

L'énergie positive

Introduction

« L'Énergie positive » fait actuellement partie des buzz-words du monde de l'énergie, au même titre que la croissance verte, la croissance sobre, les énergies douces, la transition énergétique, etc. L'expression est souvent usitée accolée au terme de bâtiment, on parle alors de BEPOS (bâtiment à énergie positive), ou à celui de territoire, ce qui conduit au TEPOS (territoire à énergie positive). Mais on parle également d'éco-quartiers, de routes, de familles¹ et même de bars à énergie positive. Ainsi, à la COP 21 au Bourget, un large stand expliquait comment, en pédalant suffisamment longtemps et vigoureusement, chacun pouvait mériter un jus de fruit (figure 1).



JEAN-PIERRE HAUET
MEMBRE ÉMÉRITE
DE LA SEE

Plus sérieusement, en s'inspirant des travaux menés en Allemagne sur la Passivhaus et en Suisse dans le cadre du label Minergie, le CSTB et l'ADEME ont lancé dès le début des années 2000 des actions de recherche visant à « préparer des bâtiments à énergie positive apportant une contribution nulle à l'effet de serre ». Ces initiatives ont notamment conduit à la constitution en mars 2005 de la Fondation bâtiment énergie et à différentes opérations menées dans le cadre du PREBAT (Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment). Plus récemment, l'association Effinergie a institué en 2013 un label pilote BEPOS Effinergie 2013 s'appuyant sur la réglementation thermique 2012 (RT 2012) et fondé sur un bilan en énergie primaire des consommations nettes non renouvelables.

¹ Voir <http://www.familles-a-energie-positive.fr/>



Figure 1 : Le « bar à énergie positive » à la COP 21.

ABSTRACT

The term "positive energy" is a buzzword that is often used abusively. But this term is used in the French law dated 17 August 2015 relating to energy transition and green growth. It is therefore necessary to look for a precise definition.

We try in this article to define the notion of "positive energy" in the case of buildings which are of prime importance in terms of energy consumption and CO₂ emissions. We recommend to qualify a PlusEnergy building (in French BEPOS) on the basis of objective criteria, consistent with the guidance given by the law and chosen to avoid any gap between the calculations that can be made locally and those which have to be made at the national level in order to comply with the requirements of the 2015 law and with European directives.

One of the key points, and relatively innovative, lies in how a balance account of renewable energy used for meeting local needs can be done. A methodology is proposed that may lead to the institution of "BEPOS" and "BEPOS+" labels.

We show that among the techniques that may be used to implement the concept of positive energy, the heat pump is the solution that offers the best technical and economic advantages.

At territorial level, the extension of the definition of positive energy raises very difficult problems and the relevance of the concept can even be questioned. However at the local area level, there are synergies between productions and consumptions that deserve to be exploited, particularly in view of smart grids and smart cities, and that the positive energy concept allows to highlight.

Le concept d'énergie positive interpelle « positivement » l'esprit de la plupart de nos concitoyens mais, pour intuitif qu'il soit : « *Produire plus qu'on ne consomme* », il n'est pas d'une limpidité totale. La loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (la LTECV) a d'ailleurs estimé utile de préciser en ces termes la notion de TEPOS : « *Un territoire qui s'engage dans une démarche permettant d'atteindre l'équilibre entre la consommation et la production d'énergie à l'échelle locale en réduisant autant que possible les besoins énergétiques et dans le respect des équilibres des systèmes énergétiques nationaux. Un territoire à énergie positive doit favoriser l'efficacité énergétique, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la diminution de la consommation des énergies fossiles et viser le déploiement d'énergies renouvelables dans son approvisionnement* ». La même loi stipule « *qu'un décret en Conseil d'Etat définit les exigences auxquelles doit satisfaire un bâtiment à énergie positive* ». Un tel décret n'est pas simple à écrire. On peut penser que la définition du BEPOS se référera à la définition du TEPOS telle qu'elle figure dans la loi mais ceci reste à préciser. Passer d'une notion intuitive et sympathique à une définition juridique n'est pas un acte élémentaire et amène à réfléchir à la signification exacte du concept.

Compte tenu de l'importance des enjeux qui s'attache à ces notions, dans le monde de l'énergie mais aussi dans celui de la construction et de l'urbanisme, il nous a paru utile de rassembler dans cet article quelques réflexions autour de l'énergie positive, afin notamment d'en clarifier le sens, d'en montrer les limites et de proposer des lignes directrices pour le définir de façon précise sur le plan réglementaire, dans les domaines du bâtiment et des territoires.

Un concept séduisant mais dont les limites doivent être posées

La notion d'énergie positive évoque une contribution par définition « positive » à la résolution des problèmes de l'énergie et chacun se plaît à y voir un moyen de passer du statut de consommateur – et donc de prédateur des biens de la nature – à celui de créateur de nouvelles ressources et de bâtisseur d'un monde meilleur. Il n'est donc pas étonnant que cette notion, alimentée par un battage médiatique souvent excessif autour des énergies nouvelles, fasse florès auprès d'un public peu au fait des contraintes techniques et des coûts qu'elles emportent.

Par ailleurs, la notion d'énergie positive, dans ses applications usuelles actuellement, tend à donner la préférence au développement des ressources locales aux dépens des ressources aujourd'hui partagées grâce aux réseaux, qu'il s'agisse de gaz, d'électricité ou de chaleur. On peut y voir une

manifestation de la tendance générale à considérer que le "small" est "beautiful" mais certains vont plus loin et parlent d'autonomie retrouvée, de liberté dans les choix, de participation citoyenne, de démocratie locale, etc.

Toutes ces considérations relèvent de l'émotionnel mais n'ont guère de sens. En premier lieu, il faut rappeler que l'énergie est un intrant thermodynamiquement indispensable à toute activité, humaine en particulier. Il faut certes utiliser l'énergie de façon efficace mais les principes de la thermodynamique font qu'*in fine* il y a toujours des pertes. La consommation d'énergie ne doit pas être considérée comme une maladie honteuse si elle se fait à bon escient et la recherche de l'autonomie locale à tout prix est un contresens technique et économique si les ressources locales raisonnablement accessibles ne sont pas suffisantes et si d'autres ressources sont disponibles ailleurs.

Il faut rappeler à ce stade l'importance essentielle des réseaux qui permettent par un effet de mutualisation et de foisonnement, de tirer parti des complémentarités tant à la production qu'à la consommation. Si chacun devait installer à son niveau des capacités de génération électrique correspondant à ses besoins maximaux, la puissance totale nécessaire excéderait de plusieurs fois la puissance totale aujourd'hui installée. Au niveau de la production, les réseaux permettent d'organiser des stratégies de maintenance appropriées (complémentarité entre nucléaire et énergies intermittentes) et de tirer parti, dans une certaine mesure, des différences qui peuvent exister entre les régimes des vents et les périodes d'ensoleillement.

Ce n'est pas par hasard ni pour répondre à la seule inspiration politique du moment que les entreprises de production, transport et distribution de l'électricité au nombre de 2 408 à la Libération ont été regroupées à 94 % au sein d'Electricité de France. Par ailleurs, il faut rappeler que les usagers souhaitent avant toute chose un accès à l'énergie qui soit sûr et compétitif. Pour ce faire, quel que soit le degré d'autonomie atteint grâce aux énergies locales, il est toujours nécessaire de prévoir un raccordement aux réseaux pour assurer l'appoint et/ou le secours et dans bien des cas, en zone rurale notamment, on est même conduit à prévoir un renforcement de ces réseaux pour permettre l'évacuation des productions locales lorsque celles-ci deviennent excédentaires.²

Le législateur de 2015 a par ailleurs clairement affirmé que l'autonomie énergétique n'était pas la seule préoccupation à

² Le renforcement des réseaux rendu nécessaire par le développement des énergies intermittentes peut prendre une importance considérable lorsqu'on le considère au niveau des régions. On se référera sur ce point à l'exemple allemand et au déséquilibre entre l'Allemagne du Nord, forte productrice d'électricité d'origine éolienne, et l'Allemagne du Sud forte consommatrice.

prendre en considération pour définir le concept d'énergie positive. La loi sur la transition énergétique a en effet défini un trépied sur lequel doit reposer le TEPOS et par inférence le BEPOS :

- efficacité énergétique ;
- réduction des émissions de gaz à effet de serre et diminution de la consommation d'énergies fossiles ;
- déploiement d'énergies renouvelables.

Ces trois notions constituent des exigences incontournables de la notion de BEPOS et de TEPOS et nous les expliquerons plus loin. La question se pose cependant de savoir si ces notions de nature énergétique doivent être complétées par d'autres exigences relevant de l'éco-responsabilité : recyclage des déchets, protection des ressources en eau, sauvegarde de la biodiversité... La question n'est pas anodine car la réponse conditionnera les règles qui seront imposées aux bâtiments de demain. Elle ne semble pas tranchée à ce stade et certains voudraient que la notion de BEPOS s'efface devant celle plus générale de bâtiments éco-responsables. Au niveau des territoires, on observe que les pouvoirs publics ont lancé en 2014 un appel d'offres en faveur des « Territoires à énergie positive pour la croissance verte » se référant à des critères qui vont au-delà des seules considérations énergétiques. Mais la loi de 2015 fait une claire distinction entre deux concepts complémentaires mais distincts : celui de « bâtiments à énergie positive » et celui de « bâtiments à haute performance environnementale ». Nous ne prendrons pas parti dans cet article sur la question de savoir si ces deux concepts doivent se rejoindre et nous resterons dans le cadre de « l'énergie positive » laquelle pourra toujours être complétée, en tant que de besoin, par d'autres considérations.

Quels que soient les critères retenus, l'intérêt de mener une réflexion "bottom-up", allant des consommateurs vers les producteurs, complémentaire par conséquent de l'approche "top-down" traditionnellement utilisée dans le domaine de l'énergie, mérite d'être souligné. Cependant il faut que ces deux approches puissent se rencontrer et donc qu'elles soient menées sur des bases cohérentes de façon à ne pas conduire à des hiatus entre la vision des « décideurs d'en haut » et celle des « consommateurs d'en bas ».

Le bâtiment à énergie positive

S'entendre sur les principes

Avant d'approfondir la notion d'énergie positive appliquée au bâtiment et lui donner une signification opérationnelle, il nous faut s'entendre sur quelques principes essentiels.

La comptabilité des énergies

Il faut tout d'abord définir la façon dont les consommations et les productions d'énergie seront comptabilisées afin

que des bilans puissent être établis. Certains, pour diverses raisons qui ne sont pas toutes techniques, continuent à préconiser la tenue de comptabilités en énergie primaire de préférence à l'énergie finale. Avec l'arrivée massive des énergies renouvelables, cette approche, imaginée pour agréger entre elles les énergies fossiles et rendre compte des prélèvements opérés sur les ressources naturelles, n'a plus aujourd'hui aucune justification. En effet comment parler de consommation en énergie primaire pour des énergies renouvelables qui par définition ne s'épuisent pas ? L'utilisation de coefficients convenus pour la transformation des énergies en énergie primaire conduit à des paradoxes qui ont été maintes fois mis en évidence³. Par ailleurs, la comptabilisation en énergie primaire est contraire à l'esprit de l'énergie positive qui est une approche par le bas partant de l'utilisateur alors que l'énergie primaire est une approche amont qui implique des hypothèses sur la façon dont le système énergétique répond à l'ensemble des besoins finaux en énergie.

Il faut donc une fois pour toutes décider de raisonner en énergie finale pour évaluer les besoins et la façon dont ils sont localement satisfaits. Ceci est au demeurant conforme aux prescriptions de la LTECV qui impose d'évaluer en énergie finale les progrès d'efficacité énergétique et de pénétration des énergies renouvelables.

Sur quelle période apprécier l'autonomie d'un bâtiment

L'autonomie qui sous-tend le concept d'énergie positive peut être recherchée à tout instant mais il est plus naturel de chercher à l'apprécier sur un cycle complet des saisons c'est-à-dire sur une période de un an. Ceci laisse pendantes les questions de fluctuations climatiques pour lesquelles il faut convenir de mécanismes de correction par rapport à une année-type mais ceci n'est pas le plus difficile.

Autoproduction, autosatisfaction ou autoconsommation

Plus délicate est la question a priori triviale de la définition même de l'autonomie. Celle-ci renvoie à trois notions complémentaires mais distinctes : l'autoproduction, l'autoconsommation et l'autosatisfaction des besoins. Prenons le cas d'une maison dotée d'une certaine surface de panneaux photovoltaïques de « petite toiture ». Ces panneaux assurent une production d'électricité qui, selon les moments de la journée (et selon les saisons également) sera inférieure ou supérieure aux besoins en énergie du bâtiment (figure 2).

³ Voir en particulier « le kWh mal traité (1^{ère} partie) » dans la REE 2014-4.

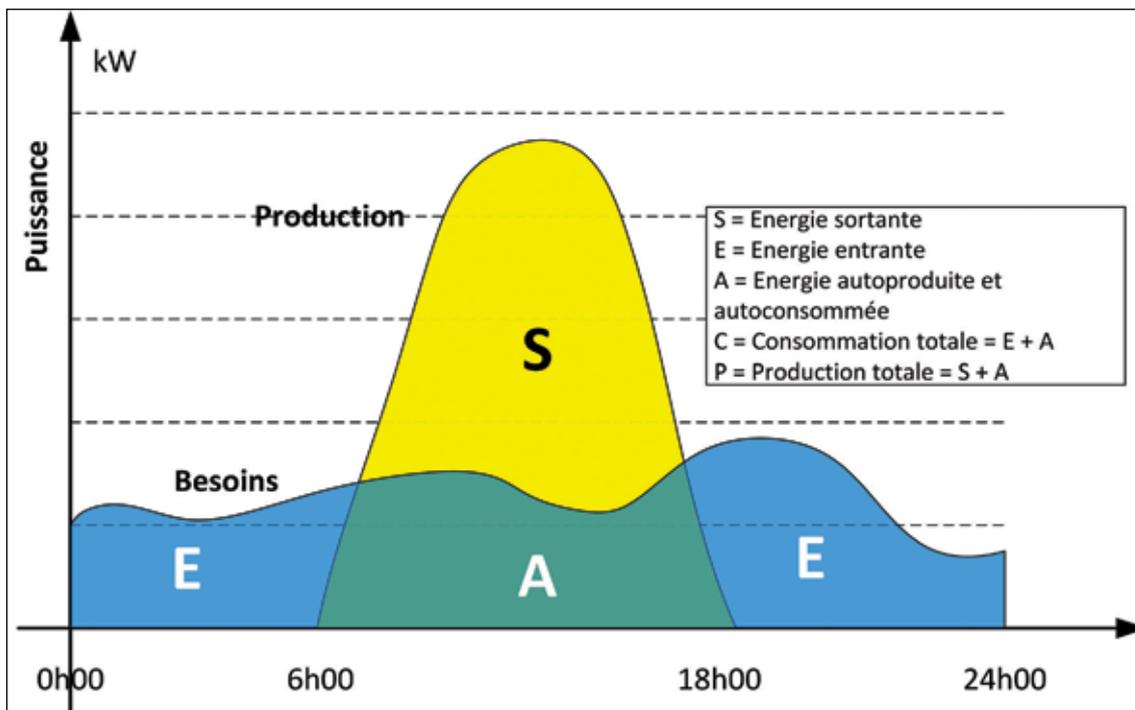


Figure 2 : Evolution sur une journée type des besoins en énergie électrique d'un logement et des apports en provenance de panneaux photovoltaïques.

L'autonomie du bâtiment n'est assurée que pendant une fraction du temps et pendant cette période il y aura généralement de l'énergie excédentaire à évacuer vers le réseau. Quel est dès lors l'objectif recherché ?

- Maximiser l'autoproduction (S+A) ou le rapport autoproduction/consommation ($(S+A)/[E+A]$)
- Maximiser l'autoconsommation au sein de l'autoproduction ($A/[S+A]$)
- Maximiser l'autosatisfaction c'est-à-dire $A/[E+A]$

Maximiser l'autoproduction conduit à installer le maximum de m² de panneaux photovoltaïques sur les toits même s'ils sont orientés au Nord. Est-ce bien raisonnable ? A contrario, maximiser le taux d'autoconsommation conduit à limiter la surface des panneaux à ce qui peut à tout instant être utilisé localement. Cette notion a donc un effet minorant. Nous pensons que le bon critère à optimiser est le taux d'autosatisfaction des besoins c'est-à-dire $A/[E+A]$. C'est en effet celui qui correspond le mieux au souci d'utiliser localement les ressources locales. L'énergie « exportée » (S) peut avoir un intérêt sur le plan économique⁴ mais il est difficile localement d'en juger. En outre, sa valorisation implique l'existence de réseaux de capacité appropriée, réseaux que le développement de l'énergie positive tend précisément à contenir. La

⁴ Elle peut aussi n'en avoir aucun voire être nuisible au bon fonctionnement des réseaux comme en atteste la valeur négative du prix du MWh sur les places d'échange d'électricité, plusieurs centaines d'heures par an. L'électricité excédentaire est alors un véritable « déchet ».

production excédentaire d'énergie doit être traitée sur des bases commerciales, avec un soutien éventuel si cela est justifié, mais elle ne ressort pas de la notion d'énergie positive.

Ces points posés, en se fondant sur les trois critères énoncés pour les TEPOS par la loi de 2015, le BEPOS doit répondre à trois exigences essentielles :

- sobriété en énergie des bâtiments ;
- très faibles émissions de gaz à effet de serre ;
- contribution substantielle des énergies renouvelables à la satisfaction des besoins.

La sobriété des bâtiments

L'exigence de construction de bâtiments sobres en énergie n'est pas nouvelle. Elle est née aux lendemains de la crise pétrolière et a conduit, par étapes successives, à un renforcement considérable de la réglementation thermique des bâtiments. La RT2012 est une réglementation multicritères qui comporte, entre autres choses, des règles relatives au coefficient Bbio représentant le besoin bioclimatique conventionnel en énergie d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage artificiel.

Le BEPOS sera bien évidemment un bâtiment très sobre en énergie, qui procurera un bon confort d'été et qui restera performant quel que soit, à l'avenir, le système énergétique qui le desservira. Cependant, compte tenu du niveau de très haute performance déjà atteint dans la RT 2012, il n'est pas sûr qu'un renforcement des exigences soit justifié. Cependant

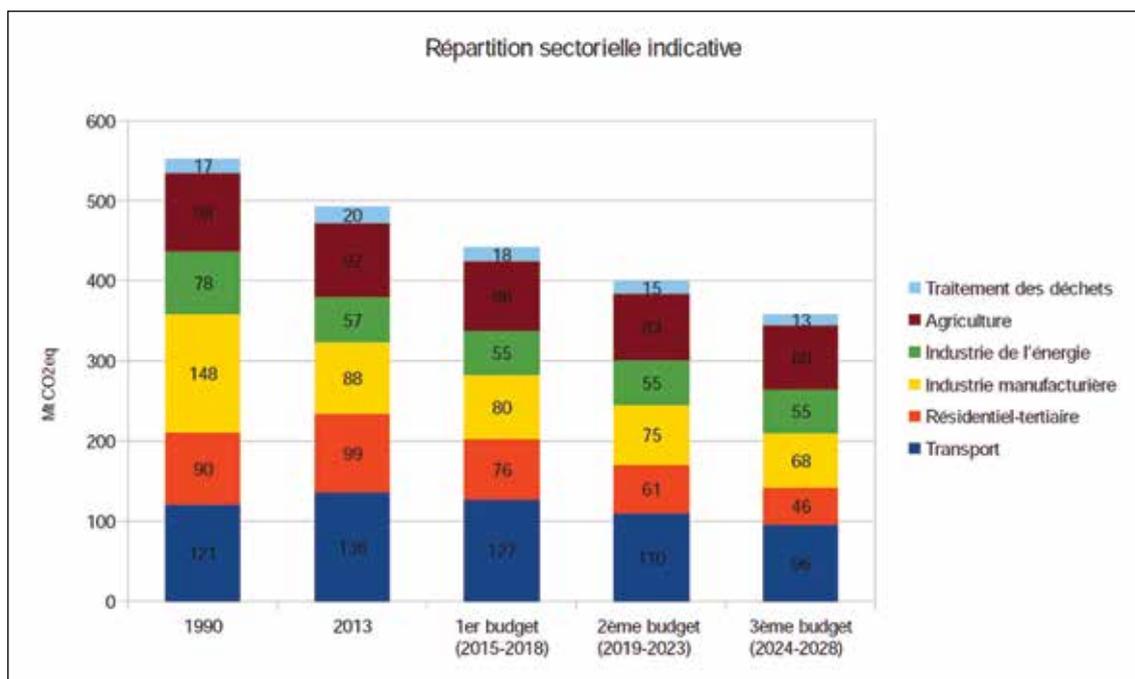


Figure 3 : Evolution sectorielle prévisionnelle des émissions de CO₂ en France selon la Stratégie nationale bas-carbone – Source : MEDDE (2015).

si son impact sur les coûts de construction était négligeable, une réduction de 20 % des valeurs maximales du Bbio imposées prévues par la RT2012 pourrait être envisagée.

En complément du Bbio, il est souhaitable d'introduire un critère Cfin (consommation d'énergie finale) afin de permettre d'assurer le suivi de la consommation d'énergie finale des constructions neuves au regard de l'objectif national de réduction de la consommation d'énergie finale de 50 %. Pour éviter des solutions de continuité, son calcul pourra s'appuyer sur les méthodes et les logiciels de calcul utilisés aujourd'hui dans la RT2012 pour le calcul de la consommation conventionnelle.

Les émissions de CO₂

La réduction des émissions de CO₂ est au cœur de la loi de 2015 sur la transition énergétique avec pour ambition d'atteindre le facteur 4 en 2050. Les logements construits aujourd'hui, dont la durée de vie prévisionnelle est de l'ordre de 100 ans, doivent contribuer de façon substantielle à la réalisation de cet objectif selon la « Stratégie nationale bas-carbone » approuvée en novembre 2015 (figure 3).

Le respect de la RT2012 n'est pas suffisant. En effet, les logements neufs chauffés au gaz, qui représentent environ 70 % du marché, émettent environ 10 kg de CO₂ par m² et par an. Or, pour respecter le facteur 4, il faut que l'ensemble des bâtiments n'émettent pas plus de 3 kg de CO₂/m² an en 2050. Tout bâtiment neuf qui émet plus que ces 3 kg CO₂/

m².an rend plus difficile la réalisation de l'objectif. C'est donc à ce niveau que doit être fixé dans la future réglementation BEPOS la valeur maximale du coefficient d'émission Cges.

Une telle prescription est très forte, elle impose une révision des échelles du DPE (Diagnostic de performance énergétique) mais c'est elle qui permettra de sortir, dans le domaine du bâtiment, de la dépendance vis-à-vis des énergies renouvelables. Elle pourra en outre être complétée par une limitation, calculée en cycle de vie, sur le CO₂ contenu dans le bâtiment lui-même, dont le montant est loin d'être négligeable par rapport aux émissions en exploitation et représente de l'ordre de 25 à 50 % des émissions totales selon que l'on raisonne sur une durée de vie des logements de 100 ou 50 ans.

Les apports en énergies renouvelables

Imposer un minimum d'apports en énergie renouvelable dans la satisfaction des besoins du BEPOS constituera une innovation importante. Elle doit s'interpréter comme la démultiplication au niveau local des objectifs fixés par la LTECV (porter la part des EnR à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % en 2030), ces objectifs s'inscrivant eux-mêmes dans le cadre des directives communautaires⁵.

⁵ Notamment la directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables.

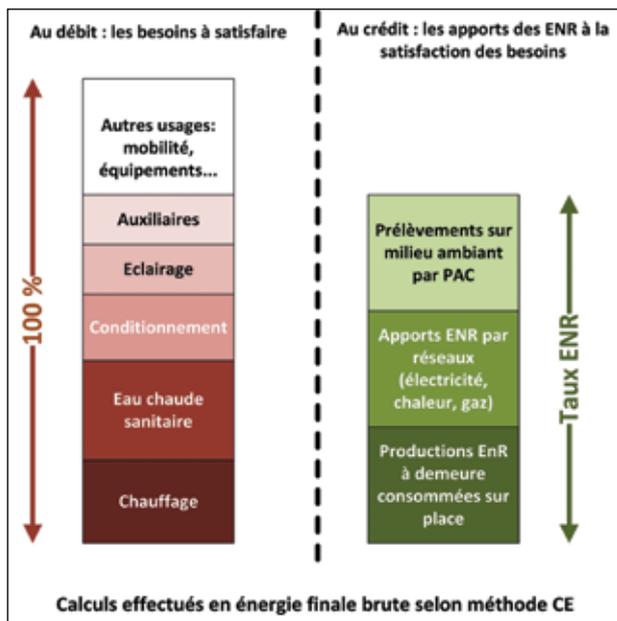


Figure 4 : Comment établir un compte d'exploitation local en EnR.

Cependant il y a débat sur la façon dont le décompte des apports en énergie renouvelable doit s'opérer. Certains voudraient ne prendre en compte que les énergies renouvelables locales écartant ainsi les énergies renouvelables partagées par les réseaux c'est-à-dire celles alimentant à la source les réseaux de distribution d'énergie électrique (hydraulique, éolien, photovoltaïque, biomasse), de gaz (méthanisation avec réinjection), de chaleur (bois, déchets naturels). D'autres omettent de prendre en compte l'énergie prélevée sur le milieu ambiant par les pompes à chaleur. Ces controverses sont attisées par le fait que les modalités d'établissement des statistiques nationales sur les contributions des EnR, ne sont pas encore alignées sur les statistiques européennes.

En fait, les apports des EnR, décomptés en énergie finale pour les raisons exposées précédemment, doivent prendre en compte l'ensemble des EnR concourant à la satisfaction des besoins car d'un point de vue national et même local il n'y a pas lieu de privilégier les unes par rapport aux autres (quel intérêt y aurait-il, par exemple, à multiplier les panneaux photovoltaïques ou les éoliennes en local si on peut les implanter de façon plus judicieuse ailleurs). Pour chaque usage local, il faut dresser un compte d'exploitation des énergies utilisées, comprenant (figure 4) :

- **au débit**, les besoins « réglementés » auxquels on peut ajouter les besoins spécifiques (nés des équipements domestiques voire de la mobilité) quitte à les évaluer, au moins dans un premier temps, de façon forfaitaire ;
- **au crédit**, les apports des EnR :
 - production à demeure d'électricité, dans la mesure où elle sert effectivement à la couverture des besoins locaux et calculée selon un pas au plus horaire, cette production pouvant être d'origine photovoltaïque, biomasse, déchets renouvelables ou autres ;
 - apports d'énergie thermique renouvelable : solaire, géothermie, combustion du bois...⁶
 - apports de gaz naturel d'origine renouvelable (biogaz) ;
 - apports aérothermiques, géothermiques ou hydrothermiques des pompes à chaleur ;
 - apports d'EnR par les réseaux (gaz, chaleur et électricité).

Le ratio crédit/débit permet de déterminer le **taux de couverture en énergies renouvelables (Cenr)**.

⁶ Dans le cas du bois et des déchets, la distance entre origine et destination est un paramètre important. Il pourra être introduit une distance maximale à ne pas excéder pour être considéré comme EnR.

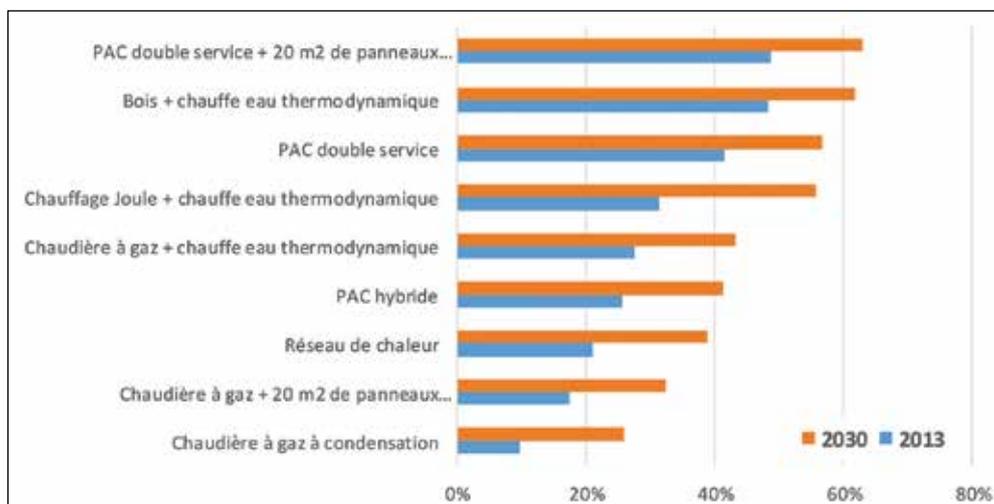


Figure 5 : Taux de couverture par les EnR des besoins d'une maison RT2012 de 100 m² en région parisienne selon les modes de chauffage et de production de l'eau chaude sanitaire. Evaluations approchées faites dans les conditions 2013 et 2030 – Source : Auteur.



Figure 6 : Ensemble Green Office de Rueil-Malmaison – Architecte : Wilmotte & associés – Crédit photo : Augusto Da Silva-Graphix.

Cette méthode très simple, appliquée aux logements neufs type RT 2012, fait apparaître des disparités fortes dans le taux de couverture des besoins puisque ce taux oscille, selon les solutions aujourd’hui retenues pour l’alimentation en énergie des logements, entre environ 10 % et 49 % (figure 5). Ces taux sont appelés à augmenter au fur et à mesure de l’accroissement de la part des EnR dans l’alimentation des réseaux et, en 2030, à solutions inchangées, la fourchette devrait s’étaler entre 26 et 63 %.

Ces chiffres peuvent être très sensiblement améliorés s’il existe des ressources locales exploitables : rivière ou nappe d’eau pouvant servir de source chaude à une pompe à chaleur (PAC), géothermie, présence de déchets naturels ou de biomasse pouvant donner lieu à méthanisation... Dans des conditions favorables, on comprend qu’il soit possible d’atteindre un taux de couverture en EnR de 100 % mais cela n’a rien de systématique et dépend des données locales. Il est donc impossible de faire du BEPOS intégral une obligation de caractère général, ce qui serait une aberration technique et économique.

Notre préconisation en ce domaine est de retenir une réglementation à deux niveaux fondée sur :

- un seuil minimal d’EnR que tous les bâtiments devraient satisfaire à compter de 2020. Ce seuil “BEPOS” devrait être modulé par zones géographiques mais pourrait se situer aux environs de 20 % ;
- un seuil de qualification “BEPOS+” qui pourrait correspondre à un taux minimal de l’ordre de 40 %.

Ces exigences pourraient être revues avec le temps et être portées en 2030 à 40 et 60 %.

Le développement de systèmes de stockage de l’énergie, électrochimiques notamment, est également de nature à permettre d’atteindre des taux de couverture en EnR plus élevés. La réglementation constituera une incitation importante à accélérer leur développement.

Réalisations et solutions

La compensation mise en avant

On ne dispose pas aujourd’hui d’un recul très important sur les résultats que l’on peut obtenir, en restant dans des limites économiques raisonnables, en matière d’autonomie énergétique des bâtiments. Les données locales influent beaucoup sur les performances atteintes et les opérations pilotes associent généralement la mise en œuvre de principes d’application générale (bâtiments sobres en énergie, équipements performants) à la valorisation de ressources typiquement locales. Ainsi, l’ensemble de 35 000 m² de bureaux Green Office[®] inauguré en 2015 à Rueil-Malmaison, vise des consommations particulièrement basses avec 20,2 kWh_{ep}/m².an couverte par des productions locales rendues possibles par la géothermie captant les calories ou les frigories dans la nappe alluviale en bordure de Seine.

Une autre réalisation similaire, à Meudon (figure 7), affiche en réalisations de première année 70,8 kWh_{ep}/m².an de consommations tous usages qui ne sont pas couverts mais « compensés » à hauteur de 76,9 kWh_{ep}/m².an par l’huile



Figure 7 : Ensemble Green Office de Meudon – Architecte : Ateliers 115 architectes – Crédit photo : Eric Sempé.



Figure 8 : Ensemble Hikari de Lyon – Architecte : Kengo Kuma & associates – Crédit photo : Cyrille Thomas.

de colza provenant de la région parisienne complétée par 4 000 m² de panneaux photovoltaïques.

A Lyon, l'ensemble Hikari, inauguré également en 2015 (figure 8), fait état des performances suivantes (source Sitec et IFPEB) :

- Taux de couverture des besoins en chaud et eau chaude sanitaire (ECS) par EnR : 90 %
- Taux de couverture des besoins en froid par EnR : 80 %
- Indice d'autoconsommation électrique : 37,1 %
- Indice d'autoproduction électrique : 26,1 %

Sur ces exemples, on voit bien la différence entre « couverture » des besoins et compensation, beaucoup de réalisations mettent en avant la compensation de leurs consommations par des productions d'EnR. Cette approche est très similaire à celle qui connut ses heures de gloire au démarrage du protocole de Kyoto dont le « mécanisme de développement propre » permettait d'acquérir des crédits carbone compensant les émissions. Les organisations les plus diverses – y compris à l'époque le Vatican dont les crédits carbone furent assimilés aux « Indulgences » dénoncées par Voltaire – se réclamaient à relativement peu de frais de la neutralité car-

bone. La mode est aujourd'hui retombée. Dans le domaine de l'énergie positive, nous préférons donc à la compensation la couverture effective des besoins par les EnR telle que décrite ci-dessus même si elle n'est que partielle. Elle seule en effet a une réelle signification intrinsèque, tant qu'elle reste dans des limites économiques acceptables, et ne peut donner lieu à des manipulations.

L'avantage des pompes à chaleur

Aujourd'hui le bâtiment à énergie positive, du fait de cette propension à privilégier les systèmes de production décentralisés, incite à privilégier comme solution générique les panneaux photovoltaïques, complétés éventuellement par des ressources locales. Pourtant il existe une solution beaucoup plus efficace, énergétiquement et économiquement, et d'application quasiment générale (y compris en petits collectifs) : la pompe à chaleur double service (chauffage et eau chaude sanitaire) fonctionnant sur l'eau ou sur l'air.

Dans l'approche « énergie positive », la pompe à chaleur présente des avantages décisifs au regard des trois critères retenus :

- elle permet, pour une qualité de bâti donné, de réduire fortement les consommations et donc atteindre plus facilement le plafond fixé en termes d'énergie finale ;
- fonctionnant à l'électricité, elle bénéficie de la décarbonation quasi-totale du kWh électrique ;
- en termes de couverture EnR, elle offre un double avantage :
 - des prélèvements d'énergie sur le milieu environnant gratuits et renouvelables ;
 - une contribution en électricité « de réseau » d'origine de plus en plus renouvelable (objectif : 40 % après 2030, selon la LTECV).

Ainsi, si l'on prend comme référence une maison de 100 m² RT2012 chauffée au gaz en région parisienne avec un taux de couverture EnR de 10 % en 2013, on peut montrer qu'un accroissement de 1 % de ce taux de couverture va entraîner un surcoût en investissement d'environ 100 € si l'on équipe la maison d'une PAC double service au lieu d'une chaudière à gaz et de 800 € si l'on équipe la toiture de panneaux photovoltaïques.

Mais les pompes à chaleur restent des objets techniques qui ne bénéficient pas de la même auréole verte que les énergies réputées douces : éolienne, biomasse et photovoltaïque.

Quartiers et territoires à énergie positive

Partant de la notion de bâtiment à énergie positive, il est tentant d'étendre la notion au niveau du quartier et du territoire.

Les éco-quartiers à énergie positive

L'écriture du cahier des charges d'un éco-quartier à énergie positive n'est pas chose aisée. On doit y intégrer de nombreuses dispositions relatives à la protection du milieu naturel, au cadre de vie, à la mobilité et à la santé des occupants, qui sortent du cadre de cet article. S'agissant de la partie spécifique à l'énergie, on pourrait penser qu'il soit possible d'étendre au niveau du quartier le concept de compte d'exploitation énergétique développé ci-dessus à propos des bâtiments en comptabilisant par exemple les dépenses d'éclairage public. Mais cette entreprise trouve vite ses limites : il faut en effet prendre en compte également les transports, qui intéressent généralement plusieurs quartiers, l'évacuation des déchets, les activités industrielles ou de service, les transferts d'énergie grise...

Nous pensons qu'un quartier à énergie positive devrait se caractériser par :

- des bâtiments répondant aux exigences "BEPOS+" telles que définies précédemment ;
- des exigences additionnelles sur la sobriété des équipements publics (éclairage public notamment) ;



Figure 9 : Logo officiel des territoires à énergie positive pour la croissance verte.

- la mise en valeur de synergies entre bâtiments, usages, activités qui au niveau d'un quartier peuvent, en fonction des données locales, faire sens :
 - complémentarité des courbes de charge entre habitations et activités tertiaires ;
 - mise en commun de ressources locales : géothermie, méthanisation, centrale à bois alimentant un réseau de chaleur ;
 - organisation de la mobilité électrique : planification des recharges et tarification appropriée ;
 - installation, le moment venu, de stockages électriques mutualisés et mise en place d'une politique coordonnée d'effacement ;
 - etc.

Il est possible de quantifier chacune des actions susvisées mais leur agrégation en indicateurs permettant de certifier un quartier à énergie positive reste problématique. Le recours à une accréditation des éco-quartiers laissant place à l'appréciation nous semble demeurer inévitable.

Les territoires à énergie positive

La situation se complique encore au fur et à mesure que l'on passe de la notion de quartier à celle de « territoire ». Ce vocable, qui fait partie des expressions à la mode, est en lui-même flou. Qu'est-ce qu'un territoire ?

S'il s'agit d'un îlot ou d'un quartier, nous revenons à la problématique du paragraphe qui précède. S'il s'agit de zones plus vastes, allant jusqu'à la région, alors la notion d'énergie positive, pourtant introduite par la LTECV, devient de plus en plus incertaine. Outre qu'il serait illusoire de vouloir imposer des obligations de type BEPOS+ à toutes les composantes d'un vaste territoire, la notion même d'autonomie au niveau de la région perd toute signification compte tenu du rôle fondamental joué par les réseaux. Il se pose aussi une question de limite de taille : faudrait-il et pour quelles raisons éliminer du décompte des ressources renouvelables les barrages, les grandes centrales photovoltaïques, les grandes centrales à biomasse ? La centrale solaire de Cestas de 300 MWc – la plus grande d'Europe – devrait-elle être mise au crédit de la région Aquitaine déjà autosuffisante en électricité et uti-

lisant plus de 98 % de ressources n'émettant pas de CO₂ ? Que faire de la même façon de la centrale à biomasse de Gardanne (150 MW) qui doit aller chercher très loin les 855 000 t/an de biomasse qui lui sont nécessaires et pour 55 % aujourd'hui sur les marchés d'importation.

Ces remarques incitent à penser qu'il va être très difficile malgré les prescriptions de la LTECV, de sortir de l'approche qualitative et multicritères qui a donné naissance à l'appel à projets de 2014 sur les « Territoires à énergie positive pour la croissance verte » (TEPCV) pour la sélection desquels l'éco-exemplarité, la pacification des circulations, l'optimisation de l'éclairage public... jouent un rôle plus important que les strictes considérations énergétiques.

La recommandation pourrait être d'éviter de considérer des TEPOS de grande dimension et de se limiter à des TEPOS proches des éco-quartiers à moins d'en revoir la définition.

Conclusions

Le vocable « d'énergie positive » est un terme à la mode dont il est fait un usage abusif. Mais ce terme est repris dans la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Il est donc nécessaire de lui donner une définition précise.

Nous avons dans cet article essayé de le faire dans le cas des bâtiments, dont le

poids en termes de consommations d'énergie et d'émissions de CO₂ est important. Nous préconisons de qualifier un bâtiment à énergie positive (un BEPOS) en fonction de critères objectifs, cohérents avec les orientations données par la loi, choisis de façon à éviter toute solution de continuité entre les calculs pouvant être faits au niveau local et ceux qui doivent être faits au niveau national pour répondre aux obligations de la loi et des directives européennes.

L'un des points-clés, et des plus innovants, réside dans la façon dont un compte d'exploitation des énergies renouvelables servant à la satisfaction des besoins locaux peut être établi. Une méthodologie est proposée pouvant déboucher sur l'institution de labels "BEPOS" et "BEPOS+".

Nous montrons que parmi les techniques auxquelles on peut recourir pour implémenter la notion d'énergie positive, c'est la pompe à chaleur qui offre les meilleurs atouts techniques et économiques.

Au niveau des territoires, l'extension de la définition d'énergie positive pose des problèmes très difficiles et la pertinence même du concept peut être questionnée. Cependant à l'échelle des quartiers, il existe des synergies entre productions et consommations qui méritent d'être exploitées, notamment dans la perspective des smart grids et des cités intelligentes et que le concept d'énergie positive permet de mettre en valeur. ■

Jean-Pierre Hauet est ingénieur au corps des Mines. Il est associé partenaire de KB Intelligence. Au cours de sa carrière, il a dirigé les Laboratoires de Marcoussis du groupe Alcatel-Alsthom et a été Chief Technology Officer du Groupe ALSTOM. Il est membre émérite de la SEE et rédacteur en chef de la REE.