

PRÉB4T

PROGRAMME DE RECHERCHE
ET D'EXPERIMENTATION
SUR L'ENERGIE DANS LE BÂTIMENT

VERS DES BÂTIMENTS À ÉNERGIE POSITIVE

Proposition de structuration des actions de recherche

Juin 2009

VERS DES BÂTIMENTS À ÉNERGIE POSITIVE

Proposition de structuration des actions de recherche

Jean Christophe Visier CSTB

Michel Macary Architecte

Etienne Wurtz CNRS

Marc Casamassima, Daniela Sanna ADEME

Dominique Pierroux, Christian Cremona DRI/CGDD/MEEDDAT

François Buyle Bodin Université Lille

1.	INTRODUCTION.....	2
2.	QU'EST CE QU'UN BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE ?.....	3
2.1	Les approches des précurseurs	3
2.2	La prise en compte des énergies renouvelables	4
2.3	Quelques ordres de grandeur	5
2.4	Quelle définition adopter pour un bâtiment à énergie positive ?	5
2.5	Quels indicateurs pour suivre les progrès vers l'énergie positive ?.....	6
2.6	Une difficulté d'atteinte de l'objectif qui varie d'un bâtiment à un autre	7
3.	QUELS GRANDS OBJECTIFS POUR LA RECHERCHE ?	8
3.1	Un objectif central et huit objectifs thématiques	8
3.2	Concevoir, construire et gérer des bâtiments à énergie positive : des recherches pour une approche globale	9
3.3	Maîtriser les consommations sur les 5 usages de la Réglementation Thermique.....	11
3.4	Maîtriser les consommations pour les autres usages locaux.....	11
3.5	Exploiter les énergies renouvelables sur le site	12
3.6	Maîtriser les impacts énergétiques et environnementaux liés à la construction du bâtiment.....	13
3.7	Maîtriser l'énergie nécessaire pour le transport des utilisateurs.....	13
3.8	Assurer une qualité architecturale et urbaine.....	14
3.9	Apporter un environnement confortable et sûr.....	14
3.10	Faciliter les comportements éco-responsables	15
4.	COMMENT SE METTRE EN ROUTE ?	16

1. INTRODUCTION

«Dès 2020, tous les bâtiments neufs seront à énergie positive, c'est-à-dire qu'ils produiront davantage d'énergie qu'ils n'en consomment» déclarait Nicolas Sarkozy lors de la restitution des conclusions du Grenelle de l'environnement. L'Assemblée Nationale puis le Sénat expriment ensuite cette ambition dans le projet de loi de programmation relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement : *«Toutes les constructions neuves faisant l'objet d'une demande de permis de construire déposée à compter de la fin 2020 présentent, sauf exception, une consommation d'énergie primaire inférieure à la quantité d'énergie renouvelable produite dans ces constructions et notamment le bois-énergie»*.

Cette volonté politique d'une généralisation en France sur une période d'une douzaine d'années de bâtiments pose des questions à tous les acteurs.

Quels enjeux pour l'architecture des bâtiments de demain et pour l'organisation de la ville ?

Quelles techniques constructives ?

Quel confort quelle qualité de vie dans ces futurs bâtiments ?

....

Ce document, réalisé à la demande du Président du comité Bâtiments Neufs du Prebat contribue à la réflexion sur la structuration de la recherche sur les bâtiments à énergie positive.

Il a été rédigé par un groupe de travail animé par le CSTB et associant François Buyle Bodin, Marc Cassamassima, Christian Cremona, Michel Macary, Dominique Pierroux, Daniela Sanna, Jean Christophe Visier et Etienne Wurtz.

Après avoir passé en revue les questionnements qui se posent aux précurseurs qui réalisent les premiers bâtiments dits «à énergie positive», il aborde deux points principaux :

- Qu'est ce qu'un bâtiment à énergie positive ?
- Quels grands objectifs pour les recherches à venir sur les bâtiments à énergie positive ?

Enfin il esquisse une description des premières étapes à engager pour progresser vers des bâtiments à énergie positive.

NB : Si ce document est clairement positionné sur les bâtiments neufs, il n'exclut pas une certaine forme d'extension de certains de ses éléments aux bâtiments existants.

2. QU'EST CE QU'UN BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE ?

Il n'y a pas à ce jour de définition précise et consensuelle pour un bâtiment à énergie positive.

Pour fournir une définition, il est utile de s'appuyer sur les approches suivies par les précurseurs des premiers bâtiments dits «à énergie positive», sur l'analyse des ordres de grandeur des consommations d'énergie primaire d'un bâtiment et des différents modes de production d'énergie renouvelable, sur les travaux présentés par l'Ademe et l'association Effinergie dans le cadre du comité opérationnel «bâtiments neufs» du Grenelle de l'environnement. Ceci permet de mieux appréhender les forces et les faiblesses des différentes définitions amorcées et de proposer une définition dans le cadre de ce travail.

2.1 LES APPROCHES DES PRECURSEURS

Les premiers bâtiments affichés comme à énergie positive se développent aujourd'hui en France. Ils sont issus de démarches individuelles ou incités par les appels à projets bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie lancés par l'Ademe et les régions dans le cadre du Prebat. A titre d'exemple : école J.L. Marquèze à Limeil Brevannes¹, tour Elithys à Dijon², projet des archives départementales du Nord³, projet Green Office de Bouygues Immobilier⁴...

Leur analyse et les solutions mises en œuvre pour atteindre l'objectif de produire sur place autant d'énergie primaire que le bâtiment en consomme, illustrent des voies possibles et les problèmes à résoudre.

Le développement de ces projets et la communication produite par leurs maîtres d'ouvrage peut laisser penser que le «bâtiment à énergie positive» est à portée de main. L'analyse plus détaillée de leurs expériences met cependant en évidence de réelles difficultés auxquelles ils ont été confrontés.

Chaudière bois, cogénération à huile végétale,... plusieurs projets font appel à une énergie renouvelable non produite sur place. Comment considérer cette énergie renouvelable, doit elle être prise en compte dans le bilan ? Peut-on parler d'énergie positive lorsqu'une énergie certes renouvelable est menée sur site mais produite ailleurs ?

Quelle sera la place prise par les occupants dont le comportement sera essentiel à l'atteinte de l'objectif ? Les concepteurs de la tour Elithis fixent ainsi à 20kwh/m².an les gains complémentaires à obtenir via un comportement «éco-environnemental» dans un bâtiment pour lequel la conception et la réalisation ont été optimisées. Prendre en compte cet impact de l'occupant apparaît ainsi comme un champ de recherche en soi pour ces bâtiments.

¹ <http://www.limeil-brevannes.fr/data/documents/LB-dossier-presse-JLM.pdf>

² http://www.elithis.fr/index_02.htm

³ <http://www.lemoniteur.fr/135-environnement/article/actualite/519350-archives-du-nord-norpac-remporte-un-batiment-experimental-a-energie-positive>

⁴ <http://www.green-office.fr/>

Dépasant une approche portant simplement sur les consommations d'énergie, les projets affichent une approche environnementale. «*Plus de matière grise pour moins d'énergie grise*⁵» lit-on sur le site de la tour Elithis. Dans leur souhait d'améliorer la performance, les concepteurs ne s'arrêtent pas à la seule prise en compte des consommations d'énergie pendant l'exploitation du projet mais visent l'ensemble du cycle de vie.

Cette approche globale va sur certains projets jusqu'à intégrer une réflexion sur le transport : «*Utilisation de véhicules hybrides et vélos, transport des équipes et des visiteurs par train et covoiturage*» sont soulignés sur le site du projet Natural Positive Building de l'agence Coste architecture ⁶.

Enfin la promotion du confort et de la qualité des ambiances est très présente dans l'ensemble des descriptions de ces opérations. Un «bâtiment à énergie positive» se devra d'être sain et confortable.

2.2 LA PRISE EN COMPTE DES ENERGIES RENOUVELABLES

Plusieurs sources d'énergies renouvelables peuvent être envisagées pour un bâtiment à énergie positive. Il paraît cependant important de différencier les productions sur le site et les productions hors du site⁷.

La production sur le site peut se faire aujourd'hui notamment par du solaire thermique ou photovoltaïque, des micro-éoliennes ou des pompes à chaleur⁸. Cette production peut soit être utilisée directement sur le site (c'est le cas avec le solaire thermique ou les pompes à chaleur), soit être renvoyée sur le réseau pour être utilisée en partie sur le site et en partie à l'extérieur du site (comme aujourd'hui avec le photovoltaïque et les micro-éoliennes).

La production hors du site peut se faire par des systèmes très variés : production dans le quartier avec par exemple un champ de capteurs photovoltaïques placé sur un immeuble voisin, ou avec une usine d'incinération d'ordures ménagères alimentant un réseau de chaleur, production régionale de bois de chauffage sous des formes diverses, production à plus longue distance avec une centrale hydraulique ou des éoliennes alimentant un réseau de distribution d'électricité.

La différence entre production sur le site et la production hors du site peut être appréhendée à partir de la question suivante : en quoi l'existence du bâtiment ou du projet de construction (s'il s'agit d'un ensemble) modifie-t-elle l'équilibre énergétique ou, dit autrement, implique-t-elle plus, moins, ou autant d'énergie par rapport à l'absence de projet ?

Dans le cas où la production d'énergie renouvelable se fait directement sur le site il convient de constater que si le projet n'existait pas il n'y aurait ni consommation ni production d'énergies renouvelables. Si le bâtiment en produisait autant qu'il en consomme la présence ou l'absence du bâtiment laisse le bilan inchangé.

⁵ <http://www.tour-elithis.fr/grands-principes-tour-elithis.php>

⁶ <http://www.naturalpositivebuilding.fr/>

⁷ Le site peut ici comporter plusieurs bâtiments, c'est par exemple fréquemment le cas d'un lycée qui peut comporter plusieurs bâtiments et pour lequel on gagnera à étudier la notion d'énergie positive au niveau du site.

⁸ Pour un Pompe à chaleur ou un système de refroidissement, la part ENR correspond au bilan global en énergie primaire et valorisera donc la part du COP (ou EER) supérieur à 2,58 en efficacité moyenne annuelle.

Dans le cas où la production d'énergie renouvelable se fait hors du site ce lien direct entre l'existence du bâtiment et la production d'énergie renouvelable n'existe plus. Si le bâtiment n'existait pas on n'aurait alors pas de consommation d'énergie et l'énergie renouvelable produite serait disponible pour un autre usage.

Si la production d'énergie se fait au niveau du quartier il est possible, dans certains cas, d'établir une relation entre la production et la consommation. C'est notamment le cas d'un lotissement construit simultanément à une centrale de production utilisant des ENR.

2.3 QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

Le tableau suivant présente quelques ordres de grandeur (à dire d'expert) des consommations et des productions d'énergie primaire correspondant aux différents éléments du bilan d'un bâtiment dit à énergie positive. Toutes les consommations sont exprimées en kWh d'énergie primaire par m² de SHON et par an. Les consommations d'énergie pour construire le bâtiment ont été ramenées à une valeur annuelle en supposant une durée de vie de 50 ans pour le bâtiment.

Consommations pour les 5 usages du label BBC Effinergie (chauffage, ECS, refroidissement, ventilation, auxiliaires et éclairage)	40 à 65 dans les logements neufs
Consommation d'électricité non prises en compte dans le label BBC (RT2005) à préciser	Logement : de l'ordre de 60 Tertiaire : 30 (projets de pointe) à plus de 300 (bâtiments de forte densité sans attention particulière)
Energie grise	De 20 (maison individuelle optimisée) à 80 (tour)
Transport des utilisateurs	De 10 (utilisateurs se déplaçant à courte distance en transport en commun) à plus de 200 (utilisateurs venant de loin en voiture)
Production photovoltaïque	De 30 (immeuble de 10 étages avec toits et murs PV à 100 maison sur 2 niveaux avec toit PV) à 200 (maison sur un niveau avec toiture 1 pente totalement PV)

2.4 QUELLE DEFINITION ADOPTER POUR UN BATIMENT A ENERGIE POSITIVE ?

Pour les programmes de recherche, la définition proposée pour les bâtiments à énergie positive est la suivante.

Un bâtiment ou un site est à énergie positive s'il consomme peu d'énergie et si l'énergie produite sur le site, grâce aux énergies renouvelables, est supérieure à celle consommée (tous usages confondus) en moyenne sur l'année.

Les bâtiments à énergie positive doivent permettre par leur qualité architecturale une intégration harmonieuse dans la ville. Ils doivent fournir aux utilisateurs un environnement intérieur sûr, sain et confortable et faciliter des comportements écoresponsables.

Enfin pour que des bâtiments à énergie positive contribuent à la sobriété énergétique globale, ils doivent nécessiter «peu d'énergie» pour leur construction et leur localisation doit aussi nécessiter «peu d'énergie» pour le transport de leurs utilisateurs.

2.5 QUELS INDICATEURS POUR SUIVRE LES PROGRES VERS L'ENERGIE POSITIVE ?

En s'appuyant sur cette définition de l'énergie positive il est possible de définir des indicateurs quantifiables permettant de vérifier si «l'énergie positive» est obtenue ou les progrès restant à faire pour l'atteindre.

Pour cela, 4 indicateurs énergétiques sont retenus.

Les deux premiers sont des indicateurs centraux. Ils portent sur :

- La consommation totale d'énergie primaire avant prise en compte de la production locale,
- la consommation totale d'énergie primaire sur le site diminuée de la production d'énergie renouvelable sur le site. Pour faciliter la communication il sera important de trouver un nom pour cet indicateur. On le note ici provisoirement bilan énergétique du site. Un bâtiment sera à énergie positive uniquement si ce bilan passe au dessus de zéro en moyenne sur l'année et que le bâtiment devient donc un exportateur d'énergie plus qu'un importateur.

Ces indicateurs sont calculés lors de la conception du bâtiment et mesurés lors de son exploitation.

Les deux autres indicateurs sont complémentaires. Ils font référence à :

- l'énergie grise, énergie primaire nécessaire à la construction, à l'entretien, à la maintenance et à la démolition du bâtiment,
- l'énergie primaire nécessaire au transport des utilisateurs des bâtiments.

Ces indicateurs énergétiques seraient complétés par des informations qualifiant l'environnement intérieur du bâtiment.

Ces différents indicateurs quantitatifs ne s'appliquent que sur une partie de la définition. La qualité architecturale ne relève pas d'une telle quantification. Faciliter les comportements éco-responsables n'est pas quantifiable strictement lors de la construction du bâtiment alors que l'impact est particulièrement fort sur les indicateurs mesurés en exploitation.

2.6 UNE DIFFICULTE D'ATTEINTE DE L'OBJECTIF QUI VARIE D'UN BÂTIMENT A UN AUTRE

Les quelques exemples suivants montrent que la difficulté pour atteindre cet objectif varie très fortement d'un bâtiment à un autre :

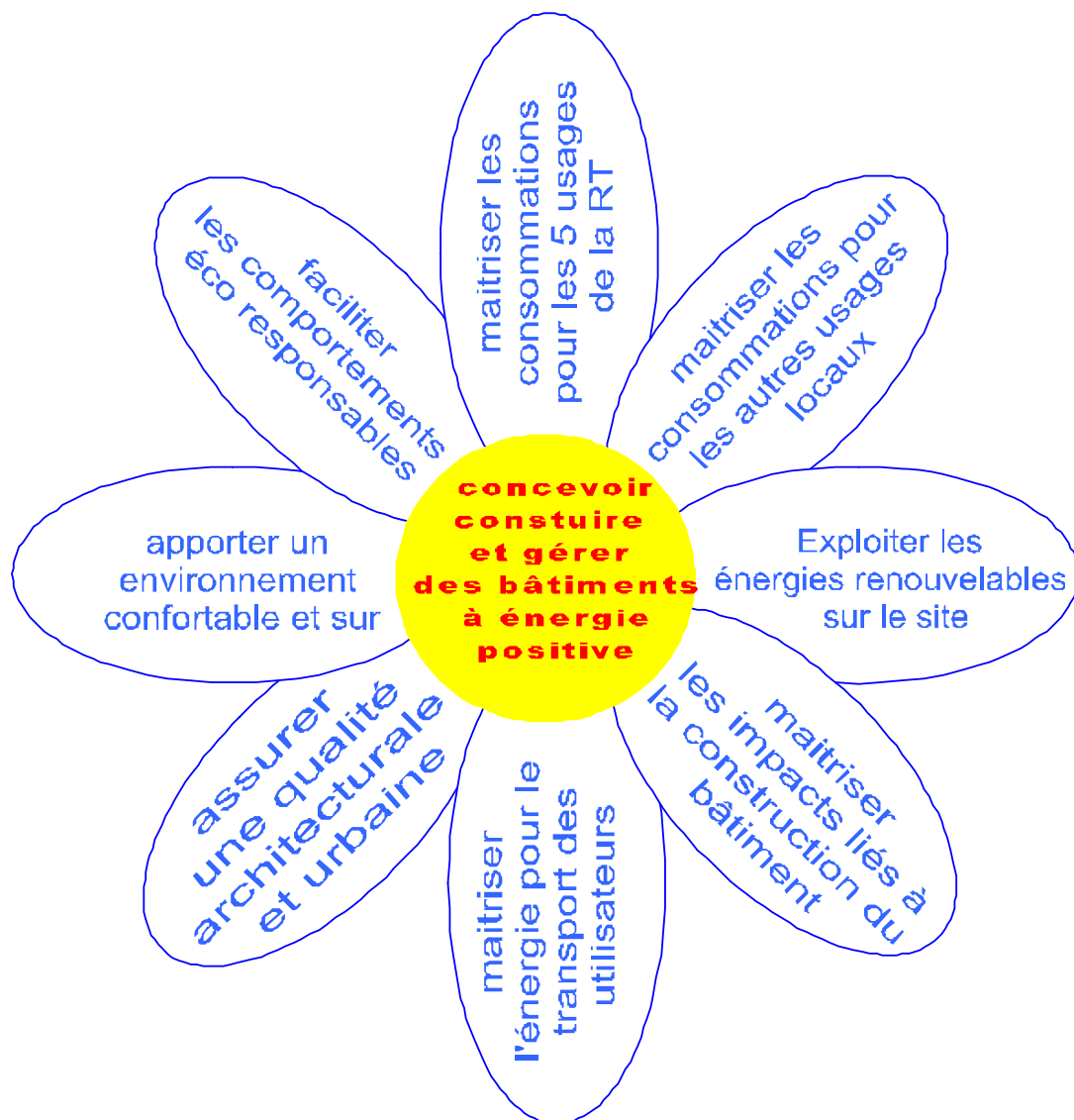
- Une maison individuelle atteindra plus facilement qu'un immeuble collectif l'équilibre entre consommation et production locale. Elle a en effet une consommation d'énergie au m² plus limitée et une surface de toit par m² nettement plus importante, en proportion, pour capter l'énergie solaire ;
- Un bâtiment de bureaux où chaque occupant dispose de 10 m² atteindra moins facilement l'énergie positive que le même bâtiment avec 15 m² par occupant, du fait de l'importance des consommations d'énergie liées à l'activité des personnes ;
- Un logement situé au bord de la Méditerranée atteindra également plus facilement l'énergie positive qu'un logement équivalent situé dans une région froide et peu ensoleillée ;
- L'intégration architecturale d'une maison individuelle de lotissement périurbain posera nettement moins de difficulté que celle d'un logement situé en zone classée ;
- Une tour de bureaux près d'une station de transport collectif permettra de réduire les consommations pour les transports, mais pourra conduire à de fortes consommations pour construire le bâtiment ;
- ...

La réflexion sur les programmes de recherche aura donc à prendre en compte cette diversité dans la difficulté.

3. QUELS GRANDS OBJECTIFS POUR LA RECHERCHE ?

3.1 UN OBJECTIF CENTRAL ET HUIT OBJECTIFS THEMATIQUES

Cette définition conduit à décrire la problématique des bâtiments à énergie positive par le schéma suivant qui met en perspective les différents objectifs de la recherche.



Cette description schématique amène à proposer des axes de recherche à la fois pour l'objectif central et pour les 8 pétales représentant des objectifs particuliers.

Il paraît essentiel d'assurer une synergie forte entre les travaux qui seront menés sur les différents objectifs thématiques représentés par les pétales pour atteindre l'objectif central qui est de pouvoir généraliser l'énergie positive à tous les bâtiments. C'est cet objectif central qui doit permettre de piloter l'ensemble des autres actions.

3.2 CONCEVOIR, CONSTRUIRE ET GERER DES BÂTIMENTS A ENERGIE POSITIVE : DES RECHERCHES POUR UNE APPROCHE GLOBALE

L'objectif central consiste à concevoir, construire et gérer des bâtiments à énergie positive. Les travaux à mener sur cet objectif portent clairement sur le bâtiment pris dans son ensemble. Il s'agit de recherches de nature systémique qui doivent permettre de prendre en compte l'ensemble des exigences et des jeux de contraintes liées aux différents types de bâtiment.

Les travaux à mener pourraient être structurés selon trois axes :

1. des «études de cas» permettant d'analyser sur des exemples de bâtiments virtuels puis réels l'ensemble des problèmes à prendre en compte et des solutions envisageables,
2. les recherches sur les outils pour concevoir/construire/gérer les bâtiments à énergie positive,
3. les recherches sur les modèles économiques des bâtiments à énergie positive.

Pour **les études de cas**, l'enjeu est de suivre ou de susciter des démarches permettant la réalisation de projets de bâtiments se rapprochant toujours plus de l'énergie positive.

Ces études de cas devront porter sur des types de bâtiments diversifiés (logement individuel, logement collectif, écoles, bureaux, commerces...) placés dans des contextes urbains différents (cœur de ville, périphérie...) et dans des zones climatiques différentes (climat océanique, continental, méditerranéen).

Les travaux pourront porter tant sur des bâtiments virtuels comme dans le programme CQHE du PUCA que sur des bâtiments réels, à l'image de ce qui se fait dans les appels à projets bâtiments démonstrateurs à basse consommation de l'ADEME et des régions.

L'enjeu est ici de faire émerger des concepts globaux de bâtiments à énergie positive correspondant à différents usages et environnements urbains et climatiques, et d'identifier à la fois les solutions possibles et les manques impliquant des recherches spécifiques.

Ces études de cas doivent être un moyen pour analyser les synergies et les contradictions entre les différents objectifs thématiques.

Les travaux menés devront également se préoccuper à la fois des enjeux de conception, de construction et de gestion de ces bâtiments. Ils seront en particulier un lieu central pour la réflexion sur la qualité architecturale.

La gestion de ces projets devra permettre de faire travailler ensemble de manière collaborative l'ensemble des acteurs. Ils pourront être utilisés pour mobiliser des acteurs confirmés mais aussi des étudiants, des architectes, des ingénieurs, des économistes intéressés par le concept de bâtiments à énergie positive.

En raison de l'importance de la phase d'exploitation dans l'obtention de bâtiments à énergie positive, un soin particulier est à attacher au suivi de ces bâtiments. Ce suivi portera non seulement sur la performance énergétique, mais également sur les aspects confort, santé, sécurité et intégrera une analyse de la qualité de la mise en œuvre.

La **conception, la construction et la gestion** des bâtiments à énergie positive va nécessiter de nouveaux outils permettant une analyse beaucoup plus globale des projets portant sur l'ensemble des 8 objectifs thématiques. La maquette numérique qui associe CAO 3D et outils de simulation sera au cœur des travaux à mener sur ce thème. L'enjeu est d'arriver à des outils permettant aux différents acteurs de la construction (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises, gestionnaires, industriels, occupants) de pouvoir partager une vision des projets de bâtiment à énergie positive, sur la base d'une analyse fine de solutions globales pertinentes.

Ils devront permettre notamment de prendre en compte des flux énergétiques diversifiés, de travailler la qualité architecturale et urbaine des projets, d'analyser l'impact de la qualité de réalisation et les risques de dégradation des performances, de fournir les éléments techniques à intégrer dans un contrat de garantie de performance, d'analyser la sensibilité des solutions proposées aux comportements des utilisateurs, d'évaluer le confort et la qualité d'usage, d'effectuer des analyses de risque sur les risques nouveaux que pourraient amener les bâtiments à énergie positive (risques sanitaires, risques électriques, risques structurels, risques incendie...).

Le travail entrepris dans le cadre de l'étude de définition du projet SIMBIO⁹ pour définir les besoins de recherche en termes d'outils numériques au travers d'un travail collaboratif entre les acteurs des bâtiments à très faible consommation ou à énergie positive, devrait permettre de disposer à l'automne 2009 d'une feuille de route spécifique sur les travaux de recherche à mener sur ces thèmes.

Les bâtiments à énergie positive bouleversent profondément le **modèle économique** actuel où un bâtiment consommateur achète de l'énergie à un distributeur d'énergie. Ceci entraîne un ensemble de questions nouvelles, comme le financement de l'investissement de cette «usine de production d'électricité» qui s'intègre sur le bâtiment, les relations avec le distributeur d'énergie d'hier qui devient l'acheteur/revendeur/stockeur de demain, l'exploitation et la maintenance des dispositifs de production locaux, l'appréciation et la maîtrise des coûts induits par l'utilisation de systèmes de plus en plus performants, l'évaluation des économies induites par ce type de bâtiments...

Un programme de recherche économique est à construire sur le sujet. Il est important qu'il se positionne en sortant du cadre économique actuel structuré par le tarif de rachat de l'électricité, par nature transitoire et simplificatrice des relations entre l'exploitant du bâtiment et le distributeur d'énergie.

⁹ <http://www.cstb.fr/actualites/webzine/editions/edition-davril-2009/simbio-pour-des-batiments-economes-en-energie.html>

3.3 MAITRISER LES CONSOMMATIONS SUR LES 5 USAGES DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE

Ces travaux doivent clairement intégrer le fait que dans des bâtiments à énergie positive le chauffage n'est plus l'usage dominant. Il est dépassé dans le logement par l'eau chaude sanitaire et par l'éclairage dans de nombreux types de bâtiments tertiaires.

Pour les bâtiments neufs, l'enjeu sur **l'enveloppe du bâtiment** se modifie profondément. D'une enveloppe qui permettait de s'isoler du froid extérieur l'enveloppe devient multifonctionnelle pour permettre à la fois de se protéger de l'environnement extérieur en hiver comme en été mais aussi pour puiser l'énergie dans l'environnement extérieur (soleil, air extérieur, sol...). Elle associe l'isolation thermique, la protection solaire, la ventilation, l'éclairage naturel, la captation de l'énergie du soleil, du vent, de l'air extérieur et du sol. Elle devient un sujet majeur en termes de conception globale du bâtiment en association avec des systèmes performants. Un des enjeux ici est notamment le déplacement des investissements sur les systèmes vers l'enveloppe. Une enveloppe très bien conçue permet ainsi d'éviter un système classique de distribution de chauffage (à l'instar de ce qui se fait dans les maisons dites passives) ou de réduire voire de supprimer le recours à des systèmes de climatisation.

Les travaux visent également à introduire des **systèmes performants** à la place des systèmes actuels. Cela vise par exemple à substituer les systèmes classiques de chauffage par des pompes à chaleur pour les locaux ou l'eau chaude sanitaire, à remplacer l'éclairage incandescent ou fluo par de l'éclairage à led régulé automatiquement, à échanger les moteurs de pompes ou de ventilateurs peu efficaces par des moteurs à haute efficacité bien régulés.

Les recherches intègrent le développement de systèmes multifonctionnels associant par exemple chauffage, ventilation production d'eau chaude sanitaire ou production combinée de chaud de froid et d'électricité dans des systèmes de cogénération. Cette intégration permet d'augmenter fortement le rendement thermodynamique global en valorisant les pertes de chaleur aujourd'hui inutilisées.

Les **dispositifs de régulation gestion** devront permettre à la fois de réguler chauffage, ventilation, éclairage, climatisation, pompes et ventilateurs en fonction des besoins devenus très faibles mais aussi d'utiliser prioritairement les systèmes utilisant les énergies renouvelables par rapport aux appoints utilisant de l'énergie fossile.

3.4 MAITRISER LES CONSOMMATIONS POUR LES AUTRES USAGES LOCAUX

Les usages non pris en compte par la Réglementation Thermique 2005 sont très divers.

Certains sont déterminés par les choix faits lors de la construction : éclairage des parties communes dans les immeubles de logement, ascenseurs, éclairage et ventilation des parkings, éclairage extérieur. Dans ce cas il convient de parler d'usages immobiliers qui pourront être vérifiés à la réception des bâtiments et seront opposables dans le cadre d'un règlement de construction.

D'autres sont liés aux équipements mis en place après la livraison : informatique, électroménager... Cet usage « mobilier » est généralement non vérifiable à la réception du bâtiment et reste non opposable dans le cadre d'un règlement de construction.

Les travaux de recherche sur cet axe ont semblé relever des catégories suivantes :

- Identifier les postes de consommation et leurs poids respectifs. Ceci doit conduire à mettre à la disposition des acteurs qui conçoivent ou gèrent des bâtiments des méthodes de prévision et d'analyse de leurs consommations. Ces méthodes devront notamment prendre en compte les différents systèmes permettant de réduire les consommations d'électricité ou de les déplacer¹⁰ vers d'autres vecteurs énergétiques ;
- Proposer des solutions innovantes pour les usages mobiliers. Les recherches sur les technologies permettant de réduire les consommations des équipements mobiliers (informatique, électroménager, audiovisuel, communication...) ne relèvent pas d'un programme sur les bâtiments à énergie positive. Ce programme sera un utilisateur des solutions imaginées par d'autres secteurs. Il peut en revanche définir des besoins, situer les enjeux et définir les modalités d'incorporation voire une partie du cahier des charges d'équipements innovants ;
- Optimiser les systèmes. Il s'agit ici de développer les systèmes basse consommation pour les usages immobiliers non encore pris en compte : éclairage des parties communes, des parkings, des espaces extérieurs, ventilation des parkings, ascenseurs...

3.5 EXPLOITER LES ENERGIES RENOUVELABLES SUR LE SITE

Quatre sources principales d'énergies renouvelables peuvent être collectées directement sur le site¹¹ :

- le solaire pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire, la climatisation et la production d'électricité,
- le vent pour la ventilation naturelle, la climatisation et la production d'électricité,
- l'air extérieur pour le chauffage et la climatisation, soit par usage direct, soit via des pompes à chaleur,
- l'énergie du sol pour le chauffage et la climatisation, soit par usage direct (puits climatique), soit via des pompes à chaleur.

Les travaux porteront notamment sur les thèmes suivants :

- l'efficacité et la réduction des coûts des systèmes de production,
- leur intégration technique et architecturale dans l'enveloppe du bâtiment,

¹⁰ Exemple du branchement sur l'eau chaude des lave linge et lave vaisselle

¹¹ La biomasse et l'énergie hydraulique peuvent parfois être exploités directement sur le site mais cela ne représente qu'une faible part de l'usage de ces deux énergies renouvelables

- les systèmes de stockage de chaleur et d'électricité,
- les outils de gestion du paquet «génération, stockage, utilisation» permettant d'utiliser en priorité l'énergie renouvelable,
- les outils permettant de dimensionner et de calculer la production renouvelable utile,
- les méthodes permettant de garantir la production effective de l'énergie renouvelable en intégrant très fortement des mesures de terrain.

3.6 MAÎTRISER LES IMPACTS ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX LIES A LA CONSTRUCTION DU BÂTIMENT

Les travaux pourront porter sur quatre thèmes :

- généraliser les Analyses de Cycle de Vie (ACV) sur les produits de construction et résoudre les points méthodologiques difficiles portant notamment sur le recyclage et la séquestration du carbone et sur la définition des durées de vie typiques des composants et des ouvrages,
- concevoir des produits et des systèmes à faible impact environnemental, comme la conception d'enveloppes et de structures utilisant nettement moins de ciment,
- intégrer les outils d'analyse environnementale du bâtiment dans les outils de conception,
- évaluer systématiquement sur les bâtiments démonstrateurs les impacts environnementaux.

Ces analyses devront porter sur l'ensemble des produits et systèmes intégrés dans les bâtiments à énergie positive de manière à susciter une éco-conception de tous les dispositifs innovants qui se développeront.

3.7 MAÎTRISER L'ENERGIE NECESSAIRE POUR LE TRANSPORT DES UTILISATEURS

Un programme de recherche sur les bâtiments est un cadre bien trop étroit pour traiter ce problème. C'est dans l'interaction avec les programmes sur le quartier et la ville que les travaux de recherche sur ce thème trouveront leur vraie place.

Il paraît cependant indispensable d'analyser systématiquement même de manière simple et un peu globale sur chacun des projets de bâtiments à énergie positive l'impact des transports de façon à éviter l'émergence de solutions optimisées au niveau du bâtiment, mais complètement déficientes au niveau du quartier ou de la ville.

Les outils permettant une telle analyse systématique devraient être mis à la disposition des acteurs de la recherche sur les bâtiments à énergie positive.

Par ailleurs, il faut également penser l'interface bâtiment/véhicule électrique en imaginant la liaison possible entre un bâtiment collecteur d'énergie et un véhicule stockant et utilisant l'énergie produite.

3.8 ASSURER UNE QUALITE ARCHITECTURALE ET URBAINE

La réalisation de bâtiments à énergie positive va à la fois amener de nouvelles libertés rendues possibles par la très faible consommation mais aussi amener des contraintes d'une nouvelle nature liées par exemple au droit au soleil.

Les recherches devront porter sur la manière de traiter ces libertés et ces contraintes dans les études urbaines et les règles d'urbanisme qui en découlent : quelles règles d'urbanisme imaginer pour faire émerger par exemple une notion d'un «droit» à l'accès à la ressource locale, droit d'accès au soleil ou au vent des bâtiments existants par rapport aux bâtiments à construire ... ?

Au niveau du bâtiment lui-même, les travaux devront imaginer des palettes de solutions pour associer qualité architecturale et enveloppes collectrices d'énergies. Ces travaux devront massivement s'appuyer sur des projets virtuels, sur maquette ou réellement construits.

Un des enjeux sera de réussir à faire émerger des solutions tirant parti des différents contextes urbains en évitant la standardisation des formes, des couleurs, des textures que pourrait entraîner une approche purement technique. La difficulté sera de pouvoir associer les deux volontés parfois contradictoires de généralisation des bâtiments à énergie positive et de la diversité architecturale.

3.9 APPORTER UN ENVIRONNEMENT CONFORTABLE ET SUR

Si les **problèmes de confort** d'hiver sont aujourd'hui à priori résolus dans les bâtiments à basse consommation, le risque d'inconfort en été doit être maîtrisé. Ceci est d'autant plus important dans une vision de long terme du fait que le changement climatique risque d'amplifier ce risque. Les recherches sur ce point viseront à la fois à définir les solutions techniques pour l'assurer sans climatisation ou avec des climatisations à basse consommation et à définir les outils permettant de concevoir puis de gérer des bâtiments utilisant ces solutions.

Par ailleurs, la recherche de solutions d'éclairage consommant peu d'énergie devra conduire à vérifier que cela ne se fait pas au détriment du confort visuel.

Quelques exemples récents montrent que le confort acoustique devra être également considéré fortement : c'est notamment le cas des immeubles où la température s'élève côté rue et où la climatisation devient indispensable en absence d'ouverture des fenêtres pour cause de bruit, alors que côté cour, l'ouverture amène confort thermique et air libre, mais c'est aussi le cas de la transmission de bruit via des rupteurs de ponts thermiques ou les systèmes de chauffage à air vécus comme trop bruyants dans des maisons dites passives...

Un des enjeux essentiels sera d'évaluer le confort global ressenti dans ces nouveaux types de bâtiment : quelles sont les impressions des occupants dans leur diversité, quelles sont les réactions par rapport à des systèmes techniques nouveaux ? L'expérience hollandaise d'occupants habitués à dormir fenêtres ouvertes qui mettaient à mal les efforts des ingénieurs qui installent des ventilations double flux pour leur apporter le «bon air» avec peu d'énergie montre l'aspect essentiel de ce retour de ressenti.

La course vers les bâtiments à l'énergie positive conduit à l'émergence de **nouveaux risques** qu'il faut appréhender puis gérer. Les quatre exemples ci-dessous illustrent cette problématique :

- Le bâtiment se transforme en un système de production et de stockage éventuel d'électricité. Ceci pose des questions nouvelles en matière de sécurité électrique, de risques incendie...
- La limitation des ponts thermiques, le recours à des matériaux à faible énergie grise vont se traduire par une évolution dans la conception des structures, ce qui peut poser des problèmes de stabilité, de tenue au feu ou d'acoustique.
- La réduction des consommations pour la ventilation entraîne l'émergence de nouveaux systèmes de traitement d'air (puits canadiens, double flux...) dont les aspects sanitaires doivent être appréhendés. L'utilisation de nouveaux matériaux peut entraîner des risques d'émissions nouvelles dans l'air intérieur.
- La réduction des consommations d'eau chaude entraîne également une innovation forte en matière de système de production, de stockage, de distribution d'eau qui devra se faire en maîtrisant les risques sanitaires liés par exemple à la légionellose.

Les travaux de recherche devront permettre de faire des analyses de risques systématiques sur les nouveaux systèmes en cours de développement de manière à faire émerger des solutions répondant bien à l'ensemble des exigences essentielles que doit respecter un bâtiment.

3.10 FACILITER LES COMPORTEMENTS ECO-RESPONSABLES

Comme l'indiquent les concepteurs de la tour Elithys, ce sont les occupants qui permettront ou non d'atteindre l'énergie positive. Les travaux de recherche pourraient porter sur trois grands sujets :

- L'analyse du comportement des occupants dans les bâtiments à énergie positive. Ces analyses sociologiques viseront à comprendre quels sens peuvent avoir ces bâtiments pour leurs différents occupants.
- Les outils d'information des occupants et des gestionnaires des bâtiments. Les technologies de l'information et de la communication pourront jouer un rôle clé sur ce programme qui devra cependant être ciblé sur ce qui peut permettre de développer les comportements éco-responsables. L'enjeu sera donc que la technologie soit mise au service des usages.
- Les outils d'évaluation sur la durée de vie du bâtiment. C'est dans ce programme que devraient être développés les outils de suivi des consommations et les méthodes permettant de séparer dans les consommations, l'usage du bâtiment des conditions climatiques du jour, de la saison ou de l'année.

4. COMMENT SE METTRE EN ROUTE ?

Après cette description d'actions de recherche à mener, la question se pose des premières actions à engager pour pouvoir se mettre en route vers les bâtiments à énergie positive. Il est clair que la route a déjà été ouverte, l'enjeu étant aujourd'hui de passer des actions de quelques précurseurs à un programme plus structuré pour aller vers la généralisation, tel que prévu à l'horizon 2020.

La démarche la plus pragmatique consisterait à lancer sans attendre une série d'études de cas permettant d'identifier les niveaux de performances atteignables dans des situations très diverses : types de bâtiments, zones climatiques, environnement urbain...

En effet il ne paraît pas pertinent de se fixer pour ambition d'atteindre pour tous les bâtiments et en une seule étape l'énergie positive. Si cela peut être pertinent pour une maison individuelle située en zone méditerranéenne, ce serait démobilisateur pour un hôpital situé dans une zone peu ensoleillée.

Ces études de cas qui pourraient être menées par des équipes diverses en intégrant bien évidemment les projets en cours de bâtiments à énergie positive, permettraient de se situer à la fois sur l'objectif central et sur les 8 objectifs thématiques illustrés par le schéma de la «marguerite».

A l'image de ce qui s'est fait pour la définition du niveau de performance du label BBC actuel, ces études de cas pourraient être menées dans un délai court de 6 à 12 mois.

Elles pourraient produire deux résultats essentiels :

- La fixation d'un niveau de performance qui pourrait se traduire par un futur label pour les différents types de bâtiment et les différents contextes climatiques et urbains. Ce label pourrait éventuellement comporter une ou des étapes intermédiaires d'ambition atteignables par un nombre significatif de bâtiments dans un délai de 3 à 5 ans ;
- L'identification par la communauté des acteurs s'impliquant dans les bâtiments à énergie positive d'un ensemble de problèmes à résoudre pour atteindre ces niveaux de performances.

Ceci pourrait prendre la forme d'«ateliers projets» permettant aux différents acteurs de la recherche qu'ils soient impliqués dans des recherche amont ou dans des recherche actions, de travailler sur des briques technologiques ou sur des bâtiments afin d'illustrer ensemble sur des cas concrets les solutions imaginées et les difficultés rencontrées. Cette démarche pourrait s'inspirer de celle menée pour les bâtiments basse consommation dans le cadre des appels à projets portés par la Fondation Bâtiment Energie et par le PUCA (CQHE et REHA).

Bien évidemment les travaux menés devraient l'être en liaison avec les différents cadres de financement de la recherche comme celui du Fond démonstrateur de l'ADEME.