d'outils informatiques répondant aux dernières normes technologiques en matière de programmation ont été utilisés.

Les outils retenus à cet effet sont les suivants: Visual Basic For Application; Microsoft Excel 2007; Microsoft Excel 2003; Acrobat Reader 7 Professional Edition;

PDF creator; Office 2007 Custom UI Editor; XML; DOTNET Framework 2; Icon Sushi; Inno Setup Compiler.

Une base de données sur des données solaires du Cameroun a été effectuée, avec la contribution de **LRE-IRGM** [*].

Il a également été effectué une base de données relative aux équipements constituant le générateur PV [8, 9], avec le concours de [**] **KVAZAR**. Les équipements qui s'y trouvent sont groupés par niveau de tension avec toutes leurs caractéristiques techniques et coûts. Enfin, une base de données de récepteurs pour usages domestiques a également été mise sur pied [7], ainsi qu'une base de données spécifique à des modèles prédéfinis type habitat.

Il est prévu que l'utilisateur puisse sous réserve des droits d'accès, effectuer des modifications sur les bases de données et même sur le code source s'il a les compétences requises. Cette possibilité rend la plate forme complètement flexible et adaptable aux changements climatiques, aux changements des prix et de la variété des équipements.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

La plate forme est nommée 'E@sy_PV', pour ainsi indiquer à l'utilisateur que cet utilitaire lui apportera des facilités dans son projet de dimensionnement de système photovoltaïque. Afin qu'E@sy_PV s'exécute normalement, l'utilisateur doit avoir les logiciels suivants installés sur son PC: Microsoft Excel 2003 ou 2007; Acrobat Reader Professional ou PDFCreator, ou une imprimante.

Il a été prévu deux versions pour que tout un chacun puisse trouver son compte. Une version compatible avec Excel 2003, et une version compatible avec Excel 2007: taille du setup 4 Mo. Sous réserve des droits d'accès, l'utilisateur peut effectuer des modifications sur les bases de données (suppression, ajout, mise à jour etc.). Pour ce faire, il à recours au volet administration d'E@sy_PV.

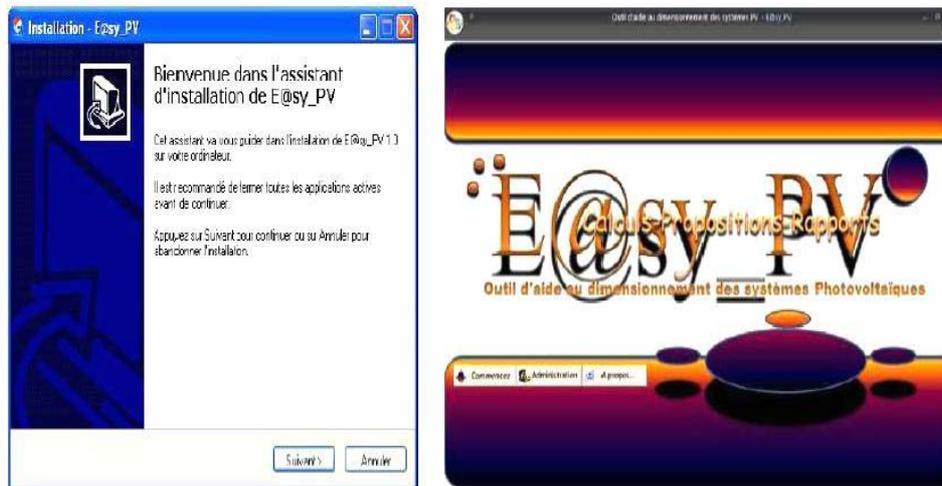


Fig. 2: Installation d'E@sy_PV

The figure shows two screenshots of a software interface for PV system design. The left window is titled "PROJET MAISON AUTONOME" and shows selection options for "PAYS" (countries) and "STATION" (solar stations). The right window is titled "PROJET MAISON DE REPOS" and shows monthly usage constraints and system parameters. Yellow arrows and numbers 1-10 point to specific UI elements:

- 1: "Choix station solarimétrique" button
- 2: "Irradiation quotidienne moyenne annuelle le site" input field
- 3: "Latitude" input field
- 4: "SCMC" checkbox
- 5: "Confirmer" button
- 6: "Nombre de jours d'utilisation par mois" dropdowns
- 7: "Sécurité de fonctionnement" dropdown
- 8: "Autonomie" dropdown
- 9: "Orientation du panneau" dropdown
- 10: "Confirmer" button

Fig. 3: Entrée des contraintes d'utilisation

Pour lancer le calcul du générateur photovoltaïque adéquat pour l'installation de l'utilisateur, E@sy_PV a besoin que celui-ci fixe les contraintes d'utilisation. C'est-à-dire: la station solarimétrique de référence (1), (4). Le nombre de jours d'utilisation par mois (6); l'autonomie souhaitée, l'orientation du panneau, la puissance unitaire du module et la capacité unitaire de batterie de stockage (8); le niveau de sécurité souhaité (9).

Dans le cas d'un site au climat mal connu (5), l'utilisateur doit fournir l'irradiation quotidienne moyenne annuelle et la latitude de son site (2), (3) et surtout, ne pas oublier de cocher la case SCMC pour que ces dernières soient vues par E@sy_PV. L'utilisateur peut consulter la note sur la gestion des masques (7) pour être bien avisé des nuisances que le phénomène d'ombre portée peut induire.

De même, une note sur la notion de mise à la terre est également accessible (10), de manière à ce que l'utilisateur prenne connaissance de la nécessité de la mise à la terre dans une installation. L'utilisateur peut consulter le volet cartographique pour avoir une idée sur les positions des stations solarimétriques sélectionnables depuis le volet 'choix station solarimétrique'.

Le calcul du générateur PV s'effectue en moins d'une seconde, et cela, grâce à la toute puissance de calcul d'Excel. L'utilisateur peut alors consulter les résultats, et prendre connaissance de toutes les caractéristiques techniques de base que doivent posséder chacun des équipements du générateur photovoltaïque (modules, régulateur, batteries, onduleur).

Sur cette page l'on retrouve le contrôle ActiveX de: (1) Lancement du Guide utilisateur, (2) lancement du module de proposition des équipements, (3) lancement d'un nouveau projet, (4) lancement du module de bilan de production énergétique et environnemental annuel, (5) Lancement de la génération automatique du rapport imprimable sur le calcul du générateur PV.

L'utilisateur peut se rendre au module 'Equipements proposés' pour disposer des propositions d'E@sy_PV relativement au générateur PV calculé et avoir une estimation du coût de la totalité des équipements avec toutes les caractéristiques techniques de ces derniers.

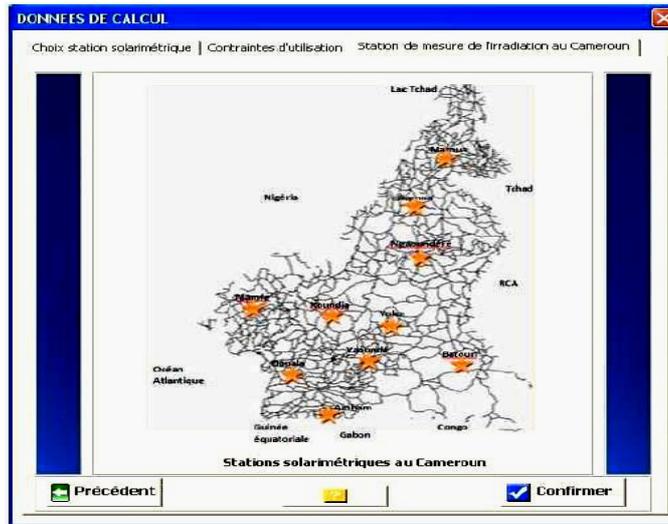


Fig. 4: Volet cartographique

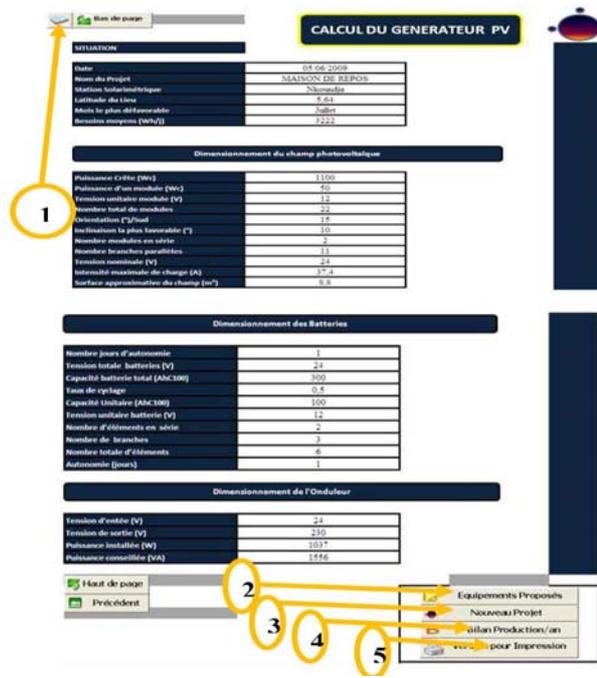


Fig. 5: Présentation du module de calcul du générateur PV

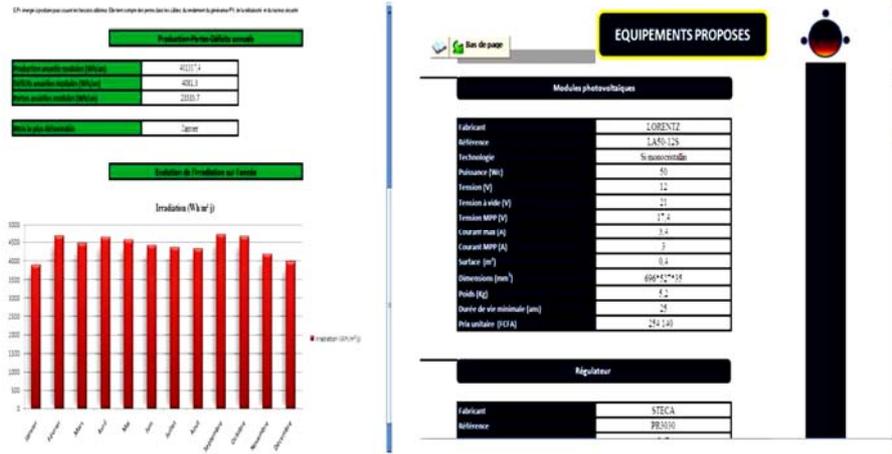


Fig. 6: Présentation des modules Bilan de production et Proposition des équipements



Fig. 7: Exemple de coût estimatif des équipements constituant le générateur photovoltaïque calculé pour une consommation journalière moyenne de 3222Wh et une puissance installée de 1617 W

Si l'utilisateur a des connaissances techniques sur le dimensionnement des systèmes PV, il pourra consulter le module 'Etat des Données'. Dans ce module, il aura une vision complète sur les équipements dont E@sy_PV dispose dans sa base de données, il pourra alors choisir à ces risques et péril la solution la moins coûteuse.

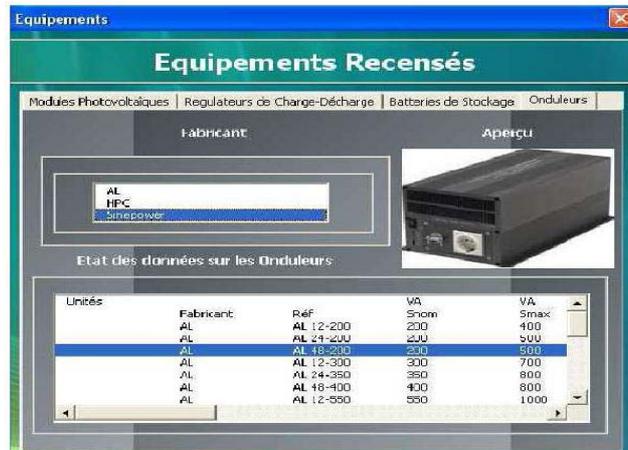


Fig. 8: Module Etat des données

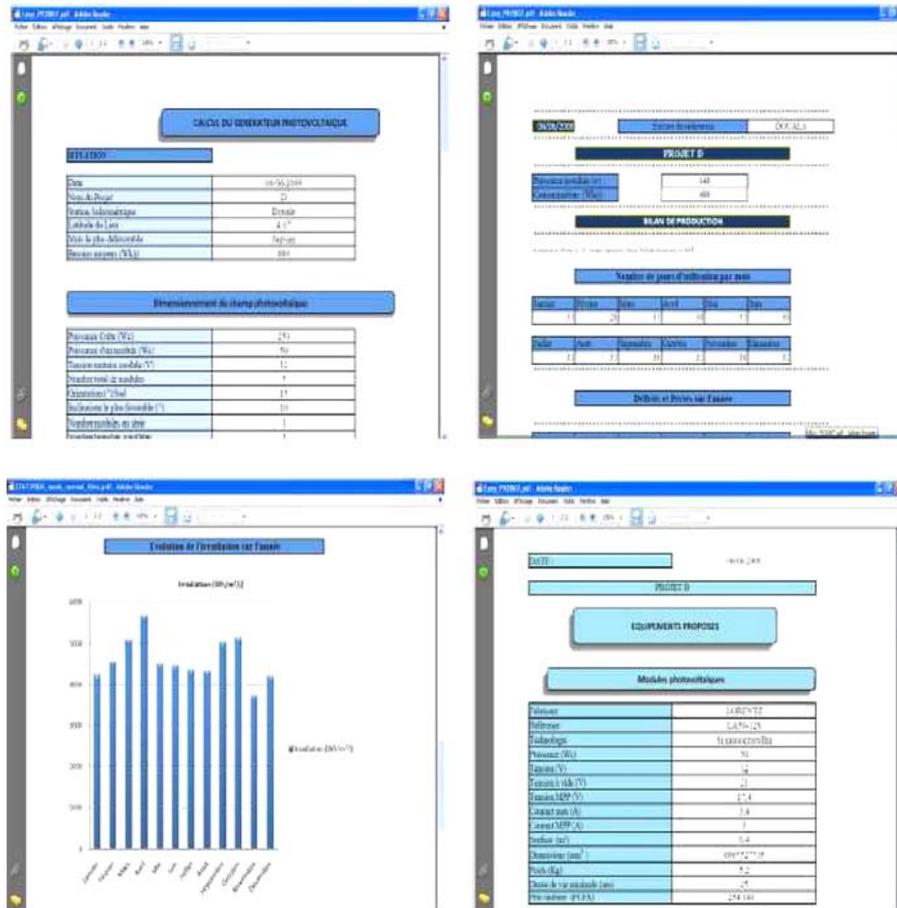


Fig. 9: Présentation de quelques rapports imprimables

5. CONCLUSION

Dans cet article, il a été présenté un outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques: 'E@sy_PV'. Cet outil effectue en un temps relativement court:

- le calcul du générateur photovoltaïque adéquat pour une installation donnée
- Le bilan énergétique et environnemental annuel du générateur calculé
- la proposition d'équipement constituant le générateur photovoltaïque avec toutes leurs caractéristiques techniques
- les coûts unitaires et coût global
- la génération automatique de rapports imprimables associés à chacune des fonctions précédentes, avec en plus un rapport sur l'évaluation de la consommation journalière moyenne.

E@sy_PV vient dans un contexte de vulgarisation des énergies renouvelables, apporter une contribution considérable dans la diffusion d'informations relatives au

photovoltaïque au Cameroun et en Afrique. Ce travail démontre une fois de plus l'engagement des chercheurs dans la lutte contre le changement climatique qui est effectivement entamée depuis plus d'une dizaine d'années à travers le protocole de Kyoto.

REFERENCES

- [1] L. Chancelier et E. Laurent, '*L'Electricité Photovoltaïque*', Collection 'le Point sur', GRET, Ademe, Ministère de la coopération, 1995.
- [2] C. Alonso, '*Contribution à l'Optimisation, la Gestion et le Traitement de l'Energie*', Mémoire pour l'Habilitation à Diriger les Recherches, Université Paul Sabatier, Toulouse, 2003.
- [4] B. Multon, '*L'Energie Electrique: Analyse des Ressources et de la Production, Place des Sources Renouvelables*', Journées Electrotechnique du Club EEA, 1999.
- [5] G. Sanhill, '*Conférence Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique- Protocole de Kyoto*', (<http://www.wikipedia.com>)
- [6] Energiepropre, '*Les Energie Renouvelables Aujourd'hui*', Energies propres, (<http://www.energiepropre.com>)
- [7] Tecsol, '*Calcul du Générateur PV pour des Sites Isolés : Recommandations sur les Récepteurs pour Usage Domestique en Site Isolé*', (<http://www.tecsol.com>)
- [8] Catalogue 'Boutique Solaire' 2 bis rue du chemin neuf - 78240 – Chambourcy, '*Coûts sur les Equipements: Régulateurs solaires, Batteries solaires, Modules PV et Onduleurs*', (<http://www.boutiquesolaire.com>)
- [9] Outils Solaires, '*Energie Solaire- Gisement Solaire- Solaire Photovoltaïque*', (<http://www.outilssolaires.com>)
- [10] Ademe - Ines, '*Formation sur le Dimensionnement des Systèmes PV*', (<http://www.ademe.fr/formation>)
- [11] CWAPE, Commission Wallonne pour l'Energie, '*Emissions en CO₂ Evitées et Economie en Combustible Fossile - Solution photovoltaïque vs Solution groupes électrogènes*', (<http://www.cwape.be>)

Ce travail a été réalisé avec la participation des structures suivantes:

- [*] LRE-IRGM, Ministère de la Recherche et de l'Innovation, Yaoundé, Cameroun
- [**] KVAZAR International Solar Company, Yaoundé, Cameroun