

THEME 2.2
Energies renouvelables
Partie : solaire

SUBVENTION 2008-2009
Septembre 2009

RAPPORT FINAL – VERSION PROVISOIRE



TABLE DES MATIERES

1. LE SOLAIRE.....	2
1.1 ASPECTS TECHNIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX.....	2
1.1.1 <i>Le solaire photovoltaïque</i>	2
1.1.1.1 Aspects techniques	2
1.1.1.2 Aspects environnementaux	3
1.1.1.3 Aspects esthétiques.....	3
1.1.2 <i>Le solaire thermique</i>	4
1.1.2.1 Aspects environnementaux.....	4
1.1.2.2 Aspects esthétiques.....	4
1.2 CONTEXTE STRATEGIQUE	4
1.2.1 <i>PMDE 2003</i>	4
1.2.1.1 Photovoltaïque.....	4
1.2.1.2 Thermique	5
1.2.2 <i>Projet de PMDE (2009)</i>	5
1.2.2.1 Photovoltaïque.....	5
1.2.2.2 Thermique	5
1.3 EVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE WALLON	5
1.3.1 <i>Le potentiel photovoltaïque des toitures</i>	6
1.3.2 <i>Variante après déduction du thermique</i>	9
1.4 EVALUATION DU POTENTIEL « COMMERCIAL » POUR LE RESIDENTIEL	9
1.5 BIBLIOGRAPHIE	12

1. LE SOLAIRE

1.1 ASPECTS TECHNIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Comme pour les autres sources d'énergie renouvelable abordées dans cette note, l'évolution des technologies concernant le solaire – et particulièrement le photovoltaïque – est actuellement très rapide. De nouvelles technologies sont régulièrement inventées, voire expérimentées (ex. solaire à concentration, plancher solaire...).

On se limitera ici aux technologies actuellement les plus courantes chez nous, celles des « panneaux solaires » photovoltaïques et thermiques. Ces deux technologies sont très rapidement présentées ci-dessous.

1.1.1 Le solaire photovoltaïque ¹

1.1.1.1 Aspects techniques

L'effet photovoltaïque² est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs qui ont la propriété de transformer la lumière en électricité.

Le silicium, élément très répandu, est le semi-conducteur utilisé dans la quasi-totalité des cellules produites actuellement, et cela sous trois formes : monocristallin, polycristallin et amorphe.



monocristallin



polycristallin



amorphe

Les cellules, combinées en série et en parallèle pour obtenir la tension et l'ampérage voulu, sont encapsulées entre une plaque de verre et un coffrage métallique pour former des "modules" photovoltaïques.

Cependant, depuis peu, les cellules peuvent également être intégrées dans la structure même d'un bâtiment, entre des parois vitrées ou dans des tuiles du toit par exemple. Ceci offre aux architectes de nouvelles possibilités esthétiques.

Le rendement énergétique des modules photovoltaïques est actuellement de 10 à 15 %, ce qui n'est pas négligeable comparé aux centrales thermiques traditionnelles ou nucléaires.

Deux types d'installations sont possibles :

¹ Sources : Portail de l'énergie (<http://energie.wallonie.be/fr/le-solaire-photovoltaïque.html?IDC=6185>) et APERE (http://www.apere.org/fr/er/pv.php?code_rubrique=2160).

² « Effet photovoltaïque : lorsque les photons heurtent une surface mince d'un matériau semi-conducteur, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière. Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière créant ainsi un courant électrique qui est recueilli par des fils métalliques très fins. » (Portail de l'énergie)

- soit une installation autonome qui nécessite un système de stockage et/ou un générateur d'appoint (éolienne, groupe électrogène...);
- soit une installation connectée au réseau.

Nous n'envisagerons ici que les installations qui pourront être connectées au réseau, ce qui est le cas de la plupart des bâtiments existants.

1.1.1.2 Aspects environnementaux³

On rappellera tout d'abord que le recours à l'énergie photovoltaïque ne se conçoit pas sans une réduction et l'optimisation de la consommation électrique, ce qui implique notamment une conception des bâtiments telle qu'ils aient des besoins énergétiques limités et l'utilisation d'appareils peu énergivores. De telles mesures ont pour conséquence de réduire très sensiblement la consommation moyenne d'un ménage.

Avant de produire de l'électricité, la fabrication et l'installation des systèmes photovoltaïques nécessitent une certaine quantité d'énergie. Il en ira de même lors de leur démantèlement et leur recyclage en fin de vie. Cette énergie grise doit être "remboursée" avant qu'on puisse considérer l'électricité photovoltaïque comme renouvelable et propre.

Une étude à ce sujet a été réalisée pour les pays membres de l'OCDE. Elle a calculé le temps de retour énergétique ("energy pay-back time"), défini comme le temps en années nécessaire à un système photovoltaïque pour "rembourser" son contenu initial en énergie. Pour un système sur toiture en Belgique, le temps de retour énergétique a été estimé à 3,21 ans.

On notera également qu'une installation photovoltaïque de 1 kWc peut éviter durant la totalité de sa vie l'émission de jusqu'à 5,8 tonnes de CO₂.

1.1.1.3 Aspects esthétiques

Trois paramètres sont à prendre en considération pour l'intégration esthétique des panneaux photovoltaïques dans les toitures :

- les matériaux et les couleurs : comme on l'a relevé plus haut, les progrès techniques en cours permettent d'espérer des améliorations en ce sens ;
- l'intégration dans la pente de la toiture ;
- la (les) forme(s) géométrique(s) simple(s) de l'ensemble de l'installation.

On peut espérer que le renouvellement progressif des toitures (qui doivent être remplacées tous les 30-40 ans) permettra la généralisation de couvertures uniformes ou du moins de solutions bien intégrées sur le plan esthétique.



³ Source : EF4 (<http://www.ef4.be/fr/photovoltaique/aspect-environnemental.html>).

1.1.2 Le solaire thermique

Le chauffe-eau solaire est un système qui produit de l'eau chaude à partir du rayonnement solaire. Son principal usage est la production d'eau chaude sanitaire. Il peut également être utilisé pour le chauffage d'une piscine, comme soutien au chauffage d'un bâtiment ou pour le séchage, mais nous n'envisagerons pas ici ces applications.

La superficie recommandée pour un ménage moyen (2 à 3 personnes) est de 4 m².

1.1.2.1 Aspects environnementaux

Cette superficie permet d'économiser environ 360 kg de CO₂ par an, soit 9 tonnes pour une durée de vie de l'installation de 25 ans. Par ailleurs, le temps de retour d'une installation solaire thermique est très faible (on parle de moins d'un an).

Pour un ménage de :	la surface de capteurs est de :	Le volume de stockage correspondant est de :	L'énergie produite par le chauffe-eau solaire est de :	L'énergie économisée par le chauffe-eau solaire est de :	Les émissions de CO ₂ évitées sont de :
2 à 3 personnes	± 4 m ²	± 200 l	± 1200 kWh/an	± 1600 kWh/an	± 360 kg/an
4 à 5 personnes	± 5 m ²	± 300 l	± 1600 kWh/an	± 2200 kWh/an	± 530 kg/an
6 à 7 personnes	± 7 m ²	± 400 l	± 2300 kWh/an	± 3100 kWh/an	± 775 kg/an

Source : brochure Soltherm

Dans le calcul du potentiel exposé plus loin, nous avons notamment envisagé l'hypothèse d'une installation de 4 m² de panneaux thermique par ménage, ce qui réduit d'autant la superficie disponible pour le photovoltaïque mais paraît globalement préférable tant sur le plan économique que sur le plan environnemental (du moins sur la base des rendements actuels du photovoltaïque).

1.1.2.2 Aspects esthétiques

Outre les paramètres de chromatique, de pente et de forme, il faut être attentif à l'épaisseur du panneau et de la tuyauterie.

1.2 CONTEXTE STRATEGIQUE

Le Plan pour la maîtrise durable de l'énergie (PMDE) fait le point sur le développement du solaire photovoltaïque et thermique en Wallonie en 2003 et en 2009 et sur les perspectives pour 2020.

1.2.1 PMDE 2003

1.2.1.1 Photovoltaïque

La première version du PMDE, adoptée en 2003, ne donnait aucun objectif en matière de production d'électricité d'origine photovoltaïque (cf. Projet de PMDE 2009 p. 20).

1.2.1.2 Thermique

Concernant les panneaux solaires thermiques, le PMDE 2003 prévoyait l'installation de 200.000 m² et une production de chaleur solaire de l'ordre de 80 GWh à l'horizon 2010. « *En 2008, la superficie totale subsidiée atteignait 88.000 m² (contre moins de 10.000 m² en 2004). Si la tendance actuelle se poursuit jusqu'en 2010, l'objectif fixé pourrait être atteint* » (Projet de PMDE 2009, p. 49).

1.2.2 Projet de PMDE (2009)

1.2.2.1 Photovoltaïque

L'objectif donné par le projet de PMDE 2009 pour le photovoltaïque est de 150 GWh. « *Au vu du potentiel gigantesque qu'offre cette technologie, le chiffre de 150 GWh peut paraître modeste. Il s'agit du premier jalon qui suppose quand même que l'on mette en place une centaine d'installations photovoltaïques chaque semaine et ce jusqu'en 2020 ! Si on se place dans une perspective plus lointaine (au-delà de 2020, horizon 2050), il est clair que cette technologie devra prendre une part de plus en plus importante dans le paysage énergétique wallon. Les résultats de différents programmes de recherche devraient d'ailleurs faire baisser les coûts de production des systèmes photovoltaïques et donc faciliter le dépassement de ces chiffres après 2020* » (projet de PMDE 2009, p. 256).

1.2.2.2 Thermique

Pour le solaire thermique, le projet de PMDE évalue le potentiel à 1420 GWh (résidentiel + tertiaire) (p. 251) et donne un objectif de 480 GWh pour 2020.

1.3 EVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE WALLON ⁴

Pour évaluer le potentiel solaire wallon, nous nous basons ici uniquement sur la superficie des toitures, faute de données disponibles concernant les façades.

Certaines superficies non bâties pourraient bien entendu être recouvertes un jour de panneaux photovoltaïques. Des projets de « fermes solaires » ont été réalisés ou sont en cours dans plusieurs pays européens. Citons par exemple le parc photovoltaïque de Lieberose, au sud de Berlin, aménagé sur une friche militaire. Considéré par ses promoteurs comme le 2^e plus grand au monde, il couvre une centaine d'ha et produira de l'électricité pour environ 15.000 ménages.

Dans une région aussi densément peuplée que la Wallonie, il est peu vraisemblable que de tels projets se multiplient, d'autant plus que les besoins en espace risquent de croître pour la production de biocarburants ⁵.

⁴ Cette partie et la suivante ont bénéficié de l'aide de Pierre Neri et de Marc Servais pour les calculs et la cartographie.

⁵ Notons toutefois que les terrains de l'exemple allemand plantés de betteraves (culture ayant le meilleur rendement énergétique) n'offriraient que la moitié environ de la production électrique attendue (252 MWhél/an/ha contre 525 (si un ménage = 3,5)).

1.3.1 Le potentiel photovoltaïque des toitures

L'évaluation du potentiel photovoltaïque des toitures que nous proposons ici est un premier exercice, encore relativement théorique et approximatif, qui présente cependant l'intérêt d'apporter une information chiffrée inédite (à notre connaissance).

Les données que nous utilisons sont celles du Plan de localisation informatique (PLI) c'est-à-dire une version numérisée du plan cadastral.

Le PLI comporte deux types d'informations qui nous sont utiles :

- la superficie des bâtiments ;
- la nature des parcelles cadastrales, dont on peut déduire la fonction la plus probable des bâtiments qui s'y trouvent.

Nous avons utilisé la version du PLI V05 (situation au 01/01/2006) couplée à la matrice cadastrale du 01/01/2006.

Selon ces données, la Wallonie compte 2.181.029 bâtiments qui représentent 26.009 ha (surface au sol).

Les principales étapes de la démarche sont les suivantes.

- Exclusion des bâtiments dont la surface est trop réduite pour qu'une installation photovoltaïque soit rentable.

Nous avons exclu les bâtiments dont la superficie au sol est inférieure à 16 m², ce qui représente (une fois déduites les parties de la toiture mal orientées ou ombragées – voir plus loin) une superficie utile trop réduite pour qu'une installation photovoltaïque soit rentable. Le nombre de bâtiments de 16 m² ou plus (surface au sol) est de 1.907.009 unités qui représentent 25.754 ha.

Remarque : un couplage des données du PLI avec la cartographie des réseaux de distribution électrique permettrait d'exclure également les bâtiments isolés trop éloignés de ce réseau pour présenter un potentiel utile. Il est toutefois probable que le résultat final n'en serait pas grandement modifié.

- Classement des bâtiments selon la nature cadastrale de la parcelle où ils sont situés. Ce classement permet de distinguer cinq catégories :
 - bâtiments résidentiels ;
 - commerces, bureaux et services ;
 - services publics et équipements communautaires ;
 - bâtiments à usage industriel ou artisanal ;
 - bâtiments agricoles.

Natures cadastrales des terrains	
Terrains résidentiels	Abris, Autorisation de bâtir (bat. Ordinaire), Baraquements, Châteaux, Cours, Garages, Immeubles à appartements, Jardins, Maisons, Parties communes, Presbytères, Remises, Superficies et parties communes des immeubles à appartements, Taudis, Toilettes.
Terrains occupés par des commerces, bureaux et services	Banques, Bâtiments de bureaux, Cafés, Centres de recherche, Grands magasins, Hôtels, Kiosques, Maisons de commerce, Marchés couverts, Restaurants, Stations service.

Terrains occupés par des services publics et équipements communautaires	Ateliers protégés, Bassins ordinaires, Bâtiments administratifs, Bâtiments d'aide sociale, Bâtiments de culte, Bâtiments de justice, Bâtiments de télécommunication, Bâtiments du gouvernement, Bâtiments funéraires, Bâtiments hospitaliers, Bâtiments militaires, Bâtiments pénitentiaires, Bâtiments scolaires, Bibliothèques, Bornes, Cabines, Cabines à gaz, Cabines électriques, Cabines téléphoniques, Captages d'eau, Casinos, Centres culturels, Chapelles, Châteaux d'eau, Cimetières, Cinémas, Couvents, Crèches, Digue, Eglises, Etablissements de bain, Etablissements de cure, Evêchés, Gendarmeries, Installations d'épuration, Installations sportives, Légations, Maisons communales, Maisons de jeunes, Maisons de repos, Mosquées, Musées, Orphelinats, Pavillons, Pylônes, Salles de fêtes, Salles de spectacle, Salles d'exposition, Séminaires, Synagogues, Temples, Terrains militaires, Théâtres, Traitements d'immondices, Universités.
Terrains à usage industriel et artisanal	Abattoirs, Ateliers, Ateliers de construction, Autorisation bâtir (bat. Industriel), Bassins industriels, Bâtiments industriels, Boulangeries, Brasseries, Briqueteries, Centrales électriques, Chantiers, Charbonnages Charcuteries, Cimenteries, Cokeries, Entrepôts, Fabriques aliments bétail, Fabriques d'articles de cuir, Fabriques d'articles usuels, Fabriques de boissons, Fabriques de café, Fabriques de caoutchouc, Fabriques de céramiques, Fabriques de couleurs, Fabriques de glace artificielle, Fabriques de jouets, Fabriques de matériaux de construction, Fabriques de matériel électrique, Fabriques de meubles, Fabriques de produits alimentaires, Fabriques de tabacs, Fabriques d'habillement, Fabriques d'objets en plastique, Forges, Fours à chaux, Garage-Atelier, Gazomètres, Hangars, Haut-fourneaux, Imprimeries, Installations frigorifiques, Laiteries, Lavoirs, Matériaux et outillages, Menuiseries, Métallurgie, Meuneries, Papeteries, Raffineries de pétrole, Réservoirs, Scieries, Séchoirs, Silos, Terrains industriels, Usines à gaz, Usines chimiques, Usines textile, Verreries
Terrains occupés par des bâtiments agricoles	Bâtiment (élevage grande échelle), Bâtiment agricole (élevage petite échelle), Bâtiments pour animaux, Bâtiments ruraux, Champignonnières, Ecuries, Fermes, Pigeonniers, Serres

Catégories de bâtiments	Superficie au sol (m ²)
Bâtiments résidentiels	14 .709 ha
Bâtiments de commerces, bureaux et services	1. 475 ha
Bâtiments de services publics et équipements communautaires	1 .957 ha
Bâtiments à usage industriel ou artisanal	4 .006 ha
Bâtiments agricoles	3 036 ha
Total	25 .186 ha

Ces catégories permettent de calculer avec plus de précision la superficie des toits en fonction de leur inclinaison. Pour ce faire, les valeurs suivantes ont été retenues ⁶ :

- habitations : entre 30° et 45° (x 1,3)
 - bâtiments agricoles : entre 25° et 35° (x 1,15)
 - entreprises : toitures plates ou entre 25° et 35° (x 1)
- En se basant sur une étude réalisée dans le canton de Fribourg ⁷, on peut estimer qu'il faut déduire
 - 1/6 des surfaces pour des raisons architecturales et morphologiques (vélux, cheminées, terrasses...) et
 - 1/5 pour des raisons d'ombrage (bâtiments ou arbres proches).
 - On applique ensuite la grille ci-dessous qui permet de calculer le rendement en fonction de l'orientation et de la pente des toitures, en divisant la superficie de celles-ci en 8 parties dont 5 ont un rendement jugé suffisant.

© www.ef4.be		inclinaison par rapport à l'horizontale (°)						
		0	15	25	35	50	70	90
orientation	est	88%	87%	85%	83%	77%	65%	50%
	sud-est	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	sud	88%	96%	99%	max 100%	98%	87%	68%
	sud-ouest	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	ouest	88%	87%	85%	82%	76%	65%	50%

Source : <http://www.ef4.be/fr/photovoltaique/aspects-techniques/orientation-structure.html#facteurdecorrection>

- Le potentiel photovoltaïque peut alors être estimé. La productivité optimale pour 1m² prise en compte ici est de 106,25 kWh/an.

Résultats :

Typologie	Total kwh
Bâtiments résidentiels	7.500.481.407
Bâtiments de commerces, bureaux et services	919.952.733
Bâtiments de services publics et équipements communautaires	1.220.237.333
Bâtiments à usage industriel ou artisanal	2.497.559.533
Bâtiments agricoles	1.412.962.799
Total	13.551.193.806

⁶ Sur la base du RCU de Rixensart (source B. Dawance, CREAT).

⁷ *Potentiel Photovoltaïque dans le Canton de Fribourg*, <http://www.netenergy.ch/pdf/fribourg.pdf> .

- **Conclusion : on peut estimer le potentiel photovoltaïque des toitures wallonnes à environ 13,5 TWh/an, ce qui correspond à plus de la moitié de la consommation annuelle d'électricité en Wallonie (23,5 TWh).**

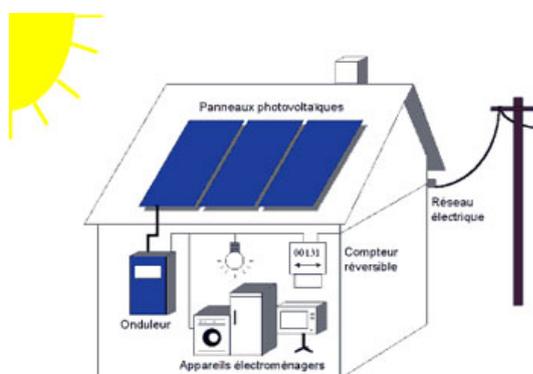
1.3.2 Variante après déduction du thermique

On a vu plus haut que le solaire thermique était plus avantageux que le photovoltaïque. Pour couvrir les besoins d'un ménage wallon moyen (2-3 personnes), il faut compter 4 m² de panneaux thermiques, qui seraient donc à déduire du total des superficies utilisées par les panneaux photovoltaïques.

La Wallonie comptant environ 1.500.000 ménages, on peut retirer 600 ha des 14.709,38 ha de toits des bâtiments résidentiels, a priori seuls concernés par le solaire thermique. Le potentiel total des toits pour le photovoltaïque passe alors à **13,2 TWh/an**.

1.4 ÉVALUATION DU POTENTIEL « COMMERCIAL » POUR LE RESIDENTIEL ⁸

Il serait intéressant de pouvoir estimer la consommation résidentielle pour un bâtiment (en fonction du nombre de personnes ou de ménages qui l'occupent) afin de la comparer au potentiel de production d'électricité photovoltaïque pour le même bâtiment. On pourrait alors connaître la part d'électricité disponible pour la revente ou, au contraire, ce qu'il est nécessaire de fournir – c'est-à-dire ce que nous avons appelé ici le potentiel « commercial » positif ou négatif.

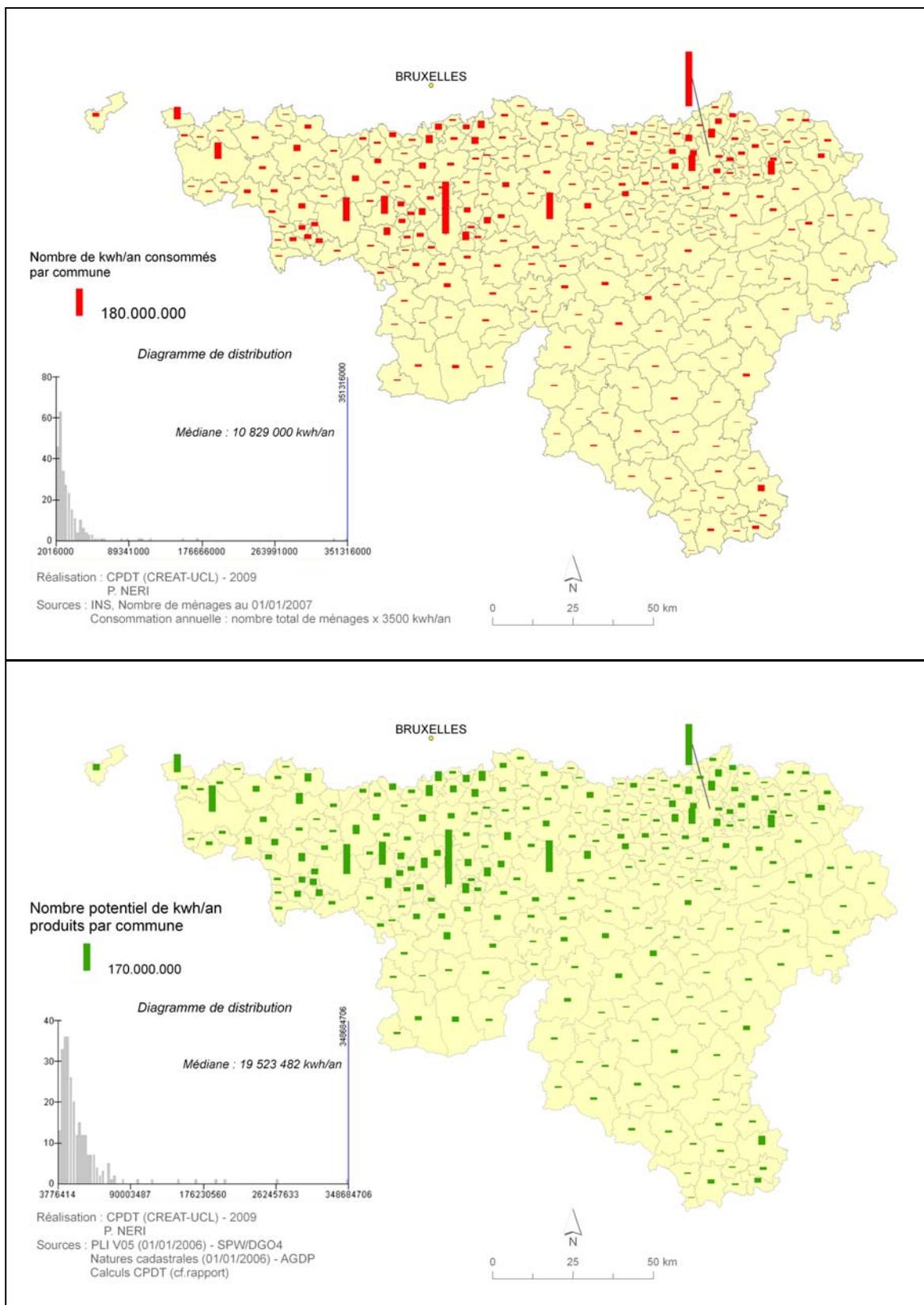


Malheureusement, les données disponibles sur la localisation des ménages concernent les communes et les secteurs statistiques et non les bâtiments. Cet exercice ne peut donc être réalisé qu'à ces échelles.

Pour chaque commune ou secteur statistique, on dispose d'une part de la somme des superficies de toiture des bâtiments résidentiels telle que calculée précédemment, et d'autre part du nombre de ménages et de leur composition. On sait par ailleurs qu'un ménage moyen consomme 3.500 kWh/an.

⁸ Cette partie a été réalisée avec l'aide de Pierre Neri et Marc Servais pour les calculs et la cartographie.

Les cartes suivantes représentent la consommation résidentielle et la production photovoltaïque résidentielle par commune. On notera que la consommation dépasse la production dans 4 communes seulement : Dison, Verviers, Liège et Seraing (non cartographié).

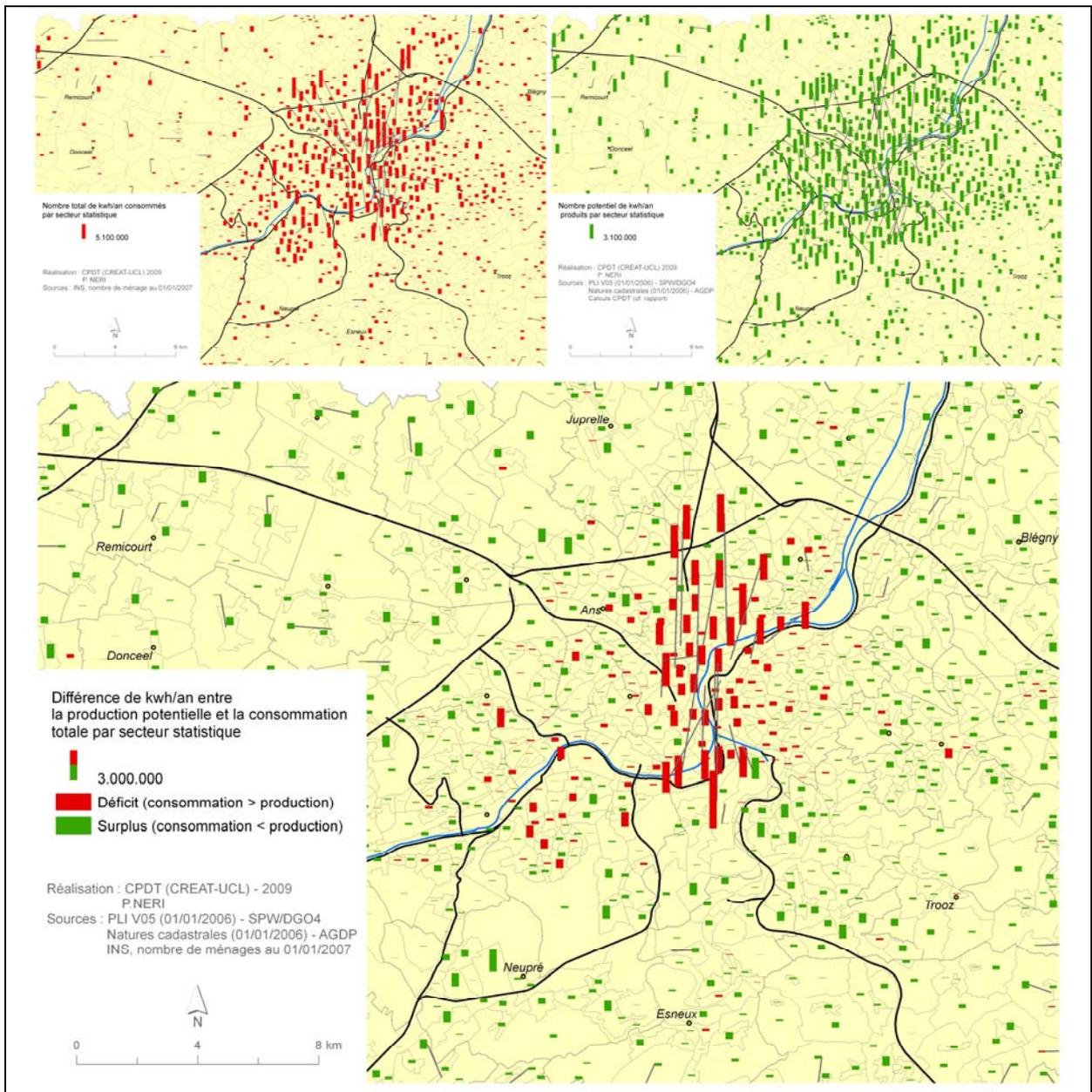


L'analyse est plus instructive si l'on descend au niveau des secteurs statistiques. Elle fait en effet clairement apparaître que les centres-villes consomment plus d'électricité résidentielle qu'ils ne pourraient en produire même en couvrant toutes les superficies des toits de panneaux photovoltaïques. L'inverse peut être constaté dans les secteurs statistiques de la banlieue, où les superficies de toit disponibles par ménage sont excédentaires.

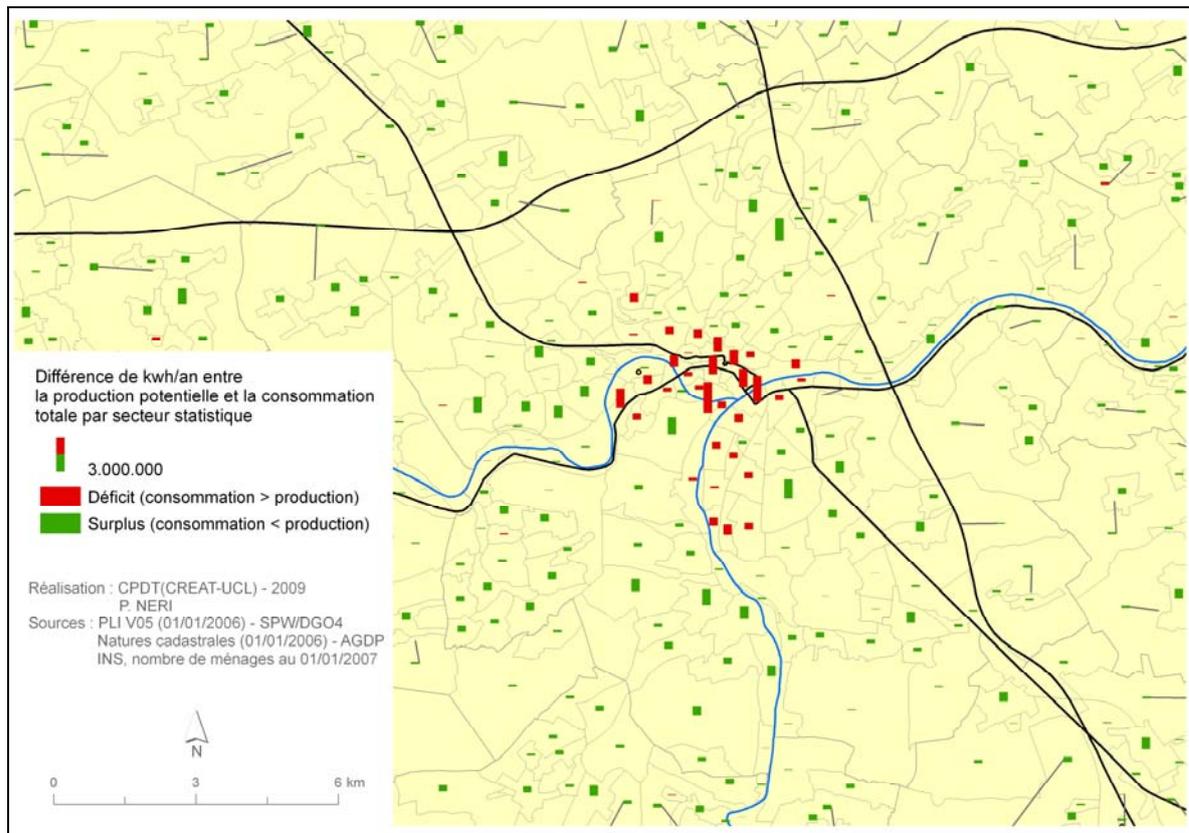
Un équilibre pourrait être trouvé à l'échelle de l'agglomération, comme le montrent les exemples de Liège et de Namur, cartographiés ci-dessous.

Rappelons toutefois que seule la consommation résidentielle et seuls les bâtiments résidentiels sont pris en compte ici.

Liège et environs



Namur et environs



1.5 BIBLIOGRAPHIE

Potentiel Photovoltaïque dans le Canton de Fribourg, M. Gutschner et S. Nowak, 1998.

Potentiel photovoltaïque de l'île de la Réunion - Toitures, Complément au Schéma d'aménagement régional - volet énergie, 25 janvier 2008.

Projet d'actualisation du Plan pour la Maîtrise Durable de l'Énergie (PMDE) en Wallonie à l'horizon 2020, SPW - DGO4, 12 mars 2009.

Rapport d'activités sur les énergies renouvelables, CPDT, mars 2006.

Un chauffe-eau solaire chez vous - Soltherm, Région wallonne, 2007.

Sites web :

<http://energie.wallonie.be>

<http://www.apere.org>

<http://www.ef4.be>