

PRÉB4T

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

ADEME



CSTB
le futur en construction

PUCA

plan
urbanisme
construction
architecture

COMPARAISON INTERNATIONALE BATIMENT ET ENERGIE

Rapport final

Décembre 2007

Sommaire

Comment lire et donner votre avis sur ce rapport	3
Résumé	5

PARTIE A - SYNTHESSES

A1 - Synthèse générale.....	A 1
A2 - Synthèse « programmes d'opérations performantes »	A 25
A3 - Synthèse « composants et équipements innovants »	A 54
A4 - Synthèse « programmes de R&D »	A 117

PARTIE B - PROGRAMMES D'OPERATIONS PERFORMANTES

B1 - Recensement	B 1
B2 - ALLEMAGNE : Les programmes « Passivhaus », « Maisons 3 litres », « EnSan » et « Bâtiments à basse consommation dans l'existant »	B 11
B3 - SUISSE : Le programme « Minergie® »	B 34
B4 - ETATS-UNIS : Les programmes « Building America » « Zero Energy Homes » et « Leadership in Energy and Environmental Design » (LEED™)	B 90
B5 - JAPON : Le programme maisons photovoltaïques à basse consommation	B 120
B6 - ESPAGNE : L'ordonnance solaire thermique	B 145
B7 - DANEMARK : l'éco quartier rénové de Vesterbro à Copenhague	B 177

PARTIE C - COMPOSANTS ET EQUIPEMENTS INNOVANTS

C1 - Recensement.....	C 1
C2 - Parois opaques (murs, toitures, planchers) à haute performance thermique en Autriche, au Danemark et en Allemagne	C 20
C3 - Parois transparentes à haute performance thermique en Europe du Nord	C 51
C4 - Systèmes constructifs	C 74
C5 - Photovoltaïque intégré	C 86
C6 - Systèmes solaires thermiques combinés	C 112
C7 - Stockage de chaleur	C 151
C8 - Ventilation double-flux	C 193
C9 - Systèmes compacts ventilation-chauffage-ECS	C 223
C10 - Micro cogénération	C 246
C11 - Climatisation basse consommation	C 275
C12 - Micro-réseaux de chaleur	C 319
C13 - Eclairage	C 344
C14 - Approche intégrée	C 366

PARTIE D - PROGRAMMES DE RECHERCHE DEVELOPPEMENT

D1 - Recensement	D 1
------------------------	-----

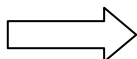
D2 - AUTRICHE : Programme « Haus der Zukunft »	D 26
D3 - PAYS-BAS : programmes « Compass » et « Energie Onderzoek Subsidie »	D 44
D4 - FINLANDE : programmes SARA, CUBE, DENSY, ClimBus et MASI	D 57

PARTIE E - ANNEXES

E1 - ANNEXE 1 : Recensements de Bâtiments à consommation d'énergie maîtrisée en France	
E2 - ANNEXE 2 : Une méthode d'analyse socio-éco-technique	
E3 - ANNEXE 3 : Organisation du projet, partenariat, comité de lecture	

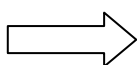
Comment lire et donner votre avis sur ce rapport

Vous disposez de très peu de temps :



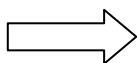
Vous lisez le résumé de 2 pages.

Vous voulez aller à l'essentiel, savoir sur quoi porte la comparaison internationale, connaître les trois modèles de maîtrise de l'énergie dans le monde et les dix enseignements pour la France :



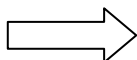
Vous lisez, au sein de la partie A du rapport, la synthèse générale de 25 pages.

Vous voulez connaître le contenu résumé de l'ensemble du rapport dans ses différentes dimensions : modèles de maîtrise de l'énergie, programmes d'opérations performantes, composants et équipements innovants, programmes de recherche développement, enseignements pour la France :



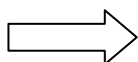
Vous lisez la partie A du rapport, c'est-à-dire les quatre synthèses en 150 pages.

Vous vous intéressez à tout ou partie des programmes d'opérations performantes étudiés: programmes allemands « Passivhaus », « Maisons 3 litres », « EnSan », « Maisons basse énergie dans l'existant », label suisse « Minergie® », programmes américains « Building America », « Zero Energy Homes », label « Leadership in Energy and Environmental Design (LEED™) », programme japonais maisons photovoltaïques à basse consommation, ordonnance solaire thermique espagnole, éco quartier rénové de Vesterbro à Copenhague :



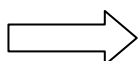
Vous choisissez au sein des 200 pages de la partie B du rapport, le ou les chapitres qui vous intéressent.

Vous vous intéressez à certains composants et équipements innovants relatifs à l'optimisation de l'enveloppe (systèmes constructifs, parois opaques et transparentes performantes), à l'utilisation efficace des énergies fossiles (ventilation double flux avec récupération de chaleur, systèmes compacts ventilation-chauffage-eau chaude sanitaire, climatisation et rafraîchissement basse consommation, micro-cogénération), au développement du solaire (photovoltaïque intégré, systèmes solaires combinés chauffage eau chaude, stockage de chaleur), aux micro-réseaux de chaleur, à l'éclairage performant, et au-delà de chacune de ces techniques, à une approche intégrée des technologies.



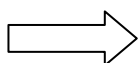
Vous choisissez au sein des 380 pages de la partie C du rapport, le ou les chapitres qui vous concernent.

Vous vous intéressez à des exemples de programmes de recherche développement spécialisés dans l'énergie dans le bâtiment (Autriche, Pays-Bas) ou non (Finlande) :



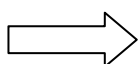
Vous choisissez au sein des 40 pages de la partie D du rapport, le ou les chapitres qui vous concernent.

Vous voulez avoir des informations sur le mouvement en cours vers une meilleure maîtrise de l'énergie dans les bâtiments en France : exemples d'opérations, financements, initiatives de collectivités territoriales :



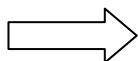
Vous lisez au sein de la partie E du rapport, tout ou partie des 60 pages de l'annexe 1.

Vous voulez connaître l'essentiel de la méthode socio-éco-technique utilisée par les 55 ingénieurs, économistes et sociologues qui ont contribué à cette comparaison internationale, ainsi que l'organisation du projet, les partenariats, le comité de lecture.



Dans la partie E du rapport, vous lisez les 7 pages des annexes 2 et 3.

Vous souhaitez donner votre avis, poser des questions.



Vous envoyez un message dans la rubrique « Donnez votre avis sur ce rapport », les auteurs s'engagent à vous répondre.

COMPARAISON INTERNATIONALE BATIMENT ET ENERGIE

1. Le protocole du Programme de Recherche et d'expérimentation sur l'Energie dans le BATiment (PREBAT) prévoit qu'une de ses premières actions sera la réalisation d'un « état de l'art, aux plans national et international, des recherches, des meilleures pratiques professionnelles et des bâtiments les plus avancés ; cet état de l'art sera le fondement d'une veille permanente pendant la durée du PREBAT et servira de base aux actions de diffusion et de valorisation ».

Le présent rapport est le rapport de la Comparaison internationale Bâtiment et énergie, qui correspond à l'état de l'art jugé prioritaire par le protocole. Cette recherche, pilotée par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), est cofinancée à 50 % par l'ADEME, 25 % par le Plan Urbanisme Construction Architecture (PUCA) et 25 % par la dotation recherche du CSTB. Elle a été élaborée grâce à un partenariat avec de nombreuses organisations françaises et étrangères. Cinquante cinq ingénieurs, économistes et sociologues de douze pays différents ont contribué au rapport final.

2. Le projet Comparaison internationale analyse dans plusieurs pays étrangers des programmes d'opérations et initiatives performantes, des composants et équipements innovants, des programmes de recherche développement.

3. Une méthode d'analyse socio-éco-technique a été élaborée. Elle comporte 6 étapes : contexte, contenu de l'innovation ou de l'initiative, mise en œuvre, évaluation, réflexion critique (points forts, points faibles, opportunités, menaces), conditions de la transposition en France.

4. Des chiffres clés sont rappelés. En 2005 le bâtiment émet en France 23 % du CO₂. Il représente 45% de la consommation d'énergie primaire, l'industrie et l'agriculture 29 %, les transports 26 %. L'énergie finale consommée se répartit ainsi : environ 56 % dans les logements possédés par des particuliers (maisons individuelles et appartements en copropriété), 10 % dans des logements propriétés d'institutionnels (organismes d'HLM, sociétés d'économie mixte, sociétés privées), 17 % dans du tertiaire privé, 17 % dans du tertiaire public.

5. La recherche révèle au travers d'un recensement des initiatives dans les régions que le mouvement pour des bâtiments à basse consommation est lancé en France. Les initiatives sont publiques et privées. Le mouvement est en train d'être considérablement renforcé par la négociation du Grenelle de l'Environnement entre l'Etat, les collectivités locales, les employeurs, les syndicats et les associations qui débouche sur un programme ambitieux tant pour la rénovation énergétique du parc existant que pour les perspectives de changement dans le neuf.

6. Le projet Comparaison internationale a procédé à l'analyse des programmes allemands « Passivhaus », « Maisons 3 litres », « EnSan » et « Maisons basse énergie dans l'existant », du programme « Minergie® » suisse, des programmes américains « Building America », « Zero Energy Homes »,

« Leadership in Energy and Environmental Design (LEED™) », du programme japonais maisons photovoltaïques à basse consommation, du programme solaire thermique espagnol et de l'éco quartier rénové de Vesterbro à Copenhague.

Minergie® et Passivhaus sont transposables en France, avec des précautions à prendre notamment relatives à la qualité de la mise en œuvre garantissant une forte étanchéité à l'air. L'association Effinergie propose une transposition de Minergie® adapté au contexte français. L'expérience de LEED™ pourrait être utilisée pour faire évoluer la certification française HQE Bâtiments tertiaires vers un label accordant plus d'importance à l'énergie et adapté à la rénovation de bureaux existants. L'expérience espagnole donne l'exemple d'une large utilisation du solaire thermique pour l'eau chaude. La rénovation du quartier de Vesterbro montre la possibilité d'éco quartiers non seulement pour le neuf mais aussi pour la rénovation de l'existant. L'expérience des maisons américaines et japonaises basse consommation est plus difficilement transposable vu les différences des modes constructifs, mais l'utilisation forte du photovoltaïque ouvre la perspective de bâtiments à énergie positive.

7. L'analyse des composants et équipements étudiés montre la nécessité d'une approche globale du bâtiment permettant l'intégration des différentes techniques non seulement au niveau de la conception mais aussi de la réalisation et de la gestion.

Cette approche globale intègre l'optimisation de l'enveloppe (systèmes constructifs, parois opaques et transparentes performantes ont été analysés), l'utilisation efficace des énergies fossiles (ventilation double flux avec récupération de chaleur, systèmes compacts ventilation-chauffage-eau chaude sanitaire, climatisation et rafraîchissement basse consommation, micro-cogénération ont été étudiés), le développement du solaire (photovoltaïque intégré, systèmes solaires combinés chauffage eau chaude, stockage de chaleur ont été analysés). Les micro-réseaux de chaleur et un éclairage performant sont mis aussi en avant.

8. Les programmes de recherche et développement analysés sont le programme autrichien « Haus der Zukunft », les programmes hollandais « Compass » et « Energy Onderzoek Subsidie » (EOS) et les programmes finlandais traitant de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Le programme autrichien est intéressant par son réalisme et l'articulation entre recherche technique et recherche socio-économique. L'intérêt des programmes hollandais réside dans la concertation avec les acteurs économiques et leur centrage sur l'approche « système » du bâtiment. Les programmes finlandais ne sont pas spécialisés dans le bâtiment mais inter secteurs. Ils mettent en avant, à juste titre, la qualité de vie de la population et la compétitivité internationale de l'industrie.

9. Les expériences étrangères étudiées permettent, en simplifiant, de mettre en avant trois modèles de la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment dans le monde :

- a) Dans la conception « basse consommation d'énergie », l'objectif est avant tout de baisser de manière importante la consommation d'énergie dans le bâtiment sur isolé. La variante allemande très basse consommation, de type « Passivhaus », va jusqu'à supprimer le chauffage conventionnel. La variante suisse basse consommation, de type « Minergie® », est moins exigeante, mais se diffuse plus rapidement. La variante américaine du programme « Building America » se traduit par des économies moins fortes qu'en Allemagne et en Suisse mais atteint de 30 à 45 % des productions courantes américaines.
- b) Dans la conception « économie et production d'énergie », un objectif prioritaire n'est pas la forte baisse de la consommation mais la production d'électricité par système photovoltaïque. La variante américaine, qui mixte isolation renforcée et photovoltaïque, est liée à un contexte marqué par un souci d'atténuation des pics de consommation d'électricité issue de réseaux surchargés. La variante japonaise met en avant l'utilisation de panneaux photovoltaïques intégrés dans

l'enveloppe de la maison préfabriquée. La variante espagnole met l'accent sur le rôle du solaire dans un climat méditerranéen. L'utilisation de l'énergie solaire, en particulier photovoltaïque, ouvre la voie aux bâtiments à énergie positive.

- c) Dans la conception « énergie et environnement », l'énergie est un objectif fort mais articulé à d'autres cibles environnementales (intégration au site, eau, matériaux, confort..) jugées importantes par l'acquéreur du bâtiment. Un exemple de cette conception est celle du label américain LEED™ pour les immeubles de bureaux. Les investisseurs souhaitent dans ce cas mettre en avant un cadre de travail sain et confortable plus qu'un souci d'économie d'énergie.

10. Sur la base des enseignements tirés des expériences étrangères étudiées, dix enseignements sont mis en avant pour la France:

- a/ Le moteur de l'action est politique à trois niveaux, européen pour les directives, national pour le cadre politique, juridique, réglementaire, financier, territorial et local pour la mise en œuvre opérationnelle,
- b/ Plusieurs modèles sont praticables en France. L'association Effinergie transpose le modèle suisse qui est un modèle réaliste. Il y a place pour le développement en France d'un modèle adapté au climat méditerranéen,
- c/ Un bâtiment à haute efficacité énergétique est un nouveau concept de bâtiment saisissant dans un même mouvement l'architecture, le climat, l'enveloppe, les équipements,
- d/ La qualité de l'assemblage des technologies est une question essentielle, l'approche d'ensemble doit être privilégiée par rapport à une approche par composant,
- e/ La question du surinvestissement initial est surestimée
- f/ Une recherche développement ambitieuse est nécessaire,
- g/ Les labels constituent un moyen efficace pour la diffusion de la basse consommation,
- h/ La question de la rénovation du parc existant mérite un plan d'action spécifique,
- i/ Pour les professionnels de la construction, il s'agit d'un nouveau paradigme, un nouveau système de références pour financer, concevoir, construire, gérer, utiliser les bâtiments,
- j/ Les deux facteurs clés de succès sont le financement et la transformation des compétences par la formation.