



# Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie

# Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

## Sommaire

> 1. Le champ de la feuille de route	4
> 2. Les enjeux	6
> 3. Les paramètres clés	8
> 4. Les visions prospectives	10
> 5. Les verrous	18
> 6. Les priorités de recherche	20
> 7. Les besoins de démonstrateurs de recherche	24
> 8. Eléments de références bibliographiques	25
> 9. Annexe 1	26
> 10. Annexe 2	27

## Liste des membres du groupe d'experts<sup>1</sup>

Nature de l'organisme	Experts	Organismes d'appartenance
Entreprises privées	Eric PLANTIVE Claude RICAUD Louis-Paul FAURE Didier ROUX	EDF R&D Schneider Electric FAURE Ingénierie Saint-Gobain
Organismes de recherche	Jean-Paul DALLAPORTA Jean-Pierre TRAISNEL Bruno PEUPORTIER Philippe MALBRANCHE Philippe CHARTIER	PREBAT PIRVE-CNRS ENSM CEA-INES Fondation Bâtiment
Fédération professionnelle	Roland FAUCONNIER	FFB
Organismes publics	Pascal BAIN Hervé CHARRUE Marc FONTOYNONT Pierre HERANT Anne GRENIER Anne-Solène MALIDIN Hélène VARLET Rodolphe MORLOT Alain MORCHEOINE François MOISAN Michel GIORIA	ANR CSTB ENTPE ADEME ADEME ADEME ADEME ADEME ADEME ADEME ADEME ADEME

<sup>1</sup> - Les membres du groupe d'experts ont été appuyés par un secrétariat technique composé d'Anne Grenier, Anne-Solène Malidin, Hélène Varlet, Rodolphe Morlot, Pierre Herant et Michel Gioria.

## Préambule

Depuis 2008, l'ADEME gère un fonds consacré aux nouvelles technologies de l'énergie. Ce fonds soutient la réalisation de « démonstrateurs de recherche », des technologies testées au stade expérimental entre la phase de recherche et l'industrialisation. L'ADEME anime des groupes d'experts chargés de la réalisation d'une feuille de route stratégique préalable au lancement de chaque Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI).

Ces feuilles de route ont pour objectif :

- d'éclairer les **enjeux industriels, technologiques, environnementaux et sociétaux** ;
- d'élaborer des **visions cohérentes et partagées** des technologies ou du système sociotechnique, objet de la feuille de route ;
- de mettre en avant les **verrous technologiques, organisationnels et socio-économiques** à dépasser pour atteindre ces visions ;
- d'associer aux thématiques de recherche prioritaires, **des objectifs temporels** en termes de disponibilité technologique et de déploiement compatibles avec les enjeux préalablement définis ;
- de rendre prioritaires les **besoins de recherche et de démonstrateurs de recherche**, qui servent ensuite de base à :
  - > la rédaction des AMI du Fonds démonstrateurs de recherche,
  - > l'alimentation du processus de programmation de la recherche au sein de l'ADEME et au-delà (ex : ANR, Comité stratégique national sur la recherche sur l'énergie).

Ces priorités en matière de recherche et de besoins de démonstrateurs proviennent du croisement entre les visions et les verrous, mais prennent également en compte les **capacités françaises aussi bien du côté de la recherche que de l'industrie**.

Le cas échéant, ces feuilles de route peuvent également faire référence à des démonstrateurs de recherche exemplaires à l'étranger, à la pointe des connaissances technologiques, et faire des recommandations en matière de politique industrielle.

Ces feuilles de route sont le résultat du travail collectif d'un groupe d'experts nommés par le COmité de PILotage (COFIL) du Fonds démonstrateurs de recherche sur les nouvelles technologies de l'énergie.

Les groupes d'experts rassemblent des acteurs de la recherche en provenance de l'industrie, des organismes de recherche et des agences de financement et de programmation de la recherche<sup>2</sup>.

---

2 - Cf. liste d'experts page 2.

# Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

## > 1. Le champ de la feuille de route

### Champ thématique

Cette feuille de route couvre 5 champs.

- **L'amélioration des performances énergétiques de bâtiments étudiés tant isolément**, du point de vue de leurs usages, de leur enveloppe et de leurs équipements et techniques de construction **qu'à l'échelle d'îlots** (ensemble de bâtiments, voir encadré ci-dessous).  
De fait, la mutualisation et la gestion collective des besoins et des équipements de production et de consommation d'énergie à l'échelle d'un ensemble de bâtiments sont autant de sources d'optimisation énergétique.  
Bâtiments et îlots peuvent aussi servir de moyens de **stockage de l'énergie**, notamment pour valoriser l'énergie fatale (gaspillée), pour recharger des véhicules électriques ou hybrides, et pour optimiser les systèmes énergétiques à l'échelle d'un bâtiment ou d'un îlot.

#### Les îlots de bâtiments

Les îlots sont des groupements de bâtiments contigus ou non, d'usages diversifiés ou non (logements, équipements, bâtiments tertiaires), constituant une unité de fonction ou d'identité d'un quartier sur le plan énergétique, tant pour la mutualisation des besoins énergétiques que pour celle des productions énergétiques.

- **La réduction du contenu en carbone** (quantité de CO<sub>2</sub> générée tout au long du cycle de vie du bâtiment) et plus largement des impacts énergétiques, environnementaux et sanitaires **des composants du bâtiment et des méthodes de construction et de conception**.  
On recherchera un bilan carbone minimum, des matériaux d'origine renouvelable ou biosourcés, une énergie consommée minimum sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, y compris les éventuelles opérations de déconstruction (voir encadré ci-dessous) et de recyclage.

#### La déconstruction

A l'inverse de la construction, c'est un procédé de démolition pièce par pièce d'un bâtiment. Cela permet, si besoin, de ne démonter qu'une partie du bâtiment et de faciliter le recyclage des différents matériaux.  
On parle de « démontabilité » ou de « séparabilité » pour qualifier des composants facilement démontables, adaptés à la déconstruction.

- La reproductibilité et la robustesse (voir encadré ci-dessous) des options technologiques et organisationnelles, dans des conditions de coûts et de qualité optimisées.

#### La robustesse

Un produit ou service est dit robuste si sa réponse est peu modifiée par des paramètres extérieurs non maîtrisés. Dans le cas des bâtiments à énergie positive, la robustesse pourrait concerner le maintien d'un niveau donné de production photovoltaïque lors d'un passage nuageux.

- **L'économie circulaire** (qui cherche à rapprocher le fonctionnement des écosystèmes industriels de celui, quasi-cyclique, des écosystèmes naturels en optimisant les flux d'énergie et de matière) appliquée à l'échelle du bâtiment ou d'un îlot afin de :
  - > développer de nouvelles approches de conceptions intégrant la démontabilité, la séparabilité en fin de vie et le recyclage des composants ;
  - > atteindre une gestion optimisée des ressources primaires et secondaires (issues de la déconstruction et du recyclage).
- Les **questions socio-économiques** liées à l'émergence et au déploiement à grande échelle de ces bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum. Elles prennent en compte la gestion du foncier, les aspects juridiques, financiers et sociaux ainsi que les évolutions des systèmes de valeur associés à la mutualisation énergétique, à l'acceptabilité d'automatismes, à la requalification, au changement de fonction des bâtiments...

Sont par contre exclues :

- **Les technologies et les modèles d'affaires associés au développement des réseaux électriques intelligents** à des fins de maîtrise de la demande d'énergie et de la production décentralisée d'énergie. Ces points sont analysés par la feuille de route stratégique et l'Appel à manifestation d'intérêt (AMI) sur les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables.
- **La gestion de la mobilité des occupants** des bâtiments et îlots. Elle est étudiée dans le cadre de la feuille de route stratégique et de l'AMI sur les systèmes de mobilité des personnes et des marchandises.

Néanmoins, la grille d'évaluation des projets de recherche et de démonstrateurs qui résultera de cette feuille de route stratégique pourra contenir des critères incitant les porteurs de projets à intégrer ces deux dimensions (réseaux intelligents et mobilité des occupants) dans leurs propositions.

## Champ géographique et horizon temporel

### Champ géographique

Ces réflexions s'inscrivent en priorité dans un contexte national (métropole et DOM-COM). Cependant, lorsque cela est pertinent, des dimensions locales, européennes et internationales sont introduites afin de :

- prendre en compte, les **spécificités climatiques**, les **pratiques constructives** ainsi que la **diversité des ressources naturelles locales** mobilisables pour la construction et la rénovation thermique des bâtiments et îlots ;
- articuler les priorités de recherche et les besoins de démonstrateurs de recherche avec les **initiatives européennes** telles que la plateforme technologique européenne sur la construction, la composante *green building* du plan de relance européen ou l'initiative industrielle européenne *smart city* (voir par exemple le plan stratégique européen SET destiné à accélérer le déploiement des technologies énergétiques) ;
- bénéficier d'un **éclairage international** (Japon, Allemagne, USA) sur les priorités de recherche, les besoins de démonstrateurs de recherche, les acteurs industriels et leur stratégie.

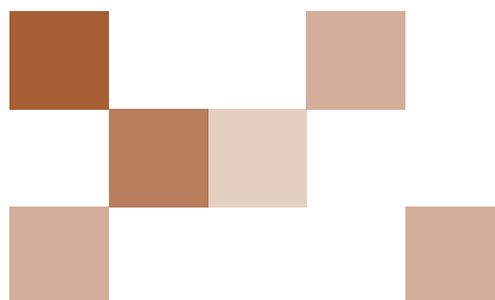
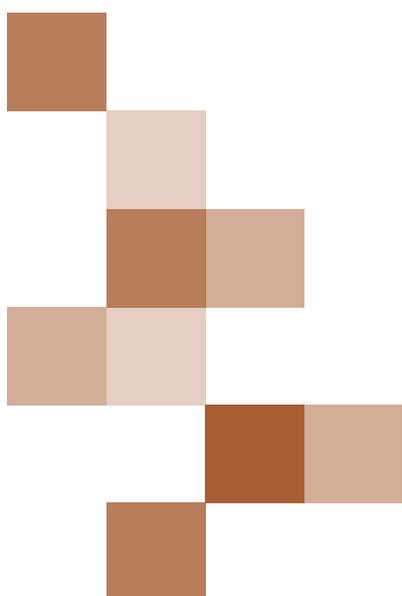
### Horizon temporel

Le déploiement des bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum est étudié d'ici à l'horizon 2050, notamment pour être cohérent avec l'objectif « facteur 4 ». Ce dernier, issu de la loi POPE (Programme d'Orientation de la Politique Énergétique française) de 2005, vise à diviser par quatre les émissions françaises de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 par rapport à leur niveau de 1990.

Ces visions à long terme sont complétées par une **vision en 2020** qui décrit la situation en supposant que les objectifs du Grenelle de l'environnement soient atteints dans le secteur du bâtiment. A partir de là, **différentes trajectoires** sont proposées pour atteindre le facteur 4 en 2050.

En outre, les options technologiques, organisationnelles et socio-économiques qui seront expérimentées dans le cadre des démonstrateurs de recherche devront permettre un **déploiement commercial autour de 2020**. C'est l'une des différences majeures entre ces démonstrateurs et ceux des appels à projets régionaux sur des « bâtiments démonstrateurs à basse consommation énergétique » lancés dans le cadre du Programme de recherche sur l'énergie dans le bâtiment (PREBAT)<sup>3</sup>.

Toutefois, pour paver le chemin entre les objectifs à court et moyen termes du Grenelle de l'environnement (horizon 2010, 2012 et 2020) et les visions à long terme développées dans cette feuille de route (horizon 2050), une esquisse de cadencement réglementaire a été élaborée sur la période 2010-2025 afin de tendre vers des bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum.



3 - Cf. partie VII sur les besoins de démonstrateurs de recherche et les éléments de différenciation avec les bâtiments démonstrateurs du PREBAT.

# Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

## > 2. Les enjeux

Les principaux enjeux sont d'atteindre les objectifs du Grenelle de l'environnement à l'horizon 2020 et le facteur 4 à l'horizon 2050. Ils constituent le fondement des visions de déploiement, des priorités de recherche et des besoins de démonstrateurs de recherche.

Au-delà, six enjeux critiques devront être considérés (sans présomption de leur ordre d'importance).

### 1<sup>er</sup> enjeu

#### Répondre aux politiques d'atténuation<sup>4</sup> et d'adaptation<sup>5</sup> aux changements climatiques

Cela commence à l'échelle du bâtiment et devra s'étendre progressivement à celle de l'îlot.

Les options technologiques devront permettre d'améliorer les performances énergétiques. Des organisations institutionnelles et des instruments socio-économiques et juridiques devront compléter et accompagner leur développement.

Afin d'aboutir aux meilleurs décisions publiques en matière de bâtiments et de changements climatiques, la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques d'adaptation et d'atténuation à l'échelle du bâtiment et des groupes de bâtiments accorderont une attention particulière aux notions de « résilience »<sup>6</sup> et de **vulnérabilité**<sup>7</sup>.

### 2<sup>e</sup> enjeu

#### Créer une offre ambitieuse d'installation de composants avec leur maintenance pour la construction de bâtiments neufs et pour la réhabilitation énergétique de bâtiments existants

Cette offre ambitieuse concerne le déploiement de composants ou bouquets de composants (voir encadré ci-dessous) innovants.

Elle devra :

- tenir compte de la diversité du bâti,
- participer à la structuration d'une offre industrielle contribuant à la création d'emplois et de points de « croissance verte »,
- permettre de maîtriser, toute chose égale par ailleurs, les coûts de production et de déploiement, afin de favoriser une diffusion massive,
- permettre d'accélérer le déploiement de ces composants et bouquets de composants innovants, en limitant le nombre d'acteurs de petites tailles et en coordonnant leurs interventions.

#### Les bouquets de composants

Les bouquets de composants sont des ensembles de solutions technologiques et économiques de réhabilitation énergétique pour les bâtiments.

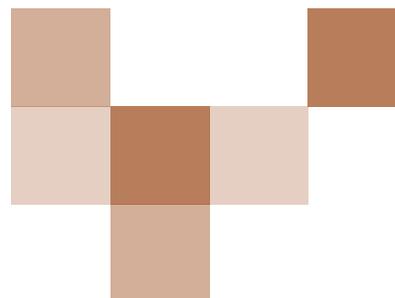
Chaque bouquet est adapté à un certain type de bâtiment (bâtiment haussmannien, maisons individuelles en lotissement, etc.).

4 - Les politiques d'atténuation regroupent l'ensemble des actions humaines visant à réduire les sources ou à augmenter les puits de gaz à effet de serre.

5 - Les politiques d'adaptation visent à s'organiser, à l'échelle des individus, entreprises, associations, collectivités, etc., pour faire face à l'évolution actuelle du climat et anticiper les effets futurs sur l'environnement, l'économie, la société, la santé et la vie quotidienne.

6 - Dans ce contexte, la résilience dénote la capacité d'un bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments à revenir à un développement ou à un fonctionnement normal après avoir subi un choc qui peut être naturel (sécheresse durable, canicule) ou économique (bulles spéculatives).

7 - Degré auquel les bâtiments risquent d'être affectés par les effets néfastes des changements climatiques. La vulnérabilité des bâtiments dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme des changements climatiques auxquels ils sont exposés, ainsi que de leur sensibilité et de leur capacité d'adaptation à ces mêmes changements climatiques.



### 3<sup>e</sup> enjeu

---

#### Prendre en compte les aspects sociétaux, économiques, financiers et techniques transverses du bâti

Les **enjeux sociétaux, économiques et techniques** concernent aussi bien la précarité énergétique, la mobilité, la mixité sociale, l'équité sociospatiale, le vieillissement de la population, que la réglementation sur les risques naturels et technologiques, l'accessibilité des personnes à mobilité réduite, la haute qualité environnementale, le financement des investissements et la garantie de performance.

L'intégration de ces enjeux aux bâtiments dans la conception, le développement et le déploiement des technologies, des organisations et des outils de politiques publiques de réhabilitation énergétique devra permettre :

- de maximiser la probabilité de déploiement effectif et massif des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques, grâce notamment à la prévention des phénomènes de rejets individuels ou collectifs de type NIMBY<sup>8</sup> ;
- à l'ensemble des acteurs de la filière d'intégrer progressivement les options technologiques, organisationnelles et socio-économiques d'ici à 2020 afin d'éviter le « syndrome des ascenseurs »<sup>9</sup> ;
- d'améliorer la pertinence et l'efficacité des politiques publiques au niveau de l'interface des bâtiments et des changements climatiques.

Du côté des **enjeux économiques**, la contrainte financière des ménages, des collectivités territoriales et des industriels est à l'évidence un élément majeur, qui impactera aussi bien le rythme de déploiement des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques, que la nature même de ces options. Il s'agit **d'éviter le développement de solutions de luxe dans le neuf et l'existant**, réservées à population aisée ou à une part infime des bâtiments.

---

8 - L'acronyme NIMBY (*Not in My Back Yard*) désigne une position éthique ou politique qui consiste à ne pas tolérer de nuisances dans son environnement proche. Le terme peut s'appliquer à une personne ou à un groupe de personnes telle une association de riverains.

9 - Le « syndrome des ascenseurs » fait référence à une situation où la mise en place d'une réglementation a créé un goulet d'étranglement durable chez les sociétés d'ascenseur, ce qui se traduit simultanément par une hausse du coût des interventions et une baisse de leur qualité.

### 4<sup>e</sup> enjeu

---

#### Prendre en compte les comportements, les systèmes de valeur et les régulations sociales

Il semble fondamental de tenir compte des comportements et des systèmes de valeur qui font actuellement référence dans nos sociétés.

De fait, leur évolution conditionne à la fois :

- une partie de l'efficacité des options technologiques qui seront déployées : tout ou partie des gains énergétiques liés à l'introduction d'une technologie ou d'un dispositif plus performant peut être annulé par des évolutions de l'usage des dites technologies ou des biens et services les incorporant. C'est ce qu'on appelle l'effet rebond dont il faut limiter l'ampleur ;
- l'évolution des modes « d'habiter » qui détermineront le déploiement de tout ou partie des visions identifiées, comme la mutualisation des biens d'équipement, des dispositifs de production et de distribution d'énergie ou le *cohousing* (logements en propriété individuelle, certains locaux étant en propriété commune).

### 5<sup>e</sup> enjeu

---

#### Anticiper, à des fins de prévention, les effets induits par l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments et îlots

Les principaux effets induits à prendre en compte sont les impacts sur : la **qualité de l'air intérieur**, la **qualité de vie et d'usage**, les **climats locaux** en particulier les îlots de chaleur (zone où la température s'élève localement, en milieu urbain), le **dimensionnement et les fonctionnalités des réseaux de distribution d'énergie**.

Il s'agit également de réduire l'impact environnemental global lors de la conception des bâtiments neufs, par exemple en limitant la consommation de matériaux, ou lors de la réhabilitation du parc existant, en intégrant des options concernant la déconstruction et le recyclage.

L'application et le développement de telles démarches multicritères seraient d'abord adaptés aux projets de démonstrateurs de recherche, puis par la suite aux projets de réhabilitation énergétique des bâtiments et îlots.

### 6<sup>e</sup> enjeu

---

#### Développer des systèmes de connaissance, de suivi, de contrôle et de pilotage des performances du parc neuf et existant afin de permettre les opérations de supervision et de monitoring du parc

Cet enjeu doit être compris comme un moyen de contrôler et de suivre dans le temps les performances du parc. Il ne doit pas être forcément associé à une logique marchande.

## Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

### > 3. Les paramètres clés

Au-delà des typologies de bâtiments et d'îlots (bâtiment haussmannien, lotissement), de leur architecture et des spécificités locales (zone climatique, matériaux de construction), deux déterminants semblent de nature à pouvoir infléchir significativement le déploiement des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques, associés aux bâtiments et îlots à énergie positive et bilan carbone minimum :

- l'objet ou l'échelle spatiale auxquels la notion d'énergie positive est appliquée,
- la répartition de l'effort entre la réhabilitation du parc existant et la construction massive de bâtiments neufs très performants (associée à une politique de déconstruction).

### L'échelle spatiale pertinente pour la notion d'énergie positive

#### Pourquoi aller au-delà du bâtiment ?

Appliquée au bâti, la notion d'énergie positive fait référence à un bâtiment qui produit en moyenne plus d'énergie qu'il n'en consomme sur une période donnée, généralement une année.

Cette définition implique qu'à certaines périodes de l'année, le bâtiment consomme de l'énergie. Dans ce cas, plusieurs options sont possibles : avoir recours à des dispositifs de stockage, être connecté à un réseau de distribution, ou les deux.

Initialement pensées à l'échelle d'un bâtiment, les réflexions prospectives engagées dans cette feuille de route ouvrent la possibilité **d'élargir l'échelle spatiale du concept d'énergie positive au-delà du bâtiment, et notamment à l'échelle de l'îlot**, au regard de :

- **critères énergétiques** à optimiser tels que le rendement énergétique global des différentes alternatives énergétiques envisageables, les gains d'efficacité énergétique, la mobilisation de ressources énergétiques locales et renouvelables ;

#### Options technologiques à mobiliser en fonction de l'échelle spatiale à laquelle le concept d'énergie positive est appliqué

Echelle spatiale	Usage et fonction à satisfaire	Caractéristiques des options technologiques à mobiliser
Bâtiment	Enveloppe et technologies de gestion d'énergie	Enveloppe multifonctionnelle assurant isolation, production d'énergie renouvelable (solaire, photovoltaïque ou thermique), ventilation, stockage d'énergie... Ses propriétés (ouvertures, protection solaire, entrée d'air, etc.) peuvent être pilotées et couplées à une stratégie de gestion intelligente et individualisée de la chaleur accumulée à l'intérieur du bâtiment.
	Equipements de production d'énergie	Equipements utilisant principalement les énergies renouvelables (bois, solaire thermique et photovoltaïque, pompe à chaleur, etc.) intégrées au bâtiment.
	Technologies de stockage	En cas de bâtiments entièrement ou partiellement autonomes, capacités de stockage individuel (stationnaire ou mobile) adaptées aux usages et besoins des occupants.
Ilot	Enveloppe et technologies de gestion de l'énergie	L'effort sur l'enveloppe reste une priorité mais s'articule avec une stratégie d'optimisation énergétique à l'échelle de l'îlot ou du quartier. Cela justifie la mise en place de dispositifs de gestion et de mutualisation de l'énergie entre les bâtiments.
	Equipements de production d'énergie	La mutualisation des équipements de production d'énergie, tels que réseaux de chaleur ou géothermie à basse température, et la gestion de réseaux, notamment électriques, pour maîtriser la demande d'énergie et intégrer une production décentralisée d'énergie, deviennent des options à explorer en priorité.
	Technologies de stockage	Le stockage ne doit plus se faire au niveau du bâtiment mais à l'échelle d'un ensemble de bâtiments. Les options technologiques devront permettre d'assurer un stockage thermique et électrique de grande capacité.

- **critères socio-économiques** : le passage du bâtiment à l'îlot permet l'utilisation d'options technologiques comme les réseaux d'énergie locaux ou le stockage d'énergie, dont la logique économique est meilleure. La mutualisation énergétique à l'échelle de l'îlot permet un meilleur rapport coût/efficacité comparé à la réhabilitation énergétique individuelle des bâtiments. De même, l'évolution des modes de vie des différents segments de population et la mixité fonctionnelle et sociale des espaces permettent de tirer profit des usages et des besoins décalés des différents bâtiments et consommateurs finaux.

In fine, la pertinence d'utiliser l'échelle de l'îlot se justifie par le fait que le concept d'énergie positive peut se révéler difficile à réaliser à l'échelle des bâtiments existants, pour lesquels une réhabilitation énergétique poussée peut être limitée par différentes contraintes, comme une orientation et une situation géographique défavorables pour l'utilisation de panneaux photovoltaïques, l'impossibilité d'installer une pompe à chaleur ou d'isoler par l'extérieur...

#### **Echelles spatiales et options technologiques, organisationnelles et socio-économiques**

**L'échelle spatiale à laquelle est appliqué le concept d'énergie positive est particulièrement discriminante pour les options technologiques, organisationnelles et socio-économiques à concevoir, développer et déployer (cf. tableau page de gauche).**

Le passage à l'échelle de l'îlot suppose une gestion des équipements collectifs de production et de consommation d'énergie. Si cela passe par un prestataire de services, la question de son modèle d'affaires devient incontournable.

Cette mutualisation doit aussi prendre en compte les usages et les besoins selon l'occupation des bâtiments : les horaires et les besoins diffèrent selon la destination du bâtiment (école, logements, bureaux). Autant de possibilités de dégager des marges de manœuvre pour lisser les pointes de consommation énergétique et mieux dimensionner les équipements.

Enfin, même si nos sociétés et nos cités ont été fondées sur la mutualisation des besoins et des ressources, la mutualisation énergétique à l'échelle de l'îlot d'équipements électroménagers, par exemple, comme cela se fait couramment dans certains pays (Etats-Unis, Autriche, etc...), est encore largement méconnue chez nous. Elle questionne les notions d'individualisation et le référentiel de valeurs de notre société.

### **La répartition de l'effort entre le neuf et l'existant**

Atteindre le facteur 4 dans le bâtiment peut se faire :

- En réhabilitant massivement le parc de bâtiments existants
- En engageant simultanément une politique de construction de bâtiments neufs très performants et une politique de déconstruction des bâtiments existants

Ces deux axes sont particulièrement discriminants pour le déploiement des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques.

### **Trois déterminants complémentaires**

Au-delà de l'échelle spatiale du concept d'énergie positive et de la répartition de l'effort entre le neuf et l'existant, les visions, verrous, priorités de recherche et besoins de démonstrateurs de recherche devront explicitement tenir compte de :

- la nature et de l'évolution possible des **régulations et organisations sociales** - la réglementation doit respecter la liberté de choix, un prestataire de service ne doit pas empêcher une auto-organisation sociale ;
- l'arbitrage entre des solutions à **dominante technologique** (gestion énergétique optimisée à l'intérieur d'un bâtiment, enveloppe intelligente) ou à **dominante comportementale** (envoi d'informations aux usagers pour leur permettre de décaler leur consommation électrique dans le temps ou les inciter à consommer moins) ;
- la **façon d'insérer bâtiments neufs ou à réhabiliter, du point de vue énergétique, dans le cadre bâti** (le choix de l'orientation, la mobilisation des ressources locales, la prise en compte des climats locaux, l'insertion dans un îlot existant) et plus largement dans le système énergétique existant tels que les réseaux de chaleur, de transport et de distribution d'électricité.

De manière générale, la localisation des quelques six millions de logements qui seront construits d'ici à 2050 en zone périurbaine, urbaine ou rurale et leurs caractéristiques, telles que l'organisation de l'espace intérieur, la disponibilité ou non d'une place de parking, auront un impact plus ou moins fort sur :

- **l'évolution des tissus urbains**, notamment en termes de densité d'habitat, en particulier dans l'hypothèse d'une densification accrue des zones urbaines et périurbaines des grandes agglomérations, ou de la multiplication d'espaces multifonctionnels associant en un même lieu habitat, travail, loisirs, etc...
- **le bilan énergétique des îlots et quartiers** et plus largement sur la question des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques mobilisables pour produire et consommer l'énergie (ex : mise en place d'un réseau de chaleur ou de moyens de production décentralisés comme des panneaux photovoltaïques, mutualisation ou individualisation de certains appareils consommateurs d'énergie comme des lave-linge) ;
- **les options pertinentes de réhabilitation énergétique** des bâtiments existants situés à proximité de ces bâtiments neufs à énergie positive (ex : possibilité de mutualisation énergétique entre les bâtiments, gestion commune de l'énergie pour tirer parti du décalage entre les usages) ;
- **la nature des modèles d'affaires** à concevoir pour financer la réhabilitation énergétique des bâtiments existants et la construction de bâtiments neufs à énergie positive.

## Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

### > 4. Les visions prospectives

Les visions à long terme ont vocation à présenter, parfois de manière caricaturale, les différentes modalités de déploiement des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques qui permettraient d'atteindre le facteur 4 dans le secteur des bâtiments résidentiels et tertiaires.

Elles **n'ont pas la prétention de décrire ce que sera la réalité à l'horizon 2050**, mais plutôt de définir le champ des possibles pour ensuite en déduire un large ensemble de verrous, de priorités de recherche et de besoins de démonstrateurs de recherche. La réalité sera très probablement une combinaison des **quatre visions 2050** établies par le groupe d'experts dans cette feuille de route qui, en outre, a fait le choix d'introduire une **vision à moyen terme (horizon 2020)**.

Cette vision a vocation à :

- décrire la manière dont se traduirait la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement dans le secteur des bâtiments et son prolongement sur la période 2020-2050,
- mettre en évidence les degrés de liberté, mais aussi les effets irréversibles concernant les options technologiques, organisationnelles et socio-économiques mobilisables à l'horizon 2050 dans le secteur des bâtiments si les objectifs du Grenelle étaient atteints.

### La vision 2020

Comment se traduisent les objectifs du Grenelle de l'environnement en 2020 dans le **secteur résidentiel**, qui représente plus de 70 % des surfaces chauffées (2 300 millions de m<sup>2</sup>) ?

Tous les **bâtiments neufs** sont à énergie positive. Poursuivre cette politique jusqu'en 2050 devrait aboutir à la construction d'environ six millions de logements neufs à énergie positive.

Quant aux **bâtiments résidentiels existants**, un vaste programme de réhabilitation énergétique est engagé. Il concerne environ 400 000 logements par an d'ici à 2020. Il a pour objectif d'aboutir à des logements dont les niveaux de consommation sont proches de 80 kWh/m<sup>2</sup>/an. Ainsi, sur la période 2010-2020, ce sont environ 4,4 millions de logements existants qui seront réhabilités. La poursuite de ce rythme de réhabilitation entre 2020 et 2050 reviendrait à rénover énergétiquement encore 12,4 millions de ce type de logements. Ce qui conduirait à 16,8 millions de logements existants réhabilités d'ici à 2050.

### Rappel des objectifs du Grenelle dans le secteur du résidentiel et conséquence de la poursuite des objectifs du Grenelle entre 2020 et 2050

Bâtiments du secteur résidentiel	Objectifs du Grenelle à l'horizon 2020	Poursuite des objectifs du Grenelle entre 2020 et 2050
<b>Bâtiments neufs</b>	Tous les bâtiments neufs sont à énergie positive, soit entre 200 000 et 400 000 logements neufs à énergie positive en 2020	Environ 6 millions de bâtiments neufs à énergie positive sont construits entre 2020 et 2050. Ainsi, en 2050, environ 16 % des logements seront à énergie positive.
<b>Bâtiments existants</b>	Environ 4,4 millions de logements existants sont rénovés énergétiquement entre 2010 et 2020. La consommation énergétique moyenne de ces logements rénovés est inférieure ou égale à 80 kWh/m <sup>2</sup> /an.	Environ 12,4 millions de logements seront rénovés entre 2020 et 2050, soit environ 16,8 millions de logements rénovés entre 2010 et 2050 (47 % du parc de logements en 2050).

Source : Groupe d'experts à partir des travaux du Grenelle de l'environnement

**En 2050**, il resterait encore 10 millions de logements résidentiels, soit environ 36 % du parc à cette date, sur lesquels aucune action de réhabilitation thermique de grande ampleur n'aurait été réalisée. Il faudrait donc des objectifs plus ambitieux que ceux du Grenelle, même poursuivis après 2020, pour espérer atteindre l'objectif facteur 4 en 2050 dans le secteur résidentiel.

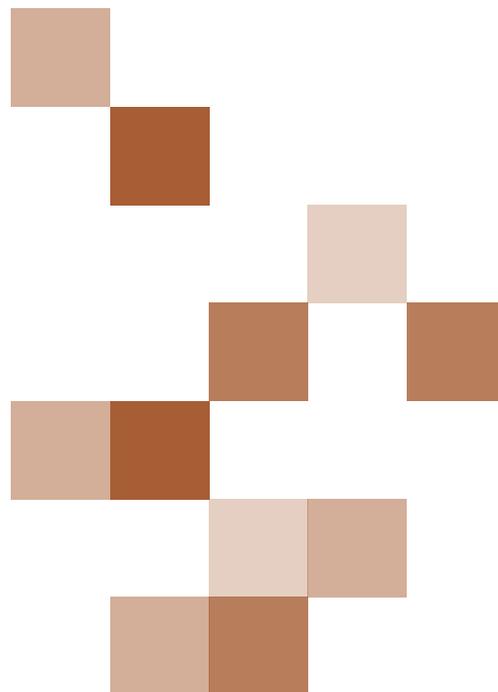
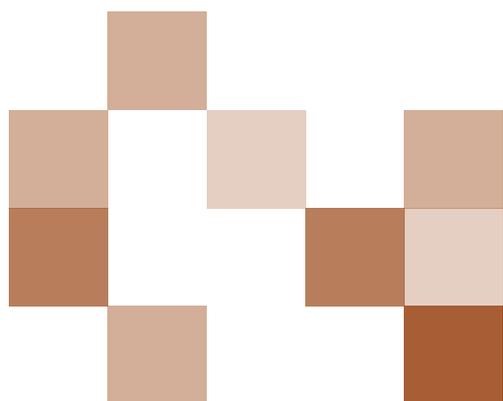
Pour le **secteur tertiaire**, qui représente aujourd'hui près de 30 % des surfaces chauffées, soit environ 900 millions de m<sup>2</sup>, le Grenelle de l'environnement ne fixe pas d'objectif spécifique, ni en matière de construction ni de rythme de réhabilitation. Compte tenu du taux de renouvellement du parc tertiaire, supérieur à celui du résidentiel, on peut considérer qu'environ 60 % du parc tertiaire de 2050 est déjà construit en 2008.

En conclusion, atteindre le facteur 4 dans le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire), nécessitera **très probablement une amplification des objectifs du Grenelle de l'environnement après 2020**.

**Cela devra notamment se traduire par des objectifs ambitieux en matière de réhabilitation énergétique du parc tertiaire existant.**

Quatre options pourraient permettre d'atteindre le facteur 4 :

- **1<sup>re</sup> option** : augmenter le rythme des réhabilitations énergétiques sur le parc résidentiel et tertiaire existant ;
- **2<sup>e</sup> option** : augmenter les niveaux de performances à atteindre en matière de réhabilitation énergétique du parc existant (par exemple, descendre significativement en dessous de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an en énergie primaire) ;
- **3<sup>e</sup> option** : multiplier les constructions neuves et à énergie positive, y compris en engageant une politique ambitieuse de déconstruction et de reconstruction du parc résidentiel et tertiaire existant ;
- **4<sup>e</sup> option** : valoriser le résidu d'énergie produit par les bâtiments à énergie positive, à l'échelle de l'îlot.



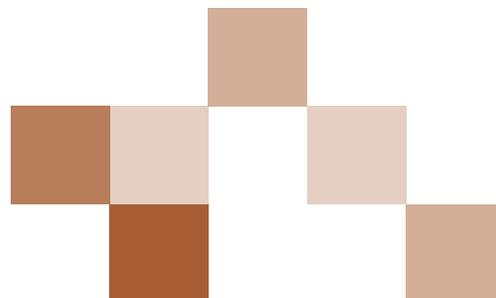
## Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

### Les visions 2050

Comment se traduiraient chacune de ces quatre options ?  
Les visions décrites ci-dessous sont structurées autour de deux paramètres clés :

- **l'échelle à laquelle est appliqué le concept d'énergie positive** (échelle du bâtiment, de l'îlot ou du quartier),
- **la répartition majoritaire de l'effort entre le parc existant et les bâtiments neufs.**

Atteindre le facteur 4 en 2050 ne résultera pas d'un effort exclusif sur le neuf ou l'existant, mais bien d'une action conjointe.



### Présentation synthétique des visions des bâtiments résidentiels et tertiaires à énergie positive et à bilan carbone minimum à l'horizon 2050

	Echelle du bâtiment	Echelle de l'îlot/du quartier
Effort portant majoritairement sur le parc résidentiel et tertiaire existant	Vision 1 : réhabilitation énergétique massive bâtiment par bâtiment	Vision 2 : réhabilitation énergétique massive et optimisée à l'échelle de l'îlot ou du quartier
Effort portant majoritairement sur les bâtiments résidentiels et tertiaires neufs	Vision 3 : bâtiments neufs élitistes, réhabilitation voire déconstruction massive du parc existant	Vision 4 : Masdar City <sup>10</sup> , déconstruction et reconstruction massive du parc existant

#### Vision 1 : réhabilitation énergétique massive bâtiment par bâtiment

L'ensemble des bâtiments résidentiels et tertiaires existants sont rénovés lourdement avec l'objectif de les transformer en bâtiments à énergie positive pour les plus récents, ou d'atteindre des niveaux de consommation unitaire inférieurs à 50 kWh/m<sup>2</sup>/an pour les autres.

La rénovation énergétique se fait bâtiment par bâtiment, sans prendre en compte de possibles interactions énergétiques entre eux. Néanmoins, certaines familles homogènes de bâtiments résidentiels et tertiaires comme les immeubles haussmanniens, les immeubles de bureaux, les maisons ouvrières, sont traités par bouquets de réhabilitation énergétique, autrement dit avec un ensemble d'options adaptées à chaque famille de bâtiments. Cela permet d'abaisser les coûts et donc d'accroître significativement le rythme des rénovations par rapport à la tendance observée sur 2010-2020, autrement dit, entre autres, de réhabiliter plus de 400 000 logements par an dans le secteur résidentiel.

Les bâtiments à énergie positive optimisent leur propre consommation énergétique et utilisent leur production d'électricité au mieux en arbitrant entre un stockage local, la revente sur le réseau ou l'usage immédiat. Le premier objectif est l'autonomie énergétique pour l'ensemble des usages du bâtiment. Viennent ensuite la revente du surplus sur le réseau puis le stockage local sous la forme de recharge de véhicules électriques. Des systèmes sophistiqués de gestion de l'énergie sont mis en place afin d'optimiser les charges internes en fonction des habitudes des utilisateurs du bâtiment et des fluctuations de production d'énergie locale.

#### Vision 2 : réhabilitation énergétique massive et optimisée à l'échelle de l'îlot ou du quartier

Cette vision est proche de la précédente, à la différence près que les opérations de réhabilitation énergétique sont pensées pour :

- être optimisées à l'échelle de l'îlot ou du quartier,
- laisser des degrés de liberté pour intégrer plus facilement les évolutions technologiques à venir, comme le déploiement massif de véhicules électriques voire hybrides rechargeables ou de réseaux de distribution électrique intelligents.

L'idée centrale est de tirer profit des caractéristiques énergétiques des bâtiments basse consommation et à énergie positive pour optimiser les actions de réhabilitation énergétique à l'échelle de l'îlot ou du quartier existant. Une « coopération énergétique » ou une « mutualisation énergétique » permettent d'améliorer les performances énergétiques des bâtiments existants réhabilités, notamment leur apport en énergie solaire.

Des synergies et des interactions énergétiques sont également recherchées entre les bâtiments résidentiels et tertiaires, afin notamment de tirer parti de leur profil d'usages différenciés : des solutions d'échange d'énergie, par exemple de chaleur, sont envisagées.

<sup>10</sup> - Masdar city est un modèle de ville écologique, conçu pour une vie sans émissions de carbone et sans déchets. Le projet imaginé par l'agence d'architecture Foster and Partner répond au concours lancé en 2006 : la création d'une nouvelle cité s'étendant sur 6,5 km<sup>2</sup> dans le désert, à proximité de l'aéroport international d'Abou Dhabi. Il allie une conception bioclimatique de l'architecture urbaine, une proposition de systèmes de transports multifonctionnels, écologiques et performants, une maîtrise des ressources en eau et un recyclage optimisé des déchets, à une exploitation maximale de l'énergie solaire pour satisfaire les besoins de la cité.

Dans le même ordre d'idée, un certain nombre d'équipements énergétiques, comme les réseaux de chaleur ou de froid, sont mutualisés au niveau de l'îlot ou du quartier avec des dispositifs de stockage centralisé et des réseaux de distribution « intelligents ». Les moyens de recharge des véhicules électriques sont également mutualisés.

Ces équipements sont pensés pour intégrer des évolutions futures, qu'elles soient d'ordre technologique (le remplacement des équipements de cogénération par des piles à combustible à hydrogène à l'horizon 2040 en est un exemple), d'ordre social (évolution démographique et nouveaux besoins), ou climatique (comme le besoin accru de climatisation).

Cette vision à l'échelle du quartier permet un équilibre entre optimisation et adaptabilité.

### **Vision 3 : bâtiments neufs élitistes, réhabilitation voire déconstruction massive du parc existant**

Des bâtiments neufs particulièrement performants sont construits selon des technologies très innovantes, mais pour un coût élevé. Compte tenu du faible rythme de renouvellement du parc et du nombre limité de constructions neuves (6 millions de logements neufs entre 2020 et 2050 pour le secteur résidentiel), atteindre le facteur 4 impose d'engager une politique ambitieuse sur le parc existant.

Cette politique concerne un nombre significatif de bâtiments résidentiels et tertiaires existants et comporte deux options : la réhabilitation lourde, lorsque cela est possible (selon l'orientation, la situation, l'usage, l'architecture du bâtiment, le niveau de vie des occupants, etc.), sinon la déconstruction puis la reconstruction pour les transformer en bâtiments à énergie positive très performants. L'arbitrage entre ces deux options se fait en fonction de critères environnementaux, notamment de l'énergie grise (somme de toutes les énergies nécessaires à la production, à la fabrication, à l'utilisation et enfin au recyclage des matériaux ou des produits industriels). Une réglementation plus précoce et plus stricte que pour les visions précédentes (1 et 2) doit donc être mise en œuvre dans ce domaine.

Dans cette vision cohabitent des bâtiments énergétiquement très performants (réservés à une population aisée) avec des bâtiments moins performants, qu'il s'agisse de logements, bureaux, écoles ou commerces...

Des dispositifs de stockage de l'électricité, de la chaleur et du froid sont intégrés dans le bâtiment pour lui permettre d'équilibrer globalement sa consommation et sa production d'énergie, que ce soit quotidiennement ou annuellement. Parallèlement, les bâtiments résidentiels et tertiaires les plus performants adoptent des stratégies de revente de leur surplus de production d'énergie à des réseaux de distribution, en fonction des besoins énergétiques des bâtiments existants faiblement réhabilités ou non reconstruits. Ces réseaux de distribution d'énergie sont pilotés de manière intelligente, notamment au moyen d'une tarification dynamique permettant de tirer pleinement profit des opportunités du marché. Ces stratégies de revente d'énergie sont au cœur du modèle d'affaires permettant de financer la construction de bâtiments neufs.

### **Vision 4 : Masdar city, déconstruction et reconstruction massive du parc existant**

Dans cette vision, les acteurs de la ville s'engagent dans une politique massive de réaménagement urbain : îlots et quartiers anciens sont déconstruits pour qu'on puisse reconstruire à leur place des îlots et des quartiers à haute performance énergétique et environnementale, des villes nouvelles ou éco-cités à basse consommation, voire à énergie positive.

La plupart du temps, celles-ci sont conçues dans une stratégie d'optimisation énergétique locale, mais pour des raisons de sécurité d'approvisionnement, elles sont aussi connectées à des réseaux centraux de distribution d'énergie.

Ces espaces reconstruits fonctionnent selon les principes de l'économie circulaire, qui cherche à rapprocher le fonctionnement des écosystèmes industriels de celui, quasi cyclique, des écosystèmes naturels, en optimisant les flux d'énergie et de matière. Dans le cas de ces éco-cités, une attention particulière est accordée à la consommation et au recyclage des ressources et des matériaux lors des phases de déconstruction et de reconstruction. Comme dans la vision précédente, une réglementation précoce et stricte sur l'énergie grise doit être mise en place pour arbitrer au mieux entre les options de déconstruction et de réhabilitation massive.

## Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

### Synthèse

Les tableaux suivants reprennent et précisent les principaux points forts et faibles des quatre visions pour 2050 proposées ci-dessus, ainsi que leurs principales caractéristiques, facteurs discriminants et acteurs clés.

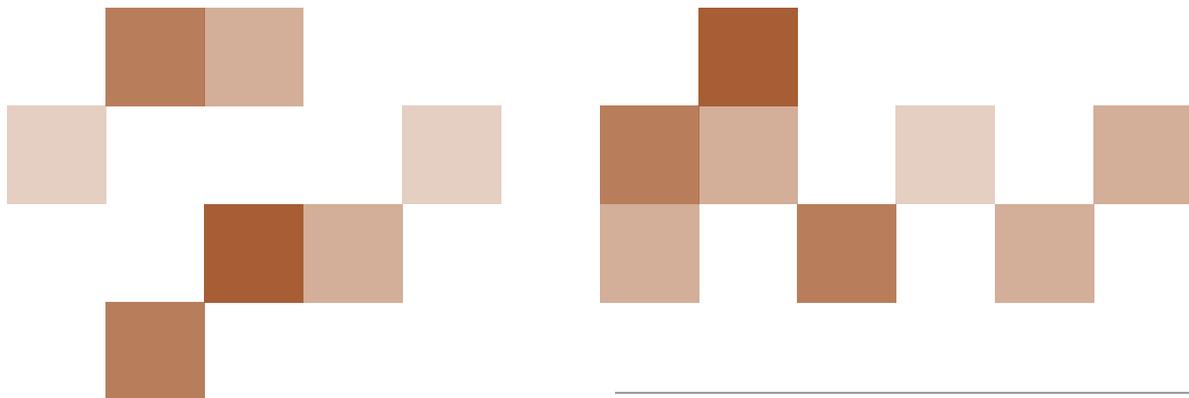
### Principaux points forts et points faibles des différentes visions

Vision	Points forts	Points faibles
<b>Vision 1 : réhabilitation énergétique massive, bâtiment par bâtiment</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible remise en cause des schémas de pensée et des organisations existantes</li> <li>- Emergence de bouquets de réhabilitation énergétique et d'une offre ambitieuse de réhabilitation énergétique à l'échelle du bâtiment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible remise en cause des schémas de pensée et des organisations existantes</li> <li>- Modèles d'affaires à créer</li> </ul>
<b>Vision 2 : réhabilitation énergétique massive et optimisée à l'échelle de l'îlot ou du quartier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte interaction avec la mise en place de réseaux électriques intelligents</li> <li>- Meilleure optimisation des solutions techniques envisagées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité d'avoir des modèles de transaction adaptés aux notions de mutualisation et de coopération énergétique</li> <li>- Besoin de trouver des fournisseurs de services en réhabilitation énergétique à l'échelle de l'îlot ou du quartier</li> </ul>
<b>Vision 3 : bâtiments neufs élitistes, réhabilitation voire déconstruction massive du parc existant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mécanismes de décision plus explicite car un nombre limité d'acteurs est impliqué dans la prise de décision</li> <li>- Forte interaction avec la mise en place de réseaux électriques intelligents</li> <li>- Modèle d'affaires quasi existant du fait de la forte interaction avec les réseaux électriques intelligents</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Besoin de trouver des articulations explicites avec le code de l'urbanisme</li> <li>- Faible dimension sociale. La performance énergétique est réservée à une population aisée</li> <li>- Remise en cause significative de notre relation au patrimoine bâti existant</li> <li>- Besoin de mettre en place des méthodes d'éco-construction pour limiter les impacts environnementaux, notamment concernant les matières premières</li> </ul>
<b>Vision 4 : Masdar city, déconstruction et reconstruction massive du parc existant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obligation de se réinterroger sur la ville facteur 4 ou post carbone</li> <li>- Modèles de technologies exportables vers les pays émergents</li> <li>- Modèles de villes importables des pays émergents (comme Masdar city)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Très forte remise en cause de notre relation au patrimoine bâti existant</li> <li>- Forte consommation de matériaux et de ressources si la gestion de la phase de déconstruction et de reconstruction est mauvaise</li> </ul>

### Principales caractéristiques – facteurs discriminants des différentes visions

Vision	Caractéristiques – facteurs discriminants par rapport aux autres visions	Acteurs clés
<b>Vision 1 : réhabilitation énergétique massive bâtiment par bâtiment</b>	Optimisation énergétique pensée à l'échelle du bâtiment	Acteurs offrant des options performantes et compétitives en matière de réhabilitation énergétique du bâtiment
<b>Vision 2 : réhabilitation énergétique massive et optimisée à l'échelle de l'îlot ou du quartier</b>	Optimisation énergétique pensée à l'échelle d'un ensemble de bâtiments	Sociétés de services d'efficacité énergétique proposant des contrats de réhabilitation énergétique à l'échelle d'un îlot ou d'un quartier
<b>Vision 3 : bâtiments neufs élitistes, réhabilitation voire déconstruction massive du parc existant</b>	Bâtiment vu comme une petite centrale de production d'énergie. Le modèle d'affaires de ce bâtiment réside dans son interaction avec le réseau de distribution d'énergie (ex : fourniture de services réseaux)	Acteurs des réseaux électriques intelligents (fournisseurs, agrégateurs <sup>11</sup> , etc...)
<b>Vision 4 : Masdar city, déconstruction et reconstruction massive du parc existant</b>	Atteindre le facteur 4 devient un moyen de repenser la ville au-delà de la problématique énergétique : des options innovantes en matière d'économie circulaire, de métabolisme urbain et de gestion de la mobilité sont mises en œuvre	Aménageurs et grands acteurs du BTP et des services urbains, urbanistes.

Source : Groupe d'experts



11 - Les agrégateurs d'énergie renouvelable ou de stockage d'énergie sont des sociétés qui rassemblent un certain nombre de capacités énergétiques décentralisées (comme des éoliennes, des sites photovoltaïques, des réserves hydrauliques) pour constituer une ressource importante, négociable.

## Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

### Transition 2010-2050 : quelques éléments clés pour une succession de réglementations thermiques

Le cadencement réglementaire est devenu un déterminant essentiel de la dynamique d'innovation dans le domaine du bâtiment comme dans celui de l'automobile (avec les normes Euro sur les émissions de gaz à l'échappement). La mise en place de labels comme le Bâtiment basse consommation (BBC), le Bâtiment à énergie positive (BEPOS) ou les réglementations thermiques successives comme la RT2005 donnent le rythme.

Dans ce contexte, nous proposons une esquisse de **cadencement réglementaire d'ici à 2050** selon des rythmes spécifiques pour les bâtiments neufs et existants et avec une introduction progressive des différents éléments correspondant à la vision 2020 et aux quatre visions proposées pour 2050.

Il vise :

- **un élargissement progressif du concept d'énergie positive** à l'ensemble des usages énergétiques des bâtiments résidentiels et tertiaires comme le chauffage ou la ventilation ;
- **une intégration des notions d'Analyse de cycle de vie (ACV) dans la conception des bâtiments résidentiels et tertiaires**, pour notamment prendre en compte la question de l'énergie grise induite lors des réhabilitations massives et des déconstructions puis reconstructions ;
- **une extension du concept d'énergie positive au-delà du bâtiment**, à l'échelle de l'îlot ou du quartier.

Les démonstrateurs de recherche qui découleront de cette feuille de route permettront d'expérimenter en condition d'usages réels les options technologiques, organisationnelles et socio-économiques préfigurant un nouveau label : HPE 2025 pour Haute Performance environnementale 2025 (par opposition, les démonstrateurs régionaux du PREBAT préfigureront les options technologiques d'un label HPE 2012).

Pour les rénovations énergétiques lourdes du parc existant, le cadencement réglementaire sera :

- légèrement décalé dans le temps sur la question des performances énergétiques et des impacts environnementaux à l'échelle d'un bâtiment donné : le passage à la notion de bâtiment à énergie positive sera plus tardif, limité à certains usages, avec des objectifs moins ambitieux en matière de contenu en carbone ;
- mais totalement synchrone pour le passage de l'échelle du bâtiment à celle de l'îlot.

### Proposition de cadencement réglementaire pour le bâtiment afin de tendre vers les visions 2050

Horizon temporel	Principaux objectifs de la réglementation
2011-2013	<b>Label HPE 2012</b> : Bâtiments à énergie positive ( <b>BEPOS</b> ) pour les <b>cinq usages réglementés de l'électricité</b> (chauffage, ventilation, rafraîchissement, eau chaude sanitaire, éclairage et auxiliaires). Des <b>exigences</b> sont introduites en matière de <b>contenu carbone</b> (seuil) et d'utilisation de <b>matériaux biosourcés</b> , notamment pour l'enveloppe du bâtiment.
2015-2016	<b>Label HPE 2016</b> : le concept de <b>BEPOS</b> est <b>élargi à d'autres usages de l'électricité</b> comme l'électricité spécifique (appareils électroménagers, informatique, etc.) Un <b>référentiel ACV</b> est introduit dans la réglementation en termes de <b>contenu en carbone</b> <sup>12</sup> . Pour la première fois, le <b>concept d'énergie positive</b> est étendu au-delà du bâtiment <b>à l'échelle de l'îlot ou du quartier</b> . Le label HPE 2016 préfigure la réglementation thermique 2020 (RT 2020).
2020	<b>RT 2020</b> : les <b>exigences du label HPE 2016</b> deviennent <b>obligatoires</b> .
2020-2025	<b>Label HPE 2025</b> : il correspond à l' <b>extension</b> du concept de <b>BEPOS à l'ensemble des usages énergétiques à l'échelle d'un bâtiment</b> , mais également d'un <b>îlot ou d'un quartier</b> . La prise en compte des <b>référentiels ACV</b> pour les dimensions <b>contenu carbone et impacts environnementaux et sanitaires</b> est légitimée. Pour la première fois, un référentiel explicite permet de raisonner à l'échelle d'un ensemble de bâtiments.
2030	<b>RT 2030</b> : les <b>exigences du label HPE 2025</b> deviennent <b>obligatoires</b> .

12 - Ici, la notion de contenu en carbone est prise au sens large puisqu'elle intègre : le contenu en CO2 du kWh électrique pour les différents usages, la fabrication des matériaux et des équipements utilisés pour et dans les BEPOS.

## Les principaux leviers d'action dans les différentes visions

Pour atteindre une ou plusieurs des visions 2050 imaginées par le groupe d'experts, nous considérons que cinq leviers d'action sont mobilisables (leur ordre ici ne préfigure en rien leur importance) :

- **1<sup>er</sup> levier d'action : l'optimisation énergétique à l'échelle d'un bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments** à travers, notamment, l'isolation interne ou externe des bâtiments, la limitation des besoins en éclairage (en favorisant l'éclairage naturel) et en eau chaude sanitaire. Selon l'orientation, les caractéristiques énergétiques et architecturales des bâtiments, l'optimisation des besoins de chaleur et de froid pourra passer par la mutualisation et la coopération énergétique entre les bâtiments.
- **2<sup>e</sup> levier d'action : le contrôle de l'énergie dans le bâtiment** afin de permettre la gestion dynamique des différents composants de l'enveloppe comme les ouvrants, les verres actifs (dont la transparence varie), la ventilation nocturne ainsi que l'éclairage.
- **3<sup>e</sup> levier d'action : les comportements individuels et collectifs concernant la consommation d'énergie et plus largement nos modes de vie** afin d'éviter l'effet rebond (usages plus consommateurs) qui peut annuler tout ou partie des gains attendus lors de l'introduction d'une technologie plus performante. Pour cela, des actions d'éducation et la mise en place d'outils incitatifs comme la fiscalité sont des options dont l'efficacité est reconnue sur le long terme.

- **4<sup>e</sup> levier d'action : la performance énergétique des équipements**, en particulier les technologies d'éclairage (LED, OLED) et les appareils de cuisson, de froid, de lavage, de vidéo, etc., dont les performances intrinsèques devront être améliorées. Sachant qu'à moyen terme (dix à vingt ans) le nombre de ces équipements devrait continuer à croître, des possibilités de mutualisation entre plusieurs logements, voire entre bâtiments, pourront être explorées.

- **5<sup>e</sup> levier d'action : les technologies propres à la production ou à la récupération de l'énergie** telles que les technologies de production de l'électricité à partir de ressources renouvelables, comme le photovoltaïque et la génération d'eau chaude solaire.

Des niveaux de progrès différents sont envisageables sur ces différents leviers. Le tableau ci-dessous fournit des ordres de grandeur des gains à attendre à l'horizon 2050.

**A noter :**  
**les fourchettes de gains sont largement fonction des caractéristiques énergétiques du ou des bâtiments d'origine.** Ainsi, la réhabilitation énergétique d'un bâtiment BBC apportera peu de gains du côté de l'enveloppe du bâtiment et concernera plutôt ses équipements consommateurs et producteurs. La situation sera totalement inversée dans le cas d'un bâtiment construit avant la première réglementation thermique.

### Ventilation des gains atteignables à travers la mobilisation des différents leviers d'action

Quoi kWh/m <sup>2</sup> /an	1 <sup>er</sup> levier : Enveloppe	2 <sup>e</sup> levier : Contrôle	3 <sup>e</sup> levier : Usage	4 <sup>e</sup> levier : Equipements	5 <sup>e</sup> levier : EnR
Energie pour la chaleur et le froid	Rouge	Orange	Orange	Blanc	Rouge
Eclairage	Vert	Orange	Orange	Rouge	Blanc
Moteurs	Blanc	Rouge	Blanc	Vert	Blanc
Eau chaude	Blanc	Vert	Vert	Vert	Rouge
Appareils (électroménager, Hi-fi, multimédia)	Blanc	Orange	Vert	Orange	Blanc

Source : Schneider-electric. Légende – Blanc : pas de gains envisagés – Vert : gains de 0 à 20 % – Orange : gains de 20 à 50 % – Rouge : gains supérieurs à 50 %

## Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

### > 5. Les verrous

Plusieurs verrous technologiques, économiques, organisationnels et transversaux conditionnent l'émergence des visions 2020 et 2050.

#### Les verrous à caractère technologique

- Verrou 1.1 : le **développement de composants technologiques pour la réhabilitation énergétique des bâtiments et leur intégration dans des bouquets de composants** (ex : enveloppe multifonctionnelle, qui fait office de mur mais aussi d'isolant et de capteur solaire et dont les propriétés sont variables et peuvent être pilotées, dispositif de mutualisation des productions et des consommations d'énergie entre bâtiments, isolation extérieure en couche mince, dispositif de ravalement de façade à base de nano particules).
- Verrou 1.2 : l'**intégration dans les bâtiments de technologies de production et de stockage décentralisé ou semi-décentralisé**, que ce soit en façade ou sur certains composants comme la toiture.
- Verrou 1.3 : la **validation de la pertinence énergétique et économique d'options de synergies énergétiques** telles que la récupération de chaleur ou de froid, la mutualisation d'infrastructures énergétiques, la mise en place d'interfaces énergétiques entre véhicules et bâtiments.
- Verrou 1.4 : la **taille des systèmes de production d'énergie** comme les pompes à chaleur, les chaudières à bois, les systèmes de cogénération, pour des usages individuels voire collectifs.

#### Les verrous à caractère économique et industriel

- Verrou 2.1 : le **manque d'implication des gros industriels** sur des approches intégrées à l'échelle du bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments (îlot, quartier).
- Verrou 2.2 : le développement d'une **offre ambitieuse** en matière de composants ou de bouquets de composants **bon marché** à des fins de réhabilitation énergétique **massive** des bâtiments ou groupes de bâtiments.
- Verrou 2.3 : la **pertinence économique** de l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments notamment pour des arbitrages entre rénovation et démolition puis reconstruction.
- Verrou 2.4 : les **contraintes d'organisation** de la filière bâtiment qui, aujourd'hui, associe trop faiblement le continuum entre produits, filières et main-d'œuvre dans sa démarche de conception de produits et services.

#### Les verrous à caractère socio-économique, juridique et organisationnel

- Verrou 3.1 : la préservation d'un **potentiel d'adaptation et de résilience** à de futures contraintes financières, climatiques, aux évolutions réglementaires ainsi qu'aux progrès technologiques à venir.
- Verrou 3.2 : la conception des **modèles d'affaires** associés à l'émergence de nouvelles activités de services liées au développement de l'offre de réhabilitation à l'échelle d'un bâtiment ou d'un îlot.
- Verrou 3.3 : l'acceptabilité d'une **gestion intelligente (mais contraignante) de l'énergie** qui intègre du contrôle et de la commande, de l'automatisation, des interfaces communicantes voire persuasives, etc.
- Verrou 3.4 : le **comportement des utilisateurs finaux** vis-à-vis de l'émergence des produits et services liés au déploiement de ces nouveaux bâtiments.
- Verrou 3.5 : l'**interaction entre l'adoption** de ces nouveaux produits et services **et l'évolution du comportement des utilisateurs finaux**.
- Verrou 3.6 : l'**absence** de règles juridiques et institutionnelles permettant et encadrant la mutualisation énergétique entre les bâtiments et au sein d'un même bâtiment (ex : cadre réglementaire permettant la construction d'une serre entre deux bâtiments, permis de construire et plans locaux d'urbanisme traitant des îlots mêlant construction et réhabilitation).
- Verrou 3.7 : la compatibilité entre les options technologiques développées **et les contraintes urbanistiques et architecturales**.

#### Les verrous transversaux

- Verrou 4.1 : la **fiabilité et la sécurité des systèmes d'information** permettant une meilleure gestion et prédiction de l'énergie à l'intérieur d'un bâtiment et d'un ensemble de bâtiments (notamment à des fins de maîtrise de la demande d'énergie et de pilotage des usages).
- Verrou 4.2 : la capacité des systèmes d'information, nécessaires à la gestion et à la prédiction de l'énergie, à **fonctionner en mode dégradé**, autrement dit à assurer une fourniture de service minimum en cas de défaillance d'un des composants.
- Verrou 4.3 : la **robustesse** des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques conçues et déployées sur les bâtiments ou ensemble de bâtiments.
- Verrou 4.4 : le **bilan carbone et l'impact environnemental global** des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques déployées, aussi bien dans le neuf que dans l'existant.
- Verrou 4.5 : la **performance dans des conditions d'usage réel**, autrement dit les divergences de performances et de consommations énergétiques, entre, d'une part, le calcul théorique prévisionnel et le fonctionnement réel en conditions optimales, et, d'autre part, les comportements hétérogènes, non optimaux des usagers.

## Ventilation des verrous en fonction des différents leviers d'action

Levier d'action	Verrous
L'optimisation énergétique à l'échelle d'un bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments	<p>Verrou 1.1 : le développement de composants technologiques pour la réhabilitation énergétique des bâtiments et leur intégration dans des bouquets de composants.</p> <p>Verrou 1.3 : la <b>validation de la pertinence énergétique et économique d'options de synergies énergétiques</b> telles que la récupération de chaleur ou de froid, la mutualisation d'infrastructures énergétiques, la mise en place d'interfaces énergétiques entre véhicules et bâtiments.</p> <p>Verrou 1.4 : la <b>taille des systèmes de production d'énergie</b> comme les pompes à chaleur, les chaudières à bois, les systèmes de cogénération, pour des usages individuels voire collectifs.</p> <p>Verrou 2.1 : le <b>manque d'implication des gros industriels</b> sur des approches intégrées à l'échelle du bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments (îlot, quartier).</p> <p>Verrou 2.2 : le développement d'une <b>offre ambitieuse</b> en matière de composants ou de bouquets de composants <b>bon marché</b> à des fins de réhabilitation énergétique <b>massive</b> des bâtiments ou groupes de bâtiments.</p> <p>Verrou 2.3 : la <b>pertinence économique</b> de l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments notamment pour des arbitrages entre rénovation et démolition puis reconstruction.</p> <p>Verrou 2.4 : les <b>contraintes d'organisation</b> de la filière bâtiment qui, aujourd'hui, associe trop faiblement le continuum entre produits, filières et main-d'œuvre dans sa démarche de conception de produits et services.</p> <p>Verrou 3.1 : la préservation d'un <b>potentiel d'adaptation et de résilience</b> à de futures contraintes financières, climatiques, aux évolutions réglementaires ainsi qu'aux progrès technologiques à venir.</p> <p>Verrou 3.2 : la conception des <b>modèles d'affaires</b> associés à l'émergence de nouvelles activités de services liées au développement de l'offre de réhabilitation à l'échelle d'un bâtiment ou d'un îlot.</p> <p>Verrou 4.4 : le <b>bilan carbone et l'impact environnemental global</b> des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques déployées, aussi bien dans le neuf que dans l'existant.</p>
Le contrôle du bâtiment et de l'énergie dans le bâtiment	<p>Verrou 4.1 : la <b>fiabilité et la sécurité des systèmes d'information</b> permettant une meilleure gestion et prédiction de l'énergie à l'intérieur d'un bâtiment et d'un ensemble de bâtiments (notamment à des fins de maîtrise de la demande d'énergie et de pilotage des usages).</p> <p>Verrou 4.2 : la capacité des systèmes d'information, nécessaires à la gestion et à la prédiction de l'énergie, à <b>fonctionner en mode dégradé</b>, autrement dit à assurer une fourniture de service minimum en cas de défaillance d'un des composants.</p> <p>Verrou 4.3 : la <b>robustesse</b> des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques conçues et déployées sur les bâtiments ou ensemble de bâtiments.</p>
Les comportements individuels et collectifs de consommation d'énergie et plus largement nos modes de vie	<p>Verrou 3.3 : l'acceptabilité d'une <b>gestion intelligente (mais contraignante) de l'énergie</b> qui intègre du contrôle et de la commande, de l'automatisation, des interfaces communicantes voire persuasives, etc.</p> <p>Verrou 3.4 : le <b>comportement des utilisateurs finaux</b> vis à vis de l'émergence des produits et services liés au déploiement de ces nouveaux bâtiments.</p> <p>Verrou 3.5 : <b>l'interaction entre l'adoption</b> de ces nouveaux produits et services et <b>l'évolution du comportement des utilisateurs finaux</b>.</p> <p>Verrou 3.6 : <b>l'absence</b> de règles juridiques et institutionnelles permettant et encadrant la mutualisation énergétique entre les bâtiments et au sein d'un même bâtiment.</p> <p>Verrou 3.7 : la compatibilité entre les options technologiques développées et <b>les contraintes urbanistiques et architecturales</b>.</p> <p>Verrou 4.5 : la <b>performance dans des conditions d'usage réel</b>, autrement dit les divergences de performances et de consommations énergétiques, entre, d'une part, le calcul théorique prévisionnel et le fonctionnement réel en conditions optimales, et, d'autre part, les comportements hétérogènes, non optimaux des usagers.</p>
La performance énergétique des équipements consommateurs	<p>Verrou 1.4 : la <b>taille des systèmes de production d'énergie</b> comme les pompes à chaleur, les chaudières à bois, les systèmes de cogénération, pour des usages individuels voire collectifs.</p>
Les technologies de l'énergie, en production ou en récupération	<p>Verrou 1.2 : <b>l'intégration dans les bâtiments de technologies de production et de stockage décentralisé</b> ou semi-décentralisé, que ce soit en façade ou sur certains composants comme la toiture.</p>

## Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

### > 6. Les priorités de recherche

#### **Le bâtiment et l'îlot**

##### **Approches technologiques et systèmes**

Elles concernent l'enveloppe du bâtiment. A court terme, l'objectif de la R&D doit être d'améliorer l'efficacité énergétique des composants de l'enveloppe. Ces travaux de recherche doivent permettre :

- de passer de la surisolation à la superisolation en couche mince. C'est un enjeu considérable au regard de l'ampleur des besoins de réhabilitation thermique dans les bâtiments existants
- de corriger et de prévenir les ponts thermiques
- d'améliorer le couplage isolation-inertie
- de maîtriser les phénomènes de transferts d'air et d'humidité dans les parois

Afin d'accélérer leur diffusion auprès des constructeurs, ces recherches devront aboutir à des produits de construction facilement intégrables à leurs approches standardisées.

A moyen terme, l'enveloppe ne devra plus être uniquement l'interface passive entre un milieu intérieur et un milieu extérieur. Il faudra également qu'elle soit intelligente. Elle devra pouvoir interagir directement ou par anticipation avec les besoins de l'utilisateur et les milieux environnants. Cette nouvelle conception de l'enveloppe passe par l'intégration de matériaux et de composants de nouvelle génération comme :

- des isolants adaptatifs pour se protéger du froid et profiter des apports solaires
- des matériaux à changement de phases pour stocker l'énergie, réduire la consommation et améliorer le confort
- des vitrages actifs et sélectifs, à la fois isolants, producteurs d'énergie par l'intégration de cellules photovoltaïques, et filtrants pour éviter les éblouissements
- des capteurs d'état des composants de l'enveloppe

Enfin, l'enveloppe intelligente devra également être productrice d'énergie à l'aide, par exemple, de panneaux solaires, de cellules photovoltaïques ou de micro-éoliennes en façade ou sur les toits. Ces équipements de production d'énergies renouvelables devront pouvoir être intégrés dans l'enveloppe des bâtiments.

L'intégration de l'ensemble de ces composants, qu'ils soient passifs ou actifs, sera l'objet de développements de sous-ensembles fonctionnels faciles à industrialiser et à préfabriquer. Ils seront adaptés à des procédures standardisées afin d'accélérer la pénétration des conceptions de ce nouveau paradigme dans les pratiques quotidiennes des constructeurs.

A long terme, le passage d'une enveloppe passive à une enveloppe intelligente orientera probablement les travaux en amont vers des recherches sur des matériaux possédant de nouvelles caractéristiques thermiques, mécaniques... Dans ce cadre, il est d'ores et déjà nécessaire d'encourager les recherches sur les nanomatériaux, les matériaux organiques et composites, qui pourraient trouver de vastes gammes d'applications dans le bâtiment.

#### **Les équipements énergétiques**

##### **Les systèmes de ventilation**

A court et moyen termes, les systèmes de ventilation devront être améliorés en matière de double flux, de gestion pièce par pièce lorsque cela sera nécessaire ou d'hybridation avec la ventilation naturelle. A plus long terme, les systèmes de ventilation devront pouvoir être transformés en équipements de gestion de l'air incluant des détecteurs de polluants, de fumées, de présence, ou être capables d'informer les usagers sur la qualité de l'air intérieur. Ces équipements devront pouvoir moduler les débits et préchauffer ou rafraîchir l'air entrant. Dans le cadre de la gestion des problèmes de confort l'été, des solutions devront être proposées en matière de ventilation nocturne.

##### **Les systèmes de contrôle et de commande**

L'amélioration des performances des systèmes de contrôle et de commande doit permettre d'aller vers un fonctionnement et une gestion des équipements qui soient réellement modulables selon les types de construction et leur inertie thermique respective, les usages énergétiques des bâtiments (éclairage, chauffage), les comportements des usagers et des saisons. L'optimisation des consommations et des appels de puissance est l'objectif ultime. Parallèlement, pour participer à la responsabilisation de l'utilisateur, il est nécessaire d'améliorer son information concernant le fonctionnement de ses équipements énergétiques au moyen d'interfaces ad hoc.

##### **Les équipements électriques**

Les produits, les composants et équipements qui fournissent de l'électricité devront évoluer pour réduire consommation et appels à puissance de pointe. Les progrès pourront porter sur l'architecture électrique, l'éclairage, la force motrice, l'intégration de l'électronique dans les équipements, l'intégration des technologies de l'information dans le bâtiment, les équipements à l'usage des professionnels (froid commercial, cuisson, informatique, photocopieurs) et des ménages (électroménager, hi-fi, multimédia).

### Les énergies renouvelables

Aller vers le bâtiment à énergie positive nécessite non seulement de minimiser les besoins de chaleur et d'électricité, mais également d'être en mesure de répondre aux besoins énergétiques résiduels grâce à des énergies renouvelables. Ainsi, pour pouvoir, à l'avenir, proposer un recours systématique aux énergies renouvelables dans l'acte de construction ou de réhabilitation, il est nécessaire d'entreprendre des recherches pour proposer des outils, des procédures ou des systèmes favorisant l'intégration de ces techniques dans le bâtiment.

Pour cela, la R&D doit fournir des réponses en matière de conception des systèmes, de dimensionnement, de gestion des stockages et des appoints, ainsi que sur l'étude des différentes configurations et de leurs performances.

### Les approches globales

#### La conception du bâtiment

L'architecture des bâtiments à énergie positive est fondamentale tant pour réduire les besoins (par exemple de climatisation) que pour intégrer de façon efficace et harmonieuse des énergies renouvelables de manière à satisfaire les besoins énergétiques résiduels. L'objectif des recherches est de **réinventer une architecture bioclimatique de masse, adaptée aux formes urbaines économes.**

Depuis toujours, l'architecture bioclimatique joue avec les éléments climatiques (soleil, vents et pluie principalement). Elle cherche simultanément à bénéficier des apports calorifiques du solaire (ce qu'on appelle le solaire passif), à éviter l'inconfort lié à la surexposition et à utiliser la fraîcheur de la nuit pour refroidir les bâtiments.

Cette architecture devra désormais intégrer les contraintes de l'urbanisme durable, autrement dit la construction en zone d'agglomération dense (reconstruire la ville sur la ville), des choix de localisation et de formes urbaines qui limitent le gaspillage spatial (remédier à la dilatation du tissu urbain) et les distances de déplacements contraints. Au-delà du bâtiment, cette nouvelle architecture devra prendre en compte la morphologie de l'îlot et du tissu urbain ainsi que leur traitement paysager.

Cela permettra de limiter voire de tirer parti des îlots de chaleur (zone où la température s'élève localement en milieu urbain) en fonction des exigences de confort d'été comme d'hiver et de limiter les déplacements contraints et les consommations qu'ils induisent.

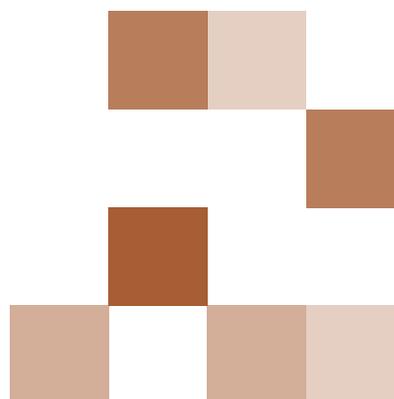
### La modélisation

Les outils de modélisation permettent de simuler les comportements des matériaux, équipements, systèmes constructifs, bâtiments ou ensemble de bâtiments en situation normale ou exceptionnelle.

Du point de vue technique, ils doivent permettre de tester l'efficacité énergétique et climatique des formes proposées et des architectures produites. Ils pourront aussi nourrir la réflexion prospective, en particulier évaluer le comportement des bâtiments et îlots dans le temps.

Ces modèles permettront de tester la résistance des bâtiments ou des îlots lors des dérèglements climatiques ou autres événements exceptionnels, d'anticiper le vieillissement (dans une réflexion en termes de cycle de vie des matériaux, des équipements, des systèmes) ou de prévoir des changements techniques en cours de vie (choix de nouvelles énergies, changements des équipements, des usages, etc.) Ils serviront de base à la mise en place d'outils de suivi des comportements des bâtiments et îlots construits.

Du point de vue économique, ces outils de modélisation permettront d'évaluer la rentabilité des filières, l'efficacité de l'effort social des politiques, etc. Ils pourront éclairer les priorités d'actions et leur rentabilité (analyse coût/avantage) en tenant compte de la forte hétérogénéité du parc de bâtiments existant et de différents scénarios prospectifs sur l'évolution socio-économique du système urbain (surenchérissement structurel du coût de l'énergie et des matières premières, pression foncière et occupation de l'espace, généralisation des techniques mobilisant les énergies renouvelables, diffusion des compétences, renforcement des normes d'efficacité énergétique, etc...)



## Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

### Les questions transversales

#### L'adaptabilité des solutions techniques à la diversité du parc

Le parc de bâtiments existant est caractérisé par une forte hétérogénéité en termes de périodes de construction, de caractéristiques thermiques, de diversité architecturale, d'usages des locaux... Or tout laisse à penser que la réhabilitation thermique d'un immeuble haussmannien, d'un logement collectif des années 1960, d'une villa individuelle ou d'un établissement scolaire imposera des techniques et des produits de construction différents.

Trouver le bon équilibre entre hétérogénéité du parc et standardisation des produits de réhabilitation suppose de développer un ensemble de solutions globales de réhabilitation thermique, valable sur des sous-ensembles homogènes de bâtiments : on peut concevoir un package « haussmannien », un package « établissement scolaire », un package « immeuble de banlieue ».

Des techniques d'échantillonnage et des campagnes de mesures initiées dans le cadre de la fondation « Bâtiment Energie » permettront de déterminer ces sous-ensembles de bâtiments ayant des profils de consommation, d'usages et des caractéristiques thermiques similaires. Il s'agira ensuite de définir des solutions standardisées adaptées à chacun de ces sous-ensembles.

#### L'ingénierie financière

Que ce soit pour la réhabilitation des bâtiments existants ou pour la construction de bâtiments neufs, l'amélioration des performances thermiques avec, à terme, le passage à des bâtiments à énergie positive générera des coûts d'investissement additionnels, même si les progrès techniques, la formation des acteurs du bâtiment et la recherche d'approches standardisées limiteront leur montant. L'ingénierie financière, en proposant de nouvelles méthodes de financement, peut améliorer la capacité des ménages, des acteurs privés et de la puissance publique à financer ce surcoût.

De nombreux outils existent déjà comme le crédit d'impôt ou le certificat d'économie d'énergie. Des pistes de réflexion sont étudiées comme le prêt effet de serre à taux zéro, pour financer le surcoût d'une construction à forte efficacité énergétique, ou l'utilisation du foncier, comme variable d'ajustement pour amortir le surcoût lié à la transformation d'un bâtiment classique en un bâtiment à énergie positive.

Néanmoins, compte tenu des effets incitatifs et redistributifs de ce type d'instruments, il est essentiel d'en évaluer les incidences au préalable et les conséquences a posteriori afin de les accompagner de mesures correctives. Ces dernières ont pour but de limiter les éventuels effets pervers concernant la localisation et le type de constructions, le rythme de construction, les catégories socioprofessionnelles des accédants à la propriété, voire l'instauration d'un parc de bâtiment à deux vitesses.

#### L'acceptation des nouvelles formes d'architecture

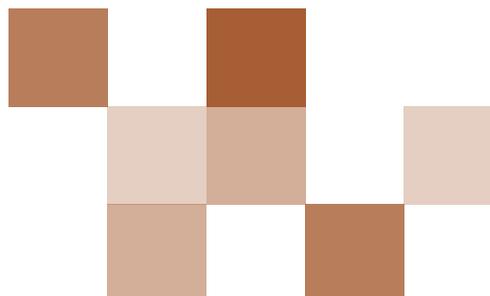
Les démonstrateurs de recherche devront démontrer la faisabilité de bâtiments et îlots très performants. Ces constructions étant avant tout destinées à être habitées, leurs utilisateurs devant se les approprier, une réflexion en termes d'acceptabilité sociale doit être menée. Cette acceptabilité est multidimensionnelle.

Psychosociale, elle renvoie aux évolutions des modes de vies, mais aussi aux changements des référentiels de la société, qui tend aujourd'hui à placer les valeurs du développement durable au premier plan : les qualités sanitaires et environnementales entrent désormais en dialectique avec les valeurs économiques. Cela questionne les capacités à payer pour un mieux-être environnemental et sanitaire.

Du point de vue économique, la conception des bâtiments de demain doit intégrer de nombreuses transformations concernant les modes de vie, la réduction du temps de travail, la mobilité professionnelle tout autant que la valorisation des loisirs et l'aspiration à la mobilité. Autant de mutations qui contribuent à diversifier le budget des ménages et à modifier le rapport au bâtiment, que ce soit le logement des particuliers ou les bâtiments des entreprises.

Enfin, la France s'est lancée tôt dans une politique de préservation du patrimoine architectural, urbain et paysager, ce qui a permis de maintenir en activité des bâtiments très anciens et d'en adapter les usages aux exigences de la vie moderne. Cette politique fonde l'attractivité touristique de notre pays.

Des outils de régulation permettent de concilier la créativité des concepteurs avec l'homogénéité du patrimoine, dans un souci d'acceptabilité sociale. La réhabilitation du bâti et surtout la conception de bâtiments à énergie positive ou aux performances énergétiques élevées laissent présager l'apparition de nouvelles formes d'architecture en rupture avec celles des bâtiments classiques. Dans ce cadre, les sciences sociales et juridiques devront fournir les jalons pour que l'ensemble de la société assume cette évolution et en tire profit collectivement.



### Les outils de régulation (permis de construire)

Les défis climatiques et énergétiques imposent de faire évoluer les outils de régulation de l'utilisation des sols, orchestrés localement par les documents d'urbanisme : le code de l'urbanisme fixe principes et règles, le code de la construction garantit des seuils de confort et de sécurité minimum.

Le Grenelle de l'environnement autorise désormais de fixer des performances énergétiques et environnementales renforcées à deux niveaux : au niveau national, par les exigences croissantes de la réglementation thermique, au niveau local dans les PLU (Plan local d'urbanisme) voire les SCOT (Schéma de cohérence territoriale).

Quelles seront les conséquences de cette nouvelle articulation ? Les documents d'urbanisme devraient pouvoir favoriser la diffusion massive de labels plus exigeants dans la construction neuve, mais aussi dans toutes les opérations de réhabilitation ou de renouvellement soumis à la délivrance d'un permis de construire. Les outils d'encadrement et de régulation de la construction devront s'adapter.

D'autre part, l'engagement des maîtres d'ouvrage dans la production de bâtiments ou d'îlots à énergie positive ne peut se faire sans le recours aux énergies renouvelables. Des réseaux énergétiques locaux vont voir le jour. L'équilibre entre demande et production énergétique est à rechercher dans ces nouveaux réseaux. Cela nécessitera la mise en œuvre d'outils de régulation pour garantir que le déploiement des bâtiments à énergie positive puisse se faire sans perturber l'équilibre entre l'offre et la demande d'énergie. Ces réseaux deviendront alors des éléments structurants du développement urbain et pèseront sur l'élaboration des documents d'urbanisme.

Plus largement, cette nouvelle économie énergétique ne pourra se faire sans conséquences sur la culture du gestionnaire d'énergie : il lui faut désormais intégrer et gérer une grande quantité de petites productions énergétiques décentralisées et intermittentes. Cela exigera de nouveaux outils de régulation, de gestion et de monitoring.

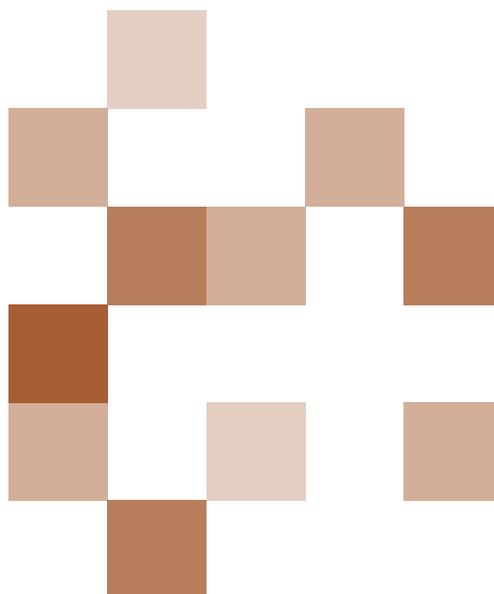
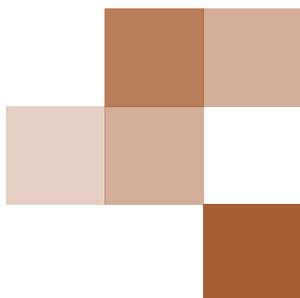
### Les outils organisationnels (gestion de projet)

Au-delà des outils de conception, des outils financiers ou de régulation, la construction ou la réhabilitation sous contrainte d'une performance énergétique forte avec de faibles émissions carbonées contraignent maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage à s'entourer de compétences nouvelles et diversifiées.

Cette diversification des acteurs s'ajoute à des modes de construction des bâtiments et de la ville de plus en plus complexes. Pour maîtriser les bilans carbonés globaux, la gestion des projets doit de plus en plus tenir compte, en amont, des modes de production et d'accès aux matériaux, et, en aval, des cycles de vie des bâtiments, voire de leur déconstruction ou recyclage. Tenir les objectifs de performance impose de plus en plus de mettre en place des outils de gestion ou de management de projets, d'aide à la décision, s'appuyant éventuellement sur des instruments de modélisation ou de simulation.

Par ailleurs, si les partenariats entre public et privé se multiplient depuis les années 1980, ils doivent intégrer désormais de nouveaux acteurs, tant dans la fabrication que dans la vie des bâtiments : énergéticiens, thermiciens, producteurs d'énergie. L'organisation et le suivi des projets est d'autant plus complexe à mettre en œuvre.

A une autre échelle, il s'agit aussi d'éclairer les imbrications entre politiques sectorielles de l'énergie, du bâtiment... et politiques urbanistiques locales, et de décrypter les adaptations nécessaires des outils de régulation et de gouvernance.



## Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

### > 7. Les besoins de démonstrateurs de recherche

Les visions discutées précédemment permettent d'identifier les **verrous** technologiques, organisationnels et socio-économiques à dépasser pour engager la transition vers des **bâtiments et des îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum**.

Elles permettent également d'identifier les **fonctions** que devra remplir un démonstrateur de recherche :

**1<sup>re</sup> fonction** : contribuer à l'émergence de bouquets de composants technologiques, organisationnels et socio-économiques propices à une réhabilitation énergétique massive des bâtiments et îlots existants.

Ces bouquets de composants devront notamment permettre :

- l'émergence d'une **offre ambitieuse (y compris industrielle)** en matière d'options technologiques, organisationnelles et socio-économiques nécessaires à la réhabilitation énergétique de bâtiments et d'îlots existants ;
- la **diminution des coûts** liés à la mise en œuvre des actions de réhabilitation énergétique à travers l'intégration de propriétés permettant à ces différents composants d'être « **pluggable** ».

Des expérimentations de nouveaux modèles d'affaires sont également possibles. Ces modèles d'affaires pourront porter aussi bien sur des offres de services de réhabilitation énergétique que sur des procédés de fabrication, de conception et de mise en œuvre de composants et de bouquets de composants de réhabilitation énergétique.

**2<sup>e</sup> fonction** : expérimenter, en condition d'usages réels, les jalons technologiques, organisationnels et socio-économiques (y compris juridiques et de modèles d'affaires) permettant d'engager la transition vers des îlots neufs et existants rénovés à énergie positive et à bilan carbone minimum.

Dans ce cadre, seront notamment explorées les options technologiques, organisationnelles et socio-économiques permettant les **échanges énergétiques entre les bâtiments**, comme la mutualisation des équipements de production et de consommation à l'échelle d'un bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments<sup>13</sup>, mais aussi celle d'équipements électroménagers ou multimédias. Ces options de **mutualisation et de coopération énergétiques entre des bâtiments** aux propriétés énergétiques et aux usages différents seront aussi proposées, comme la coopération énergétique, à des fins d'optimisation entre des bâtiments résidentiels et tertiaires.

**3<sup>e</sup> fonction** : intégrer dans la conception et la réhabilitation énergétique des bâtiments et des îlots l'évolution de leur environnement énergétique.

Sont essentiellement visées ici **l'interaction des bâtiments et des îlots avec les réseaux électriques intelligents**, ainsi que l'intégration des **moyens de production et de stockage décentralisé ou semi-décentralisé** (dont les véhicules électriques et hybrides rechargeables).

L'un des enjeux majeurs est la conception d'équipements de production et de consommation d'énergie **effaçables** (équipements que le gestionnaire d'énergie peut déconnecter en période de pointe de consommation) **et plus largement contrôlables** afin de :

- pouvoir tirer parti de l'ensemble des bénéfices énergétiques, économiques et environnementaux liés à l'intelligence croissante des réseaux de distribution d'énergie ;
- de disposer d'informations permettant de suivre et de corriger dans le temps les performances en condition d'usages réels des différents équipements.

Cela nécessitera d'engager des travaux de recherche et de démonstration visant à augmenter l'intelligence à l'intérieur du bâtiment, pour faciliter son insertion dans des réseaux électriques intelligents.

**4<sup>e</sup> fonction** : développer des outils de suivi des comportements des utilisateurs et occupants des bâtiments et îlots. Ces outils devront permettre de **récolter les données nécessaires pour** :

- analyser l'efficacité en condition d'usages réels des options technologiques, métrologiques, socio-économiques (y compris juridiques) et organisationnelles (pour prévenir l'effet rebond, par exemple) ;
- améliorer l'efficacité des options expérimentées, en fonction des retours d'expérience des utilisateurs finaux ;
- étudier les conditions d'adoption des options expérimentées en fonction des différents segments d'utilisateurs finaux visés et des modalités d'introduction du dispositif dans leur quotidien ;
- identifier les mesures incitatives (en particulier tarifaires) ou de régulation sociale pour favoriser le pilotage du réseau et la déconnection de certains appareils par le gestionnaire, des mesures nécessaires à la généralisation de tout ou partie des options expérimentées ;
- expliquer le différentiel des performances énergétiques entre calcul théorique, fonctionnement réel optimal et conditions réelles d'usage des bâtiments.

13 - La taille pertinente du groupe de bâtiments visé devra être définie au regard de critères énergétiques, économiques et environnementaux.

Les démonstrateurs de recherche proposés devront être des **projets intégrés et interdisciplinaires portant sur au moins deux des quatre fonctions décrites ci-dessus**.

Ils pourront prendre place sur l'ensemble du territoire national (métropole et DOM-COM).

Les projets déposés pourront porter sur **des bâtiments ou groupes de bâtiments** (îlot, quartier) **neufs et existants, affectés à des usages résidentiels et/ou tertiaires**. Compte tenu des enjeux, une attention particulière sera accordée aux projets de démonstrateurs de recherche portant en grande partie sur le parc existant voire sur son intégralité.

Dans tous les cas, la **prise en compte de la possibilité de transfert et de la reproductibilité** des options déployées dans des contextes climatiques et architecturaux similaires est essentielle, notamment au regard des enjeux en matière **d'industrialisation de la filière** et d'atteinte du facteur 4 à l'horizon 2050.

Bien que focalisés sur l'énergie, les projets de démonstrateurs de recherche soumis devront, autant que faire se peut, inclure une dimension systémique notamment à travers :

- la prise en compte des questions transverses aux bâtiments comme la réglementation incendie, les normes sismiques, la qualité de l'air, la qualité de vie, le confort ;
- l'estimation des impacts de localisation sur les besoins et les modes de mobilité des occupants, notamment dans le cas des démonstrateurs de recherche portant sur du neuf.

Les démonstrateurs devront être **réels** (permettre la réhabilitation énergétique d'un bâtiment ou d'un îlot), même si certaines problématiques de recherche pourront être traitées par la modélisation et la simulation.

La taille des démonstrateurs devra être suffisamment significative pour que les options technologiques, organisationnelles et économiques proposées puissent constituer de réelles preuves de faisabilité et de pertinence au regard de l'engagement vers la réhabilitation massive du parc et l'industrialisation de la filière.

Au-delà de l'adéquation entre les projets de démonstrateurs proposés et les fonctions décrites ci-dessus, une attention particulière devra être accordée :

- aux **bilans environnementaux** (notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre) et **économiques** des démonstrateurs proposés et des répliques ultérieures envisagées ;
- à la **conciliation** avec les objectifs des politiques **d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques** à l'échelle des bâtiments et au-delà ;
- à l'adéquation des options proposées avec les notions **d'adaptabilité et de résilience aux événements futurs** (y compris aux évolutions climatiques).

## > 8. Eléments de références bibliographiques

« **Scénario de réalisation du facteur 4 dans le secteur du bâtiment** »

**CLIP**

Janvier 2010 (en cours de publication)

« **Vers des bâtiments à énergie positive : proposition de structuration des activités de recherche** »

**PREBAT**

Juin 2009

« **Feuille de route sur les systèmes et réseaux électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables** »

**ADEME**

Juin 2008

« **Building Technologies Program – Planned Program: Planned Program Activities for 2008-2012** »

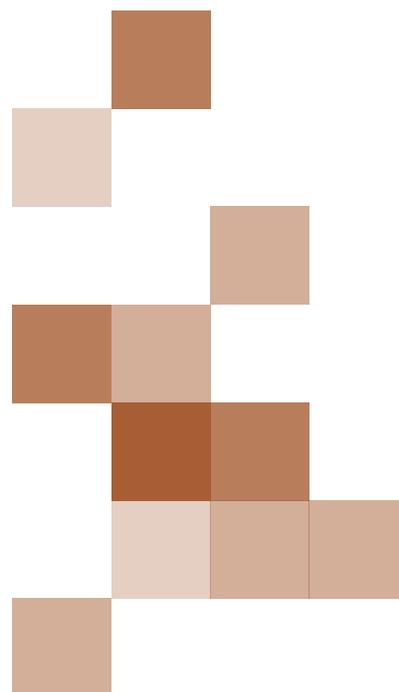
**US Department of Energy**

2005

« **Comparaison internationale bâtiments et énergie réalisée dans le cadre du PREBAT** »

**synthèse des programmes de R&D – CSTB**

Décembre 2007



## Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum

### > 9. Annexe 1

#### Articulation entre les démonstrateurs de recherche du Fonds démonstrateurs de recherche sur les nouvelles technologies de l'énergie et les démonstrateurs régionaux du PREBAT

Les besoins de démonstrateurs de recherche en matière de bâtiments et d'îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum se différencient de cinq manières par rapport aux appels à projet régionaux des bâtiments démonstrateurs du PREBAT :

- **1<sup>re</sup> différence** : l'horizon temporel de déploiement des technologies, organisations et régulations expérimentées dans le cadre du Fonds démonstrateurs est plus éloigné que dans le cadre des bâtiments démonstrateurs du PREBAT.

En effet, l'objectif des démonstrateurs de recherche est de tester en condition d'usages réels ou semi-réels, les options technologiques, organisationnelles et socio-économiques qui pourraient se déployer autour de 2020.

- **2<sup>e</sup> différence** : le champ thématique des démonstrateurs de recherche du Fonds est plus large puisque, au-delà du seul bâtiment, sont inclus :
  - > l'insertion énergétique du bâtiment au sein d'un îlot (ex : optimisation énergétique à l'échelle de plusieurs bâtiments à travers la mutualisation des équipements de production d'énergie, gestion énergétique d'un quartier, notion de solidarité énergétique entre les bâtiments) ;
  - > la localisation du bâtiment dans les espaces urbanisés afin, notamment, de faciliter son insertion dans des réseaux existants ;
  - > le bilan carbone et plus largement les impacts énergétiques, environnementaux et sanitaires des composants du bâtiment (ex : minimisation de l'énergie grise, utilisation de matériaux d'origine renouvelable, prise en compte de l'énergie consommée sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, etc...) ;
  - > l'adaptation au changement climatique avec la prise en compte de l'augmentation de la température de quelques degrés, l'élévation du niveau des mers, les mouvements de terrain, etc...

- **3<sup>e</sup> différence** : l'ambition des démonstrateurs de recherche qui visent à expérimenter en condition d'usages réels ou semi-réels des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques permettant de tendre au-delà de 2020 vers :

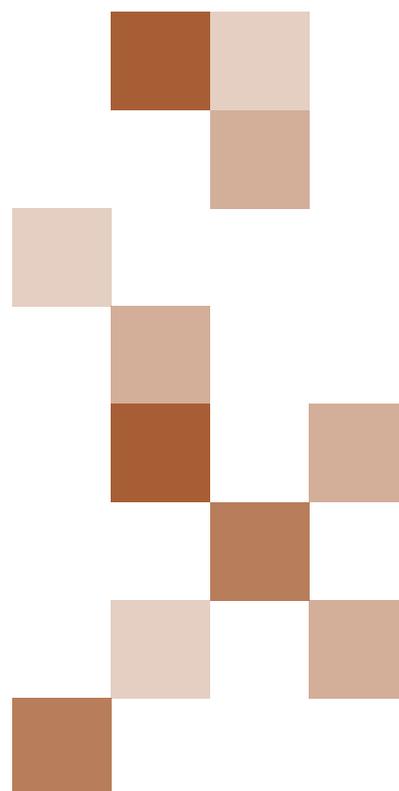
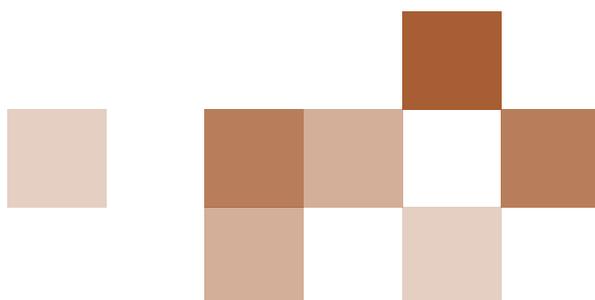
- > des bâtiments neufs à énergie positive sur l'ensemble des usages,
- > des bâtiments existants à énergie positive sur les cinq usages réglementés de l'électricité,
- > des territoires délimités (îlots, micro-quartiers, quartiers, etc...) à énergie positive et à faible contenu carbone.

- **4<sup>e</sup> différence** : la cible visée par les démonstrateurs de recherche : essentiellement des opérateurs ayant une réelle possibilité de démultiplication à grande échelle des nouveaux concepts de bâtiments mis au point et validés. Soit entre autres :

- > de grands gestionnaires de parcs de bâtiments,
- > de grandes entreprises du bâtiment,
- > de grands promoteurs,
- > des maîtres d'ouvrage (SEM, collectivités territoriales, etc...).

- **5<sup>e</sup> différence** : la finalité des démonstrateurs de recherche, qui est d'utiliser les informations collectées pendant leur durée de vie afin d'identifier des priorités de recherche.

Ces nouvelles priorités devant in fine permettre d'améliorer les performances des options technologiques, organisationnelles et socio-économiques expérimentées et permettre un déploiement au-delà de 2020.



## > 10. Annexe 2

### **Eléments de comparaison internationale**

Rapports CSTB dans le cadre du projet « **Comparaison Internationale** » : cf. notamment les deux synthèses : « **Synthèse Programmes d'opérations performantes** » (<http://www.prebat.net/benchmark/document/A2-synthese-prog-oper-2008.pdf>) et « **Synthèse Programmes de R&D** » (<http://www.prebat.net/benchmark/document/A4-synthese-prog-RD-2008.pdf>).

Les autres rapports plus détaillés sont accessibles en ligne : <http://www.prebat.net/benchmark/benchmark.html>

Pour le **Royaume-Uni** qui ne figure pas dans l'étude Benchmark :

1) Zero Carbon Homes and Non-Domestic Buildings: In the U.K., the government launched a major consultative process in 2008 to agree on how to define zero carbon homes that will apply to all new homes built from 2016, as well as to seek views from both the building and construction industry and non-governmental organizations on the potential to achieve non-domestic, zero carbon buildings from 2019.

Page de synthèse du Department of Communities and Local Development : <http://www.communities.gov.uk/planningandbuilding/theenvironment/zerocarbonhomes/>

2) Dans le cadre du Climate Change Act 2008, mise en place de deux programmes :

- Low Carbon Building Programme (LCBP): programme de subventions qui a pour objectif d'encourager les propriétaires de biens immobiliers à se doter de stations individuelles produisant de l'énergie à partir de sources renouvelables. Le LCBP s'applique aussi bien aux ménages qu'au secteur public, aux entreprises et aux organisations à but non lucratif. Les technologies pouvant bénéficier de ces aides sont : les stations solaires photovoltaïques et thermiques ; les stations éoliennes ; les petites stations hydrauliques ; les pompes à chaleur géothermiques ou à air ; les installations utilisant la biomasse ; les stations de cogénération ; les piles à combustible. 86 millions de livres sont destinées à financer ce programme.
- Home Energy Saving Programme a pour ambition d'allouer 1 milliard de livres à la réduction des dépenses énergétiques des ménages. Plus de la moitié de cette somme est destinée à l'amélioration du programme CERT (Household energy supplier obligations). Près de 11 millions de ménages aux revenus modestes devraient voir leurs travaux d'isolation totalement pris en charge par le gouvernement. Le reste de cet investissement sera destiné à aider les collectivités locales, ou encore à financer des campagnes de communication comme Act On CO2. A terme, l'objectif de ce programme est d'isoler correctement 100 % des logements britanniques (neufs ou anciens) d'ici à 2020.

Pour l'**Allemagne** en complément du rapport Benchmark : rapport de l'ADIT « L'efficacité énergétique des bâtiments en Allemagne » (30/04/2007) : peut être téléchargé gratuitement après renseignement du formulaire : [http://www.bulletins-electroniques.com/rapports/smm07\\_026.htm](http://www.bulletins-electroniques.com/rapports/smm07_026.htm)

**Suède** : rapport de l'ADIT « Energie dans les bâtiments en Suède » (1/12/2009), cf. notamment la partie 3 consacrée aux Programmes et financement de la recherche sur à l'énergie dans le bâtiment et particulièrement pp. 35-36 sur le programme de démonstration Maison passive et bâtiment basse consommation : peut être téléchargé gratuitement après renseignement du formulaire : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/61631.htm>

**Autriche** : cf. la présentation de 2007 "Factor 4 in the building sector, the experiences of Upper Austria", en ligne : <http://www.energaia-expo.com/telechargement/07download-conf/205tr.pdf>

Pour une vision synthétique et à jour des différentes **initiatives prises au niveau national**, cf. le rapport "**Zero Carbon Compendium – who's doing what in housing worldwide**" (10/08/2009): This project, jointly supported by the NHBC Foundation and the Zero Carbon Hub and developed by PRP Architects, looks at 15 countries across the globe, from Australia to Canada. Each country is presented as a case study with a consistent layout to allow easy comparison across a range of considerations, including housing stock and climate data, future aspirations, government policy and, critically, the types of incentives and support that have been tested. In evaluating experience from the countries included, the Compendium identified seven thematic areas that are considered critical in shaping progress towards low and zero carbon housing. While UK and France are ahead in terms of aspiration, it is clear that successful delivery arises when there is an integration of a number of key strands, in particular new technologies coupled with clear strategies and policy and, significantly, public engagement to ensure diffusion and acceptance.

Rapport en ligne : <http://www.dev.zerocarbonhub.org/flipbook/ZCH-Compendium/>

Synthèse des **exigences réglementaires** à travers le monde concernant l'efficacité énergétique (probablement un peu loin de la problématique), cf. p. 38 et suivantes du rapport de l'IEA "Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings", en ligne : [http://www.iea.org/g8/2008/Building\\_Codes.pdf](http://www.iea.org/g8/2008/Building_Codes.pdf)

## L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

