



SOLutions for Low Energy Neighbourhoods



Chercheurs, grand public

Logement, transport et mobilité, énergies



renouvelables, quartier, définition, zéro énergie, efficacité énergétique, rénovation



SOLE.N.QUA05

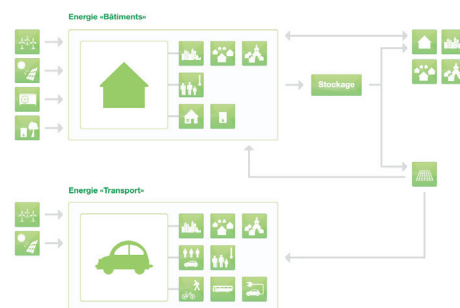
Un cadre pour la définition du « quartier zéro énergie » (QZE)

Les points principaux

- L'objectif « zéro énergie » est le plus souvent considéré à l'échelle du bâtiment individuel mais néglige notamment l'impact de la localisation des logements sur la mobilité des occupants
- Cette fiche présente un cadre pour l'étude du « quartier zéro énergie », articulé autour de trois piliers : les consommations dans le bâtiment, les consommations pour le transport des personnes et la production d'énergies renouvelables
- Le cadre QZE est appliqué à deux cas d'études wallons
- La « mutualisation énergétique » est un atout important à l'échelle du quartier

Résumé

Cette fiche pratique présente un cadre pour l'étude du quartier « zéro énergie », défini dans le cadre du projet SOLEN. L'objectif principal de cette approche est d'investiguer les principaux avantages d'un passage du « bâtiment zéro énergie » au « quartier zéro énergie ». Le cadre QZE proposé s'articule autour de trois axes principaux : les consommations d'énergie dans le bâtiment, l'intégration des énergies renouvelables et les consommations d'énergie relatives à la mobilité des occupants. Ce dernier pilier est particulièrement important et vise à inclure dans le bilan global l'impact de la localisation des logements et des quartiers sur la mobilité quotidienne des occupants. Une application du cadre « quartier zéro énergie » développé est ensuite proposée, pour deux cas d'études wallons (un quartier de centre-ville et un quartier périurbain), de façon à illustrer l'intérêt de l'approche proposée. Dans la pratique, des niveaux intermédiaires sont souhaités, en fonction des potentialités de chaque quartier.



© Schéma : SOLEN - Université de Liège

SOLE.N : SOLutions for Low Energy Neighbourhoods



Financé par la Wallonie, DGO4, programme mobilisateur erable

Janvier 2014



Introduction

L'objectif « zéro énergie » reçoit de plus en plus d'attention internationalement, que ce soit dans la littérature scientifique ou dans les politiques qui vise à favoriser une mutation de notre cadre bâti vers plus de durabilité. Bien que cet objectif « zéro énergie » puisse être considéré à différentes échelles, l'approche la plus couramment répandue reste ciblée sur le bâtiment individuel. En dépit de ses nombreux atouts, cette approche néglige une série d'interactions qui s'opèrent à une échelle plus large, celle du quartier. Dans ce contexte, cette fiche pratique vise à proposer un cadre pour l'étude du quartier « zéro énergie ». Il s'articule autour de trois axes principaux : les consommations d'énergie dans le bâtiment, les consommations d'énergie relatives à la mobilité des occupants et l'intégration des énergies renouvelables. Une application du cadre « quartier zéro énergie » ainsi développé est ensuite proposée, pour deux cas d'études wallons (un quartier de centre-ville et un quartier périurbain), de façon à illustrer l'intérêt de l'approche proposée. Dans la pratique, des niveaux intermédiaires sont souhaités, en fonction des potentialités de chaque quartier.

Cette fiche pratique est basée sur l'article « From zero energy building to zero energy neighbourhood : urban form and mobility matter » d'AF Marique, M. Penders et S. Reiter, présenté lors de la conférence internationale PLEA 2013 (Passive and Low Energy Architecture : Sustainable Architecture for a Renewable Future). Cet article a reçu le « Best Paper Award » de la conférence PLEA 2013.

Comme la fiche pratique SOLE.N.GEN.04 (état de l'art des objectifs « basse énergie », « passif » et « zéro énergie » à l'échelle du bâtiment) l'a mis en évidence, les recherches scientifiques, mais surtout les réalisations concrètes, relatives à l'objectif « zéro énergie », à une échelle plus large que celle du bâtiment individuel, restent peu nombreuses. Dans la littérature, on remarquera notamment Kennedy et Sgouridis (2011) et Todorovic (2012) qui traitent respectivement de la question de la définition d'une « Ville Zéro-Carbone » et du rôle des outils de simulation de la performance des bâtiments dans la planification de « villes zéro énergie ». D'une façon générale, les études et recherches relatives aux performances énergétiques des bâtiments restent ainsi, pour la plupart, concentrées sur l'échelle du bâtiment individuel même si plusieurs auteurs (notamment, Baker et Steemers, 2000 ; Steemers, 2003 ; Ewing et Rong, 2008 ; Ratti et al., 2005) ont mis en évidence l'influence de la forme urbaine sur les consommations d'énergie dans le secteur du bâtiment et l'intérêt de dépasser l'échelle du bâtiment individuel pour traiter cette question.

En matière de potentiel en énergies renouvelables à une échelle plus large que celle du bâtiment individuel, des études sont apparues sur le potentiel solaire de zones urbaines existantes dans une optique d'implantation de panneaux solaires photovoltaïques (Amado et Poggi, 2012 ; Izquierdo et al., 2008) mais ces études ne croisent pas leurs résultats avec les consommations énergétiques des bâtiments ni avec le potentiel énergétique provenant d'autres types d'énergies renouvelables. Le concept de « mutualisation énergétique » à l'échelle du quartier est quasi inexistant dans la littérature actuelle. Remarquons un article de Nielsen et Möller (2012) qui montre que la surproduction de chaleur provenant de panneaux solaires thermiques sur des « bâti-





ments zéro énergie » peut être réutilisée à travers un réseau de chaleur urbain et ainsi augmenter la part d'énergie renouvelable qui alimente ce type d'infrastructure.

En termes de transport, considéré seul, l'impact de la forme urbaine sur les choix modaux et les consommations d'énergie dues aux déplacements des personnes (domicile-travail, en particulier) a fait l'objet, depuis les travaux fondateurs de Newman et Kenworthy (1989), d'un corps relativement important de littérature. Ces travaux (notamment, Naess et al. 1996 ; Banister et al. 1997 ; Marique et al, 2013a et b) ont montré que l'impact de la forme urbaine (même s'il se limite le plus souvent à la seule prise en compte de la densité bâtie) sur les consommations énergétiques dues au transport est réel et significatif.

Les études qui se sont attachées à prendre en compte conjointement les secteurs du bâtiment et du transport sont très peu nombreuses. Steadman (1979) est le premier à avoir développé un point de vue théorique sur l'aménagement urbain qui aborde des critères de forme et de densité. Il arrive à la conclusion que les villes denses diminuent la part d'énergie consommée due au transport mais augmentent l'énergie consommée à l'intérieur des bâtiments et limitent le potentiel en énergies renouvelables solaires. Il montre ainsi l'intérêt d'aborder ces différents domaines conjointement. Sur base de modèles simplifiés, d'autres auteurs (Steeners, 2003 ; Ratti et al., 2005 ; Holden et Norland 2005 ; Norman et al., 2006 ; Marique et Reiter 2012b) ont aussi étudié certaines interrelations entre consommations d'énergie dans le bâtiment et pour le transport, et confirmé l'intérêt de cette approche combinée. L'interaction entre bâtiment et mobilité, bien que cruciale au regard des questions abordées dans les objectifs de la recherche, reste traitée de façon fragmentaire dans la littérature scientifique, comme d'ailleurs dans les actions concrètes ou orientations stratégiques politiques qui négligent le plus souvent l'impact de la localisation sur la génération de mobilité pour se concentrer sur les performances énergétiques du bâtiment individuel (neuf le plus souvent).

Les concepts de quartier « (très) basse énergie », quartier « passif » et quartier « zéro énergie » (zero energy neighbourhood) sont novateurs et seulement mobilisés de façon très ponctuelle dans quelques expériences pilotes de « démonstration » (par exemple dans le quartier durable BEDZED à Sutton (UK)) mais ne font actuellement l'objet d'aucun cadre théorique établi.

Dépasser l'échelle du bâtiment individuel est pourtant crucial au vu des interactions qui s'opèrent à une échelle plus large, tant sur les performances du bâtiment individuel que sur le potentiel en énergies renouvelables. De plus, dans une optique globale de durabilité, ces concepts de quartier « (très) basse énergie », quartier « passif » et quartier « zéro énergie » ne peuvent être dissociés de l'impact de la localisation des quartiers et des activités sur la génération de mobilité et les consommations énergétiques liées aux déplacements quotidiens.



Définition d'un cadre conceptuel général pour l'étude du quartier « zéro énergie »

Définition

En première approche, le quartier « zéro énergie » est défini, par analogie avec le bâtiment « zéro énergie », comme un quartier dans lequel les consommations annuelles d'énergie primaire sont compensées par la production locale d'énergies renouvelables. Conformément aux objectifs de la recherche SOLEN, les consommations énergétiques considérées ici sont celles relatives au bâtiment et à ses occupants (chauffage, ventilation, refroidissement, auxiliaire, éclairage, cuisson et eau chaude sanitaire) et celles relatives aux déplacements quotidiens des occupants, de façon à prendre en compte, dans la balance, l'impact de la localisation des quartiers sur la génération de mobilité et les consommations énergétiques qui y sont liées. Les sections suivantes présentent, poste par poste, les méthodes d'évaluation énergétique développées pour permettre de dresser un bilan « quartier zéro énergie ».

Les consommations « bâtiments »

La méthode utilisée pour l'évaluation énergétique des consommations relatives au chauffage et à la ventilation des bâtiments est basée sur les travaux précédents de Marique (2013) et sur la méthode présentée et utilisée dans le cadre de l'outil interactif SOLEN. Elle combine une classification typologique des bâtiments résidentiels wallons, des simulations thermiques dynamiques et des traitements statistiques de données provenant des recensements de l'INS pour évaluer les consommations énergétiques annuelles relatives au chauffage des bâtiments (ESH), au refroidissement (ECO), à la ventilation (EV), aux appareils électriques (EA), à la cuisson (EC) et à l'eau chaude sanitaire (EHW). Les consommations énergétiques à l'échelle du quartier sont obtenues par agrégation des résultats individuels au prorata de la répartition de chaque type de bâtiments dans le quartier, moyennant application d'un facteur de correction solaire, selon le type de quartier dans lequel on se situe. Les hypothèses particulières considérées dans le cadre du projet SOLEN pour le territoire wallon sont présentées dans les sections suivantes.

L'ensemble des consommations évaluées ci-dessous sont converties en énergie primaire dans le bilan final, en appliquant un facteur correctif aux consommations énergétiques. Ce facteur vaut 1 pour les énergies fossiles et le gaz, 2,5 pour l'électricité et 1,8 pour l'électricité hydroélectrique

Le chauffage, la ventilation et le refroidissement des bâtiments

Dans le cadre du projet SOLEN, une typologie des bâtiments résidentiels wallons a été établie, en se basant sur la mitoyenneté, la superficie bâtie, le nombre de niveaux, les systèmes de chauffage et de ventilation, l'âge de la construction et les caractéristiques de son enveloppe (voir notamment la fiche SOLEN.QUA04, Marique et Reiter (2012b) et Marique (2013) pour de plus amples



détails sur cette méthodologie). Trois catégories relatives aux caractéristiques constructives de l'enveloppe des bâtiments sont considérées pour prendre en compte les bâtiments construits selon des standards énergétiques plus ambitieux que l'actuelle Directive PEB. Il s'agit des standards « basse énergie », « très basse énergie » et « passif » pour lesquels les besoins en chauffage sont respectivement limités à 60, 30 et 15 kWh/m².an. De nombreux paramètres peuvent par ailleurs être adaptés pour prendre en compte, par exemple, les éventuels travaux de rénovation entrepris par les ménages (isolation du toit, remplacement des vitrages, changement des systèmes de chauffe et/ou de ventilation, etc.). Les résultats (ESH et EV) des simulations de très nombreux types de bâtiments (environ 250.000) sont conditionnés dans une large base de données. Dans ces simulations, le climat de Bruxelles est utilisé et un facteur correctif basé sur les degrés jours 15/15 est appliqué pour prendre en compte la localisation du quartier sur le territoire wallon. Les gains internes sont définis en fonction de la superficie habitable du bâtiment.

Le passage des besoins énergétiques aux consommations s'effectue par l'application d'un coefficient qui dépend du type de système de chauffe et de son rendement (Annexe I de la PEB). Les consommations relatives à la ventilation dépendent des caractéristiques de l'enveloppe des bâtiments.

Les résultats individuels obtenus à l'échelle des bâtiments sont ensuite agrégés à l'échelle du quartier, au prorata de la répartition de chaque type de bâtiments dans le quartier, et moyennant pondération par le facteur de correction solaire caractéristique du type de quartier.

Les besoins en refroidissement ne sont pas considérés dans notre approche car ils restent faibles en Belgique, au vu du climat tempéré qui y règne.

L'eau chaude sanitaire

La consommation annuelle pour l'eau chaude sanitaire est obtenue en multipliant le volume d'eau nécessaire annuellement par l'ensemble des habitants du quartier par la différence en température entre l'eau chaude et l'eau froide et un facteur de conversion de façon à obtenir des kWh. On considère, sur base de moyennes régionales, qu'un occupant utilise 40 litres d'eau chaude par jour et 100 litres d'eau froide par jour. Les températures de l'eau chaude et de l'eau froide sont respectivement fixées à 60°C et 10°C.

Les appareils électriques et la cuisson

Ces deux postes énergétiques sont calculés sur base de statistiques régionales. Sur base du bilan énergétique de l'ICEDD (2008), on estime ainsi que chaque ménage utilise 2.827kWh par an pour les appareils électriques et 461kWh par an pour la cuisson. Des valeurs par personne peuvent également être utilisées pour préciser l'évaluation.



Les consommations « bâtiments »

Les consommations annuelles pour les déplacements quotidiens des occupants (EDM) sont évaluées grâce à l'indice de performance des déplacements proposé, pour la Wallonie, par Marique et Reiter (2012a) et utilisé par Marique et al. (2013a et 2013b). Pour rappel, cet indice représente, en kWh par personne et par trajet, la consommation moyenne d'un habitant d'une entité territoriale donnée. Cet indice prend en compte les distances parcourues, les fréquences de déplacements et le mode de transport utilisé et se formalise selon l'équation suivante, où i représente l'unité territoriale considérée (le secteur statistique, l'ancienne commune ou la commune), m représente le mode de transport, D_{mi} représente l'ensemble des distances parcourues par les habitants de l'unité i grâce au mode de transport m , f_m représente le facteur de consommation attribué au mode m et T_i représente la population de l'unité territoriale i considérée. Les facteurs de consommation suivants sont appliqués : 0,56 kWh/personne.km pour les voitures diesel, 0,60 kWh/p.km pour les voitures essence, 0,45 kWh/p.km pour le bus, 0,15 kWh/p.km pour le train et 0 pour le vélo et la marche à pied.

$$IPE (i) = (\sum m D_{mi} * f_m) / T_i$$

Les consommations énergétiques annuelles, à l'échelle d'un quartier, sont obtenues en multipliant l'indice de performance par le nombre total de trajets parcourus par les habitants du quartier sur une année (T).

$$E_{DM} = IPE * T$$

Les données utilisées pour calculer l'indice de performance et les consommations annuelles pour les déplacements peuvent provenir de trois sources différentes : des recensements existants (enquêtes socio-économique de l'INS), de valeurs moyennes disponibles à une échelle territoriale donnée ou d'une enquête in situ dans les quartiers soumis à évaluation. L'utilisation de ce dernier type de données est recommandée mais peut nécessiter des moyens importants pour la récolte des données. Dans le cadre de l'application illustrative à deux quartiers, présentée dans la suite de cette fiche pratique, nous utiliserons les données de l'enquête socio-économique 2001 à titre illustratif. Ces données et résultats pourront être mises à jour ultérieurement sur base d'enquête in situ notamment. Remarquons que ces données ne concernent que les déplacements domicile-travail et domicile-école.

Les énergies renouvelables

Pour l'instant, trois types d'énergies renouvelables sont considérées dans le bilan « quartier zéro-énergie ». Les développements relatifs à de nombreuses autres sources d'énergies renouvelables et à la question de la centralisation / décentralisation de la production pourront ultérieurement être ajoutés au cadre ici défini (voir notamment Penders (2013)) de façon à compléter et enrichir l'approche « quartier zéro-énergie » proposée.





Le solaire photovoltaïque

Le potentiel des quartiers en termes de production électrique via des panneaux photovoltaïques est obtenu sur base de simulations réalisées à l'aide du logiciel Townscope. Dans le cadre du projet SOLEN, seul le potentiel en toiture est considéré, compte tenu de la faible efficacité des systèmes en façade dans un climat tel que le climat belge. Le logiciel Townscope permet d'obtenir les rayonnements directs, diffus et réfléchis sur un point ou une surface. Le logiciel considère toutefois une hypothèse de ciel serein qui n'est pas représentative du climat belge et tend à surestimer largement le potentiel existant. Les résultats bruts issus de Townscope sont donc calibrés, sur base de l'ensoleillement moyen (MSR = 1.000 kWh/m²) en Belgique et en appliquant un facteur de correction M qui provient d'un ratio entre ensoleillement en site vierge et ensoleillement en site urbanisé (ce facteur est défini sur base d'analyses d'ensoleillement réalisées avec Townscope, pour chacun des quartiers étudiés). Un facteur de correction F est ensuite appliqué pour prendre en compte l'orientation et l'inclinaison des toitures (voir tableau suivant).

Tableau 1 : Facteur de correction F qui dépend de l'orientation et de l'inclinaison des toitures, pour la Belgique

| | | Inclinaison de la toiture | | | | |
|-------------|-----------|---------------------------|------|------|------|------|
| | | 0° | 15° | 25° | 35° | 50° |
| Orientation | Est | 0.88 | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.77 |
| | Sud-est | 0.88 | 0.93 | 0.95 | 0.95 | 0.92 |
| | Sud | 0.88 | 0.96 | 0.99 | 1 | 0.98 |
| | Sud-ouest | 0.88 | 0.93 | 0.95 | 0.95 | 0.92 |
| | Ouest | 0.88 | 0.87 | 0.85 | 0.82 | 0.76 |

L'énergie solaire reçue par la surface considérée est alors obtenue grâce à l'équation suivante :

$$E_{SOL} = MSR * F * M \text{ (en kWh/m}^2\text{.an)}$$

La production annuelle d'électricité par des panneaux photovoltaïques installés en toiture (EPV, en kWh) est obtenue grâce à l'équation suivante où S représente la surface des toitures, C représente le pourcentage de ces toitures utilisé pour des panneaux photovoltaïques (maximum 0,80), η_{pv} représente l'efficacité des panneaux, η_{inv} l'efficacité de l'onduleur et λ un facteur de correction qui prend en compte les pertes électriques.

$$E_{PV} = E_{SOL} * S * C * \eta_{pv} * \eta_{inv} * (1-\lambda)$$





Le solaire thermique

Le potentiel solaire thermique (eau chaude sanitaire) ne peut être évalué de la même façon car les systèmes photovoltaïques et thermiques présentent des spécificités. Dans le cas du solaire thermique, l'énergie solaire reçue par les toitures est toujours obtenue par l'équation ci-dessus. L'équation suivante permet ensuite de déterminer si les toitures d'un bâtiment ou d'un quartier sont adaptées à la production d'eau chaude sanitaire, via un système solaire thermique. Dans cette équation, E_{sol} représente l'énergie solaire reçue par les toits, pondérées en fonction de l'orientation, l'inclinaison et les ombrages des toitures, S représente la superficie des panneaux thermiques et η_{th} leur efficacité. On considère ici que 55% de la production d'eau chaude sanitaire du ménage ou de l'ensemble des ménages du quartier doit être couverte par les panneaux thermiques (d'un point de vue technico-économique, l'optimum se situe traditionnellement entre 50% et 60%). Dans ces conditions, l'efficacité des panneaux équivaut à 0,35.

$$E_{TH} = E_{sol} * S * \eta_{th}$$

L'éolien

Le calcul rapide utilisé pour évaluer la production annuelle d'électricité provenant des éoliennes (EWT) consiste à multiplier la puissance nominale de l'éolienne par le nombre d'heures de fonctionnement à cette puissance nominale, selon l'équation suivante, où P représente la puissance nominale de l'éolienne et OH le nombre d'heures de fonctionnement à cette puissance. OH est fixé à 1.000 heures pour une éolienne de petite taille et compris entre 1.800 et 2.200 heures pour une éolienne offshore de grande taille.

$$E_{WT} = P * OH$$

Les bilans globaux

Le bilan annuel « zéro énergie », à l'échelle du quartier, est alors obtenu grâce à l'équation suivante

$$(E_{SH} + E_{CL} + E_V + E_A + E_C + E_{HW}) + E_{DM} - (E_{PV} + E_{TH} + E_{WT}) = 0$$

Pour rappel, les facteurs de conversion utilisés pour convertir les consommations et productions diverses en énergie primaire valent 1 pour le gaz naturel et le pétrole, 2,5 pour l'électricité et 1,8 pour l'électricité hydroélectrique.



Outre ce bilan annuel global, il est intéressant également d'investiguer les bilans mensuels, selon une équation similaire où les consommations et productions annuelles sont remplacées par les consommations et les productions mensuelles, pour chacun des mois considérés. Cette approche permettra notamment d'investiguer les décalages entre courbe de production et courbe de consommation et la question de l'autonomie du bâtiment ou du quartier vs. le bilan global « zéro énergie ».

Application à des cas d'études « énergie »

Introduction

La méthode globale présentée ci-dessus a ensuite été appliquée à deux cas d'études de façon à tester son intérêt et son applicabilité avant d'envisager une systématisation sur un grand nombre de quartiers.

Présentation des cas d'études

Les deux cas d'études sélectionnés sont deux types de quartiers très communs en Wallonie. Il s'agit d'un quartier dense de centre-ville et d'un quartier périurbain peu dense. Ils présentent chacun approximativement le même nombre de bâtiments mais leur taux d'occupation diffère significativement. On supposera, qu'en raison de leurs différences marquées (voir tableau suivant), tant en termes de morphologie que d'occupation du sol, ces deux types de quartiers nécessitent des stratégies adaptées et différenciées.

Le premier cas d'étude est un quartier dense de centre-ville (60 logements par hectare) représentatif d'un ancien tissu industriel de centre-ville. Ce quartier est localisé à proximité de nombreux services et commerces et très bien desservi en transport en commun. Les bâtiments sont anciens et peu, ou pas, isolés car le quartier a été construit au 19^{ème} siècle et est maintenant occupé par des populations plutôt précarisées qui n'ont pas toujours les moyens d'entreprendre des travaux de rénovation et d'isolation.



Figure 1: le cas d'étude urbain : l'îlot Vivegnis dans le quartier Saint-Léonard à Liège



Le second cas d'étude est un quartier périurbain peu dense situé dans la périphérie liégeoise (18 kilomètres de la gare des Guillemins). Il témoigne de l'étalement urbain qui a touché nos territoires dans les années 60 à 90. La desserte en transports en commun est très faible dans le quartier. Le quartier est composé de maisons unifamiliales, de type « 4 façades » construites entre 1930 et 2010. Des travaux de rénovation ont parfois été entrepris par les occupants.



Figure 2: Le cas d'étude périurbain à Rotheux-Rimière (Neupré)

Tableau 2: Principales caractéristiques des deux cas d'études

| | Case 1 | Case 2 |
|-----------------|---------------|---------------|
| Type | Urbain | Périurbain |
| Surface | 0,97 ha | 12,02 ha |
| Population | 180 hab. | 150 hab. |
| Bâtiments | 57 | 55 |
| - « 4 façades » | 7% | 75% |
| -« 3 façades » | 17,5% | 19,6% |
| - « mitoyen » | 75,5% | 3,6% |
| - appartements | 0% | 1,8% |
| Densité | 60 log/ha | 5 log/ha |
| COS | 29% | 5% |

Résultats principaux et interprétation

Dans la situation actuelle, atteindre le bilan « zéro énergie » à l'échelle du quartier n'est pas possible, en particulier parce que les consommations liées au chauffage des bâtiments sont très élevées (184 kWh/m².an dans le cas 1 et 235 kWh/m².an dans le cas 2). Une différence nette peut être observée entre les besoins de chauffage des bâtiments du quartier urbain et ceux du quartier périurbain car, dans le premier cas, la mitoyenneté des formes bâties permet de minimiser ces besoins. Comme déjà mis en





évidence dans la littérature relative au bâtiment « zéro énergie », atteindre un bilan annuel « zéro énergie » à l'échelle du quartier, implique nécessairement de réduire drastiquement au préalable les besoins et les consommations d'énergie dans le bâtiment (le chauffage mais également les consommations d'électricités) et pour le transport.

Les consommations d'énergie pour le transport (qui sont ici partielles car nous n'avons pour l'instant considéré que les déplacements domicile-travail et domicile-école) sont également plus élevées dans le quartier périurbain en raison de distances parcourues plus élevées et d'une plus grande part modale de la voiture individuelle. Favoriser le report modal et les modes doux, favoriser le co-voiturage et intégrer progressivement des véhicules électriques alimentés par de l'énergie « verte » sont des actions qui pourraient utilement diminuer les consommations relatives à ce poste et aider à rencontrer un bilan global « zéro énergie », à l'échelle du quartier.

Tableau 3 : Résultats de l'application du cadre QZE

| | | Cas 1 | Cas 2 |
|---------------------------|--|------------------|------------------|
| Consommation (kWh) | Chauffage et ventilation: $E_{SH} + E_v$ | 1.421.694 | 2.754.341 |
| | ($E_{SH} + E_v$ – rénovation BE) | (463.596) | (703.236) |
| | ($E_{SH} + E_v$ – rénovation passive) | (142.059) | (222.017) |
| | Appareils électriques : E_A | 161.139 | 155.485 |
| | Cuisson : E_C | 26.277 | 25.355 |
| | Eau chaude: E_{HW} | 152.950 | 127.458 |
| | Mobilité : E_{DM} | 339.696 | 441.072 |
| Prod. (kWh) | Photovoltaïque: E_{PV} | 139.945 | 314.669 |
| | Eau chaude (thermique): E_{TH} | 80.417 | 67.170 |
| | Eolienne: E_{WT} | 0 | 50.000 |

En ce qui concerne la production d'énergies renouvelables, la production photovoltaïque est plus élevée en milieu périurbain car les obstructions (masques) sont moins nombreuses, du fait de la plus faible densité bâtie. L'utilisation d'éoliennes n'est pas envisageable dans le quartier de centre-ville en raison de sa densité. Dans le quartier périurbain, la production d'électricité relative à l'implantation, en cœur d'îlot, d'une éolienne de petite taille peut théoriquement atteindre 50.000kWh annuellement. La distance aux habitations existantes est suffisante pour permettre cette implantation. Toutefois, la présence d'une éolienne en cœur d'îlot empêche la densification ultérieure de cette maille périurbaine. De plus, l'implantation et l'usage d'éoliennes posent une série de questions (nuisances, efficacité réelle, etc.) qui seront devrnt être investiguées plus précisément, au cas par cas, avant de recommander leur usage.



Discussions et perspectives

L'avantage principal de travailler à l'échelle du quartier est la « mutualisation » énergétique potentielle de la production d'énergie. Par exemple, si les panneaux photovoltaïques sont localisés uniquement sur les toitures recevant plus de 90% du rayonnement solaire maximal et si la production est mutualisée à l'échelle du quartier, l'efficacité des systèmes (kWh produit par m² de panneaux) est optimisée et augmente de 10,7% dans le cas 1 et de 5% dans le cas 2. On pourrait, de cette façon, produire la même quantité d'électricité que dans les hypothèses du tableau 3 (où les toits de chaque bâtiment sont mobilisés individuellement) mais en minimisant le nombre et la superficie des panneaux à installer. D'autres types de « mutualisation » (mutualisation des enveloppes grâce à la mitoyenneté, véhicules électriques partagés, etc.) présentent également des potentialités importantes, à l'échelle du quartier.

En ce qui concerne les bilans mensuels, il est important de mentionner le décalage entre la production et la consommation d'énergie et d'électricité. Dans l'optique où un bilan annuel « zéro énergie » peut être atteint, cela ne signifie pour autant pas que ce bilan est rencontré à tout instant, en raison de ces décalages entre production et consommation, en particulier durant les mois d'hiver (où les consommations pour le chauffage sont importantes et la production d'énergie solaire faible). Le raccordement aux réseaux pour injecter le surplus de production en été et combler le manque en hiver est donc indispensable. Cette situation n'est toutefois tenable que si un nombre raisonnable de bâtiments « zéro énergie » est présent sur le territoire. La multiplication ou la généralisation des bâtiments « zéro énergie » impose donc un travail de recherche complémentaire, notamment en ce qui concerne le stockage de l'énergie ou la combinaison de fonctions complémentaires pour équilibrer plus finement consommations et productions, à l'échelle d'un quartier ou à une échelle plus large.

Conclusions et opérationnalisation

Le cadre « quartier zéro énergie » présenté dans cette fiche relève de la partie « recherche scientifique » du projet SOLEN. Il a été développé avec pour objectifs principaux (1) de permettre de prendre en compte conjointement, à l'échelle du quartier, trois postes complémentaires et notamment d'inclure l'impact de la localisation des quartiers sur la mobilité quotidienne des occupants et (2) d'investiguer, toujours d'un point de vue théorique, la faisabilité de l'objectif « zéro énergie », en rénovation, dans les quartiers wallons existants. Cet objectif très ambitieux s'avère souvent difficile à rencontrer, notamment en raison des caractéristiques intrinsèques du cadre bâti wallon (bâti ancien peu ou pas isolé), des conditions socio-économiques (incapacité de nombreux ménages à financer des travaux lourds, etc.). Cet objectif « zéro énergie » ne doit donc pas être vu comme un objectif opérationnel unique en soi. Dans une optique d'opérationnalisation et de transition durable, il importe plutôt de viser à



(1) réduire les consommations d'énergie relatives aux bâtiments et à la mobilité quotidienne des occupants, que ce soit par la rénovation des bâtiments, la densification, le report modal, etc. et (2) à maximiser le recours à des énergies renouvelables. Des niveaux de performance intermédiaire (basse énergie, passif, etc.) sont donc proposés dans les trois outils d'évaluation SOLEN. Selon les potentialités et caractéristiques de chaque quartier, il convient aux auteurs de projets et acteurs de la rénovation ou de l'aménagement du territoire, de fixer l'objectif le plus opportun.

Références

- Amado M., Poggi F. (2012). Towards solar urban planning: A new step for better energy performance. *Energy Procedia* 30: 1261-1273.
- Banister D., Wood C., Watson, S. 1997. Sustainable cities: transport, energy and urban form. *Environment and Planning B: Planning and Design* 24: 125-143.
- Baker N., Steemers K. (2000). *Energy and Environment in Architecture*. London: E&FN Spon.
- Ewing R.H., Rong F. (2008). The impact of urban form on US residential energy use. *Housing Policy Debate* 19(1).
- Holden E., Norland I.T. 2005. Three challenges for the compact city as a sustainable urban form: household consumption of energy and transport in 8 residential areas in the greater Oslo. *Urban Studies* 42: 2145-2166.
- ICEDD, (2008), Bilan énergétique wallon 2008. Consommations du secteur du logement 2008, MRW, Direction générale des technologies, de la recherche et de l'énergie - Conception et réalisation ICEDD asbl, Namur.
- Izquierdo S., Rodrigues M., Fueyo N. (2008). A method for estimating the geographic distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations. *Solar Energy* 82: 929-939.
- Attia, S. G. M. (2010). «Aiming Zero Impact Buildings: Mondo Solar-2002, A case study in Belgium.» *Sustainable Buildings CIB* 1.
- Kennedy S., Sgouridis S. (2011). Rigorous classification and carbon accounting principles for low and Zero Carbon Cities. *Energy Policy* 39: 5259-5268.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. (2012a). A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. *Environmental Impact Assessment Review*, 33, 1-6.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. (2012b). A Method to Evaluate the Energy Consumption of Suburban Neighbourhoods. *HVAC&R Research*, 18(1-2), 88-99.
- Marique, A.-F. (2013). Méthodologie d'évaluation énergétique des quartiers périurbains. Perspectives pour le renouvellement périurbain wallon. Unpublished doctoral thesis, Université de Liège, Liège, Belgique.
- Marique, A.-F., Dujardin, S., Teller, J., & Reiter, S. (2013a). Urban sprawl, commuting and travel energy consumption. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. *Energy*, 166, 1-13.
- Marique, A.-F., Dujardin, S., Teller, J., & Reiter, S. (2013b). School commuting: the relationship between energy consumption and urban form. *Journal of Transport Geography*, 26, 1- 11



- Marique, A.-F., Penders, M., de Meester, T. & Reiter, S. (2013c). From zero-energy buildings to zero-energy neighbourhoods: Urban form and mobility matter. Proceedings of PLEA 2013.
- Naess P., Sandberg S.L., Roe, P.G. 1996. Energy use for transportation in 22 nordic towns. Scandinavian Housing and Planning Research13: 79-97.
- Nielsen S., Möller B. (2012). Excess heat production of future net ZEB within district heating areas in Denmark. Energy 48(1): 23-31.
- Newman P., Kenworthy J. (1989). Gasoline consumption and cities - A comparison of UK cities with a global survey. Journal of the American Planning Association 55: 24-37.
- Norman J., Maclean H.L., Kennedy C.A. 2006. Comparing high and low residential density. Journal of Urban Planning and Development 132: 10-21.
- Penders, M. (2013). Rénovation énergétique des îlots. Stratégie d'intégration des énergies renouvelables dans le but de tendre vers l'objectif zéro-énergie. Thèse de master on publiée, Université de Liège.
- Ratti C., Baker N., Steemers K. (2005). Energy consumption and urban texture. Energy and Buildings 37: 762-776.
- Steadman
- Steemers K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. Energy and Buildings 35: 3-14.
- Todorovic M. 2012. BPS, energy efficiency and renewable energy sources for buildings greening and zero energy cities planning. Energy and Buildings 48: 180-189.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.solen-energie.be.

Liens utiles

- Notre site : www.solen-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatp
- LEMA : www.lema.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be





Références et publications scientifiques de l'équipe en lien avec cette fiche

- Marique, A.-F., Penders, M., de Meester, T. & Reiter, S. (2013c). From zero-energy buildings to zero-energy neighbourhoods: Urban form and mobility matter. Proceedings of PLEA 2013.

Cet article a reçu le « Best Paper Award » de la conférence internationale PLEA 2013 (Passive and Low Energy Architecture : Sustainable Architecture for a Renewable Future), à Munich (septembre 2013)

Auteurs de la fiche

LEMA

AF Marique et Prof. S Reiter

Chemin des Chevreuils, 1 B52/3

4000 Liège

Afmarique [at] ulg.ac.be

+32 4 366 93 67