



FOCALES

08

[ Novembre  
2011 ]



# La réhabilitation énergétique des bâtiments

## Enjeux et méthodes

Programme de recherche  
dans la province du Hubei en Chine

### AUTEURS

Bernard LAPONCHE *Consultant*

José LOPEZ *Directeur général, ICE*

Michel RAOUST *Directeur général, Terao*

Aymeric NOVEL *Ingénieur, Terao*

Nils DEVERNOIS *Chargé de mission, AFD*

PILOTAGE DU PROGRAMME ET COORDINATION

Nils DEVERNOIS



# La réhabilitation énergétique des bâtiments Enjeux et méthodes

Programme de recherche dans la province du Hubei en Chine

AUTEURS

**Bernard LAPONCHE**

*Consultant*

**José LOPEZ**

*Directeur général, ICE*

**Michel RAOUST**

*Directeur général, Terao*

**Aymeric NOVEL**

*Ingenieur, Terao*

**Nils DEVERNOIS**

*Chargé de mission, AFD*

PILOTAGE DU PROGRAMME ET COORDINATION

**Nils DEVERNOIS**

*devernoisn@afd.fr*

# Focales

*Créée en 2010 par le département de la Recherche de l'AFD, la collection Focales a pour objectif de rendre compte des expériences de terrain menées, dans les pays en développement, par l'AFD ou ses partenaires (experts, chercheurs, consultants, praticiens...).*

*Les ouvrages de cette collection proposent des descriptions et des mises en perspective d'études de cas pratiques (projets, expérimentations, partenariats...). Ils peuvent également présenter une réflexion autour d'une problématique sectorielle ou géographique, toujours alimentée par des résultats concrets. Ils ont vocation à couvrir l'ensemble des secteurs et terrains d'action de l'AFD.*

Précédentes publications de la Collection (voir page 179).

Retrouvez toutes nos publications sur <http://recherche.afd.fr>

## Remerciements

*Les auteurs remercient l'ensemble des personnes qui ont contribué à la réalisation et au succès du programme de recherche appliquée mis en œuvre avec la Province du Hubei; celui-ci a permis d'ancrer dans la pratique la méthode ici présentée.*

## [ Avertissement ]

*Les analyses et conclusions de ce document sont formulées sous la responsabilité des auteurs. Elles ne reflètent pas nécessairement le point de vue de l'AFD ou de ses institutions partenaires.*

Directeur de la publication :

**Dov ZERAH**

Directeur de la rédaction :

**Robert PECCOUD**

Crédit photo : Nils DEVERNOIS, AFD



Conception et réalisation : Ferrari / Corporate – Tél. : 01 42 96 05 50 – J. Rouy / Coquelicot

Imprimée en France par : STIN

# Avant-propos

L'Agence Française de Développement (AFD) s'est engagée, à l'occasion de son accord d'implantation en Chine et sur la demande des autorités chinoises, à développer des programmes de coopération intellectuelle. Elle a confié le développement du tout premier programme à son département de la Recherche. Ce programme, dont la méthodologie fait l'objet du présent ouvrage, s'inscrit dans la thématique « développement durable : contribution de l'aide publique au développement (APD) à la production de biens publics mondiaux ». Il est issu d'une demande des autorités chinoises de la province<sup>[1]</sup> du Hubei, exprimée à l'occasion d'une mission d'identification conduite en février 2006. Il porte sur l'efficacité énergétique des bâtiments existants. En effet, les économies d'énergie constituaient l'un des axes importants du onzième plan quinquennal (2005-2010) qui avait fixé des objectifs particulièrement ambitieux de réduction de 20 % de l'intensité énergétique, et assigné des objectifs d'efficacité énergétique pour les principales villes d'un certain nombre de provinces pilotes.

En 2006, l'efficacité énergétique dans les bâtiments existants était encore une notion peu familière dans la province du Hubei, et la demande des autorités municipales et provinciales à l'AFD couvrait plusieurs aspects de ce secteur. Elle portait notamment sur (i) des aspects techniques simples (comment fait-on l'audit énergétique d'un bâtiment ?), (ii) les pratiques existantes dans les pays du Nord (quelles politiques d'efficacité énergétique et quelles organisations institutionnelles ont été mises en place, quels outils techniques et financiers sont utilisés, quels sont les impacts obtenus ?) et, enfin, (iii) sur le développement d'une politique d'efficacité énergétique à grande échelle dans les bâtiments publics existants (comment procéder, comment déterminer les enjeux, quelles stratégies mettre en œuvre ?).

Pour répondre à cette demande particulière et aux objectifs opérationnels qui l'accompagnaient, l'AFD a proposé une démarche reposant sur (i) l'instauration d'une coopération pluriannuelle à double sens favorisant l'acquisition mutuelle de connaissances, (ii) l'élaboration conjointe d'une méthodologie (par les équipes chinoises et les équipes françaises) sur la base du contenu et des objectifs du programme souhaité, (iii) la conceptualisation d'un programme de recherche ouvert et évolutif en fonction de l'avancement et pouvant intégrer des formations spécifiques, (iv) le cofinancement de ce programme (chacune des parties finançant ses propres

---

[1] Dans la Chine continentale, il y a 23 provinces, 5 régions autonomes des minorités nationales et 4 municipalités autonomes (Beijing, Shanghai, Tianjin et Chongqing), qui sont au même niveau hiérarchique.

équipes) et, enfin, (v) la constitution d'une équipe pluridisciplinaire composée à la fois d'universitaires, d'ingénieurs, de financiers et de représentants de différentes administrations de niveaux provincial et municipal.

Cette démarche est pionnière et innovante à plusieurs titres :

- par la constitution d'une équipe composée de membres issus de secteurs très différents et peu habitués à communiquer et à travailler ensemble, ouverte sur l'extérieur (de nombreux acteurs ont rejoint le programme au fur et à mesure de sa progression et de sa diffusion, en fonction de leur rôle dans la chaîne d'acteurs de l'efficacité énergétique ou de travaux complémentaires à ceux réalisés dans le programme) ;
- par la diversité du programme incluant, à côté des volets analyse et recherche, un volet formation, non limité aux seuls membres de l'équipe mais ouvert à d'autres acteurs issus des milieux opérationnels ou universitaires ou de services concernés situés dans d'autres villes de la province ;
- par la réalisation de réelles études de faisabilité technico-économique d'un programme expérimental « grandeur nature » susceptible d'être réalisé pendant le programme ;
- par la réalisation d'ateliers de réflexion avec les différents acteurs de l'efficacité énergétique (banques, services administratifs, services financiers, etc.) et de séminaires d'échanges permettant la présentation de travaux complémentaires (ou d'expériences internationales) à l'équipe, et des résultats des travaux de l'équipe à leur pairs mais aussi aux acteurs.

Pour répondre à la logique opérationnelle souhaitée par les partenaires chinois, la constitution de l'équipe chinoise de ce programme, très proche de la recherche-action, a été faite en privilégiant l'implication des décideurs des niveaux municipal, provincial et national dans le programme, ainsi que des personnes issues des services techniques concernés du secteur public mais aussi du secteur privé comme des sociétés de services énergétiques (*Energy Services Companies*, ESCO), ou des banques.

Ce programme a été élaboré avec le soutien technique et financier de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), et l'appui d'experts français indépendants de haut niveau. Pour la réalisation d'objectifs partiels, des conventions d'études ont été passées avec l'École polytechnique de Zurich, le *Fraunhofer Institut für System und Innovationforschung* de Karlsruhe, et un partenariat a été noué avec l'Agence internationale de l'énergie (AIE)<sup>[2]</sup>.

---

[2] Cf. AFD et AIE (2008) ; ouvrage traduit par la suite pour la majeure partie en chinois.

Enfin, ce programme a été développé en synergie avec les actions mises en œuvre dans ce domaine à Harbin (province du Heilong Jiang), au début des années 2000, par le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM).

Le présent ouvrage s'attache à expliquer la méthodologie suivie tout au long des trois années de ce programme, qui a permis (i) de caractériser le parc des bâtiments existants, (ii) de déterminer les enjeux technico-économiques d'un programme de réhabilitation énergétique dans les bâtiments publics aux différentes échelles (capitale provinciale, province et région climatique du Yang-Tsé), (iii) de déterminer les solutions techniques les plus appropriées au contexte climatique local, et (iv) d'apprécier les dispositifs institutionnels et financiers les plus pertinents au regard du contexte chinois.

Cet ouvrage ne met toutefois pas l'accent sur les difficultés résultant des différences culturelles qu'il a fallu surmonter pour mener à bien ce programme<sup>[3]</sup>. Celles-ci peuvent se matérialiser dans un relationnel fragile, où l'expression d'une simple courtoisie pourra être perçue dans l'autre culture comme un affront inqualifiable, avec le risque de faire perdre la face à son interlocuteur et de mettre un terme définitif à la relation. Ces différences s'expriment également dans la manière d'aborder les problèmes, rendant l'échange plus complexe : dans une culture, l'action sera appuyée sur une stratégie cartésienne qui aura préalablement identifié objectifs proches et priorisé les actions, dans l'autre, elle sera basée sur la réalisation de l'action identifiée comme la plus urgente et dont le résultat sera mesuré puis adapté à l'aune d'une évaluation.

L'alchimie est délicate et la confiance s'est construite au fur et à mesure des avancées du programme. La règle est simple et à la base de toute relation équitable : il faut savoir écouter, faire preuve de patience et, surtout, percevoir les attentes, être en mesure de répondre aux besoins exprimés, ne pas faire des promesses intenable, ne pas décevoir... Une autre difficulté, sans doute plus grande encore, qu'il a fallu surmonter était de faire dialoguer et travailler ensemble des équipes très diversifiées, composées d'universitaires, de banquiers, d'ingénieurs, de fonctionnaires, etc.

L'expérience acquise dans le domaine de la gestion de l'interculturalité pourrait à elle seule faire l'objet d'un ouvrage, mais ce n'est pas le but de notre étude. Ces éléments ont pour seul objectif de rappeler au lecteur que la reproductibilité éventuelle de ce programme ne repose pas uniquement, et de loin, sur la seule maîtrise de la méthode et de la technicité.

---

[3] Il faut ici rendre hommage et remercier M. Liu Yazong, expert en efficacité énergétique, imprégné des cultures chinoise et occidentale, qui a joué tout au long du projet un rôle d'interface majeur sur les plans technique et culturel.

Les résultats de ce programme ont été évalués au niveau national par le ministère chinois du Logement et du Développement urbain et rural (Mohurd). À l'issue de cette évaluation, ce dernier a décidé de s'associer au séminaire de présentation des résultats, qui s'est tenu à Wuhan les 12 et 13 mai 2009. (Les actes de ce séminaire ont fait l'objet d'une publication éditée par l'AFD en octobre 2010<sup>[4]</sup>.)

Enfin, précisons que les équipes techniques ont réalisé, dans le cadre du programme de recherche, les études de faisabilité de la mise à niveau énergétique d'un certain nombre de bâtiments, en vue de favoriser la réalisation d'un programme de démonstration. Ce programme de démonstration avait pour objectif de valider *in situ* et en grandeur nature les résultats du programme, en termes d'économie d'énergie, mais également en termes de coût d'investissement. Ces équipes techniques ont poursuivi leurs travaux et étendu les audits technico-financiers et les études de faisabilité à de nombreux autres édifices municipaux, consolidant un programme de près de 700 000 m<sup>2</sup> de bâtiments à réhabiliter sur le plan énergétique, incitant ainsi les responsables municipaux à rechercher des financements pour en permettre la réalisation.

La représentation locale de l'AFD à Beijing, à qui a été confiée, (après le séminaire de Wuhan), la poursuite de ce programme, l'a orienté tout naturellement vers le financement de cette opération. Ce n'était pas l'objectif initial du programme de recherche, plus orienté sur les mécanismes financiers qui seuls peuvent permettre le passage de programme d'efficacité énergétique à grande échelle, mais cette réorientation illustre parfaitement la dynamique créée à l'occasion de ce programme, et témoigne de l'intérêt et de la réussite de la démarche.

---

[4] Cf. AFD (2010), Implementing Large Scale Energy Efficiency in Existing Buildings in China.

Introduction	9
<hr/>	
1. La Chine dans le monde : les enjeux de l'énergie dans les bâtiments	19
<hr/>	
Préambule	19
1.1. Consommations d'énergie de la Chine dans le cadre mondial	19
1.2. Consommations d'énergie dans les bâtiments en Chine	27
1.3. Émissions de CO <sub>2</sub> liées à la consommation d'énergie	30
1.4. Enjeux de la consommation d'énergie dans les bâtiments en Chine	33
2. Réhabilitation énergétique des bâtiments : la méthodologie du programme de recherche	41
<hr/>	
2.1. L'efficacité énergétique dans les bâtiments	41
2.2. Composantes et cadre d'un programme de réhabilitation énergétique des bâtiments	45
2.3. Principes méthodologiques du programme de recherche : une approche globale et partenariale	50
2.4. Organisation du programme de recherche	54
3. Analyses et évaluations technico-économiques : vers un projet à grande échelle	63
<hr/>	
Préambule	63
3.1. Description de la démarche	64
3.2. Typologie et caractéristiques des bâtiments	65
3.3. Consommation d'énergie dans les bâtiments	69
3.4. Outils de calcul des consommations d'énergie	82
3.5. Application de l'outil de simulation à la réhabilitation énergétique	91
3.6. Programmes typiques de réhabilitation	99
3.7. Impacts de la réhabilitation	101

4 Institutions et partenaires dans le processus de décision, d'organisation et de financement	111
Préambule	111
4.1. Structure d'ensemble de l'efficacité énergétique en Chine	113
4.2. Intérêts et barrières au développement des investissements de réhabilitation thermique des bâtiments : le jeu des acteurs	118
5 Financement des programmes : instruments existants et mécanismes innovants	135
5.1. Rappel des enjeux macroéconomiques au niveau régional	135
5.2. Comparaisons internationales	136
5.3. Enjeux financiers	137
5.4. Organisation de la programmation et du financement : la plateforme collaborative	143
Conclusion	149
Annexes	155
1– Exemple de collecte de données pour l'audit du bâtiment du Bureau de l'efficacité énergétique de la ville de Wuhan	155
2– Exemple de l'audit de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei mené dans le cadre d'un diagnostic des consommations énergétiques	159
Liste des sigles et abréviations	173
Bibliographie	177

# Introduction



# Introduction

En 2008, la consommation d'énergie dans les bâtiments des secteurs résidentiel et tertiaire représentait 33 % de la consommation mondiale d'énergie finale, elle-même de l'ordre de 8 milliards de tonnes équivalent pétrole (tep), devant l'industrie (29 %) et les transports (27 %). Dans ce même secteur des bâtiments, la consommation d'électricité représentait 53 % de la consommation totale d'électricité au monde. En tête des grands secteurs d'activités pour la consommation d'énergie, et tout particulièrement d'électricité, le secteur des bâtiments constitue par conséquent une cible privilégiée des politiques d'efficacité énergétique, rendues indispensables à toutes les économies compte tenu des contraintes liées à la sécurité énergétique et aux changements climatiques.

La mise en œuvre de l'efficacité énergétique dans les bâtiments s'adresse à trois catégories d'actions :

- la construction de bâtiments les plus économes possible en énergie, assurant toutefois le confort nécessaire aux occupants ;
- la réhabilitation énergétique des bâtiments existants, avec le même objectif ;
- l'utilisation, à l'intérieur des bâtiments, d'équipements et d'appareils efficaces en énergie.

On voit tout de suite qu'une telle entreprise, pour être réussie, nécessite de multiples innovations techniques par rapport aux pratiques habituelles dans la conception des bâtiments, les matériaux de construction et les matériels, la qualité de la réalisation et de l'entretien, etc. La dimension technique est accompagnée des évaluations économiques précises des coûts selon les choix techniques effectués et le degré d'amélioration des performances énergétiques attendues, ainsi que des bénéfices en termes énergétiques, environnementaux, économiques et sociaux des réalisations et des programmes envisagés. Enfin, tout cela est complété par la recherche des moyens de financement les plus adaptés à ces opérations d'un type nouveau.

Paradoxalement, et parce que c'est dans ce domaine que l'on constate les innovations les plus avancées, la construction de bâtiments plus économes en énergie que leurs prédécesseurs s'est avérée la démarche la plus facile et la moins onéreuse, le promoteur maîtrisant les choix. Dans les pays qui ont réalisé avec succès cette évolution de la construction neuve, la démarche suivie a été une combinaison d'une réglementation

thermique des bâtiments neufs (rendue plus exigeante de façon progressive et programmée), d'une concertation suivie avec les partenaires (architectes, bureaux d'études, entreprises de construction, industriels des matériaux et des équipements), de programmes de formation, de recherche et développement et de politique industrielle, afin de rendre disponibles, sur le marché, tous les « ingrédients » nécessaires au respect de la réglementation thermique et de ses normes.

La réhabilitation énergétique des bâtiments existants est une autre affaire, plus complexe à mettre en œuvre, plus délicate à organiser. Certes, elle tire largement profit des progrès techniques réalisés dans la construction neuve, de la conception aux techniques de constructions, en passant par les matériaux et les équipements. Mais elle pose des difficultés d'un autre ordre, du fait de l'extrême diversité des bâtiments existants à tous les points de vue : période de leur construction, qualité des matériaux et des méthodes de construction, catégories d'usages (tout particulièrement dans le secteur tertiaire) et peut-être surtout statut d'occupation et/ou juridique et situation administrative (propriétaire, locataire, public, privé, absence de réglementations, etc.). Il en résulte que les opérations techniques que l'on peut envisager pour une réhabilitation énergétique sont très souvent complexes sur le plan technique, que l'on doit effectuer des arbitrages difficiles sur le degré de réhabilitation pour des raisons économiques, et qu'il faut prendre en compte une « période d'apprentissage » économique, sociale, administrative et financière, qui s'avère souvent longue et laborieuse. Ainsi, alors que les réglementations thermiques sur la construction neuve ont été mises au point, dans les différents pays, en suivant à peu près la même démarche, la méthode d'élaboration de programmes de réhabilitation thermique réclame une plus grande attention aux situations économiques, sociales et institutionnelles locales.

Pendant longtemps, les autorités publiques comme les acteurs privés ont reculé devant ces difficultés et il faut bien reconnaître que, dans bien des cas, le niveau relativement bas des prix de l'énergie et l'illusion qu'une telle situation se poursuivrait éternellement incitaient tout simplement à ne rien faire dans ce secteur. De plus, la réhabilitation des bâtiments a toujours été considérée comme moins « noble » que la construction neuve. Toutefois, compte tenu des contraintes inévitables, tant sur le plan énergétique que climatique, la réhabilitation des bâtiments existants devient une obligation du fait de l'importance du parc bâti par rapport au nombre des constructions neuves arrivant chaque année sur le marché (dans des proportions évidemment variables selon les pays). Même dans des pays émergents à forte croissance, affichant donc un nombre élevé de construction neuves, le parc bâti représente un potentiel considérable d'économies d'énergie (justement parce qu'il a été construit à une époque où, faute de moyens ou de discernement, on a construit des bâtiments « énergivores »). On

observe une prise de conscience assez générale que, certes, construire des bâtiments neufs performants est une bonne chose, mais que le résultat global des progrès enregistrés risque de rester très insuffisant si l'on continue à traîner, année après année, le « boulet énergétique » d'un parc ancien qui, bien que potentiellement utilisable, restera très fortement consommateur d'énergie. Au-delà de cette « obligation d'agir », le caractère innovant et économiquement et socialement intéressant de la réhabilitation énergétique des bâtiments est particulièrement ressenti dans les grands pays émergents, la plupart d'entre eux ne s'étant attaqué jusqu'ici, à grande échelle, qu'à la performance des bâtiments neufs.

Le cas de la Chine est particulièrement significatif : une telle évolution est importante pour le pays et ses objectifs économiques et environnementaux, mais aussi pour le reste du monde, du fait de l'importance de sa consommation d'énergie et du niveau de ses émissions de gaz à effet de serre. Certes, en 2008, la consommation par habitant d'énergie primaire de la Chine était de 1,6 tep (contre 3,6 tep pour l'Union européenne – UE – et 7,9 tep pour les États-Unis), mais, avec 1,3 milliard d'habitants, la consommation totale d'énergie primaire de la Chine était de 2 milliards de tep, soit 17 % de la consommation mondiale, presque à égalité avec les États-Unis. Sachant que, en Chine, le secteur des bâtiments du résidentiel et du tertiaire est responsable de 30 % de la consommation finale et connaît une très forte croissance, on comprend l'importance de l'enjeu.

La part la plus importante de la consommation d'énergie dans les bâtiments en Chine est consacrée au confort thermique : chauffage dans les régions du Nord et du Centre, et rafraîchissement dans les régions du Centre et du Sud. En règle générale, la consommation dans les bâtiments est en forte augmentation du fait de l'accroissement rapide du parc, de l'aspiration à plus de confort, et de l'usage croissant d'appareils et d'équipements domestiques ou professionnels consommateurs d'énergie (électroménager, audiovisuel, informatique), tout particulièrement en zone urbaine.

Des orientations politiques importantes ont été prises dans le pays pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments neufs, en particulier *via* la promulgation et l'application croissante de nouvelles et ambitieuses réglementations thermiques de bâtiments, fixées au niveau national et déclinées au niveau provincial en fonction des conditions climatiques. Mais, bien que le potentiel d'efficacité énergétique soit considérable dans les bâtiments existants, les efforts dans ce secteur restent relativement peu importants, du fait d'une série de difficultés d'ordres technique, économique, institutionnel et financier.

L'objectif du programme de recherche mené conjointement par le département de la Construction de la province du Hubei et le département de la Recherche de l'AFD a consisté à établir le cadre nécessaire pour la réalisation de la rénovation énergétique des bâtiments existants de la province, notamment en ce qui concerne la proposition de mécanismes financiers nouveaux et innovants permettant une mise en œuvre à grande échelle. Il s'est agi, en collaboration étroite entre partenaires chinois et français, de chercher à supprimer, ou tout au moins à alléger, la contrainte financière qui pèse sur les investissements de rénovation énergétique, obstacle majeur au développement de cette activité et, de façon plus générale, de créer l'ensemble des conditions nécessaires à sa mise en œuvre. Le département de la Construction de la province du Hubei ayant décidé de travailler en priorité sur la rénovation énergétique des grands bâtiments du secteur tertiaire (public et privé), c'est sur ce dernier qu'a essentiellement porté le programme de recherche.

L'association d'une équipe d'experts de l'AFD, de responsables et d'équipes de l'administration et d'équipes universitaires de la province, a permis de réaliser un travail de recherche appliquée conscient des enjeux globaux et, en même temps, de l'exigence de qualité des réalisations concrètes.

La méthodologie du programme de recherche élaborée collectivement, tout en s'adressant à une catégorie particulière de bâtiments dans une province particulière de Chine, peut, par la logique de ses composantes et de son organisation, être appliquée à d'autres catégories de bâtiments (les logements par exemple), dans d'autres provinces du pays, et dans d'autres pays. En effet, l'architecture même de la méthode ainsi mise au point permet justement d'intégrer de façon naturelle les caractéristiques particulières dont nous avons précédemment souligné l'importance. Dans la mesure où il s'agit d'une recherche appliquée, dont le caractère et l'objectif de réalisation concrète sont déterminants, il eut été d'un intérêt limité de présenter au lecteur une méthodologie « théorique ». En revanche, l'illustration, pas à pas, de la méthodologie par son application à un cas réel, d'un enjeu considérable, rend l'exposé à la fois plus pédagogique, plus intéressant et plus convaincant. Si le programme de recherche a traité spécifiquement du cas de la Chine, et plus spécialement les bâtiments tertiaires de la ville de Wuhan, ce document décrit un cadre méthodologique qui peut être appliqué à une autre région ou à un autre pays.

L'originalité de la méthodologie ainsi élaborée porte sur la traduction, dans les principes et l'organisation du programme de recherche, de la complémentarité et de l'articulation des différentes compétences et, donc, des différents partenaires qui doivent concourir à la réalisation de projets et de programmes de rénovation énergétique, dès le début de la recherche.

La démarche classique consiste en effet à sérier les questions (techniques, économiques, sociales, institutionnelles, financières) et à les traiter séparément et « en série », dans cet ordre et dans le temps, depuis l'acquisition des données de base jusqu'à la réflexion sur les montages financiers.

Dans cette recherche, au contraire, l'exigence de complémentarité conduit à ce que les groupes d'expertise compétents sur les différentes questions – chaque groupe rassemblant les partenaires concernés – travaillent en parallèle, que leurs avancées et leurs résultats interagissent à chaque étape et, autant que faire se peut, qu'ils progressent ensemble vers la recherche de la solution globale optimale au regard de l'ensemble des contraintes attachées à chacune de ces questions. Ainsi, la démarche ne consiste pas à explorer les différentes solutions possibles et à choisir la meilleure dans chacun des domaines, mais de progresser de façon interactive entre les différentes disciplines, de façon itérative dans le temps (tel ou tel résultat nécessitant une exploration plus précise d'un domaine particulier), de façon continue car si le programme de recherche proprement dit se termine à un certain moment, la réalisation concrète de projets et de programmes de réhabilitation énergétique apportera de nouveaux éléments qui, à leur tour, modifieront les choix dans l'un ou l'autre des domaines.

La présentation du programme de recherche dans un document oblige à un certain déroulement linéaire des différentes questions qui ont été traitées et à situer le cadre global des enjeux d'un tel programme. Il n'est donc pas facile de traduire les « allers-retours » et les hésitations de la recherche elle-même, ainsi que les « phasages » de celle-ci entre des périodes d'avancée dans tel ou tel domaine et des périodes de synthèse, d'échanges, de réajustement des tâches, de relance de l'exploration sur des nouvelles ou anciennes questions, toutes choses qui font aussi la richesse de la recherche mais sont forcément en grande partie « gommées » dans un exposé qui se veut logique et compréhensible.

Le document présenté ici a donc regroupé, de la façon qui nous a paru la plus logique pour suivre et comprendre la méthode, le déroulement et les résultats du programme en cinq parties :

- **1** : les enjeux de l'énergie dans les bâtiments au niveau mondial et en Chine, illustrés par une comparaison entre les deux grands ensembles, comparables par leur population mais très différents au niveau économique : la Chine et l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE).
- **2** : présentation de la méthodologie du programme de recherche sur la réhabilitation énergétique des bâtiments dans ses composantes, ses principes et son organisation ; éléments qui peuvent être considérés comme indépendants

d'un programme particulier (tel celui de la province du Hubei) et applicables à d'autres contextes nationaux ou régionaux.

- **3** : présentation détaillée des composantes techniques et économiques de l'élaboration d'un programme de réhabilitation énergétique des bâtiments depuis la connaissance de la typologie et des consommations d'énergie des bâtiments (sur l'exemple de la ville de Wuhan) jusqu'à l'évaluation des enjeux et des impacts d'opérations de grande envergure. Ce chapitre aborde des questions techniques relativement complexes, dont certains éléments sont reportés en annexe. Il permet au lecteur, même non-spécialiste, de bien comprendre le cheminement d'une démarche dont chaque tâche est essentielle, le haut niveau scientifique et la précision des instruments et des études qui permettent d'assurer la réussite d'une politique de réhabilitation énergétique des bâtiments à grande échelle. Rappelons-le, en empruntant une citation de Descartes, « le diable est dans les détails » ; en d'autres termes, c'est bien en suivant pas à pas chaque phase de la démarche que l'on en saisit pleinement la qualité et la richesse. Certains exemples sont présentés en annexe du document principal.
- **4** : analyse du jeu d'acteurs dans le processus de décision, d'organisation et de financement des projets de réhabilitation énergétique. En s'appuyant sur l'exemple du programme du Hubei, ce chapitre met en évidence les opportunités et les barrières rencontrées dans la mise en œuvre d'un programme. Il montre toute l'importance des questions institutionnelles, organisationnelles, sociales et financières, dont le traitement exige une très bonne connaissance de la situation nationale, provinciale et locale.
- **5** : évaluation des conditions d'adaptation des mécanismes financiers existants et de développement des dispositifs complémentaires et dédiés au financement des programmes. On comprend qu'il s'agit d'abord de bien connaître, *via* des échanges avec les partenaires financiers, ce qui « existe » en matière de financement, de l'analyser, de l'utiliser et, partant de là, constatant la difficulté d'adaptation des outils financiers traditionnels à ces activités d'un type nouveau, de proposer, à partir du dialogue avec ces mêmes partenaires, des méthodes innovantes, inspirées de l'expérience internationale et adaptées aux conditions locales.

La conclusion permet de souligner les points les plus marquants de la démarche et des résultats obtenus, ainsi que d'en commenter les points forts et les faiblesses.

# Première partie



# 1. La Chine dans le monde : les enjeux de l'énergie dans les bâtiments

## Préambule

Le programme de recherche sur la réhabilitation énergétique des bâtiments présenté dans ce document s'est déroulé en Chine, dans la province du Hubei, et a visé plus particulièrement les bâtiments de sa capitale, Wuhan. Quel que soit le périmètre d'un programme envisagé et surtout si celui-ci, comme c'était le cas, est considéré comme ayant valeur de programme pilote pour des opérations à grande échelle, il est de la première importance de situer les enjeux énergétiques du secteur des bâtiments dans le pays concerné (ne serait-ce que pour aider à la prise de conscience, et donc à la prise de décision, des responsables politiques). Dans ce premier chapitre, nous situons ces enjeux pour la Chine dans le cadre mondial, en nous appuyant sur une comparaison entre le pays et l'OCDE (comparaison établie sur la base des niveaux de populations proches de ces deux ensembles).

## 1.1. Consommations d'énergie de la Chine dans le cadre mondial

Dans un monde abritant 6,67 milliards de personnes (OCDE, 2008), la Chine, le plus peuplé des pays dits « émergents » (1,33 milliard) et l'OCDE, ensemble des pays dits « développés » (1,19 milliard), constituent deux ensembles de même taille par la population, dont il est intéressant de comparer les consommations d'énergie, en partant du consommateur final.

### 1.1.1. Les consommations d'énergie finale

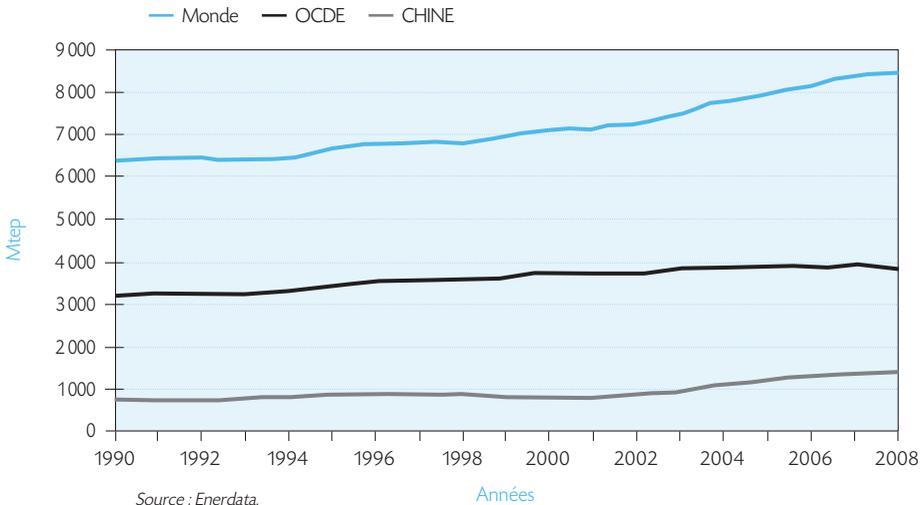
#### Les consommations totales et par habitant

La consommation d'énergie finale correspond aux produits énergétiques qui sont livrés au consommateur : produits pétroliers, gaz, charbon, chaleur, électricité, biomasse (bois de chauffage). Les secteurs consommateurs sont l'industrie, les transports,

l'agriculture, le résidentiel et le tertiaire (énergie consommée dans les bâtiments de ces deux secteurs). On comprend également dans la consommation finale celle des produits énergétiques, essentiellement produits pétroliers et gaz, consommés pour des usages non énergétiques (notamment chimie pour la production de matières plastiques et d'engrais).

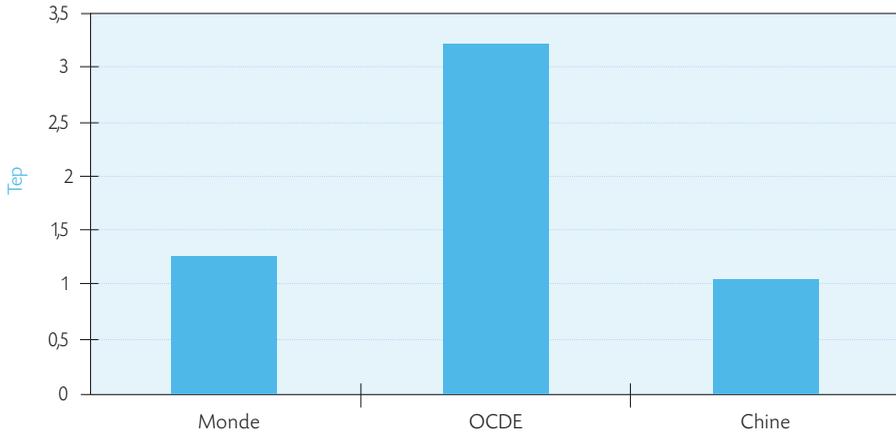
L'OCDE représente, avec 3 830 Mtep, 45,4 % de la consommation finale mondiale (8 431 Mtep), tandis que la Chine, avec 1 403 Mtep, n'en représente que 16,6 %.

### Graphique 1 *Évolution de la consommation finale d'énergie dans le monde, dans les pays de l'OCDE et en Chine, de 1990 à 2008 (en Mtep)*



L'évolution des consommations, que montre le graphique 1, illustre le caractère « émergent » de l'économie chinoise : les très fortes croissances du produit intérieur brut (PIB) depuis 2000 se traduisent par une nette croissance de la consommation d'énergie. Cet écart est confirmé par la comparaison des consommations d'énergie finale par habitant, dans le graphique 2.

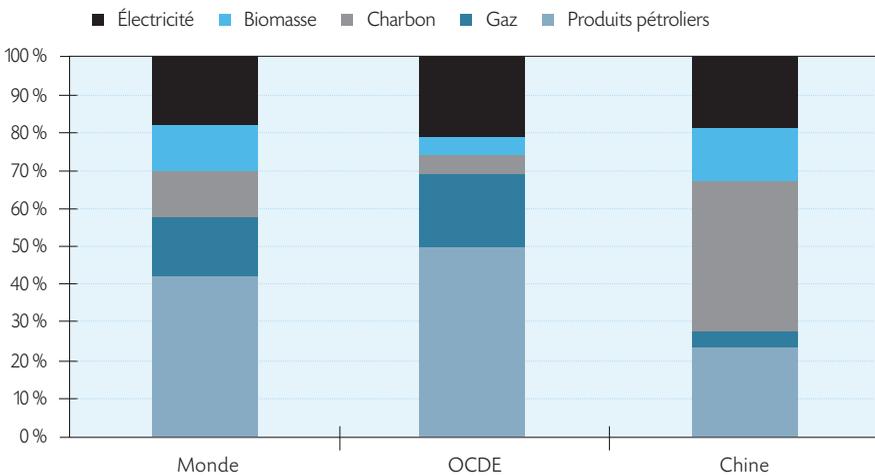
**Graphique 2** *Consommation d'énergie finale par habitant dans le monde, dans les pays de l'OCDE et en Chine, en 2008 (en Tep)*



Source : Enerdata.

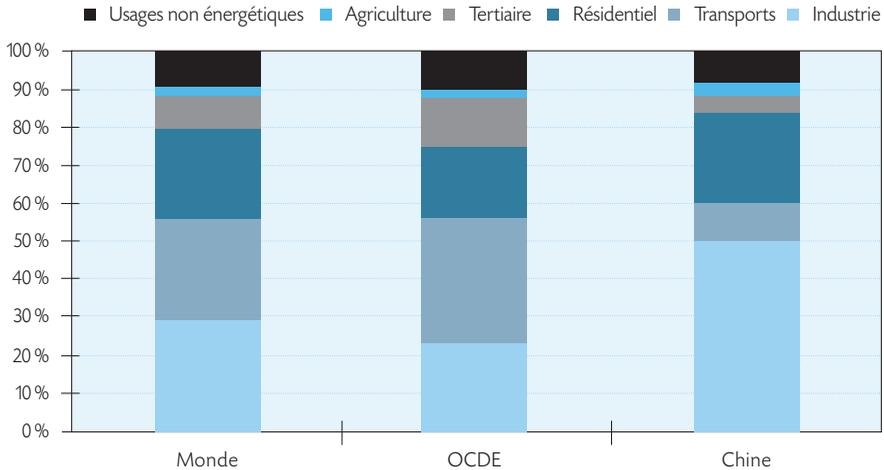
La structure des consommations d'énergie finale par produit et par secteur

**Graphique 3** *Répartition par produit de la consommation d'énergie finale dans le monde, dans les pays de l'OCDE et en Chine, en 2008 (en %)*



Source : Enerdata.

## Graphique 4 Répartition sectorielle de la consommation d'énergie finale dans le monde, dans les pays de l'OCDE et en Chine, en 2008 (en %)



Source : Enerdata.

Les graphiques 3 et 4 montrent que les structures des consommations d'énergie finale sont nettement différentes entre la Chine et l'OCDE. Dans la répartition par produit, celle-ci se distingue des pays de l'OCDE par la forte proportion de charbon directement utilisé comme produit énergétique final alors que, dans les pays de l'OCDE, sa consommation finale est faible : l'essentiel du charbon y est consacré à la production d'électricité. La consommation d'électricité représente environ 20 % de la consommation d'énergie finale dans tous les cas (18 % pour le monde et la Chine, 21 % pour les pays de l'OCDE).

Dans la répartition par secteur, l'industrie est le premier secteur consommateur (50 %) en Chine, devant les bâtiments (secteurs résidentiel et tertiaire ; 28 %) et les transports (10 %). Dans les pays de l'OCDE, les bâtiments (33 %) sont en tête, suivis de près par les transports (32 %).

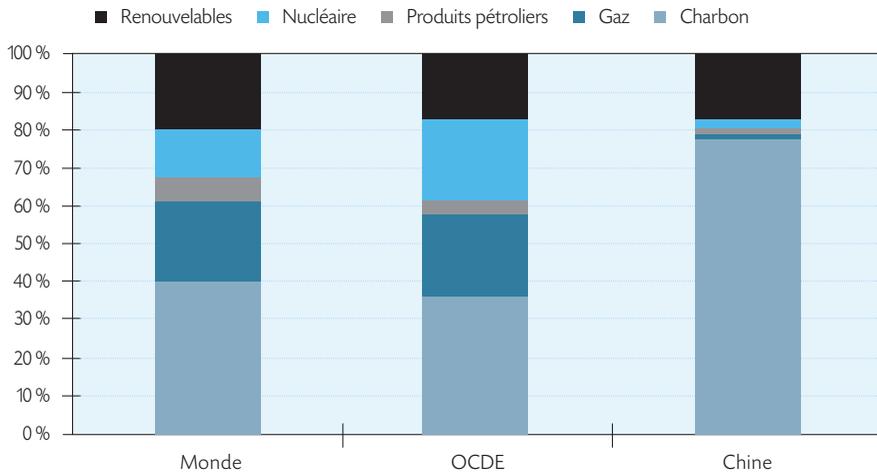
### 1.1.2. La production d'électricité

Si l'électricité ne représente que 20 % environ de la consommation d'énergie finale, sa production réclame, du fait de la prédominance des centrales thermiques (à combustible fossile ou nucléaire) une consommation très élevée d'énergie primaire, du

fait du rendement des centrales thermiques. C'est essentiellement la différence entre l'énergie primaire nécessaire à la production d'électricité et l'énergie finale (sous forme d'électricité) qui en résulte, qui explique la différence des valeurs entre consommations d'énergie primaire et finale.

En 2008, les productions d'électricité étaient de 20 208 TWh (milliard de kWh) dans le monde, 10 714 TWh dans les pays de l'OCDE, et 3 463 TWh en Chine. Le graphique 5 montre la structure de cette production par type de source.

### Graphique 5 Production d'électricité par source dans le monde, dans les pays de l'OCDE et en Chine, en 2008 (en %)



Source : Enerdata.

Pour les trois ensembles, la première source de production d'électricité est le charbon. En Chine, il répond à 80 % des besoins, le complément étant actuellement assuré presque exclusivement par les sources renouvelables. Dans les pays de l'OCDE, le charbon assure 36 % seulement mais la production d'électricité par le charbon dans l'OCDE (3 700 TWh) est supérieure à celle de la Chine (2 700 TWh). Au plan mondial, on note que la contribution du nucléaire (13,5 %) est nettement inférieure à celle des énergies renouvelables (19,1 %).

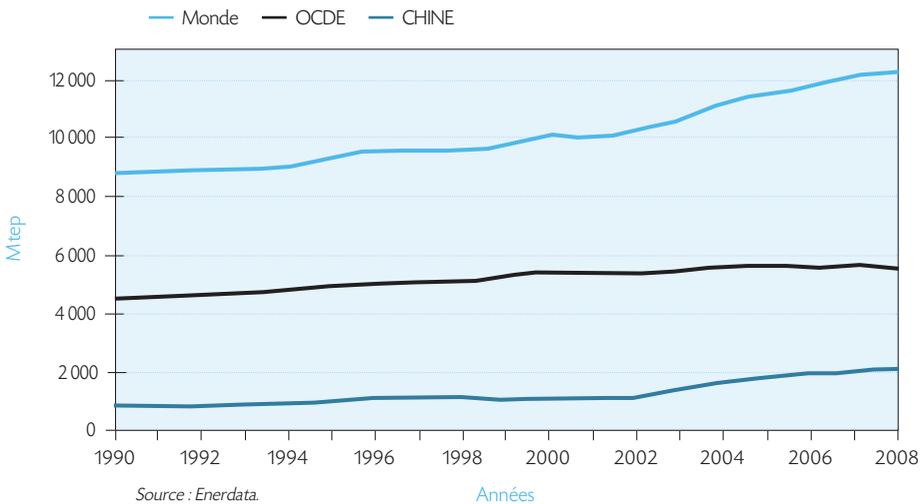
### 1.1.3. Les consommations d'énergie primaire

#### Les consommations totales et par habitant

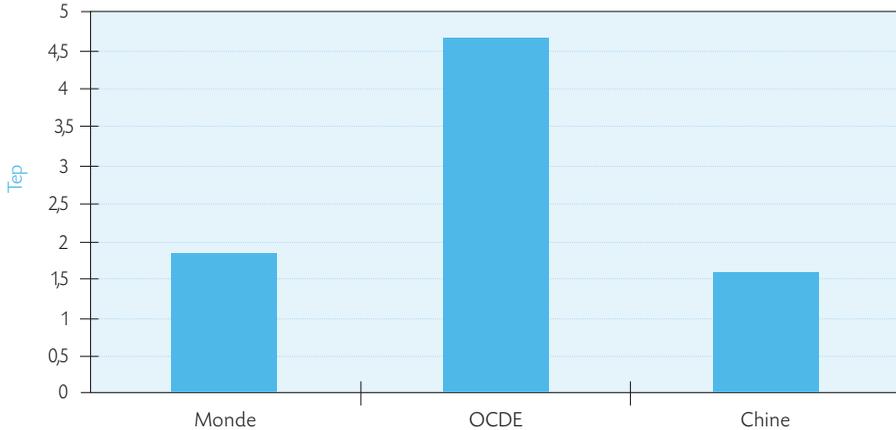
Le graphique 6 présente l'évolution des consommations d'énergie primaire totales pour les trois grands ensembles. Tandis que la consommation d'énergie de l'OCDE est à peu près stable durant la décennie 2000-2010, celle de la Chine a régulièrement augmenté, tout comme la consommation mondiale.

Au niveau des consommations par habitant (cf. graphique 7), on retrouve, encore accentuées, les différences entre la Chine et l'OCDE notées lors de la comparaison des consommations d'énergie finales.

**Graphique 6** *Évolution de la consommation d'énergie primaire dans le monde, dans les pays de l'OCDE et en Chine, de 1990 à 2008 (en Mtep)*



**Graphique 7** *Consommation d'énergie primaire par habitant dans le monde, dans les pays de l'OCDE et en Chine, en 2008 (en Tep)*



Source : Enerdata.

La structure par source de la consommation d'énergie primaire

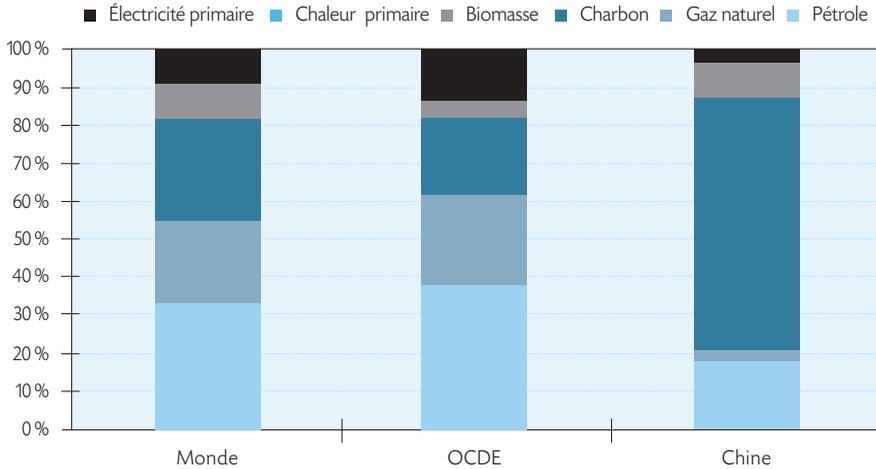
**Tableau 1** *Consommation d'énergie primaire par source, en 2008 (en %)*

%	Pétrole	Gaz naturel	Charbon	Biomasse	Chaleur primaire	Électricité primaire
Monde	33,3	21,1	26,9	9,8	0,2	8,6
OCDE	38,4	23,1	20,7	4,2	0,2	13,5
Chine	18,1	3,1	65,8	9,5	0,3	3,3

Source : Enerdata.

Dans les pays de l'OCDE, comme dans le monde, le pétrole est la première source d'énergie primaire. En Chine, en revanche, c'est le charbon qui, avec une part de 66 %, est de loin la première source primaire.

### Graphique 8 Répartition par source de la consommation d'énergie primaire dans le monde, dans les pays de l'OCDE et en Chine, en 2008 (en %)

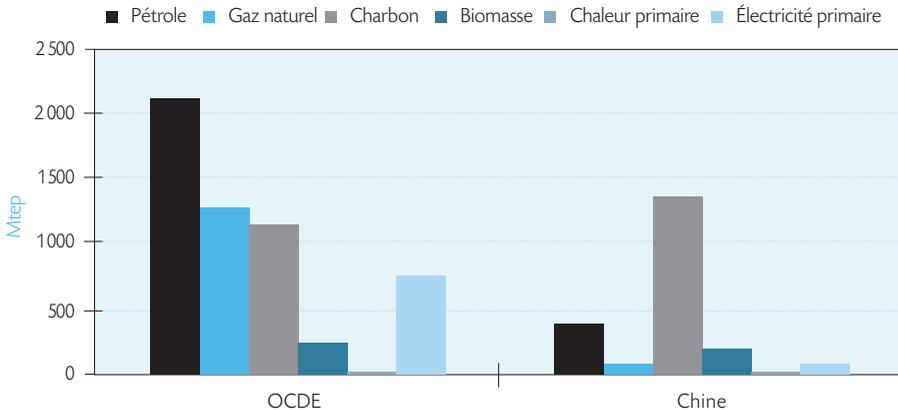


Source : Enerdata.

#### La Chine et l'OCDE

Avec une population de 10 % inférieure à celle de la Chine, l'ensemble des pays de l'OCDE consomme six fois plus de pétrole que la Chine, vingt fois plus de gaz naturel, onze fois plus d'électricité primaire, et seulement 20 % de moins de charbon et 20 % de plus de biomasse (cf. graphique 9).

### Graphique 9 Consommation d'énergie primaire dans les pays de l'OCDE et en Chine, en 2008 (en Mtep)



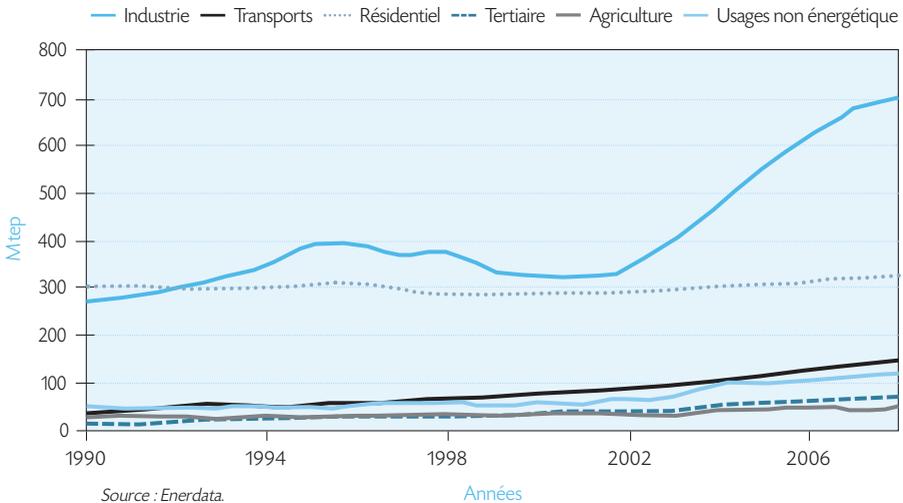
Source : Enerdata.

## 1.2. Consommations d'énergie dans les bâtiments en Chine

### 1.2.1. Consommations d'énergie finale par secteur

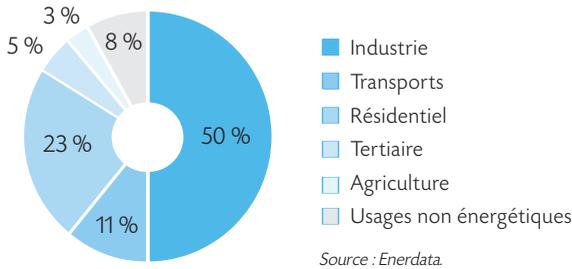
Le graphique 10 illustre la forte augmentation de la consommation du secteur industriel depuis le début des années 2000. Celle-ci est due au *boom* des infrastructures et de la construction des bâtiments, mais aussi à la forte croissance des exportations.

**Graphique 10** Consommation d'énergie finale par secteur en Chine, de 1990 à 2008 (en Mtep)



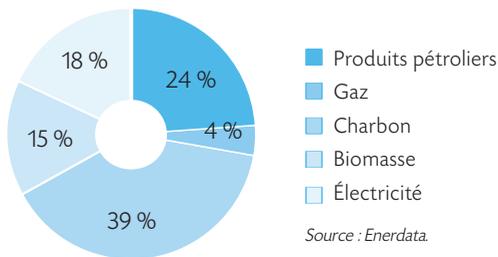
Le secteur de l'industrie représentait, en 2008, la moitié de la consommation d'énergie finale, devant le secteur des bâtiments (résidentiel et tertiaire), à 28 % et les transports, à 11 % (cf. graphique 11).

**Graphique 11** Structure par secteur de la consommation d'énergie finale en Chine, en 2008



1.2.2. Structure par produit de la consommation d'énergie finale

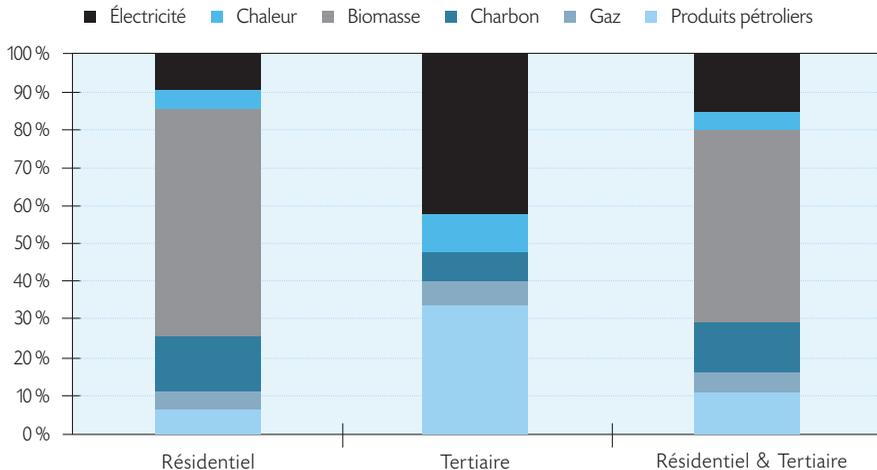
**Graphique 12** Structure par produit de la consommation d'énergie finale en Chine, en 2008



La part du charbon consommé directement reste dominante dans la consommation d'énergie finale (chauffage, notamment par réseaux de chaleur) ; la consommation de gaz, quant à elle, est faible, et celle de biomasse représente une part importante.

### 1.2.3. Structure par produit de la consommation d'énergie dans les bâtiments

#### Graphique 13 Structure de la consommation des bâtiments par produit en Chine, en 2008



Source : Enerdata.

La structure par produit de la consommation d'énergie dans le secteur des bâtiments confirme ce que nous avons vu précédemment : l'importance de la biomasse (de loin le premier produit dans le résidentiel) est liée au fait qu'elle est le produit de chauffage dans le milieu rural (542 millions d'habitants en 2006, selon l'OCDE). On ne retrouvera pas du tout la même structure de consommation en milieu urbain : le secteur tertiaire, qui est urbain, présente une structure de consommation proche de celle des pays occidentaux, dominée par l'électricité et les produits pétroliers, mais la contribution du gaz (forte dans les pays de l'OCDE) reste actuellement très faible en Chine.

### 1.2.4. De l'énergie primaire à l'électricité finale

La production totale d'électricité pour les besoins de la consommation nationale en Chine était, en 2008, de 3 452 TWh. En tenant compte des autoconsommations et des pertes, la consommation totale était de 2 972 TWh, dont 146 TWh consommés par le secteur de l'énergie, et 2 826 TWh de consommation finale. Cela signifie que 1 kWh consommé correspond à 1,16 kWh produit.

Par ailleurs, la quantité d'énergie primaire (essentiellement charbon) consommée pour la production d'électricité était, en 2008 toujours, de 811 Mtep, pour une production de 3 452 TWh ou 297 Mtep. Le rendement du système de production d'électricité, rapport de la quantité d'électricité produite à la quantité d'énergie primaire nécessaire pour la produire, est donc de 0,366 (ou 36,6 %).

Le rendement du système électrique, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'électricité consommée en « bout de ligne » (soit en consommation finale soit en consommation du secteur énergétique) est donc  $0,366 : 1,16 = 0,316$ .

Ce rapport est intéressant à connaître pour convertir les consommations finales d'électricité (dans les bâtiments par exemple) en énergie primaire.

## 1.3. Émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation d'énergie

### 1.3.1. Comparaisons internationales

Le tableau 2 indique les émissions totales et par habitant des principaux pays émetteurs (dont l'UE, considérée comme un tout). Les émissions de CO<sub>2</sub> prises en compte ici sont celles dues à la combustion des combustibles fossiles.

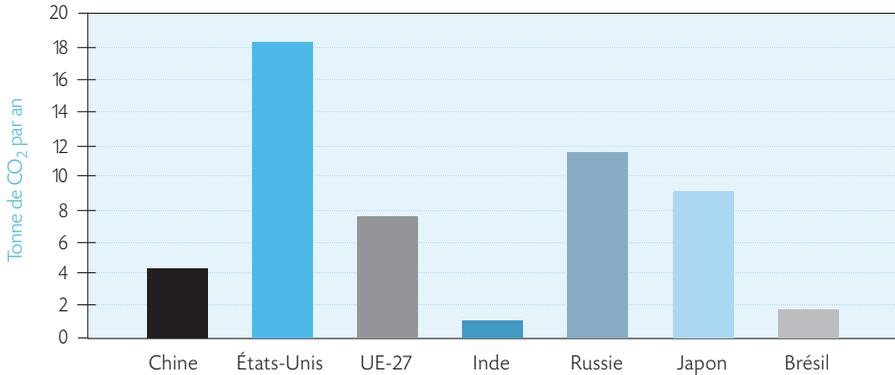
**Tableau 2** *Émissions de CO<sub>2</sub> totales et par habitant des principaux pays, en 2008*

2008	Émissions de CO <sub>2</sub>	Population	Émissions de CO <sub>2</sub> par habitant
	En Mt (million de tonnes)	En million	En t (tonne)
Chine	5 836	1 328	4,4
États-Unis	5 578	305	18,27
UE-27	3 823	496	7,71
Inde	1 380	1 141	1,21
Russie	1 637	141	11,6
Japon	1 173	128	9,18
Brésil	356	195	1,83

Source : Enerdata.

On voit que, si la Chine est devenue en 2008 le premier pays émetteur, ses émissions par habitant restent inférieures d'un facteur 4 à celles des États-Unis, d'un facteur 3 à celles de la Russie et d'un facteur d'environ 2 à celles du Japon et de l'UE. Le Brésil et l'Inde sont loin derrière.

**Graphique 14** *Émissions de CO<sub>2</sub> par habitant par an dans les principaux pays, en 2008 (en Tep)*



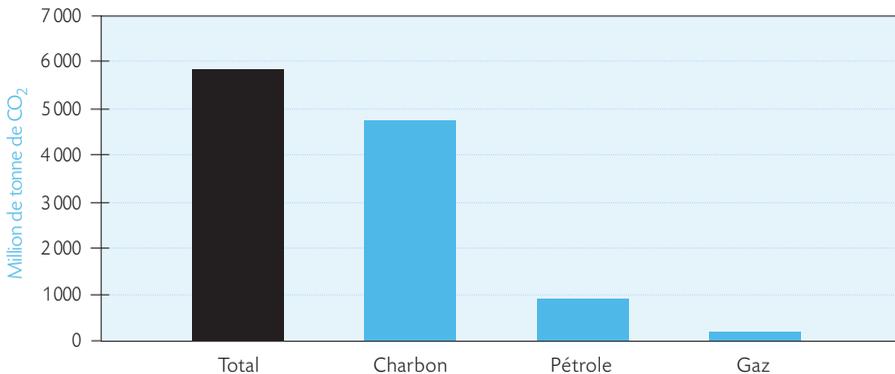
Source : Enerdata.

**1.3.2. Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie en Chine**

**Les émissions de CO<sub>2</sub> par source**

Sur un total de 5 836 Mt CO<sub>2</sub> en 2008, sans surprise, les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent à 82 % de la combustion du charbon.

**Graphique 15** *Émissions de CO<sub>2</sub> (combustion) par source en Chine, en 2008 (en Mtep)*



Source : Enerdata.

## Les émissions de CO<sub>2</sub> par secteur

Lorsque l'on indique les émissions par secteur, il est d'usage de considérer comme un secteur particulier celui de l'énergie. On compte alors l'ensemble des émissions de ce secteur. La production d'énergie n'est pourtant pas une fin en soi. Cette énergie alimente les secteurs de consommation et il est plus intéressant de comptabiliser, pour chaque secteur d'utilisation finale, d'une part les émissions directes (chauffage au charbon, déplacements automobiles, etc.) et, d'autre part, les émissions indirectes (notamment pour la production de l'électricité). C'est ce qu'illustrent le tableau 3 et le graphique 16.

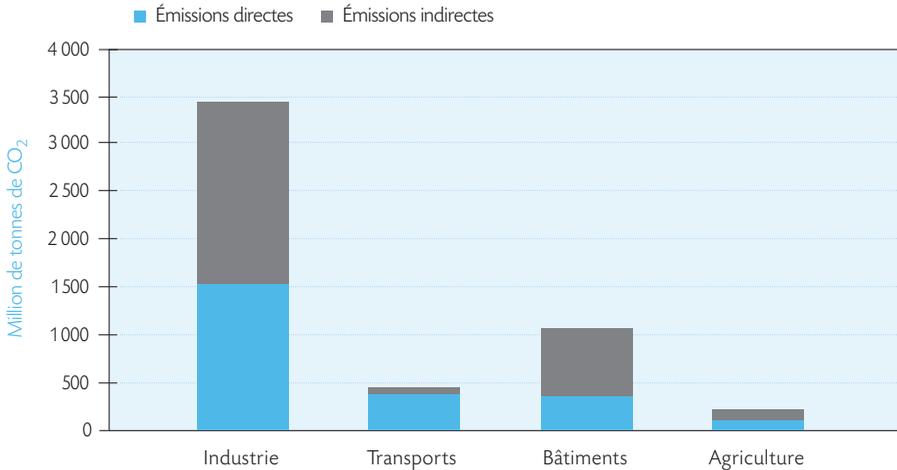
**Tableau 3** *Émissions directes et indirectes de CO<sub>2</sub> par secteur en Chine, en 2008 (en Mt)*

Émissions CO <sub>2</sub> (Mt)	Industrie	Transports	Bâtiments	Agriculture	Total
Directes	1 540	426	378	123	2 467
Indirectes	1 913	27	701	100	2 741
<b>Total</b>	<b>3 453</b>	<b>453</b>	<b>1 079</b>	<b>223</b>	<b>5 208</b>
%	66,3	8,7	20,7	4,3	100

Source : Enerdata.

Notons que la différence entre les émissions totales (5 836 Mt) et la somme des émissions directes et indirectes des secteurs (5 208 Mt), soit 628 Mt, doit représenter les émissions liées aux consommations propres du secteur de l'énergie (émissions des activités des mines, des raffineries et des centrales électriques).

## Graphique 16 *Emissions de CO<sub>2</sub> (combustion) par grand secteur de consommation finale en Chine, en 2008 (en Mt)*



Source : Enerdata.

### 1.4. Enjeux de la consommation d'énergie dans les bâtiments en Chine

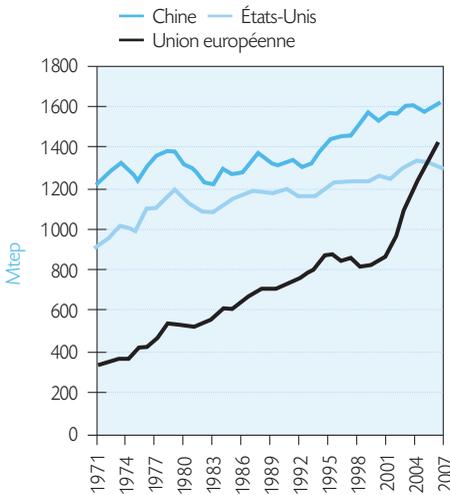
#### 1.4.1. Les consommations d'énergie dans les bâtiments de trois pays représentatifs

Afin d'évaluer les enjeux de la consommation d'énergie dans les bâtiments, nous allons comparer cette consommation dans trois grands pays, ou ensemble de pays : la Chine, les États-Unis et l'UE (UE à 27 pays).

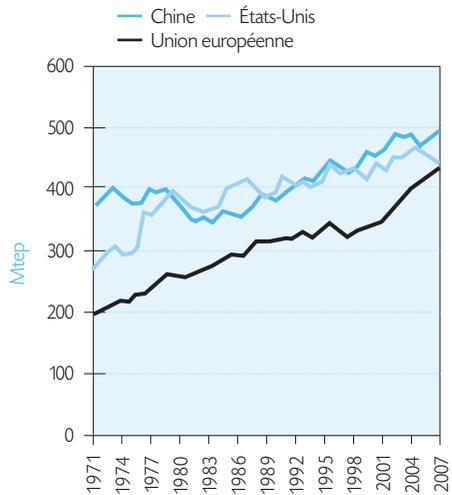
La Chine est le plus grand des pays émergents et connaît une croissance économique forte qui entraîne une augmentation rapide de la consommation d'énergie. Les États-Unis et l'UE sont deux ensembles représentatifs du niveau élevé de richesse des pays de l'OCDE, mais avec des modèles de développement et des modes de vie nettement différents, ce qui entraîne des écarts sensibles sur leurs situations énergétiques.

Le graphique 17 montre que les consommations d'énergie finale totales des trois pays sont très proches en 2007, mais en faible croissance pour les États-Unis et l'UE et en très forte croissance pour la Chine.

On fait à peu près la même constatation pour la consommation d'énergie finale dans le secteur des bâtiments (ensemble résidentiel et tertiaire), avec une croissance moins rapide que précédemment dans le cas de la Chine (cf. graphique 18).

**Graphiques 17 et 18**
**Consommation d'énergie finale totale et des secteurs résidentiel et tertiaire, en Chine, aux États-Unis et dans l'UE, de 1971 à 2007 (en Mtep)**
**17. Consommation totale**


Source : Enerdata.

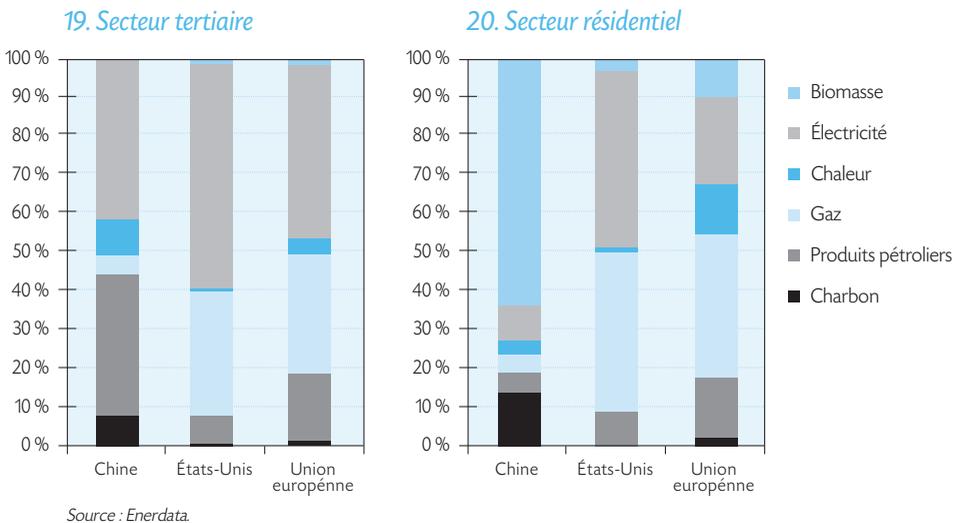
**18. Consommation des secteurs résidentiel et tertiaire**


On constate en revanche des différences considérables lorsque l'on examine la structure de la consommation d'énergie finale dans les bâtiments de chacun des trois grands consommateurs, comme le montrent les graphiques 19 et 20.

La différence la plus importante apparaît dans le secteur résidentiel (cf. graphique 20) : du fait de l'importance de la population rurale en Chine et du fait qu'elle utilise surtout le bois de feu pour le chauffage et la cuisson, la part de la biomasse est prépondérante dans la consommation, tandis que les États-Unis et l'UE ont recours essentiellement aux combustibles fossiles (surtout le gaz) et à l'électricité.

On trouve une structure plus semblable entre la Chine et les deux autres pays dans le secteur tertiaire (cf. graphique 19), développé presque uniquement en milieu urbain et surtout dans les grandes métropoles : utilisation des combustibles fossiles (prépondérance du charbon en Chine, du gaz aux États-Unis et en Europe) et de l'électricité.

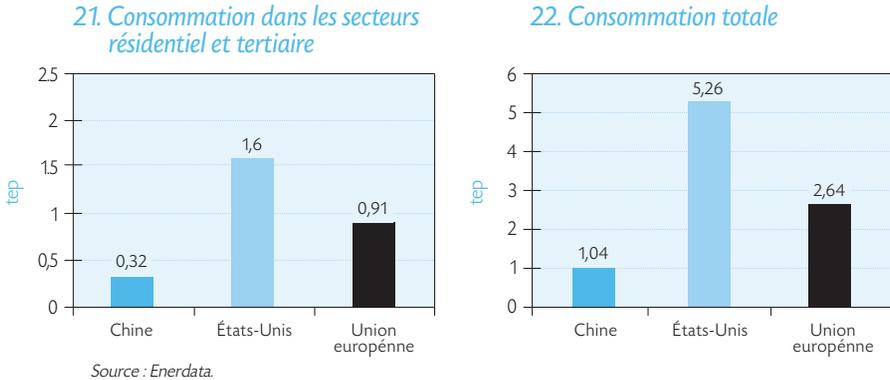
**Graphiques 19 et 20** *Structure de la consommation finale dans les secteurs résidentiel et tertiaire en Chine, aux États-Unis et dans l'UE, en 2007 (en %)*



### 1.4.2. Les consommations par habitant

La comparaison des consommations globales apporte un certain nombre d'informations et fixe des ordres de grandeur. Il est cependant nécessaire de tenir compte d'un facteur majeur de différence entre la Chine, les États-Unis et l'UE : la population, c'est-à-dire le nombre de consommateurs (en 2007, 1321 millions en Chine, 302 millions aux États-Unis et 494 millions dans l'UE – chiffres OCDE). De fait, les consommations d'énergie finale totales et dans les secteurs résidentiel et tertiaire sont très différentes, comme l'illustrent les graphiques 21 et 22.

**Graphiques 21 et 22** *Consommations d'énergie par habitant totales, et dans les secteurs résidentiel et tertiaire en Chine, aux États-Unis et dans l'UE, en 2007 (en tep)*



### 1.4.3. Une estimation des enjeux de l'efficacité énergétique dans les bâtiments en Chine

La situation de la consommation énergétique en Chine est extrêmement contrastée, entre des centres urbains ultramodernes très « énergivores » et des régions rurales où l'approvisionnement énergétique est très faible et encore majoritairement assuré par des sources traditionnelles.

La croissance économique de la Chine va conduire progressivement à une augmentation du confort et, d'une façon générale, des services énergétiques, pour une proportion de plus en plus grande de la population, accompagnée par une urbanisation croissante. On devrait donc assister à un double mouvement : d'une part, une réduction de l'écart de consommation entre le milieu urbain et le milieu rural, et une augmentation générale de la consommation d'énergie moyenne par habitant (du fait de l'accèsion d'un plus grand nombre d'habitants aux services énergétiques et de l'accroissement de la demande d'énergie associée à chaque service énergétique) et, d'autre part, l'utilisation croissante de produits énergétiques modernes en remplacement des énergies traditionnelles, une part de plus en plus large étant attribuée aux énergies renouvelables.

Ce développement se produira en tenant compte du contexte géographique et climatique de la Chine, des particularités du mode de vie des populations concernées mais aussi de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme et, de façon plus générale, de la politique du logement et de la construction et, facteur essentiel, de la prise en compte plus ou moins grande de l'efficacité énergétique tant aux niveaux technique et économique qu'à celui des comportements. Il est important pour les décideurs politiques de « se faire une idée » de l'ordre de grandeur des enjeux associés à telle ou telle orientation de ces politiques et de ces comportements.

Pour réaliser une telle estimation, nous avons utilisé la comparaison présentée au chapitre précédent entre les consommations par habitant dans les bâtiments des secteurs résidentiel et tertiaire. Nous imaginons pour cela deux scénarios de développement de la consommation d'énergie dans ces deux secteurs en Chine :

- le premier scénario suppose une convergence de la consommation d'énergie par habitant dans ces secteurs vers la valeur actuelle de cette consommation aux États-Unis, soit 1,60 tep par habitant ;
- le deuxième scénario suppose une convergence de la consommation d'énergie par habitant dans ces secteurs vers la valeur actuelle de cette consommation dans l'UE, soit 0,91 tep par habitant.

De telles convergences se produiraient à une date indéterminée, mais dans une durée de deux ou trois décennies.

Dans le cas du premier scénario, en supposant la stabilité de la population chinoise sur cette période, la consommation d'énergie à l'horizon de la convergence dans les secteurs résidentiel et tertiaire atteindrait 2,1 milliards de tep, et 1,2 milliard de tep dans le cas du deuxième scénario, soit une différence de 900 Mtep sur la consommation annuelle d'énergie finale pour l'ensemble résidentiel et tertiaire.

Si l'on adopte, pour chaque scénario, le même rapport entre la consommation d'énergie finale et la quantité d'énergie primaire nécessaire pour la satisfaire, on obtient en quantités totales d'énergie primaire pour la Chine les valeurs suivantes :

- pour le premier scénario (convergence « États-Unis ») :  $2,1/0,48 = 4,4$  milliards de tep ;
- pour le deuxième scénario (convergence « UE ») :  $1,2/0,60 = 2$  milliards de tep.

L'écart – 2,4 milliards de tep en consommation annuelle d'énergie primaire – montre à quel point l'enjeu est considérable.

Cet exercice d'estimation n'est ni une prévision ni même une prospective : il est certain que le développement de la Chine se fera suivant des voies originales qui seront sûrement différentes des modèles et des modes de vie des États-Unis ou de l'Europe. Les résultats obtenus donnent cependant un ordre de grandeur raisonnable de ce qu'entraînerait comme conséquence sur la consommation d'énergie le choix ou la poursuite d'un modèle énergivore, tout particulièrement pour ce qui concerne les usages de l'électricité. Le présent exercice, basé sur la notion de convergence, doit être considéré comme un exercice d'avertissement en direction des décideurs politiques et économiques. Il fournit des arguments précieux en faveur de la construction d'une civilisation sobre en énergie.

---

# Deuxième partie



## 2. Réhabilitation énergétique des bâtiments : la méthodologie du programme de recherche

### 2.1. L'efficacité énergétique dans les bâtiments

Sur le plan technique, l'efficacité énergétique des bâtiments se présente de façon similaire dans le secteur résidentiel et le secteur tertiaire et concerne trois grands postes :

- la qualité de construction des bâtiments en termes d'efficacité énergétique, tant vis-à-vis de la chaleur que du froid ;
- la sobriété dans l'utilisation des équipements consommateurs d'énergie, et leur efficacité (équipements performants) ;
- le choix de la forme d'énergie ou de la technique la plus appropriée pour répondre à tel ou tel usage (par exemple chauffe-eau solaire ou cogénération).

Cette similitude des questions techniques conduit à regrouper les deux secteurs en termes de programmes d'action. Par contre, si le secteur résidentiel est relativement homogène dans ses usages, le secteur tertiaire est constitué de sous-secteurs dont les activités sont nettement différentes les unes des autres. C'est un secteur très hétérogène, à la fois par les activités et les usages qu'elles engendrent, comme par la structure et l'organisation des sous-secteurs. Les méthodes d'intervention, de promotion et d'incitations et les approches des partenaires sont nettement différentes du fait de la nature des maîtres d'ouvrage concernés.

#### 2.1.1. Les bâtiments neufs

L'action centrale pour les nouveaux bâtiments est l'élaboration et la mise en œuvre de la réglementation thermique. Afin que son application soit réelle et efficace, elle doit être accompagnée de trois types d'actions :

- une intense activité d'information, de promotion et d'incitation : information et promotion auprès des professionnels du secteur ainsi qu'auprès du grand public ; évaluation précise des surcoûts ; mise en place de mesures incitatives appropriées et des modalités pratiques d'accès à ces incitations ;

- la Recherche-Développement : l'architecture bioclimatique est un domaine dans lequel les chercheurs chinois peuvent apporter beaucoup, au niveau de chaque zone climatique qui requiert des solutions appropriées. Ces programmes devraient permettre à terme la généralisation progressive de la construction de bâtiments à très basse consommation d'énergie ;
- une politique industrielle menée aux niveaux national et provincial pour développer les industries de production des matériaux de construction et des équipements efficaces en énergie (double fenêtre, store, électroménager, éclairage, etc.).

### 2.1.2. Les bâtiments existants

La consommation d'énergie dans les bâtiments existants devrait croître du fait de l'aspiration à plus de confort et, si l'on n'intervient pas, cette croissance sera « gaspilleuse d'énergie » (pour le chauffage et la climatisation), du fait des mauvaises conditions thermiques de la plupart des bâtiments existants. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre un programme de réhabilitation énergétique de l'habitat et du tertiaire existants. Cependant, au prix actuel du marché de cette opération, le temps de retour n'est pas très attrayant pour le propriétaire, même si l'intérêt pour la collectivité est évident. Il faudra alors mettre en place un système d'incitation à l'investissement de réhabilitation thermique sous la forme d'une subvention ou d'une bonification de prêt. La concertation avec les partenaires concernés doit permettre de choisir la meilleure solution. Il faut envisager à terme l'obligation de « ravalement thermique » pour tous les bâtiments existants contenant des installations de chauffage et/ou de climatisation.

### 2.1.3. Les économies d'électricité dans les logements

Dans le secteur résidentiel, le potentiel d'efficacité de la consommation d'électricité est lié à quatre usages : l'éclairage, l'électroménager (en premier lieu les réfrigérateurs et congélateurs), la climatisation, et les veilles (sur certains appareils électroménagers et sur les appareils audiovisuels)<sup>[5]</sup>.

Deux grands moyens permettent d'agir sur la consommation d'énergie liée à ces usages, à service rendu égal ou supérieur : d'une part, la modification du comportement du consommateur et, d'autre part, l'amélioration de la performance énergétique de l'appareil utilisé par des mesures réglementaires et des incitations financières :

---

[5] On doit également prendre en compte la production d'eau chaude sanitaire par le chauffe-eau solaire.

- **les modifications de comportement** du consommateur par des actions d'information et de sensibilisation concernent le comportement d'usage (*i.e.* éteindre les lumières) et le comportement d'achat (*i.e.* d'un appareil économe en énergie), mais aussi une réflexion sur la nature et l'ampleur des besoins (ex : même si l'on en a les moyens, est-il indispensable de posséder plusieurs postes de télévision par famille ?) Agir sur les comportements est d'abord une question d'information et de sensibilisation, non seulement sur les choix possibles et sur leur intérêt économique (on s'adresse alors au consommateur) mais aussi sur les conséquences de ces choix (on s'adresse alors au citoyen). La portée d'une action de sensibilisation sera considérablement renforcée si, en parallèle, des mesures réglementaires et des incitations financières sont mises en œuvre ;
- **les mesures réglementaires** : certification et label. La mesure la plus efficace consiste, d'une part, à fixer des normes maximales de consommation pour un appareil donné (le réfrigérateur par exemple : norme sur la consommation mais aussi sur le volume) et, d'autre part, à définir des labels<sup>[6]</sup> sur les performances relatives des appareils. Deux questions se posent alors : le contrôle de la bonne application de la réglementation et, au-delà de la communication, les incitations qui permettent d'obtenir, à partir de la réglementation, les meilleurs résultats possibles en termes d'utilisation rationnelle de l'énergie. Le processus de certification et label doit se poursuivre pour les autres types d'appareils : appareils individuels de conditionnement de l'air, appareils de production et de stockage de l'eau chaude ; lampes et appareils d'éclairage ; machines à laver le linge, sèche-linge et appareils combinés (lavage-séchage) ; machines à laver la vaisselle ; fours ; fers à repasser ; appareils audiovisuels.

Il existe bien évidemment un lien entre les résultats d'une modification des comportements et les améliorations techniques. Celles-ci peuvent parfois pallier les déficiences des comportements mais il serait illusoire de penser que l'efficacité énergétique est essentiellement une question technique : les choix politiques d'aménagement et l'attitude des citoyens vis-à-vis de leur consommation de biens et de services en sont des éléments déterminants.

---

[6] Une fois le processus de label bien installé, une mesure d'interdiction des classes les moins performantes doit être envisagée. La meilleure façon de procéder est de supprimer ces dernières et de « faire glisser » l'échelle vers le haut pour accueillir de nouvelles classes plus performantes.

### 2.1.4. *Promotion et incitation dans le secteur tertiaire*

Dans le secteur tertiaire, les cibles de la programmation sont les suivantes :

- le patrimoine des collectivités locales et l'éclairage public ;
- le tertiaire public : administrations, hôpitaux, établissements d'enseignement ;
- le tertiaire privé : bureaux, commerces, hôtels.

Si les solutions techniques ne sont pas très différentes de ce que l'on a vu dans le résidentiel, c'est la démarche de promotion et d'incitation qui doit être précisée. Elle se rapproche en effet plus de ce qui est engagé dans le secteur de l'industrie que des solutions et mesures applicables au secteur résidentiel.

#### Les collectivités locales

##### *Équipe locale et conseil énergie intercommunal*

Pour ce qui concerne l'éclairage public et le patrimoine de la commune, il est important que les services techniques de la commune se dotent d'une équipe locale intégrée à la municipalité ou distincte de celle-ci. Dans le cas des petites communes, et en particulier des communes rurales, un « conseil énergie intercommunal » est une formule très intéressante et relativement peu coûteuse qui a été mise en œuvre dans plusieurs régions françaises, et dont l'expérience pourrait être utilisée.

La question des communes rurales doit être abordée de façon globale, à la fois du point de vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie (bâtiments, machinisme agricole), mais aussi du développement des énergies renouvelables locales telles que le bois énergie dans certaines régions et le solaire sur l'ensemble du territoire (architecture bioclimatique, solaire thermique, solaire photovoltaïque en site isolé).

#### Les entreprises et établissements du secteur tertiaire

##### *Élaboration et réalisation de programmes d'action par sous-secteur*

Les sous-secteurs du secteur tertiaire présentent des spécificités telles qu'il est nécessaire d'assurer la promotion de l'efficacité énergétique de façon personnalisée, adaptée à ces spécificités.

En concertation avec un sous-secteur, on peut envisager deux types de projets : des projets spécifiques par établissement, ou des projets horizontaux pour un ensemble d'établissements.

La réalisation d'un audit énergétique dans un établissement tertiaire doit être l'occasion du renforcement des capacités de son service technique ; des sessions de formation des personnels peuvent ainsi être organisées à cette occasion.

Lorsqu'un sous-secteur ou un ensemble d'établissements à l'intérieur d'un sous-secteur est suffisamment homogène, il est facile d'identifier des opérations d'utilisation rationnelle de l'énergie communes à tous les établissements de cet ensemble. C'est particulièrement le cas pour des équipements performants concernant l'éclairage, les appareils de froid, voire certains appareils audiovisuels ou informatiques (postes de télévision, ordinateurs, etc.). On peut alors envisager des démarches d'achats groupés qui permettent de réduire les coûts, ou même des opérations de procurement, c'est-à-dire d'appel d'offres, dans le cadre desquels sont imposés aux soumissionnaires des niveaux de performance énergétique minimaux pour les équipements à fournir. Ces projets doivent pouvoir bénéficier des aides à l'investissement.

### *Incitation et soutien aux investissements*

Le passage de l'intention à la réalisation du projet d'utilisation rationnelle de l'énergie, à la suite d'un audit ou d'une concertation sectorielle, dépend essentiellement de la capacité de financement de l'établissement (et des règles administratives dans le cas du tertiaire public).

L'intervention des établissements de services énergétiques (ESCO), qui investissent à la place de l'établissement consommateur d'énergie, est particulièrement intéressante dans le secteur tertiaire car celui-ci n'a en général ni la compétence technique (alors que l'industrie la possède en général), ni la capacité d'investissement pour réaliser des investissements d'utilisation rationnelle de l'énergie (ou de substitution d'énergie), même lorsque ceux-ci sont très rentables. Une opération de ce type serait tout à fait intéressante dans les hôpitaux qui pourraient rembourser l'investissement initial sur les économies réalisées sur le budget de fonctionnement, grâce aux économies d'énergie résultant de cet investissement.

## 2.2. Composantes et cadre d'un programme de réhabilitation énergétique des bâtiments

La rénovation énergétique des bâtiments s'adresse essentiellement aux consommations d'énergie liées au confort thermique, et par conséquent au chauffage ou au rafraîchissement de l'atmosphère intérieure des bâtiments. Elle concerne au premier chef la qualité de l'enveloppe du bâtiment (parois et ouvertures), sa conception architecturale et son orientation (maîtrise des apports solaires notamment). De façon habituelle, et du fait des conventions de la réglementation thermique du bâtiment, la rénovation énergétique concerne cinq usages : chauffage, climatisation, ventilation, eau chaude sanitaire et éclairage. En outre, la consommation d'énergie dans un bâtiment comprend également celle des appareils et équipements dédiés à d'autres usages, et tout

particulièrement des appareils électriques domestiques ou professionnels. Il sera donc important, dans un souci d'efficacité énergétique qui doit porter sur la consommation totale d'énergie dans le bâtiment, d'accompagner un programme de rénovation thermique de politiques et de mesures portant sur l'efficacité énergétique de ces appareils.

Une opération de rénovation thermique d'un bâtiment est constituée de trois types de composantes :

- techniques (conception, matériaux, équipements, etc.) ;
- économiques (coûts, bénéfices, impacts énergétiques, sociaux, environnementaux) ;
- financières (incitations et mécanismes financiers pour l'investissement).

La réalisation d'un programme de réhabilitation à grande échelle des bâtiments existants implique évidemment la mise en œuvre de ces composantes, mais ne sera rendue possible que si un cadre organisationnel et institutionnel de mobilisation des partenaires est mis en place, prenant en compte les responsabilités respectives de l'État et du marché.

### 2.2.1. Outils et interventions techniques

Les interventions techniques portent sur l'isolation des parois, l'amélioration des ouvertures, le système de chauffage, la climatisation, le système de production d'eau chaude, la ventilation et la régulation. Elles se traduisent concrètement par ces différents types d'action :

- isolation des toitures et des murs extérieurs : choix de la technique (isolation externe, isolation interne, isolation incluse dans les matériaux de structure) ;
- remplacement des portes et des fenêtres, installation de stores ou de volets ;
- amélioration ou remplacement du système de chauffage (chaudière, produit énergétique utilisé) ;
- amélioration ou remplacement du système de ventilation ;
- amélioration ou remplacement du système de climatisation (appareil, vecteur énergétique) ;
- amélioration ou remplacement du système de production d'eau chaude sanitaire (ex : installation de chauffe-eau solaires) ;
- installation ou optimisation du système de régulation pour le chauffage, la ventilation et la climatisation.

Ces améliorations techniques doivent être impérativement accompagnées d'une organisation très stricte de la maintenance, à défaut de laquelle les gains acquis grâce à la rénovation risquent de se dégrader rapidement faute d'entretien, de surveillance et de réglage des équipements et des systèmes mis en place. Une attention particulière devra être accordée au comportement des usagers occupant le bâtiment : choix de la température de confort (d'hiver comme d'été), surveillance de l'éclairage, mise en veille ou arrêt des appareils, etc.

### *2.2.2. Économie des projets et des programmes et évaluation des impacts*

Les coûts des actions et des mesures d'efficacité énergétique présentent un large éventail, depuis des valeurs nulles ou faibles (comportement des usagers, modification de la température de confort, qualité de l'entretien et de la maintenance, pose d'occultations sur les fenêtres, etc.), jusqu'à des valeurs élevées pour les modifications techniques lourdes (isolation des toitures et des parois, changement de chaudière, etc.). Même lorsque le coût de l'action est faible, tout ce qui concerne les comportements et la maintenance réclame des efforts d'information, de formation et d'expertise : le besoin de moyens humains qualifiés, et donc, des ressources correspondantes, doit être pris en compte dans la conception d'un programme de rénovation.

La plupart des actions significatives, en termes de potentiel d'économies d'énergie, impliquent des investissements. La première évaluation de leur intérêt économique se fait en comparant le montant de l'investissement à celui de la dépense énergétique évitée chaque année, une fois la rénovation faite. Cette évaluation se fait au niveau du consommateur (en général le propriétaire du bâtiment) sur la base du prix du produit énergétique économisé. On calcule ainsi le « temps de retour de l'investissement » qui permet d'apprécier l'intérêt, pour le consommateur, d'effectuer l'opération. Notons que celui-ci ne se limite pas à l'économie d'énergie : la rénovation thermique du bâtiment s'inscrit en général dans une rénovation plus globale qui entraîne une augmentation de la valeur du bâtiment. Dans les pays « développés », c'est d'ailleurs cette augmentation qui constitue la principale incitation pour réaliser des travaux, avant le temps de retour basé sur le simple calcul des économies de charge, car ce dernier est en général élevé, du fait du coût de la main-d'œuvre.

Au-delà de l'intérêt économique direct pour le consommateur, il est essentiel d'évaluer les impacts de ces actions de façon plus globale et sous différents aspects :

- économies d'énergie globales associées à un programme de rénovation ;
- gains pour la collectivité (au niveau de la ville, de la province ou de l'État), en termes d'économies sur les importations d'énergie et sur l'investissement

dans des productions d'énergie supplémentaires (notamment les investissements pour la construction des centrales électriques) ;

- gains en termes sociaux : augmentation du confort et de la qualité de vie ou de travail, création d'activités et création d'emplois ;
- gains en termes environnementaux : réduction des pollutions locales (de certains systèmes de chauffage) et des émissions de gaz à effet de serre.

Ce sont ces calculs d'impacts qui permettent de montrer que, si chaque projet individuel de rénovation ne représente qu'un enjeu d'économie d'énergie réduit, la multiplication par le nombre des bâtiments susceptibles d'être rénovés représente des enjeux considérables.

L'évaluation des impacts globaux est fondamentale pour apporter des éléments chiffrés aux décideurs économiques et politiques afin qu'ils apprécient l'importance d'un programme de rénovation des bâtiments à grande échelle, en termes de croissance économique, de bénéfices sociaux et d'amélioration de l'environnement. Elle constitue l'élément indispensable de la prise de décision.

### 2.2.3. *Incitations et mécanismes financiers*

On sait par expérience que, même si un projet de rénovation thermique d'un bâtiment est intéressant sur le plan économique, il ne se réalise pas « spontanément » pour un certain nombre de raisons qui peuvent être classées schématiquement en deux catégories :

- un manque d'information et de promotion et, corrélativement, la faiblesse des acteurs professionnels capables de réaliser ce projet dans des conditions techniques et économiques optimales ;
- les difficultés, pour le maître d'ouvrage, à mobiliser les fonds nécessaires pour financer le projet.

Il est d'une importance stratégique d'apporter des solutions à ces deux problèmes si l'on veut développer des programmes de rénovation à grande échelle. Cela signifie qu'il faut mettre en place des systèmes d'incitation et/ou des mécanismes financiers qui facilitent l'investissement initial (sur la base de l'évaluation économique et des impacts globaux attendus) et, parallèlement, créer un cadre favorable pour cet investissement en termes de réglementations, expertise, capacités techniques, accès facile aux techniques et équipements performants, etc.

#### *2.2.4. Une activité transversale et de nouveaux acteurs : concertation et partenariat*

La rénovation énergétique des bâtiments est une entreprise qui réunit toutes les caractéristiques, les difficultés mais aussi les avantages des actions d'efficacité énergétique au niveau de la demande. En effet, par rapport aux actions sur « l'offre d'énergie » (généralement mises en œuvre par de grands opérateurs énergétiques aux moyens techniques et financiers puissants), l'efficacité énergétique dans les bâtiments existants s'adresse à une multitude de consommateurs et d'intervenants ou de partenaires : administrations, concepteurs (architectes, bureaux d'études), occupants, entreprises aux divers corps de métiers (matériaux, construction, chauffage, climatisation, etc.), fournisseurs d'équipements, banques et autres organismes financiers.

Dans la nouvelle politique énergétique chinoise, qui donne autant d'importance au « côté de la demande » qu'au « côté de l'offre », de nouveaux acteurs apparaissent, en général peu familiers des questions énergétiques mais ayant un rôle essentiel à jouer dans l'ensemble de la chaîne des opérations. Il est donc capital que la conception des programmes se fasse en concertation avec les décideurs des grands secteurs d'activités : responsables gouvernementaux et administratifs, entreprises des secteurs de l'industrie et du tertiaire, constructeurs de bâtiments et promoteurs immobiliers, importateurs et vendeurs d'équipements, collectivités locales et associations de consommateurs, organismes financiers publics et privés, etc.

Concertation et partenariat sont ainsi indispensables à l'élaboration des programmes, à la détermination des moyens de leur mise en œuvre et à leur réalisation. Le rôle et la responsabilité des pouvoirs publics sont de créer le dispositif et les moyens qui permettent que l'efficacité énergétique soit partie intégrante de toutes les activités de ces acteurs et agents économiques.

#### *2.2.5. La puissance publique et le marché*

Le marché ne peut, seul, tenir compte des préoccupations de long terme (changement climatique, épuisement des ressources), ni de toutes les externalités environnementales ou sociales liées à la consommation et à la production d'énergie, et qui s'exercent hors du marché. Seule une vision à long terme de l'objectif de développement durable, sous la responsabilité de l'État ou des collectivités territoriales, permet d'orienter les stratégies énergétiques des acteurs du marché selon l'intérêt général de la communauté nationale et internationale. À cet égard, rappelons que les engagements internationaux liés, par exemple, à la lutte contre le changement climatique engagent la responsabilité des États.

Par ailleurs, et cela est particulièrement vrai dans les pays émergents et en développement, la consommation future d'énergie sera très directement fonction du développement des infrastructures et des choix effectués dans les secteurs économiques qui ne relèvent pas de l'énergie (le bâtiment, les transports, l'industrie). Les décisions d'orientations de ces secteurs et les investissements correspondants seront donc décisifs pour une maîtrise des consommations d'énergie à long terme. Or, l'expérience acquise depuis les années 1980 montre que les modifications de comportement et les décisions d'investissement d'un très grand nombre d'acteurs, ainsi que les décisions de caractère national sur les grandes infrastructures (transports, logements), ne se font pas spontanément, par le jeu du marché, dans le sens d'une plus grande efficacité, même lorsque les prix de l'énergie en reflètent correctement les coûts. C'est pourquoi l'intervention publique est indispensable pour assurer l'intérêt à long terme de la collectivité, défendre les droits des consommateurs et assurer la protection et l'amélioration de l'environnement.

La question institutionnelle – c'est à dire la façon dont la puissance publique, au niveau national comme au niveau provincial, jouera ce rôle de promoteur, d'animateur et de coordinateur du réseau des partenaires – est absolument cruciale pour la réussite de programmes à grande échelle.

### 2.3. Principes méthodologiques du programme de recherche : une approche globale et partenariale

Le programme de recherche commun entrepris sous la double responsabilité de la province du Hubei et de l'AFD a été guidé par la prise de conscience d'une convergence d'intérêts entre les deux parties et par la nécessité d'une approche globale susceptible de surmonter les différentes contraintes énumérées *supra*. La province du Hubei, située au Sud-est de la Chine, forte d'environ 60 millions d'habitants, a pour capitale Wuhan, ville de près de 9 millions d'habitants, figurant parmi les dix principales villes du pays. Le programme de recherche s'est appuyé exclusivement sur l'exemple des bâtiments de cette ville, mais sa méthodologie peut être appliquée à l'ensemble de la province, et au-delà.

Les principes et l'organisation du programme de recherche ont été établis conjointement par les équipes de responsables administratifs et d'experts, constituées sous l'autorité de chacun des partenaires, le département de la Construction de la province du Hubei et le département de la Recherche de l'AFD. L'association d'une équipe d'experts, de responsables et d'équipes de l'administration de la province, et

d'équipes universitaires a permis d'élaborer un travail de recherche appliquée, conscient des enjeux globaux et, en même temps, de l'exigence de qualité des réalisations concrètes.

### 2.3.1. *Un intérêt commun*

Que l'on soit en Chine, en Californie, en France, en Inde, en Indonésie ou en Afrique du Sud... partout dans le monde, dans un pays riche ou pauvre, exportateur ou importateur d'énergie, chacun a intérêt à accroître l'efficacité énergétique de son économie. En effet, chacun a l'obligation d'assurer en même temps, aux niveaux local, provincial et national, le développement économique et social, la sécurité énergétique, la protection ou l'amélioration de l'environnement local et global. Ces obligations sous contrainte forte – des ressources, des prix, des besoins de la population – convergent vers la nécessité absolue de l'efficacité énergétique dans tous les secteurs : transports, industrie et surtout bâtiments, qui deviennent le premier secteur consommateur d'énergie (et tout particulièrement d'électricité). L'efficacité énergétique est donc une réponse prioritaire à la convergence des obligations de développement et des contraintes énergétiques et environnementales. Cette convergence d'intérêts est donc un facteur puissant de coopération internationale, ce qui s'est traduit dans la qualité du travail que les équipes de ce programme de recherche ont effectué en commun. Rappelons enfin que cette convergence se retrouve à différents niveaux : gouvernement national, provincial ou municipal, consommateurs individuels, entreprises, universités, organismes financiers, etc.

### 2.3.2. *Complémentarité et articulation des compétences et des moyens d'action*

Sur le plan de la recherche, compte tenu des très nombreux éléments en jeu, la tentation est grande – et c'est ce qui se passe en général – de traiter chaque question séparément et en série, et de rassembler en fin de parcours les résultats obtenus. Ainsi, les ingénieurs s'occupent des questions techniques, les économistes évaluent les coûts, puis viennent les questions institutionnelles, organisationnelles et, enfin, les questions financières.

La complémentarité qui a présidé au déroulement du programme de recherche a justement été de faire en sorte – ou plutôt d'agir au maximum dans ce but – que les différents groupes d'expertise travaillent en parallèle, que leurs avancées et leurs résultats à chaque étape interagissent, et que les points de vue et les choix des uns et des autres soient entendus et pris en compte à chaque étape. Nous avons ainsi cherché à éviter le schéma classique dans lequel (i) le technicien désigne, seul, la meilleure

solution ; (ii) le dialogue interdisciplinaire révèle un manque de financement pour l'application de ladite solution ; et (iii) le critère financier ou une décision politique obligent de revoir les choix opérés.

Un projet d'efficacité énergétique peut être techniquement réalisable et économiquement intéressant, répondre aux contraintes énergétiques et environnementales..., en d'autres termes : avoir tout pour plaire. Pourtant, il ne se réalisera pas si les conditions organisationnelles et financières ne sont pas remplies. C'est un processus compliqué, dans lequel on remplace la richesse en matières premières énergétiques par l'intelligence, l'imagination, l'organisation, l'innovation technique et financière. Pour autant, ces éléments constituent toute la richesse et la supériorité de l'efficacité énergétique comme instrument privilégié du développement durable. Pour mener à bien ce processus, la complémentarité et l'interaction des disciplines sont indispensables.

Nous l'avons compris, c'est un domaine où les moyens d'action sont complémentaires, et où il faut « jouer » avec tout un ensemble d'instruments. La réussite d'un programme ne va pas dépendre d'une « solution unique » mais d'un ensemble cohérent et équilibré de volonté politique, de législation et de réglementations, d'information et de formation, d'organisation du partenariat, d'incitations financières et de la mise en œuvre de mécanismes financiers spécifiques. Il faut savoir « mettre de l'huile dans les rouages », c'est-à-dire organiser, impulser et faire fonctionner la complémentarité de façon harmonieuse. C'est souvent cette nécessité qui est le plus souvent oubliée, comme si toutes ces actions se mettaient en place toutes seules. Ce n'est pourtant pas le cas : il faut quelqu'un pour le faire. On ne peut, en effet, pas se contenter de dire que tout vient du gouvernement et que, à partir de là, tout le monde doit suivre. Cela ne marche pas. Mais on ne peut pas non plus considérer que tout vient du marché et que celui-ci, par quelque opération mystérieuse, résoudra tout. On aboutit aussi à des situations désastreuses.

La clef est bien dans l'articulation des différentes activités et disciplines, de leurs interactions, et des différentes formes de pouvoirs et lieux de décisions : pouvoir politique (au niveau du gouvernement et des autorités régionales et locales), pouvoir industriel (entreprises de construction, de matériaux et d'équipements), pouvoir de la recherche et de l'expertise (universités, bureaux d'études, sociétés de services énergétiques), pouvoir financier (budget public, banques, fonds d'investissement, ESCO, etc.). À chaque occasion, pour chaque projet ou programme, c'est bien la combinaison et l'harmonisation de la compétence de chacun qui seront le gage de la qualité du travail. L'articulation des différentes responsabilités (et l'assurance que chacune soit correctement assumée) est la clef de la réussite.

### 2.3.3. Diversité des situations et des réponses

Selon le type de bâtiment, la nature du propriétaire, les activités qui y sont développées, les réponses en termes de programme d'efficacité énergétique seront différentes. Le même bâtiment, selon qu'il s'agit d'un immeuble de bureaux, d'un hôpital, d'un grand magasin, ou qu'il abrite des logements, a des besoins énergétiques et des modes d'utilisation de l'énergie différents. Si les réponses techniques peuvent être les mêmes (dans des proportions variables), les réponses financières seront presque toujours particulières. Dans un cas, pour un bâtiment prestigieux ou emblématique, le budget public assurera directement le financement nécessaire pour en faire un bâtiment exemplaire économe en énergie (une « vitrine ») ou une opération pilote. Dans la plupart des cas, cependant, il faudra rechercher la meilleure solution : prêt bonifié, intervention d'une compagnie de services énergétiques, etc. Aborder ces questions nécessite d'avoir l'esprit ouvert et ne pas se dire *a priori* « voilà la solution » : il y a trois, quatre solutions possibles.

La diversité se manifeste également au niveau du pouvoir et de la prise de décision. La question sous-jacente à toutes les discussions sur ce thème est celle de l'équilibre entre le gouvernement et le marché, et la répartition de la diversité des tâches et des responsabilités. Si le gouvernement a clairement la responsabilité de la législation et de la réglementation, il ne peut se contenter de faire et d'appliquer la loi. En effet, il doit également en assurer l'information et en faciliter l'application : mise en place d'un cadre spécifique, création de réglementations thermiques et portant sur l'efficacité des équipements et appareils, mise en place des moyens d'information, de formation et d'incitation pour que les architectes, les bureaux d'études, les entreprises, puissent construire, rénover et équiper des bâtiments économes en énergie. La puissance publique n'a pas, sauf sur son propre patrimoine, la responsabilité directe de « faire les choses », mais elle a la responsabilité de créer les conditions pour que « les choses se fassent ». De façon symétrique et complémentaire, les acteurs du marché doivent de leur côté s'organiser et acquérir les compétences, afin d'être capables de répondre à l'intérêt collectif. On ne peut pas dire « moi je suis le privé, je fais ce que je veux » et demander le lendemain une subvention ou une législation favorable. Il est indispensable de comprendre cette diversité afin de la mettre au service de la collectivité.

### 2.3.4. Une démarche interactive, itérative et continue

La démarche du programme de recherche ne se limite pas à effectuer, une fois pour toutes, un ensemble de tâches se déroulant suivant des phases bien précises et aboutissant, en fin de parcours, à un ou des résultats considérés comme définitifs. La démarche appliquée est interactive, itérative et continue :

- **interactive** car les résultats de l'une ou de l'autre phase, ou tâche, entraînent des modifications dans les autres et que, sur la plupart des trajets entre l'une ou l'autre, on doit tenir compte du trajet inverse (par exemple, l'influence du calcul des impacts énergétique sur le choix des bâtiments dont l'investigation sera poursuivie ou approfondie) ;
- **itérative** car, dans la pratique, le processus d'élaboration des propositions sur les moyens à mettre en œuvre recommence lorsque l'ensemble des questions a été étudié. L'évaluation des impacts et les propositions de mécanismes financiers, ainsi que les moyens disponibles, influenceront en partie les choix techniques et l'ampleur des opérations de rénovation, chaque niveau de rénovation apportant une économie d'énergie plus importante, mais à des coûts croissants qui ne pourront pas toujours être assumés. Par ailleurs, le travail en partenariat avec les différents acteurs permet de mieux comprendre les attentes des consommateurs et le rôle des acteurs, et entraîne par conséquent une formulation plus précise et mieux ciblée de la programmation de l'action ;
- **continue** car le travail de pilotage et d'animation effectué durant la phase de recherche et d'élaboration des programmes devra être poursuivi pendant les phases de réalisation, non seulement pour assurer la bonne marche du « chantier », mais aussi pour en tirer des enseignements qui permettront de modifier ou d'améliorer les méthodes et les instruments de la rénovation énergétique des bâtiments.

## 2.4. Organisation du programme de recherche

La traduction des principes méthodologiques exposés *supra* en termes d'organisation du programme de recherche a conduit à structurer le travail des équipes d'une façon originale et innovante (par rapport aux pratiques traditionnelles de ce genre de programme).

En effet, les travaux menés dans ce domaine sont en général organisés « en série », comme une suite logique de sous-programmes : étude des solutions techniques (allant jusqu'à la réalisation de projets pilotes), travaux statistiques ou d'enquêtes pour la connaissance des consommations d'énergie, mise au point ou utilisation de modèles de simulation des consommations d'énergie, calculs économiques et évaluation des enjeux. Une fois ces étapes terminées, ce qui requiert un certain temps, sont alors abordés le cadre politique et réglementaire du secteur, la recherche de partenariats, et les questions cruciales que sont l'investissement et les moyens financiers.

L'organisation du travail mise en place dans ce programme s'est basée, au contraire, sur des travaux « en parallèle » permettant justement, dès le début, de prendre conscience de l'importance des questions institutionnelles et financières et d'essayer de les traiter en lien avec le développement des autres composantes. Une telle organisation permet, d'une part, de gagner du temps, de faire découvrir aux techniciens et même aux économistes l'importance de ces problèmes dès le début de la recherche et, d'autre part, d'orienter éventuellement les choix techniques et économiques en fonction des réalités et des contraintes institutionnelles et financières.

### 2.4.1. *Structure du travail de recherche des équipes*

Les équipes de recherche ont été organisées en trois groupes de travail (GT) A, B et C, chacun étant responsable d'une composante majeure de la recherche sur la rénovation énergétique des bâtiments :

- GT A : analyse technique et économique ;
- GT B : questions institutionnelles et organisationnelles ;
- GT C : financement des investissements.

Les travaux de chaque groupe de travail ont été subdivisés en différentes activités (A1, A2, B1, B2, C1, C2, etc.). Le tableau 4 indique les différentes activités assignées à chacun des groupes de travail.

**Tableau 4** Répartition des activités par groupe de travail (GT)

GT A Analyse technique et économique	GT B Questions institutionnelles et organisationnelles	GT C Financement des investissements
<b>A1</b> Typologie des bâtiments existants	<b>B1</b> Organisation du secteur des bâtiments et gestion de l'énergie dans les bâtiments	<b>C1</b> Dialogue et échanges avec les institutions financières
<b>A2</b> Consommations d'énergie dans les bâtiments	<b>B2</b> Système de fourniture d'énergie et prix de l'énergie	<b>C2</b> Analyse du marché de la construction et de la rénovation des bâtiments
<b>A3</b> Outils de calcul des consommations d'énergie	<b>B3</b> Cadre institutionnel de l'efficacité énergétique et de la rénovation des bâtiments	<b>C3</b> Analyse des pratiques de financement dans le secteur des bâtiments
<b>A4</b> Actions et mesures d'efficacité énergétique dans les bâtiments	<b>B4</b> Législation, réglementation et système fiscal relatifs aux bâtiments et à l'efficacité énergétique	<b>C4</b> L'expérience chinoise et étrangère et la coopération internationale pour l'efficacité énergétique dans les bâtiments
<b>A5</b> Impacts des programmes de rénovation énergétique des bâtiments		<b>C5</b> Nouveaux mécanismes financiers

Source : les auteurs.

Les différentes tâches et l'évolution de leur exécution seront détaillées dans les chapitres suivants.

### 2.4.2. La constitution des groupes de travail

La partie chinoise, dirigée par la commission de la Construction de la province du Hubei, a mis en place une équipe d'une trentaine de personnes, composée d'experts de la commission et d'ingénieurs, issue du Bureau des économies d'énergie dans le bâtiment de la ville de Wuhan, le Bureau de gestion immobilière de la ville, de chercheurs

**Tableau 5** Exemples de tâches dans les activités des trois groupes de travail (GT)

<b>A1</b> <b>Typologie des bâtiments existants</b>	<b>B3</b> <b>Le cadre institutionnel de l'efficacité énergétique et de la rénovation des bâtiments</b>	<b>C3</b> <b>Nouveaux mécanismes financiers</b>
<b>A11</b> Catégories de bâtiments et caractéristiques de base	<b>B31</b> Organisation des acteurs de la rénovation des bâtiments	<b>C51</b> Les sources et mécanismes financiers existants. Identification des améliorations ou créations nécessaires.
<b>A12</b> Consommations d'énergie dans les sous catégories de bâtiments du secteur tertiaire	<b>B32</b> Organisation et moyens pour la promotion de l'efficacité énergétique	<b>C52</b> Intérêt et faisabilité d'un Fonds pour la rénovation énergétique des bâtiments
<b>A13</b> Données économiques et de gestion pour une sélection de bâtiments	<b>B33</b> Propositions pour l'organisation et le soutien du secteur de la rénovation des bâtiments	<b>C53</b> Étude des conditions du partenariat public-privé
<b>A14</b> Collecte de toutes les données nécessaires pour un plan d'action d'efficacité énergétique dans ces bâtiments	<b>B34</b> Propositions pour l'amélioration de l'organisation et des moyens de l'efficacité énergétique	<b>C54</b> Formalisation des propositions concernant de nouveaux mécanismes financiers.

Source : les auteurs.

issus de l'université des sciences et technologies de Huazhong (école d'administration publique et école d'architecture et d'urbanisme), et d'économistes et de financiers issus de la *Zhaoshang Bank* et de la *Mingsheng Bank*.

Plus particulièrement, la coordination du programme était assurée :

- pour la partie chinoise, par la commission de la Construction de la province du Hubei (Mme Xiao Qun Liang, Bureau du design et des technologies), l'université des sciences et technologies de Huazhong (école d'administration publique), le Bureau des économies d'énergie de Wuhan et le Bureau de gestion immobilière de la ville ;

- pour la partie française, par l'Agence Française de Développement (M. Nils Devernois) et l'équipe d'experts placés sous son autorité, avec la collaboration de M. LiuYazhong.

Le groupe A – Analyse technique et économique – coordonné par le bureau d'étude français TERA0 (M. Michel Raoust depuis la France et M. Aymeric Novel depuis la Chine), était constitué de membres du département des Sciences et Technologies du comité d'architecture de Wuhan, de l'école d'architecture et d'urbanisme, de l'université des sciences et technologies de Huazhong, du Bureau des économies d'énergie de Wuhan, de l'Institut d'architecture et de design, et de l'Institut de la construction et du design de Zhongnan.

Le groupe B – Questions institutionnelles et organisationnelles –, coordonné par un consultant indépendant (M. Bernard Laponche), était constitué de l'école d'administration publique de l'université des sciences et technologies de Huazhong et du Bureau de gestion immobilière de la ville de Wuhan.

Le groupe C – Financements des investissements – coordonné par le bureau d'étude français ICE (M. José Lopez), était constitué de l'école d'administration publique de l'université des sciences et technologies de Huazhong, la société d'investissement Wuhan Boshi (littéralement « énergie et environnement »), la *Mingsheng Bank* et la *Zhaoshang Bank*.

### 2.4.3. Les séminaires et réunions de coordination

Le programme de recherche a démarré au début du troisième trimestre 2006 avec la signature de l'accord cadre de partenariat, et s'est poursuivi jusqu'au quatrième trimestre 2009. Il a été scandé par des réunions régulières de coordination et de synthèse indispensables au bon déroulement de ce programme. Celles-ci se sont échelonnées sur la durée du programme, sur une base moyenne tri-annuelle, le plus souvent organisées à l'occasion de missions réalisées en Chine par tout ou partie de l'équipe d'experts français. Elles ont notamment permis :

- la conception et la réalisation conjointe de la méthodologie du programme, qui a fait l'objet d'un document détaillant l'inventaire des tâches élémentaires, ainsi que les recommandations pour les réaliser (document rédigé en anglais et en chinois) ;
- la mise en route du programme (octobre 2006), avec tout ce que cela comporte comme apprentissage et difficultés à faire travailler ensemble non seulement des équipes de disciplines et d'origines diverses (fonctionnaires, personnel académique, ingénieurs et techniciens, banquiers, etc.), mais également de cultures différentes ;

- la présentation et la coordination de l'avancement des travaux des trois groupes à différents stades d'avancement du projet ;
- la formation des membres de l'équipe<sup>[7]</sup> pour la réalisation du programme ;
- la formation à la réalisation d'audit énergétique (mission de P. Romanoz en décembre 2006) ;
- la formation à l'utilisation des modèles informatiques de simulation d'efficacité énergétique dans les bâtiments (Cabinet Terao – A. Novel, septembre 2008).

Par ailleurs, en novembre 2007, une mission de l'équipe chinoise est venue travailler avec l'équipe française et a pu, à cette occasion, visiter des exemples concrets réalisés en France, au Danemark et en Allemagne.

Outre ces échanges réguliers, trois ateliers ou séminaires principaux se sont tenus pendant le déroulement de ce programme :

- un atelier réunissant à Wuhan, les 22 et 23 mars 2008, près de 80 personnes, incluant des représentants de la ville ainsi que de différentes administrations de la province. Au cours de cet atelier, la partie chinoise a fait état de l'avancement de ses travaux, et la partie française a présenté les différents dispositifs existants en termes d'efficacité énergétique dans les bâtiments pour cinq pays du Nord<sup>[8]</sup> ;
- un séminaire de restitution des résultats de l'ensemble du programme s'est tenu à Wuhan les 12 et 13 mai 2009, sous l'égide du ministère du Logement et du Développement urbain et rural ; près de 200 personnes y ont assisté, dont les représentants concernés des principales villes de la région climatique du Yang-Tsé<sup>[9]</sup> ;
- le cercle franco-chinois « Efficacité énergétique dans les bâtiments » s'est réuni à Paris du 17 au 24 octobre 2009 ; il a permis d'échanger sur les diverses expériences (avec de hauts responsables chinois), d'identifier les points de blocages à lever, mais aussi de définir les orientations souhaitables pour favoriser la mise en place de politiques d'efficacité énergétiques à grande échelle.

---

[7] Ces formations ont été ouvertes à des membres extérieurs à l'équipe, confrontés à la nécessité de réaliser des audits et des simulations énergétiques.

[8] Comme précédemment évoqué, ce travail d'investigation et d'inventaire, souhaité par la partie chinoise, a été réalisé en partenariat avec l'AIE (cf. AFD et AIE, 2008) Et avec la participation de l'école polytechnique de Zurich (ETH), et du *Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung (ISI)*, basé à Karlsruhe (Allemagne).

[9] Les actes de ce séminaire ont été publiés en 2010 par l'AFD (cf. AFD, 2010). Une publication en chinois a également été réalisée par la partie chinoise à la même période.



# Troisième partie



# 3. Analyses et évaluations technico-économiques : vers un projet à grande échelle

## Préambule

Un projet de réhabilitation à grande échelle des bâtiments signifie que l'on applique des améliorations type sur un grand nombre de cibles. Ces améliorations doivent être réalisables dans les conditions actuelles du marché et permettre des économies substantielles d'énergie, ainsi que des réductions de frais d'exploitation. Il ne s'agit pas, du moins dans la phase de recherche, d'une approche projet par projet.

Il convient également de définir quelles sont les cibles adaptées à un programme à grande échelle. Dans notre programme, les recherches ont été orientées sur les bâtiments tertiaires (appelés « bâtiments publics » en Chine) plutôt que sur les logements. En Chine, le terme « bâtiment public » se réfère à tout ce qui n'est pas résidentiel. Il ne s'agit pas de la distinction public/privé, comme utilisée habituellement en France. Ce choix de cible est aisément compréhensible quand on en vient à considérer la question du financement d'un programme à grande échelle. En effet, dans l'état actuel des conditions de prêt et d'acceptation des risques par les banques, il faut limiter le nombre de propriétaires impliqués, potentiels emprunteurs, et donc regrouper sous un minimum d'entités le plus de bâtiments à réhabiliter. Les logements sont donc de mauvais candidats. Les bâtiments publics, en revanche, peuvent offrir la configuration adéquate. De plus, parmi ces derniers, les plus petits sont voués à être détruits et remplacés par des bâtiments plus élevés. Ce sont les raisons pour lesquelles les grands bâtiments publics ont été définis comme la cible adaptée à ce type de programme.

Afin de définir les améliorations optimales à apporter aux grands bâtiments publics existants, une démarche de caractérisation technico-économique est nécessaire selon le type d'usage, la taille du bâtiment, l'état de l'enveloppe et les systèmes électriques et de génie climatique initialement mis en place. En effet, toute démarche de réhabilitation, qu'elle soit locale (bâtiment isolé) ou plus globale (parc immobilier), se construit sur une connaissance précise de l'existant. En premier lieu, un diagnostic énergétique rigoureux doit être effectué sur le parc immobilier. Ensuite, une démarche

par « zooms » successifs permet d'affiner la connaissance sur les consommations énergétiques et les causes de l'inefficacité énergétique. Une fois ces causes mises en avant et classées par ordre d'importance sur la facture finale, un travail de calcul du gisement d'économie d'énergie est effectué pour pouvoir quantifier les impacts d'un tel programme. Le travail d'estimation du gisement et des coûts d'investissement associés doit se faire sur un échantillon représentatif de l'ensemble des bâtiments visé par la démarche. À partir de là, un travail d'extrapolation réaliste des résultats permet de situer les enjeux d'un programme de réhabilitation à grande échelle.

### 3.1. Description de la démarche

Tout comme pour l'élaboration de la méthodologie, la démarche adoptée est articulée en phases successives reflétant la logique exposée en introduction. Les principales phases ont été les suivantes :

- établissement de la typologie du parc immobilier ; celle-ci est composée de statistiques générales sur les surfaces construites, les consommations d'énergie finale, les produits de construction utilisés et les équipements couramment installés. À ce stade les données sont des ordres de grandeurs ;
- obtention de statistiques plus fines à partir d'enquêtes menées sur un échantillon plus réduit, d'environ 400 bâtiments représentatifs de la catégorie « grands bâtiments publics ». Les enquêtes, plus précises que des statistiques générales, permettent d'avoir plus d'informations sur les paramètres architecturaux, la diversité des équipements et les intervalles représentatifs de consommations d'énergie finale par type de bâtiment. À ce stade, les données permettent d'identifier les bâtiments les plus énergivores, et l'on peut commencer à faire des liens entre la consommation énergétique, l'usage du bâtiment et ses équipements ;
- parmi les bâtiments de l'échantillon précité, sélection de 20 à 30 bâtiments pour la mise en œuvre d'audits énergétiques complets, véritables diagnostics de la consommation (accord des propriétaires nécessaire). Ce type d'audit permet de connaître exactement les consommations du bâtiment concerné, mais aussi la répartition des consommations par usage. Ce profil des consommations est un résultat primordial car il permet de hiérarchiser les actions d'amélioration ;
- choix d'une méthode de calcul de l'estimation des économies d'énergie potentielles. En effet, une fois le diagnostic terminé, il faut pouvoir trier les solutions d'amélioration selon leur efficacité ; pour cela, il faut pouvoir calculer les économies d'énergie. Le choix d'un logiciel de simulation thermique dynamique doit être fait en fonction des capacités de l'outil et de sa facilité d'utilisation par les acteurs locaux ;

- estimation des économies d'énergie potentielles et des coûts d'investissement associés aux technologies employées. En se basant sur les résultats d'audit, effectuer un premier travail de simulation servant à retrouver, voire affiner, le diagnostic énergétique ; à partir de cette référence, calculer l'impact de différentes mesures comme la pose de l'isolation extérieure, intérieure, le remplacement des fenêtres, l'amélioration de la régulation, le remplacement d'un groupe froid, etc. Ce travail permet ensuite de déterminer l'efficacité de différentes combinaisons de techniques. En croisant ces résultats avec les données de coûts d'investissement, il est alors possible de déterminer les programmes adaptés à chaque type de bâtiment, générant suffisamment d'économies d'énergie tout en offrant un temps de retour brut sur investissement acceptable ;
- calcul des résultats pour des bâtiments représentatifs, ensuite soigneusement extrapolés, sous réserve de bien démontrer la similarité climatique et statistique de la zone d'extrapolation avec la zone d'étude.

## 3.2. Typologie et caractéristiques des bâtiments

La démarche exposée *supra* se déroule linéairement. En s'appuyant sur l'exemple du programme de recherche mené à Wuhan, nous illustrons son application. On pourra noter jusqu'à quel point la démarche théorique a pu être menée à bien et quels ont pu être les problèmes rencontrés.

### 3.2.1. Typologie du parc immobilier existant : structure globale du parc

Cette typologie porte sur de nombreux éléments. Elle définit tout d'abord les types de bâtiments composant le parc immobilier et donne quelques données de base.

La surface bâtie totale de la ville de Wuhan était de 182 735 500 m<sup>2</sup> en 2006. La surface des bâtiments publics (non résidentiels, *i.e.* bâtiments commerciaux, gouvernementaux et industriels) est de 74 814 700 m<sup>2</sup>, soit 41 % environ de la surface totale du parc immobilier. Depuis 2000, la surface annuelle construite voit sa proportion de bâtiments publics augmenter (passant de 29 % en 2000 à 39 % en 2006). La proportion de bâtiments publics du parc tend donc à augmenter par rapport aux logements.

Les sociétés immobilières construisent surtout des logements (85 % de leur surface construite annuelle), ensuite des bâtiments commerciaux.

Les bâtiments publics (74 814 700 m<sup>2</sup>) sont ainsi répartis :

- bâtiments administratifs : 6,9 % (5,152 millions m<sup>2</sup>) ;
- hôpitaux : 4,2 % (3,126 millions m<sup>2</sup>) ;

- hôtels étoilés : 2,3 % (1,741 million m<sup>2</sup>) ;
- bâtiments d'enseignement incluant les logements universitaires : 28,6 % (21,41 millions m<sup>2</sup>) ;
- bâtiments commerciaux et autres : 58 % (43,38 millions m<sup>2</sup>).

Les bâtiments construits avant 1980 sont souvent faits de murs de briques de 24 cm. Après 1980, la brique est remplacée par la brique creuse de 19 cm, brique silico-calcaire ou schisteuse et par les blocs silicatés. Ces nouveaux matériaux prennent en compte un certain taux de recyclage, mais pas la performance énergétique. Les simples vitrages clairs de 3-5 mm d'épaisseur sont encore les modèles les plus répandus dans l'existant. La plupart des toitures ne sont pas isolées.

En ce qui concerne le parc immobilier public, les données sur la répartition des surfaces sont incomplètes. Les données sur les produits de construction, l'âge et les équipements des bâtiments ne sont pas répertoriées.

### 3.2.2. Echantillon concerné par les enquêtes

Pour déterminer une typologie plus précise, un recensement de 389 bâtiments a été effectué. La surface concernée est de 3 963 497 m<sup>2</sup> (soit environ 5 % de la surface du parc immobilier public). Parmi ces bâtiments, 47 % sont des bâtiments administratifs de plus de 3 000 m<sup>2</sup> et 13,4 % sont des grands bâtiments publics de plus de 20 000 m<sup>2</sup>. Ce premier recensement a permis de cadrer les intervalles de consommation par type de bâtiment. Parmi ces 389 bâtiments, 106 ont été vérifiés de façon détaillée et 23 ont fait l'objet d'un audit énergétique.

Cette progression dans la précision des données illustre un point crucial de cette approche : la collecte et la fiabilité des informations. L'absence de données fiables vient d'un manque de mesures des consommations ainsi que de gens compétents pour le suivi en phase exploitation des bâtiments.

**Tableau 6** Classement des bâtiments recensés par âge, système constructif et mode de climatisation (Wuhan...)

Années de construction				Structure				Mode de climatisation		
Années 1970	Années 1980	Années 1990	Après 2000	Brique-béton	Poteau poutre	Cadre-mur de cisaillement	Charpente en acier	Individuelle	Centrale	Autres
21	64	162	130	143	202	3	3	268	116	5
5,4 %	16,5 %	41,6 %	33,4 %	36,8 %	51,9 %	0,8 %	0,8 %	68,9 %	29,8 %	1,3 %

Source : Bureau des statistiques de la province du Hubei.

On note une majorité de bâtiments avec climatiseurs individuels (69 %) et une grande proportion de bâtiments récents (75 % après 1990). Ces bâtiments sont pour la plupart non isolés. Le combustible de base est l'électricité, le gaz naturel ou le gaz naturel liquéfié.

Parmi les 106 bâtiments vérifiés, 5 ont été écartés à cause de valeurs de consommation énergétique erronées. En tout, les données de 101 bâtiments se sont avérées exploitables : 51 bâtiments administratifs et 50 grands bâtiments publics. Les tableaux 7 et 8 classent ces bâtiments en fonction de leurs équipements de chauffage, ventilation et climatisation (CVC).

**Tableau 7** Équipements CVC des bâtiments administratifs

Climatisation individuelle	Pompe à chaleur air/air	Groupe froid + chaudière	LiBr* + chaudière à fioul	Climatisation individuelle + pompe à chaleur air/air
56 %	14 %	20 %	2 %	8 %

\* Bromure de Lithium : substance généralement employée dans les machines frigorifiques à absorption (désignés, par extension par LiBr).

Source : Bureau des statistiques de la province du Hubei.

**Tableau 8** Équipements CVC des bâtiments publics

Groupe froid + chaudière	Climatisation individuelle	Climatisation individuelle + pompe à chaleur air/air	Climatisation individuelle, groupe froid + chaudière	Groupe froid
68 %	2 %	2 %	4 %	8 %

Climatisation multisplits + individuelle	Stockage de froid + chaudière	Pompe à chaleur air/air	Groupe froid + stockage de froid	Groupe LiBr
2 %	2 %	4 %	4 %	4 %

Source : Bureau des statistiques de la province du Hubei.

La plupart des bâtiments administratifs fonctionnent avec des climatisations individuelles (systèmes décentralisés). La majorité des bâtiments publics, quant à eux, fonctionnent avec groupe froid et chaudière (système centralisé). Les terminaux sont principalement des ventilo-convecteurs ou des systèmes tout air (volume d'air variable, VAV). Tous les types d'éclairage sont rencontrés (T5, T8, incandescent, iodure-tungstène). Les données statistiques sur les 389 bâtiments recensés sont assez complètes et décrivent bien les principales caractéristiques.

### 3.2.3. Conclusions sur la collecte de données caractéristiques de l'architecture et des systèmes du parc immobilier

On constate que les statistiques relatives aux surfaces construites sont assez incomplètes à l'échelle du parc immobilier de la ville. Néanmoins, un tableau utile de la répartition approximative des surfaces peut être dressé :

- les logements représentent une proportion considérable : 60 % de la surface bâtie ; il reste donc beaucoup à faire pour pouvoir rénover la totalité du parc (problème de la multiplicité des propriétaires) ;
- parmi les bâtiments publics, près de 60 % de la surface appartient à la catégorie « bâtiments commerciaux », qui appartiennent certainement à des propriétaires majoritairement privés. Cependant, dans un pays comme la Chine, il est probable que le candidat le plus approprié pour un programme pilote soit gouvernemental.

Les seules statistiques de surface permettent de voir émerger déjà des contraintes non négligeables à l'exploitation complète du potentiel d'économie d'énergie par réhabilitation du parc immobilier existant.

Pour se faire une idée des produits de construction et des systèmes CVC installés dans l'existant, il n'y a pas d'autres moyens que de sélectionner un échantillon suffisamment grand pour en déduire des tendances. Nous avons ainsi pu faire les constats suivants :

- la plupart des bâtiments candidats à la démarche de réhabilitation à grande échelle étaient paradoxalement des bâtiments relativement jeunes (construits après 1990, voire 2000). Cependant, en Chine, une durée de dix ans n'est pas inhabituelle pour la durée de vie de beaucoup d'équipements ;
- une tendance claire s'affiche pour les systèmes installés : les bâtiments gouvernementaux tendent à être équipés de climatisations individuelles, alors que les autres bâtiments disposent plutôt de systèmes centralisés. Cette différence est importante : un système individuel dépendra en effet plus de l'usage direct par les occupants qu'un système centralisé qui, lui, offrira un potentiel d'économies d'énergie par une optimisation de la régulation.

### 3.3. Consommation d'énergie dans les bâtiments

#### 3.3.1. Étude de l'échantillon de 389 bâtiments, première évaluation des consommations

Une fois le parc immobilier décrit avec les données statistiques disponibles, il convient de rentrer dans le vif du sujet en étudiant les consommations énergétiques de l'existant ; en premier lieu, seront étudiées les consommations en énergie finale.

En ce qui concerne l'ensemble du parc immobilier, nous ne disposons que de très peu d'informations générales. Il est toutefois utile de poser les bornes des intervalles de valeurs grâce aux statistiques nationales et aux études préalablement menées localement (si elles existent). Les informations dont nous disposons sont donc présentées *infra*.

##### Statistiques nationales

La consommation des bâtiments publics en Chine est en moyenne de 180 kWh/m<sup>2</sup>/an en énergie finale. Selon le type de bâtiment, la consommation varie entre 70 et 300 kWh/m<sup>2</sup>/an.

##### Statistiques municipales existantes

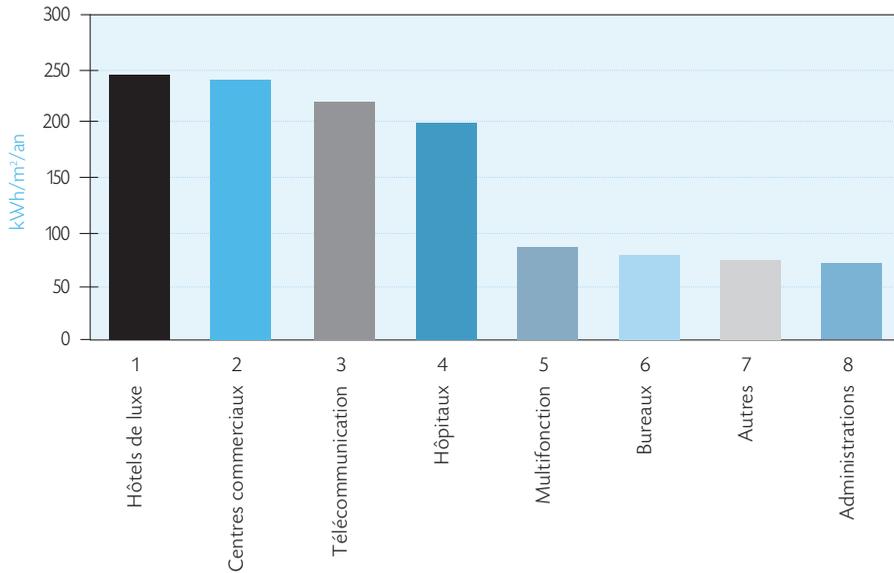
La consommation électrique dans les bâtiments de Wuhan est de 36 % supérieure à la moyenne nationale. Entre 2001 et 2006, elle a augmenté de 17 %.

La part de la climatisation dans la consommation d'énergie des bâtiments à Wuhan en 1999 était comprise entre 22 % et 81 %. La part moyenne à Wuhan était d'environ 44 %. Les coûts de fonctionnement totaux étaient compris entre 37 RMB/m<sup>2</sup>/an et 285 RMB/m<sup>2</sup>/an ; la part de la climatisation était donc comprise entre 20 RMB/m<sup>2</sup>/an et 125 RMB/m<sup>2</sup>/an.

Pour disposer de plus de données sur la consommation énergétique, l'échantillon de 389 bâtiments a été soumis à une série d'enquêtes. Afin d'éliminer les valeurs erronées et de pouvoir affiner les enquêtes, l'échantillon a ensuite été réduit pour faire l'objet de nouvelles enquêtes, mais seulement sur 101 bâtiments.

Selon la catégorie de bâtiment, la consommation change assez significativement. Le tableau 9 indique les consommations, avec la décomposition entre l'énergie dédiée au CVC, donc au génie climatique, et celle qui relève de l'usage spécifique de l'activité du bâtiment.

Graphique 23 *Consommations d'énergie finale par type de bâtiment à Wuhan, en 2008 en kWh/m<sup>2</sup>/an*



Source : Bureau de la construction de Wuhan/Institut d'architecture, Sciences et Design de la province du Hubei.

**Tableau 9** *Consommations d'énergie finale annuelle par type de bâtiment à Wuhan, en 2008*

Type de bâtiment	Surface étudiée (m <sup>2</sup> )	Consommation totale (kWh/m <sup>2</sup> /an)	Consommation d'eau (tonne/an)	Part des consommations CVC dans la facture totale (%)
Hôtels de luxe	389 349	244	8,5	29
Centres commerciaux	211 643	239	1,4	35
Bâtiments de télécommunication	91 441	220	1,3	22
Hôpitaux	127 100	199	5,3	42
Bâtiments multifonction	194 800	84	11	43
Bureaux	352 023	77	0,4	37
Autres	67 000	73	5,1	29
Bâtiments administratifs	656 134	71	2	44

Source : Bureau de la construction de Wuhan/Institut d'architecture, Science et Design de la province du Hubei.

La lecture du tableau 9 indique que les bâtiments les plus énergivores sont les hôtels de luxe, les bâtiments de télécommunication, les hôpitaux et les centres commerciaux : ils consomment en moyenne 200 kWh/m<sup>2</sup>/an et plus. Les autres bâtiments, notamment bureaux et administrations, bien que les plus adaptés à un programme de réhabilitation à grande échelle au niveau institutionnel, sont les moins énergivores, avec des consommations inférieures à 100 kWh/m<sup>2</sup>/an.

Par ailleurs, la proportion de l'usage CVC dans ces consommations totales varie entre 30 et 45 %. Finalement, moins de la moitié de la consommation totale se prête à une diminution par la thermique. L'exception est le type « télécommunication », avec une part due au CVC de seulement 22 %. Cela est dû à l'usage : dans le cas des télécommunications, il y a un énorme usage électrique de traitement des données (serveurs, etc.).

Les hôtels, bien que les plus consommateurs, n'utilisent que 30 % environ de l'énergie finale pour le CVC. On y constate un fort usage spécifique de l'énergie, ici pour l'eau chaude sanitaire.

### 3.3.2. Audits énergétiques : connaissance détaillée de la consommation énergétique

L'audit énergétique est indispensable pour connaître précisément la répartition de la consommation d'énergie par usage et caler les calculs de consommation d'énergie sur les consommations mesurées, ce qui permet de conforter la méthode de calcul employée, méthode qui servira ensuite à prédire les économies d'énergie liées à des interventions sur l'enveloppe ou les équipements.

Effectuer un audit énergétique revient à faire le diagnostic énergétique de l'ouvrage. Il faut étudier les caractéristiques de la consommation énergétique dans le temps et par usage, et faire le lien avec les caractéristiques techniques observées sur site. Les informations que l'on obtient alors sont beaucoup plus précises que celles des enquêtes exposées *supra*. On connaît les valeurs réelles de consommation, on sait si elles sont régulières d'une année à l'autre, et comment s'établit la répartition par usage.

## La démarche d'audit générique

### La démarche d'audit générique

Nous décrivons les éléments typiques d'une démarche d'audit puis nous l'illustrons par un exemple.

Un audit énergétique doit définir ce qui va conditionner :

- les besoins énergétiques, *i.e.* climat, données architecturales, caractéristiques de la construction, type d'activité, mode d'occupation, équipements intérieurs, mode de ventilation, etc. ;
- les consommations, *i.e.* production, régulation (gestion intermittente, températures de consigne, etc.), réseaux de distribution, émission.

#### 1) Données architecturales et caractéristiques de la construction

- Année de construction
- Plan masse
- Orientation des façades principales
- Masques environnants
- Forme, compacité
- Usage du bâtiment
- Proportion de surface vitrée

- Parois isolées : O/N, épaisseur et matériaux, voire valeurs du coefficient  $U$ <sup>[10]</sup> de déperditions calculées par le bureau d'études fluides auparavant
- Description des baies vitrées (menuiserie, type d'ouvrant, protections solaires...)
- Ventilation naturelle, ventilation mécanique
- Comptage des climatiseurs de type split par orientation
- Bilan des surfaces (emprise au sol, surface hors œuvre nette – SHON, surface utile – SU)

## 2) Scénarios d'occupation

- Occupation permanente, planning horaire
- Personnel et visiteurs, répartition dans la journée
- Vacances
- Équipements influant les apports internes (éclairage, bureautique, autre)
- Taux de ventilation
- Paramètres de confort (température, taux d'utilisation des installations) et témoignages récurrents de gênes (le cas échéant)

## 3) Installations techniques

- Électricité tableau général basse tension (TGBT) + secours (présence d'un groupe électrogène, etc.)
- Puissance d'éclairage installée en  $W/m^2$
- Bureautique (portables ou postes fixes, type d'écran...)

### Chaufferie :

- description de la technologie,
- températures typiques de fonctionnement (départ, retour),
- puissance et rendement nominal,
- emplacement,
- type et âge des composants clefs (brûleur, moteurs, pompes...),
- ventilation des locaux techniques,
- type de combustible.

---

[10] Coefficient de transmission thermique s'exprimant en  $W/m^2°C$ .

**Production de froid :**

- description de la technologie,
- températures typiques de fonctionnement (départ, retour),
- puissance et rendement nominal,
- emplacement,
- type et âge des composants clés (compresseur, moteurs, pompes...),
- ventilation des locaux techniques,
- type de combustible.

**Circuit de refroidissement :**

- puissance pompe, débit nominal,
- nombre et emplacement des tours.

**Émetteurs :**

- puissance électrique des ventilo-convecteurs,
- splits individuels,
- poutres froides ou autre terminal à induction.

**4) Circuit de distribution**

- Puissance des pompes de chaud et de froid
- Débit nominal
- Repérage départ, colonne de distribution, branches secondaires
- Y-a-t-il un dispositif d'équilibrage ?

**5) Conduite de l'installation**

- Conduite par le gestionnaire ? Automatique ?
- Heures de mise en route ? Anticipation du chauffage ?
- Températures de consigne
- Allure de marche ajustée à la température extérieure (loi d'eau) ?
- Compléments en dehors de l'installation principale ?

**6) Données météorologiques**

- Températures
- Irradiations solaires
- Pluviométrie
- Relevés, fichiers climatiques disponibles

### 7) Étude des relevés de consommation/combustible

- Sur plusieurs années
- Variations notoires ?
- Importance relative chaud/froid (répartition des consommations)
- Comportement homogène d'une année sur l'autre ?
- Mi-saison très différente ? (caractérise l'utilisation : celle d'un hôtel sera, par exemple, très différente de celle d'un immeuble de bureaux)
- Taux de charge mensuel (% clim/chauffage de la puissance nominale utilisée pour identifier les sur/sous-dimensionnements)
- Si plusieurs branchements TGBT, possibilité de relever plusieurs services
- Extrapolation à partir des factures des postes responsables de pointes de consommation (tour de refroidissement...)
- Hypothèses de fonctionnement
- Proportion relative des consommations CVC sur la facture totale pour l'importance relative thermique/électricité spécifique

### 8) Coût des consommations

- Coût d'exploitation à partir des factures
- Coût de maintenance (plus le coût de l'électricité augmente, plus le coût de fonctionnement des auxiliaires est élevé par rapport à la production d'énergie au gaz. Cela peut favoriser un mode de fonctionnement à faible débit et plus grande différence de température)

### 9) Interview du gestionnaire

- Problèmes récurrents de maintenance
- Plaintes récurrentes d'inconfort

### 10) Possibilités de mesure sur site

Les mesures sur site relatives aux paramètres d'ambiances et aux points de fonctionnement des équipements apportent beaucoup d'informations. Une telle démarche nécessite néanmoins d'avoir investi sur les équipements de mesure, ce qui peut s'avérer coûteux.

Qualité de l'environnement intérieur :

- températures,
- humidité,
- CO<sub>2</sub>,
- luminances.

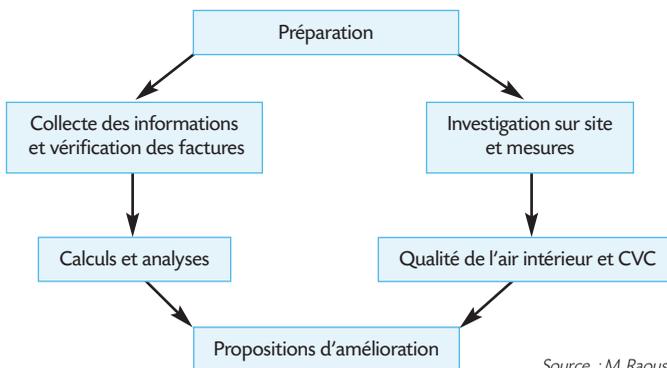
**Bâtiment et systèmes CVC :**

- températures et débit d'eau et d'air des circuits hydrauliques et aérauliques : problèmes d'équilibrage, fuites, *by-pass* non voulus dans la CTA, fonctionnement à gros débit, vérification de la conformité des températures de fonctionnement des installations hydrauliques et aérauliques à la conception ;
- mesure de la réelle efficacité de récupération d'une ventilation double flux ;
- caméra infrarouge pour les ponts thermiques, test de la fausse porte pour l'étanchéité à l'air ;
- mesures des fumées pour la qualité de combustion de la chaudière (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, rendement de combustion, excès d'air, etc.)

**11) Problèmes habituellement rencontrés lors d'audits énergétiques en Chine**

- Conscience et comportement ;
- manque de gestionnaire professionnel de l'énergie ;
- manque de données de base du bâtiment ;
- systèmes de mesures de la consommation incomplets ou absents.

Les deux derniers points impliquent un intérêt pour la simulation d'un audit, en parallèle.

**12) Schéma de la méthodologie d'audit**
**Schéma 1 Schéma méthodologique d'un audit**


Source : M. Raoust.

## Encadré 1 Exemple d'application de la démarche d'audit

Nous illustrons la démarche par l'exemple de l'audit du bureau de l'efficacité énergétique de la ville de Wuhan.

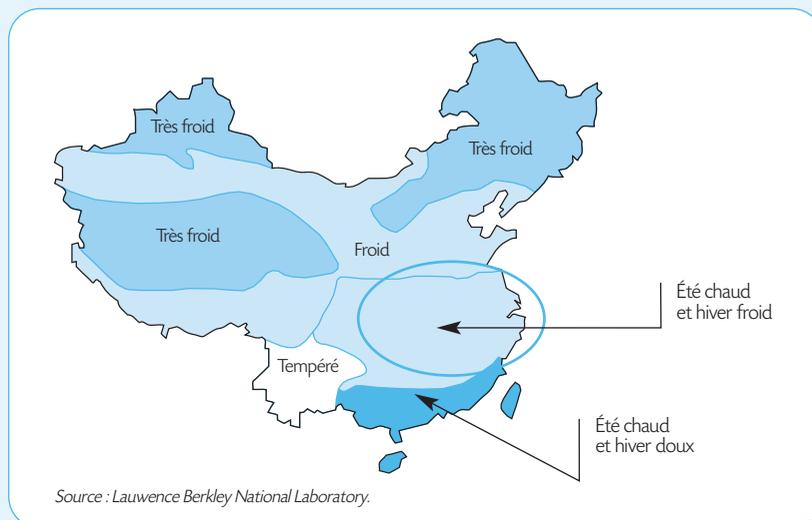
Nous présentons d'abord les données climatiques de la ville.

### Les données météorologiques de Wuhan

Avant d'analyser tout bâtiment de la ville, il convient de caractériser le climat dans lequel il se trouve, ce qui permet d'anticiper beaucoup de caractéristiques.

La Chine recouvre un immense territoire qui comporte plusieurs zones climatiques, comme l'illustre la carte 1.

### Carte 1 Les différentes zones climatiques en Chine



La Chine s'étend sur beaucoup de latitudes et abrite donc des climats allant du froid extrême (il peut faire  $-40^{\circ}\text{C}$  en hiver au Xinjiang ou au Heilongjiang, les deux provinces les plus au nord) aux chaleurs et humidités extrêmes (la province du Yunnan, au sud, est proche du Vietnam et du Laos avec un climat monosaisonnier similaire : les températures sont supérieures à  $30^{\circ}\text{C}$  durant une grande partie de l'année).

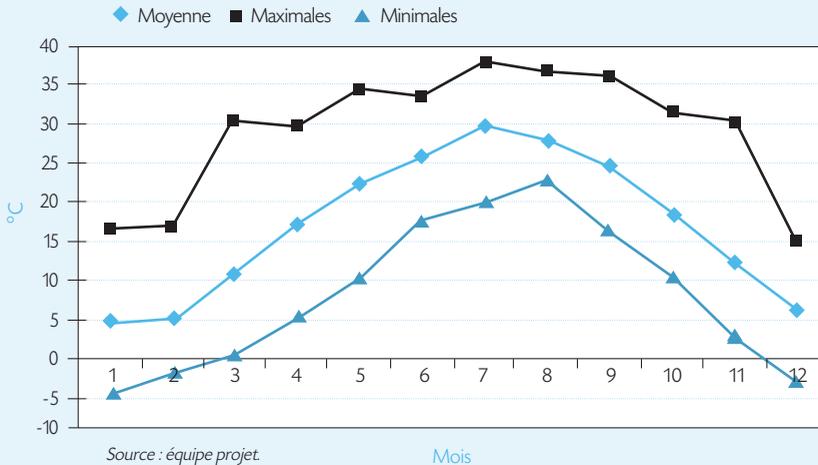
...



Wuhan se situe dans la partie centrale du pays, dans la zone climatique (cercle bleu). La conception du génie climatique doit donc tenir compte d'un été très exigeant pour la climatisation, et d'un hiver que l'on ne peut négliger puisque les températures peuvent parfois être négatives.

Logiquement, nous trouverons donc des gisements d'économie d'énergie à la fois pour la climatisation et pour le chauffage. Il est admis que les charges de chauffage représentent environ 60 % des charges de climatisation dans cette région.

### Graphique 24 *Température extérieure mensuelle moyenne à Wuhan (en °C)*



La température mensuelle moyenne maximale à Wuhan est de 29,8°C et la température maximale atteint 38,8°C. Cette dernière illustre les grandes chaleurs qui peuvent être rencontrées (en juillet).

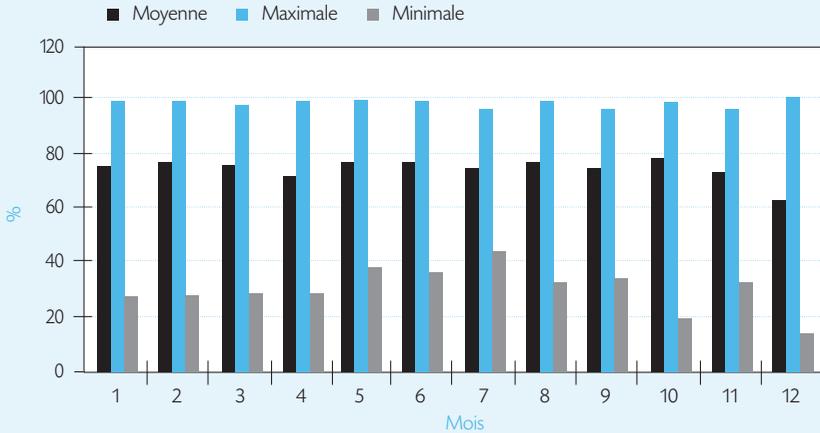
En hiver, c'est en janvier que l'on enregistre la température moyenne minimale : 4,6°C. La température minimale atteint quant à elle -3,9°C. Le chauffage est de plus en plus utilisé dans la région. Il faut savoir qu'à l'époque de Mao, il avait été décidé que toutes les villes situées au sud du Yang-Tsé – l'un des deux grands fleuves de Chine devant le Huang He – n'auraient pas droit au chauffage.



...

## Humidité relative et absolue

## Graphique 25 Humidité relative à Wuhan (en %)



Source : Bureau des statistiques de la province du Hubei.

On voit que l'humidité relative est assez élevée. La moyenne mensuelle est relativement constante au long de l'année avec une valeur autour de 75 %. Il n'est pas rare que l'air sature en humidité puisque les maxima sont tous proches de 100 %.

## Graphique 26 Humidités absolues mensuelles à Wuhan (en %)



Source : Bureau des statistiques de la province du Hubei.

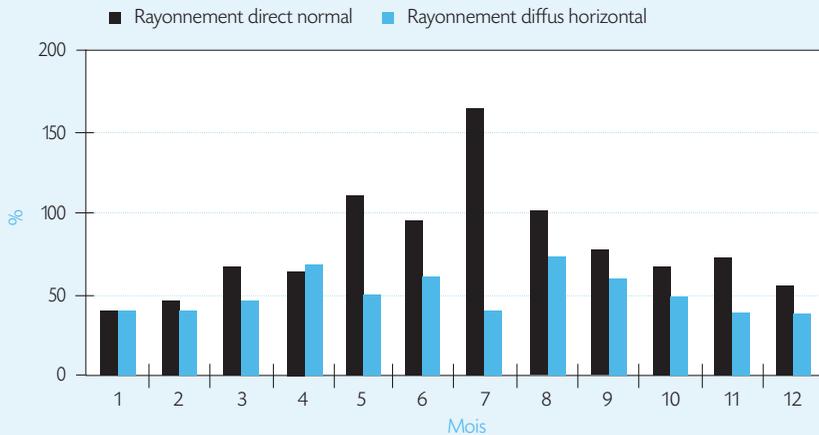
...



En corrélation avec les observations précédentes, on constate que le climat de Wuhan est effectivement très humide, notamment en été avec une humidité absolue moyenne atteignant 19,3g/kgas.

## Ensoleillement

### Graphique 27 Ensoleillement mensuel moyen à Wuhan (en Kwh/m)



Source : Bureau des statistiques de la province du Hubei.

L'ensoleillement est important en été. Un enjeu majeur de l'efficacité énergétique estivale est de maîtriser les apports solaires directs.

*Afin d'illustrer le travail effectué lors de l'audit énergétique, l'annexe 1 présente l'exemple de la collecte de données pour l'audit du bâtiment du Bureau de l'efficacité énergétique de la ville de Wuhan.*

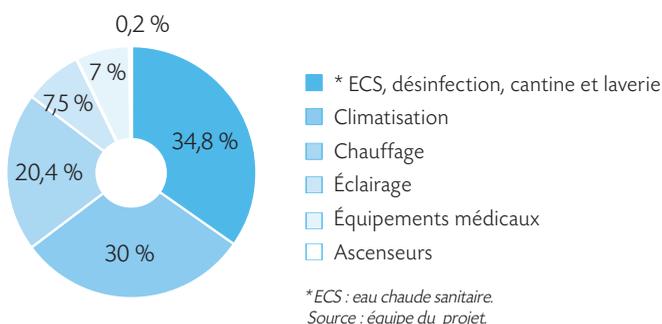
### 3.3.3. Profils de consommation type (hôpitaux, bureaux, hôtels de luxe)

Afin d'illustrer les différences de profils de consommation entre types de bâtiments, nous montrons ici les profils déterminés pour des hôpitaux, des bureaux et pour un hôtel de luxe.

## Hôpitaux

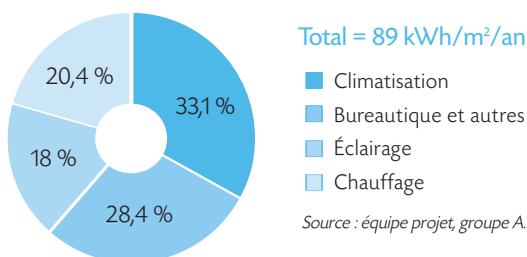
Le profil de consommation par usage d'un grand hôpital est présenté en détails en annexe 2. Ce cas est particulièrement important car un tel bâtiment appartient à la catégorie « énergivore » et connaît des usages très diversifiés, comme l'illustre le graphique 28.

**Graphique 28** Répartition des usages de l'énergie finale de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei (en %)



## Bâtiment de bureaux

**Graphique 29** Répartition de l'énergie finale par usage du département de l'Education de la province du Hubei (type bureaux), en %



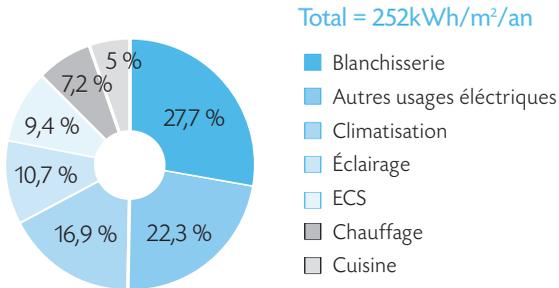
On constate beaucoup moins d'usages que dans l'hôpital. En effet, si les poids relatifs du chauffage et de la climatisation sont assez similaires au cas de l'hôpital, l'éclairage représente ici un plus grand enjeu. De même, la bureautique a un poids significatif sur les consommations totales. Pour rappel, la réduction de ces deux postes pourra également réduire de façon importante les charges de climatisation.

## Hôtel de luxe

## Graphique

30

## Répartition de l'énergie finale par usage de l'hôtel 5 étoiles Shangrila, en %



Source : équipe projet, groupe A.

Ce cas est bien différent du précédent. Des caractéristiques typiques du type de bâtiment apparaissent : une grande part des consommations liées à la blanchisserie (renouvellement des draps), et d'importants usages électriques divers. Bien entendu, la climatisation reste un poste à traiter (c'est une constante des bâtiments de Wuhan) ; en revanche, le chauffage représente un enjeu bien moins important sur la facture totale que dans les cas des bureaux et des hôpitaux.

### 3.4. Outils de calcul des consommations d'énergie

Il est nécessaire de disposer d'un outil de calcul afin d'étudier les consommations des bâtiments existants dans le détail et, surtout, d'estimer le potentiel d'économie d'énergie propre à chaque technique de réhabilitation, et à tout type de combinaisons d'amélioration. Il s'agit de logiciels de simulation thermique dynamique, capables de reproduire de façon suffisamment fidèle les bilans énergétiques en dynamique des bâtiments en fonction des nombreux paramètres qui les influencent, et notamment ceux que l'on veut modifier (caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, caractéristique des équipements CVC et systèmes électriques ainsi qu'utilisation/régulation de ces équipements).

Dans le cadre de notre programme, il a fallu chercher un outil qui soit à la fois fiable, suffisamment facile à utiliser, et utilisant une langue et un système d'unité compatibles avec les utilisateurs chinois. L'outil devait aussi disposer d'une vaste bibliothèque de données climatiques. Nous avons opté pour le logiciel Energy Plus et son interface graphique DesignBuilder. Energy Plus, développé aux États-Unis par le Lawrence

*Berkeley Laboratory*, est un des logiciels les mieux validés dans ce domaine. Il bénéficie de mises à jour fréquentes, notamment celles concernant les bibliothèques de caractéristiques de vitrages ou d'équipements. Ce genre d'outil est avant tout un outil de conception et d'aide à la prise de décision rationnelle, nécessaire pour optimiser un programme de réhabilitation. Nous décrivons ici brièvement ce qui est pris en compte : trois catégories de paramètres, qui sont trois domaines potentiels d'actions d'amélioration, *i.e.* l'enveloppe, les apports internes et les systèmes actifs.

### 3.4.1. L'enveloppe

#### Géométrie 3D du bâtiment, la conception des façades et le zonage des locaux

Pour reproduire fidèlement les bilans thermiques d'un bâtiment, il convient de reproduire les données de surfaces, d'inclinaison et d'orientation, autrement dit de reproduire correctement la géométrie de l'ouvrage. Les photos 1 et 2 montrent le bâtiment réel et son modèle numérique (bâtiment du département de l'Éducation de la province du Hubei).

Photos

1 et 2

#### Modélisation 3D du bâtiment du département de l'Éducation de la province du Hubei

1



2

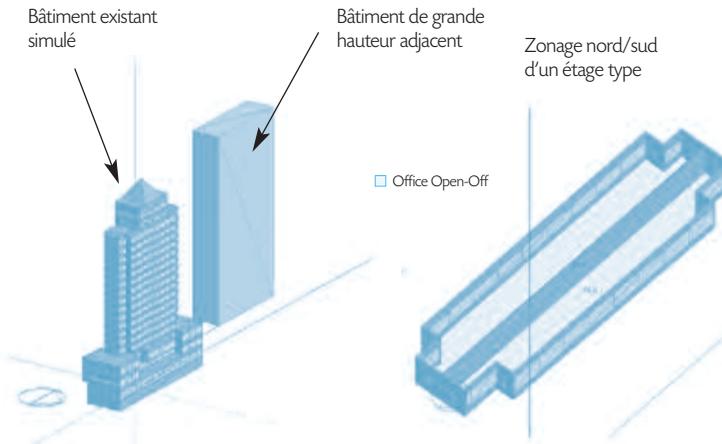


Crédit photo : auteurs.

Le bâtiment est orienté Nord-Sud et a une proportion de surface vitrée importante, de 50 % environ sur ses façades principales et seulement 7 % sur les côtés est et ouest. Il est également important de prendre en compte l'influence des bâtiments environnants et déterminer, au sein du bâtiment, le zonage thermique adéquat. Ce

dernier consiste à regrouper, sous le même bilan énergétique, les locaux qui ne se différencient pas du point de vue thermique. Ils doivent donc avoir la même orientation, les mêmes produits de construction et la même quantité d'apports internes de chaleur.

## Schéma 2 Modélisation 3D du bâtiment du département de l'Éducation de la province du Hubei



Source : équipe projet, groupe A

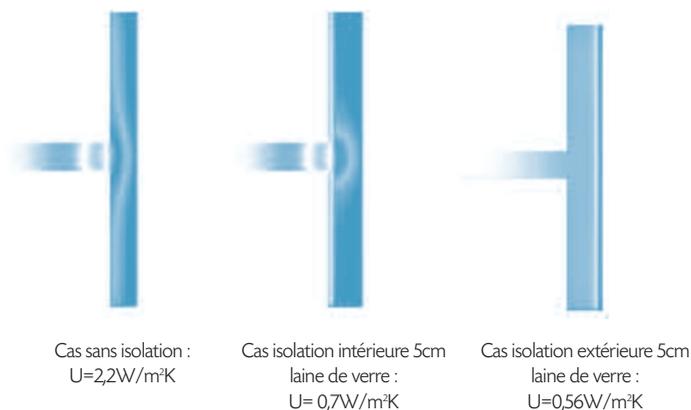
Près de ce bâtiment se trouve une grande tour de bureaux ; elle doit être représentée pour prendre en compte l'effet de masque solaire. Enfin, la grande majorité des locaux étant thermiquement similaires du point de vue des apports internes et des produits de construction, il convient de les zoner uniquement par orientation nord/sud.

### Propriétés thermiques des produits de construction

#### Les parois opaques

La composition des parois opaques nous permet de connaître le coefficient d'isolation thermique, qui illustre le pouvoir isolant de l'assemblage. Dans le cas de Wuhan, il s'agit de montrer l'intérêt et la possibilité de poser de l'isolation, de préférence par l'extérieur. Le schéma 3 illustre l'influence de l'isolation sur le coefficient de déperditions (U).

### Schéma 3 Influence de l'isolation sur le coefficient d'isolation $U$ du bâtiment du département de l'Éducation de la province du Hubei



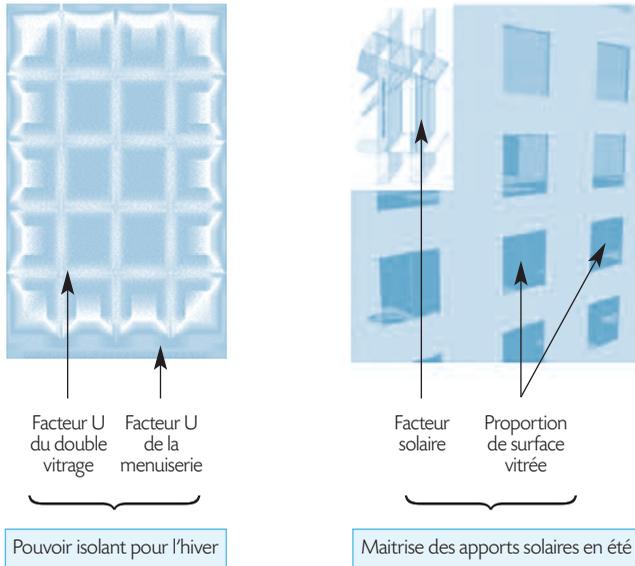
Source : M. Raoust.

Le schéma 3 illustre l'influence de la pose de 5 cm de laine de verre sur le pouvoir isolant des murs. Un pont thermique typique de liaison mur/dalle est représenté pour distinguer les options isolation extérieure/intérieure. Sans nul doute, dans un premier temps, même l'isolation par l'intérieur apporterait un grand bénéfice, en divisant par trois les pertes par conduction dans les murs. L'isolation extérieure donne évidemment de meilleurs résultats mais nous verrons plus tard que sa mise en place peut être compliquée, surtout dans le cas des bâtiments existants de grande hauteur.

#### Les surfaces vitrées

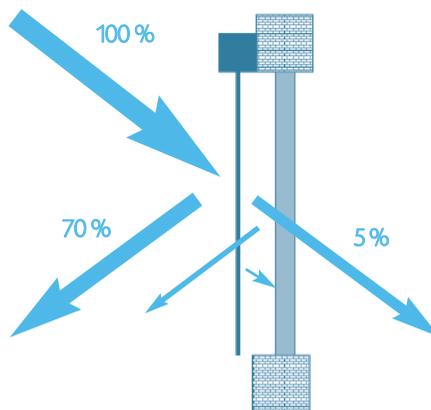
Dans un climat comme celui de Wuhan, les surfaces vitrées représentent l'élément le plus important de la conception des façades, puisqu'elles ont un impact direct sur le bilan énergétique estival (par le biais des apports solaires directs) et hivernal (par le biais de leur pouvoir isolant). De plus, la proportion de surface vitrée par orientation est normalement un paramètre architectural à optimiser. Dans le cas des bâtiments existants de Wuhan, et en Chine généralement, ce paramètre est rarement optimisé au cas par cas. On trouvera donc souvent de grandes proportions de surface vitrée, des simples vitrages, sans protection solaire, ou alors seulement des rideaux clairs intérieurs. Ceci correspond encore une fois aux standards de construction concernant la très grande majorité du parc existant considéré. Les améliorations vont donc se situer sur les performances intrinsèques des fenêtres (cf. schéma 4) et la promotion de protections solaires plus efficaces (protections solaires extérieures ; cf. schéma 5).

**Schéma 4** Améliorations des performances des fenêtres du bâtiment du département de l'Éducation de la province du Hubei



Source : M. Raoust.

**Schéma 5** Améliorations des performances des fenêtres du bâtiment du département de l'Éducation de la province du Hubei



Source : M. Raoust.

Les protections solaires extérieures ne laissent pas ou peu rentrer l'énergie solaire dans les locaux, et protègent donc beaucoup mieux que les protections solaires intérieures. Ce résultat se démontre facilement par simulations. Ce schéma illustre de manière simplifiée le fait qu'une faible partie de l'énergie solaire incidente sera transmise aux locaux. Le phénomène des réflexions multiples du rayonnement entre le store et la fenêtre, ainsi que le couplage avec les propriétés thermiques et lumineuses de la fenêtre, sont pris en compte.

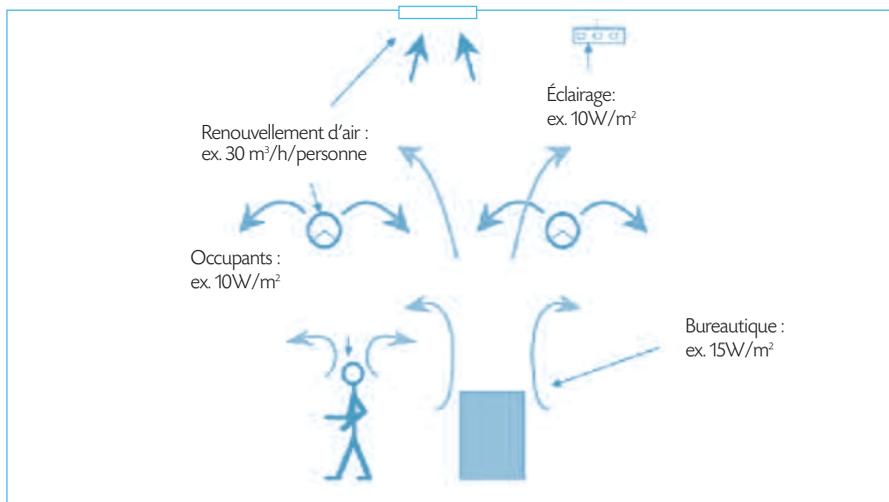
### 3.4.2. Les apports internes

#### *Les différentes sources d'apports internes*

Il existe, dans les locaux d'un bâtiment, diverses sources d'apports de chaleur. Il convient de les prendre en compte car, dans beaucoup de cas, elles influencent grandement les consommations d'énergie (tout comme les charges de chauffage et de climatisation) mais aussi parce que nombre d'entre elles sont des sources de consommation directe d'électricité. Leur diminution a donc un double impact. Un exemple de ce principe est l'éclairage. Réduire la puissance installée d'éclairage en utilisant des lampes basse consommation est une action qui va diminuer la consommation électrique des lampes mais aussi la charge de climatisation.

Dans un cas typique de bureaux, les sources d'apports internes sont illustrées par le schéma 6.

#### Schéma 6 Les sources d'apports internes de chaleur d'un bâtiment



Source : M. Raoust.

### *Leur impact sur l'efficacité énergétique*

Certaines sources de chaleur internes sont dites « gratuites » car elles ne consomment pas d'électricité ; d'autres ne le sont pas :

- *source de chaleur gratuite* = les occupants. En effet, le corps humain dégage de la chaleur et de l'humidité. Ainsi, une personne adulte en travail de bureau léger émet environ 100W, dont environ la moitié par rayonnement et convection (chaleur sensible) et la moitié par évaporation d'eau (chaleur latente) ;
- *sources de chaleur consommant de l'électricité* = l'éclairage et la bureautique. En aucun cas ces sources ne peuvent être qualifiées de « gratuites » ; la chaleur qu'elles émettent est directement égale à leur consommation électrique. Dans un climat à dominante estivale, il est judicieux de les réduire ;
- *le renouvellement de l'air neuf* ; cette catégorie est particulière. Dans la plupart des cas, on ne peut pas dire que cela est gratuit car l'air est amené par une ventilation mécanique. De plus, la contribution de l'air est variable selon les conditions extérieures : l'air peut, soit rafraîchir, soit réchauffer, et il peut être conditionné, ou pas, dans le système de traitement d'air en amont des terminaux. Il est judicieux, en mi-saison, de se servir du pouvoir rafraîchissant de l'air pour abaisser la température des locaux et ainsi réduire les consommations de climatisation. Le moyen le plus économe est encore de le faire par ouverture des fenêtres (ventilation naturelle).

### *3.4.3. Les systèmes actifs*

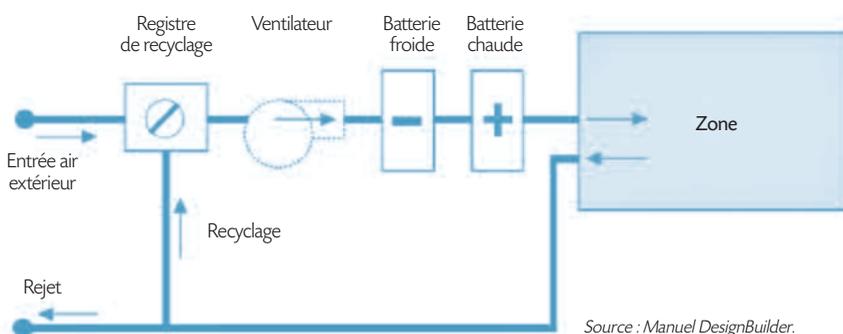
Bien entendu, dans un bâtiment, la performance thermique de l'enveloppe définit en partie les charges des systèmes actifs. Au final, ce sont ces systèmes qui consomment l'énergie. Il est donc indispensable que l'outil de calcul choisi puisse représenter fidèlement le comportement de ces systèmes. Ceci demande notamment de pouvoir prendre en compte :

- le type de système (tout-air VAV, ventilo-convecteurs, débits variables ou constants, système centralisé ou individuel, etc.) ;
- le type des équipements de production de froid et de chaud et leur rendement sous différents régimes ;
- l'efficacité des pompes et ventilateurs ;
- le type de régulation.

Les schémas 7 et 8 illustrent deux types de systèmes CVC modélisables, différents par nature avec leurs avantages et inconvénients propres : un système local de ventilo-convecteurs (cf. schéma 7) et un système centralisé type VAV (cf. schéma 8).

Le schéma 7 illustre un modèle de ventilo-convecteur. Il s'applique uniquement au niveau d'une zone ; c'est donc un système local. Il permettra d'atteindre exactement la température de consigne désirée puisqu'il ne doit traiter qu'une zone et, donc, une charge donnée.

### Schéma 7 Modèle de ventilo-convecteur

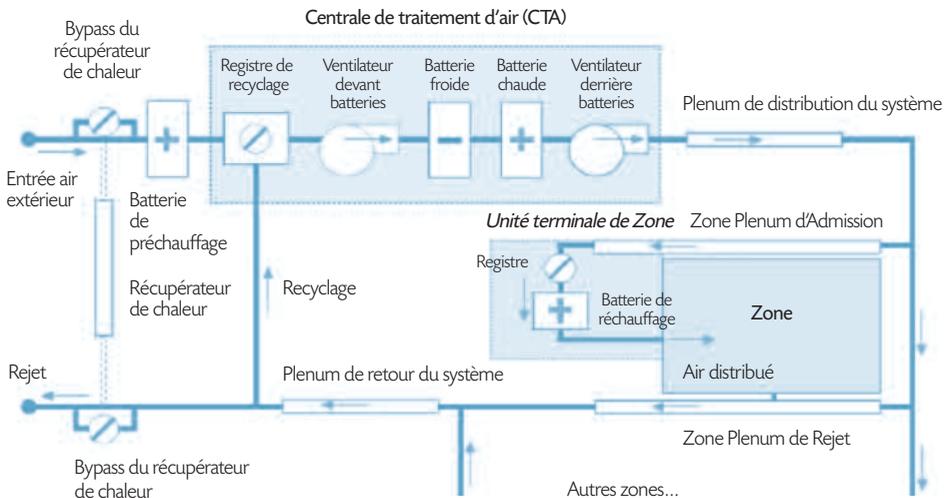


Ce genre de système a un inconvénient majeur : la consommation de ses ventilateurs. C'est particulièrement vrai pour les modèles que l'on rencontre dans les bâtiments existants, datant de dix ans et plus. Cette consommation, prohibitive pour la performance énergétique des bâtiments, a encouragé le développement de nouveaux types de terminaux, ainsi que des ventilo-convecteurs basse consommation (nouvelle génération de moteurs et de ventilateurs à variation de fréquence) dans le neuf. Cet état de fait est important pour la réhabilitation en Chine car une grande majorité de bâtiments de bureaux sont équipés de ventilo-convecteurs, comme dans l'exemple de l'audit du bâtiment de l'efficacité énergétique de la ville de Wuhan précédemment cité.

Les anciens modèles sont également peu optimisés au niveau du confort des occupants (jets d'air trop chaud ou trop froid et mal distribués dans la zone). Ce fait est également important car le sentiment d'inconfort pousse les occupants à procéder à des actions correctives maladroitement (e.g. ouvrir les fenêtres, monter la puissance du chauffage ou de la climatisation), qui ont tendance à aggraver le problème plus qu'à le résoudre. La simulation des systèmes, couplée aux informations précises d'exploitation du bâtiment récoltées durant l'audit, doit et peut intégrer ces faits.

Le second modèle, illustrée par le schéma 8, est celui d'un système tout-air à débit variable VAV. Ce dernier est très différent du premier puisqu'il dessert plusieurs zones en même temps. Il est composé d'une centrale de traitement d'air (CTA) qui conditionne d'abord l'air, en le préchauffant à 14°C par exemple. Chaque zone peut ensuite être munie d'une unité terminale de réchauffage afin d'atteindre exactement la température de consigne en hiver.

### Schéma 8 Modèle de système VAV



Source : Manuel DesignBuilder.

Ce système présente un gros inconvénient, typique des systèmes tout-air : en utilisant l'air pour apporter les calories et les frigorifiques nécessaires à un bâtiment inefficace, il se révèle nécessairement énergivore, entraînant des consommations de ventilateurs excessives. De plus, en été, ce type de système ne possède pas d'unité terminale et souffle donc une certaine quantité d'air frais à un ensemble de locaux. Il peut s'adapter à la charge locale en faisant varier le débit d'air soufflé, mais si la diversité des charges locales est trop grande (mauvais zonage), alors il y aura inconfort et gaspillage d'énergie. Certaines zones pourraient être trop froides, d'autres trop chaudes et les occupants risquent alors d'ouvrir les fenêtres, voire même d'acheter des climatiseurs individuels.

## 3.5. Application de l'outil de simulation à la réhabilitation énergétique

### 3.5.1. Assistance à l'audit

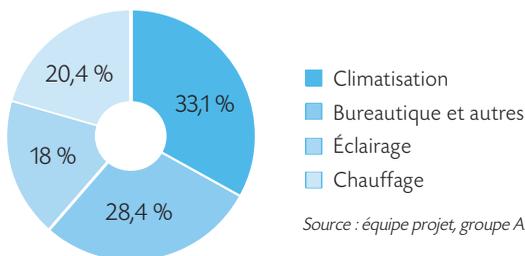
En complément d'un audit énergétique, il peut être utile d'effectuer ce genre de simulation qui conforte les données récoltées et peut affiner le diagnostic final, surtout par rapport aux usages finaux de l'énergie. Comme nous l'avons vu dans la section dédiée aux audits énergétiques, cette information est cruciale pour établir un diagnostic clair et proposer des améliorations adaptées. Force est de constater, cependant, qu'elle fait souvent défaut.

Le graphique 31 montre un exemple d'affinement du diagnostic énergétique avec l'assistance des simulations. Il s'agit du cas du département de l'Éducation de la province du Hubei, que nous avons déjà cité en présentant les résultats d'audit bruts.

Graphique

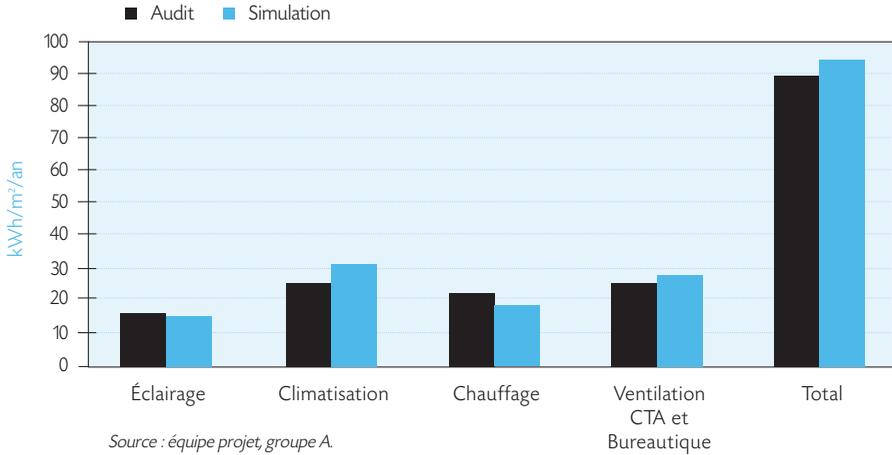
31

*Répartition de l'énergie finale par usage  
du département de l'Éducation de la province  
du Hubei (type bureaux)*



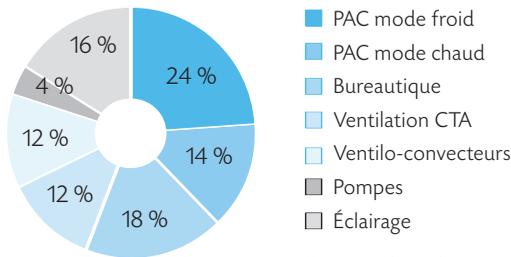
La simulation permet de reproduire ce résultat directement issu des factures et, donc, de la réalité du fonctionnement du bâtiment. Le graphique 32 illustre la correspondance par poste de consommation entre la simulation et le graphique 31.

### Graphique 32 Comparaison entre les données de l'audit et celles de la simulation



Une fois cette correspondance assurée, il est possible de détailler plus précisément l'usage de l'énergie par la simulation thermique dynamique (graphique 33).

### Graphique 33 Répartition des usages de l'énergie finale – complément d'audit par simulation thermique



Source : équipe projet, groupe A.

Cette répartition permet de mettre en lumière les propos précédents sur les types de système et de les quantifier. Le bâtiment en question a un système tout-air VAV pour les trois premiers étages et un système de distribution de l'air neuf préconditionné avec ventilo-convecteurs terminaux pour le reste des bureaux (la majorité de la surface totale du bâtiment). La production de froid et de chaud est assurée par quatre pompes à chaleur air/eau réversibles. On se place donc dans un cas où tout est électrique, ce qui est positif du point de vue de la faisabilité économique.

On voit ici logiquement que la part due aux ventilateurs des CTA et des ventilo-convecteurs représente un quart de la consommation totale. Il y a donc un réel intérêt, dans ce cas, à améliorer l'efficacité de ces ventilateurs, voire à réduire le débit d'air requis par le système VAV en réduisant les charges par amélioration de l'enveloppe. De même, améliorer le rendement de la pompe à chaleur (PAC), en la remplaçant par une PAC de nouvelle génération, pourrait permettre de réaliser d'importantes économies. Réduire la puissance installée d'éclairage et mener une réflexion sur le parc informatique sont également des actions qui peuvent réduire directement la consommation électrique et les charges de climatisation. Ainsi, on voit bien qu'une fois le diagnostic précis établi, les conclusions sur les améliorations à proposer sont relativement évidentes.

### Estimation des gains potentiels d'économie d'énergie, des coûts d'investissements et des temps de retour bruts

L'autre avantage qu'offre le recours à la simulation dès la phase d'audit est de préparer une référence très réaliste de l'existant. À partir de là, il est également facile de faire varier des paramètres techniques pour estimer les gains potentiels d'économie d'énergie.

Dans un premier temps, il est nécessaire d'établir le bilan technico-économique de chaque type d'intervention ; cela permet de séparer les actions à bas coûts et à temps de retour rapide des actions chères et à temps de retour élevé.

Prenons l'exemple du bâtiment de gestion de la ressource immobilière de la ville de Wuhan. C'est un bâtiment typique de bureaux dont la consommation en énergie finale est (selon l'audit) de 101 kWh/m<sup>2</sup>/an. Son diagnostic énergétique est similaire au bâtiment du département de l'Education.

Les actions chiffrées sont les suivantes :

#### *concernant l'enveloppe du bâtiment :*

- isolation extérieure 5 cm EPS,
- remplacement des simples vitrages par des doubles vitrages clairs,
- mise en place de protections solaires extérieures ;

#### *concernant les systèmes actifs et les systèmes électriques :*

- remplacement de l'éclairage par des modèles plus performants ;
- amélioration du système de distribution et de gestion de l'électricité ;
- amélioration du système de climatisation existant (optimisation du fonctionnement à charge partielle, changement des pompes pour des modèles à fréquence variable, nettoyage des échangeurs).

Nous calculons les économies d'énergie potentielles par la simulation thermique, ainsi que par croisement avec les ESCO et autres experts locaux spécialistes de diverses techniques d'amélioration des systèmes actifs caractéristiques de la région. Les coûts d'investissement sont le fruit d'une recherche locale sur l'offre. Nous pouvons, par exemple, donner les ratios représentatifs suivants :

- isolation extérieure : 160 RMB/m<sup>2</sup>\_mur ;
- installation de double vitrage clair : 350 RMB/m<sup>2</sup>\_fenêtre ;
- installation de protections solaires extérieures : 350 RMB/m<sup>2</sup>\_fenêtre ;
- film solaire protecteur sur vitrage existant : 280 RMB/m<sup>2</sup>\_fenêtre ;
- remplacement de l'éclairage : 30 RMB/m<sup>2</sup>\_SHON ;
- amélioration du système de distribution de l'électricité : 20 RMB/m<sup>2</sup>\_SHON ;
- amélioration légère (optimisation) des systèmes actifs : 30 RMB/m<sup>2</sup>\_SHON.

Les résultats estimés sont présentés dans le tableau 10.

**Tableau 10** *Économie d'énergie et temps de retour pour le bâtiment du département de l'Éducation de la province du Hubei (type bureaux)*

Technique	Économie d'énergie (%)	Temps de retour brut (années)
Isolation extérieure 5 cm	5,5	15,4
Double vitrage clair	4	31,1
Protections solaires extérieures	3,2	20,6
Amélioration de l'éclairage	4,5	5,2
Amélioration de la distribution de l'électricité	3,1	6,6
Améliorations des systèmes actifs	6,3	6

Source : équipe projet, groupe A.

Nous voyons ici clairement la distinction à laquelle nous faisons précédemment référence : les techniques de réhabilitation de l'enveloppe sont coûteuses et donnent des temps de retour plus longs, supérieurs à 15 ans. Les techniques d'amélioration des systèmes actifs et de la gestion de l'électricité sont beaucoup moins coûteuses et, bien que générant des économies d'énergie du même ordre, donnent donc des temps de retour moins grands, de l'ordre de 5 à 6 ans. Elles donnent même des temps de retour plus faibles lorsque l'on considère un bâtiment très énérgivore.

On peut en effet considérer que la différence entre les améliorations de l'enveloppe et celles concernant les systèmes tient aux éléments suivants :

- les coûts d'investissement sont très différents. Investir sur la réhabilitation de l'éclairage, par exemple, coûte en moyenne 30 RMB/m<sup>2</sup> alors que réhabiliter les surfaces vitrées peut coûter entre deux et quatre fois plus cher selon la proportion de surface vitrée (différence tout de suite visible sur les ordres de grandeur des temps de retour brut) ;
- les économies générées par amélioration de l'enveloppe sont plus ou moins constantes selon le type de bâtiment considéré : elles varient selon le niveau de confort exigé dans le bâtiment (bureaux *versus* hôpitaux, par exemple) et selon le rendement des équipements de production, mais tournent autour des mêmes ordres de grandeurs ;
- au contraire, les économies sur les systèmes actifs sont plutôt proportionnelles à la consommation du bâtiment. Ainsi, plus un bâtiment est énérgivore, plus l'investissement sur l'amélioration de ces systèmes est efficace. Il est important de retenir que l'ordre de grandeur des économies d'énergie suivra celui des consommations du bâtiment considéré.

Ces observations sont générales et ne remplacent en aucun cas l'analyse au cas par cas.

Une fois ces différents points constatés, il est évident que le premier choix des propriétaires s'orientera naturellement vers la réhabilitation dite « légère », ou qui va uniquement améliorer les systèmes actifs et l'éclairage. Ceci ne constitue pas une réhabilitation systémique d'un bâtiment qui devrait comprendre la réhabilitation des systèmes et de l'enveloppe.

On l'a vu, la réhabilitation de l'enveloppe seule ne se justifie pas bien économiquement. C'est la notion de combinaison, de « *package* » adapté à un type de bâtiment qui rendra un investissement global économiquement viable. Ainsi, la réhabilitation de l'enveloppe ne peut se justifier que dans le cadre d'une réhabilitation globale associant aussi les équipements. En quelque sorte, les temps de retour courts de la

réhabilitation des systèmes et les temps de retour longs de la réhabilitation de l'enveloppe peuvent se rejoindre en une sorte de moyenne des deux si l'on investit sur l'ensemble des mesures.

Le tableau 11 présente le *package* de mesures déterminées dans le cas d'un bâtiment de bureaux (ici, le département de l'Éducation de la province du Hubei).

**Tableau 11** *Package des techniques de réhabilitation et temps de retour pour le bâtiment du département de l'Éducation de la province du Hubei (type bureaux)*

Techniques	Temps de retour brut (années)
Remplacement de l'éclairage + contrôle par sonde de luminosité	3,7
Remplacement des pompes par des modèles à débit variable	2,2
Isolation intérieure	12,1
Protections solaires extérieures	22,7
Combinaison	9,8

Source : équipe projet, groupe A.

La combinaison d'investissements à faible temps de retour et d'investissements plus lourds permet d'effectuer des économies combinées réduisant le temps de retour global de l'opération en dessous de dix ans. C'est le critère fixé par le groupe de travail dans ce programme de recherche. En effet, dans le contexte habituel, le temps de retour maximal considéré par des investisseurs et des banques est de sept ans. Dans le cadre d'un programme pilote, cette valeur peut être poussée à dix ans, compte tenu du soutien gouvernemental. Le tableau 12 présente les données économiques de cette combinaison.

**Tableau 12** Investissement, économies financières annuelles et temps de retour brut pour le bâtiment du département de l'Éducation de la province du Hubei (type bureaux)

Coût d'investissement	169 RMB/m <sup>2</sup> _SHON
Économies financières annuelles	17,2 RMB/m <sup>2</sup> /an
Temps de retour brut	9,8 ans

Source : équipe projet, groupe A.

### 3.5.2. Détermination des combinaisons de techniques adaptées

Une fois ces analyses effectuées sur plusieurs types de bâtiments, on peut déterminer jusqu'à quel point on pourra « pousser » la réhabilitation thermique pour les différentes catégories de grands bâtiments publics. Le tableau 13 présente des résultats technico-économiques généraux pour les bureaux, les hôpitaux et les hôtels.

**Tableau 13** Résultats technico-économiques généraux par type de bâtiments (bureaux, hôpitaux et hôtels) dans la province du Hubei

Les chiffres en dégradé de bleu figurent les options les plus vraisemblables à explorer plus en détail dans le cadre d'une faisabilité (du bleu gras au bleu clair).

Bureau :

	Systèmes	Systèmes + Protections solaires	Systèmes + Protections solaires + Double vitrage	Systèmes + Protections solaires + Isolation extérieure	Systèmes + Protections solaires + Double vitrage + Isolation extérieure
Temps de retour brut (années)	6	<b>8,3</b>	10,8	9,4	11,1
Coût d'investissement (RMB/m <sup>2</sup> _SHON)	100	152	203,9	191,9	243,8

Source : équipe projet, groupe A.

## Hôtels :

	Systèmes	Systèmes + Protections solaires	Systèmes + Protections solaires + Double vitrage	Systèmes + Protections solaires + Isolation extérieure	Systèmes + Protections solaires + Double vitrage + Isolation extérieure
Temps de retour brut (années)	3,3	3,6	X	4,4	X
Coût d'investissement (RMB/m <sup>2</sup> SHON)	125	142,8	X	184	X

## Hôpitaux :

	Systèmes	Systèmes + Protections solaires	Systèmes + Protections solaires + Double vitrage	Systèmes + Protections solaires + Isolation extérieure	Systèmes + Protections solaires + Double vitrage + Isolation extérieure
Temps de retour brut (années)	4,1	4,9	5,6	5,5	5,6
Coût d'investissement (RMB/m <sup>2</sup> SHON)	100	129,7	159,4	175	204,7

Source : équipe projet, groupe A.

Le tableau 13 montre le déroulement de la faisabilité selon le type de bâtiment : les bureaux, qui sont parmi les bâtiments les moins consommateurs d'énergie, puis les hôtels et les hôpitaux, parmi les plus consommateurs. En effectuant un tri selon le critère du temps de retour, on peut prévoir les résultats de faisabilité généraux suivants :

- *bureaux* : c'est le cas où les investissements sont les moins rentables ; il est probable que la faisabilité amène à des réhabilitations incluant les systèmes et les protections solaires. L'inclusion, ou non, des vitrages se fera au cas par cas ;

- **hôtels** : ils sont généralement déjà équipés de double vitrage pour des raisons de confort acoustique ; c'est donc une option à ne pas considérer. Ces bâtiments étant déjà très énergivores, ils ont tendance à bien rentabiliser la réhabilitation des systèmes, ce qui réduit le temps de retour global. Ensuite, en raison du niveau de confort demandé, les économies par réhabilitation de l'enveloppe ont tendance à être elles aussi gonflées. La faisabilité est donc positive pour une réhabilitation lourde des hôtels de luxe incluant une isolation par l'extérieur ;
- **hôpitaux** : de façon similaire aux hôtels, ils se prêtent à une réhabilitation lourde. De plus, ils ne sont pas nécessairement équipés de double vitrage, ce qui laisse cette option ouverte.

## 3.6. Programmes typiques de réhabilitation

La démarche d'enquête, d'audit et de calculs technico-économiques a été utilisée pour déterminer des programmes typiques par catégorie de bâtiment. Il est évident que chaque projet est particulier et que, au final, il faudra suivre une procédure élaborée au cas par cas. Toutefois, le « menu » représentatif de la réhabilitation d'une catégorie de bâtiment dans un climat et un contexte économique donnés est un outil important pour faire évoluer la question du financement à grande échelle. C'est dans cet esprit que ces programmes ont été déterminés ; les trois exemples ici proposés illustrent les différences.

### 3.6.1. Programme typique pour bureaux

Ce sont des bâtiments où la réhabilitation de l'enveloppe et des systèmes peut se justifier, mais bénéficie d'une faisabilité économique moins bonne que d'autres types de bâtiments. L'isolation des murs, de la toiture, le remplacement des vitrages ou la mise en place d'un film solaire, les protections solaires et la valorisation de l'éclairage naturel sont des stratégies à considérer au cas par cas. Nous avons observé que les bureaux offrent un potentiel d'économie moins important que les bâtiments publics tels que les hôpitaux, les hôtels et les centres commerciaux. De plus ils fonctionnent souvent à l'électricité.

Les simulations ont montré que l'amélioration de l'enveloppe est plus efficace via des actions sur les vitrages (remplacement par du double vitrage) et la pose de protections solaires extérieures. La meilleure solution consiste bien entendu à améliorer également l'isolation du bâtiment, mais nous avons montré que cela représente un autre volume d'investissement et que, quitte à choisir un niveau intermédiaire, les bureaux devraient privilégier les surfaces vitrées. Il est recommandé de faire la dis-

inction entre bâtiments de grande et de moyenne hauteur. Les premiers rendent les travaux de réhabilitation difficiles pour l'isolation extérieure. De plus, les matériaux décoratifs de revêtement extérieur sont souvent de haut de gamme et le coût de leur remplacement est élevé. Le remplacement des baies vitrées et l'isolation par l'intérieur semblent être plus pratiques pour ces bâtiments. Les seconds sont plus adaptés à la pose de l'isolation extérieure.

Pour les systèmes, il s'agit de diminuer la charge, notamment de climatisation. Une grande partie de cette charge est due à l'air neuf et aux apports solaires car la densité d'occupation est faible ; la régulation optimisée du débit d'air neuf peut la diminuer.

Il s'agit également d'augmenter le rendement de la production de froid et de chaud (au moins *via* l'entretien des canalisations, et l'utilisation d'un compresseur à fréquence variable), de diminuer la consommation des pompes en les remplaçant par des pompes à fréquence variable, et éventuellement d'installer une régulation terminale. La mise en place d'une gestion technique du bâtiment (GTB) et d'une gestion dynamique de l'énergie est pertinente.

### 3.6.2. Programme typique pour centres commerciaux

Ce sont des bâtiments où la réhabilitation de l'enveloppe se justifie moins. C'est la performance du système CVC qui est le point clef. Les pertes par l'enveloppe sont responsables de moins de 10 % de la facture énergétique. Les apports internes sont très importants. Ce sont des bâtiments de grande surface, avec peu de vitrages, une circulation et un éclairage importants. La stratégie d'amélioration du système CVC consiste à diminuer la charge par régulation de l'air neuf, à augmenter le coefficient de performance (*coefficient of performance*, COP) de production d'énergie, à installer une GTB, et à considérer les sources naturelles de froid. Aussi, les ventilateurs et pompes consommant beaucoup, il est important de diminuer les débits en installant des pompes à fréquence variable.

### 3.6.3. Programme typique pour hôtels de luxe

L'enveloppe et les systèmes sont sujets à réhabilitation. Les caractéristiques d'usage sont la variation de l'apport d'air neuf en fonction de l'occupation ; la climatisation et l'eau chaude doivent être constamment disponibles. Les exigences en matière de production de chaleur sont donc plus élevées que dans les bureaux et les centres commerciaux. Comme les hôtels fonctionnent tous avec des équipements de climatisation et de chauffage centralisés, le contrôle à charge partielle, l'entretien de l'existant et l'utilisation d'équipements efficaces sont les mesures les plus logiques. Une stratégie de récupération de chaleur sur le condenseur du groupe froid ou d'une PAC pendant l'été est préconisée pour l'eau chaude sanitaire.

Pour l'enveloppe, l'isolation, l'éclairage naturel et le remplacement des vitrages sont des mesures efficaces. Au contraire des bureaux, les hôtels font partie d'une catégorie de bâtiments qui fonctionnent plus avec des chaudières type fioul, voire charbon ; cela implique un rendement de production faible et la part de consommation des équipements CVC, en particulier du chauffage, se trouve être plus importante (que dans les bureaux et les administrations). Ainsi, si les coûts sont prohibitifs pour une amélioration totale de l'enveloppe (isolation + double vitrage + protections solaires extérieures), les simulations montrent que l'isolation et la pose d'un film solaire sur les vitrages existants sont le niveau intermédiaire d'amélioration de l'enveloppe le plus efficace.

### 3.7. Impacts de la réhabilitation

Une fois des programmes typiques de réhabilitations déterminés, avec des coûts d'investissement, des économies d'énergie et financières estimés, il est possible de faire une estimation des enjeux de la réhabilitation thermique à grande échelle des grands bâtiments publics.

L'extrapolation des enjeux a été faite sur trois échelles : (i) la ville de Wuhan, (ii) la province du Hubei et (iii) le bassin du Yangtsé (en regroupant quatre provinces similaires pour cette problématique).

On fait également les extrapolations en fonction des niveaux d'investissement consentis, ce qui donne une échelle sur laquelle se repérer, pour considérer ensuite que la maîtrise d'ouvrage des projets peut choisir d'aller plus ou moins loin entre la réhabilitation légère et la réhabilitation lourde.

Ainsi, nous obtenons une échelle graduelle depuis la réhabilitation des systèmes seuls à la réhabilitation complète des systèmes et de l'enveloppe, en passant par un niveau intermédiaire où l'enveloppe est partiellement améliorée (comme pour l'exemple des bâtiments de bureaux).

#### 3.7.1. Niveau de la ville de Wuhan

Sur le parc immobilier de Wuhan des grands bâtiments publics et des bâtiments administratifs, la surface concernée par les mesures de réhabilitation thermique est d'environ 37 400 000 m<sup>2</sup>. La ville compte 8,28 millions d'habitants.

##### En améliorant seulement les systèmes

Coût d'investissement : 4,1 milliards RMB

Économies annuelles : 0,76 milliard RMB

Économies d'énergie primaire: 0,3 Mtce/an, soit 13 % d'économies du total  
Coût unitaire d'investissement par unité d'énergie primaire économisée : 13,7 RMB/kgce\_économisé  
Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : 0,8 Mt CO<sub>2</sub>/an  
Coût unitaire d'investissement par tonne de CO<sub>2</sub> évitée : 5 125 RMB/t CO<sub>2</sub>\_évitée

#### En améliorant les systèmes et l'enveloppe « niveau moyen »

Coût d'investissement : 8,6 milliards RMB  
Économies annuelles : 1,1 milliard RMB  
Économies d'énergie primaire : 0,42 Mtce/an soit 19 % d'économies du total  
Coût unitaire d'investissement par unité d'énergie primaire économisée : 20,5 RMB/kgce\_économisé  
Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : 1,1 Mt CO<sub>2</sub>/an  
Coût unitaire d'investissement par tonne de CO<sub>2</sub> évitée : 7 818 RMB/t CO<sub>2</sub>\_évitée

#### En améliorant les systèmes et l'enveloppe « niveau fort »

Coût d'investissement : 11,2 milliards RMB  
Économies annuelles : 1,4 milliard RMB  
Économies d'énergie primaire : 0,53 Mtce/an soit 24 % d'économies du total  
Coût unitaire d'investissement par unité d'énergie primaire économisée : 21 RMB/kgce\_économisé  
Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : 1,4 Mt CO<sub>2</sub>/an  
Coût unitaire d'investissement par tonne de CO<sub>2</sub> évitée : 8 000 RMB/t CO<sub>2</sub>\_évitée

### 3.7.2. Niveau de la province du Hubei

Nous pouvons utiliser ces résultats issus de l'étude sur Wuhan pour extrapoler des ordres de grandeurs d'économies d'énergie et d'investissements à la province du Hubei. Nous pouvons tout d'abord considérer que le climat de Wuhan est représentatif du climat sur toute la province. Ainsi, afin d'extrapoler les résultats de la ville à la province, il est nécessaire de connaître les statistiques des surfaces de bâtiments. La valeur qui nous intéresse est la surface des grands bâtiments publics et des bâtiments administratifs.

Les statistiques sur la province du Hubei sont les suivantes :

- surface de bâtiments publics : 263 millions m<sup>2</sup> ;
- surface de grands bâtiments publics et bâtiments administratifs : 131,5 millions m<sup>2</sup> <sup>[11]</sup> ;
- population : 60,7 millions d'habitants.

#### *En améliorant seulement les systèmes*

Coût d'investissement : 14,5 milliards RMB

Économies annuelles : 2,7 milliards RMB

Économies d'énergie primaire : 1,1 Mtce/an soit 13 % d'économies du total

Coût unitaire d'investissement par unité d'énergie primaire économisée : 13,7 RMB/ kgce\_économisé

Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : 2,9 Mt CO<sub>2</sub>/an

Coût unitaire d'investissement par tonne de CO<sub>2</sub> évitée : 5 125 RMB/t CO<sub>2</sub>\_évitée

#### *En améliorant les systèmes et l'enveloppe « niveau moyen »*

Coût d'investissement : 30,2 milliards RMB

Économies annuelles : 3,9 milliards RMB

Économies d'énergie primaire: 1,47 Mtce/an soit 19 % d'économies du total

Coût unitaire d'investissement par unité d'énergie primaire économisée : 20,5 RMB/ kgce\_économisé

Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : 3,8 Mt CO<sub>2</sub>/an

Coût unitaire d'investissement par tonne de CO<sub>2</sub> évitée : 7 818 RMB/t CO<sub>2</sub>\_évitée

#### *En améliorant les systèmes et l'enveloppe « niveau fort »*

Coût d'investissement : 39,5 milliards RMB

Économies annuelles : 4,9 milliards RMB

Économies d'énergie primaire: 1,9 Mtce/an soit 24 % d'économies du total

Coût unitaire d'investissement par unité d'énergie primaire économisée : 21 RMB/ kgce\_économisé

Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : 4,9 Mt CO<sub>2</sub>/an

Coût unitaire d'investissement par tonne de CO<sub>2</sub> évitée : 8 000 RMB/t CO<sub>2</sub>\_évitée

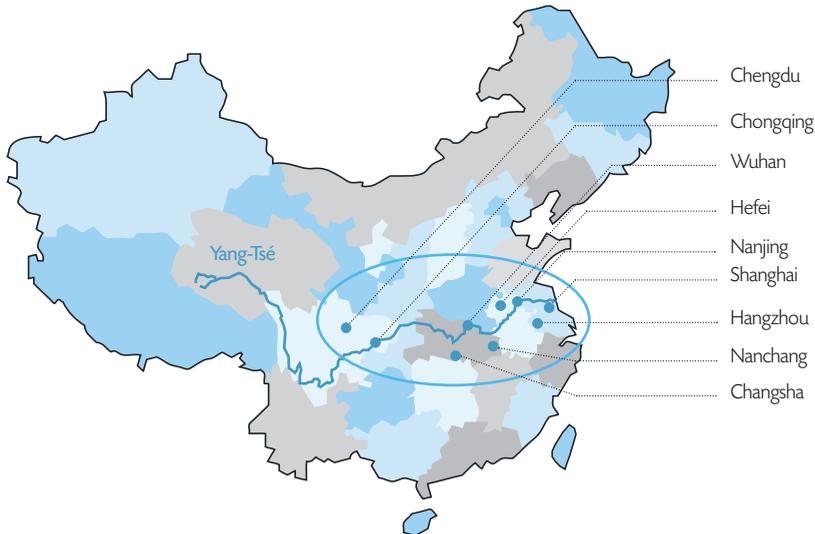
[11] Nous considérons que, comme à Wuhan, la surface de grands bâtiments publics et bâtiments administratifs représente ici la moitié de la surface de bâtiments publics.

### 3.7.3. Extrapolation au bassin du fleuve Yang-Tsé

Sur le bassin du Yangzi, on peut identifier un certain nombre de provinces qui peuvent bénéficier des estimations faites sur Wuhan et sur le Hubei. Les questions cruciales, pour pouvoir justifier une extrapolation des résultats, concernent la similarité climatique et les statistiques des surfaces. Nous avons cherché à vérifier ces deux points sur neuf provinces situées autour du Yang-Tsé, représentées par les données climatiques de neuf villes (les capitales) :

- Shanghai (ville de Shanghai) ;
- Hunan (ville de Changsha) ;
- Hubei (ville de Wuhan) ;
- Jiangxi (ville de Nanchang) ;
- Anhui (ville de Hefei) ;
- Chongqing Shi (ville de Chongqing) ;
- Sichuan (Ville de Chengdu) ;
- Jiangsu (ville de Nanjing) ;
- Zhejiang (ville de Hangzhou) ;

Carte 2 Localisation des villes et provinces autour du Yang-Tsé



Source : carte de la Chine, d'après la version Internet du State Bureau of Surveying and Mapping.

### Conclusions sur la similarité climatique

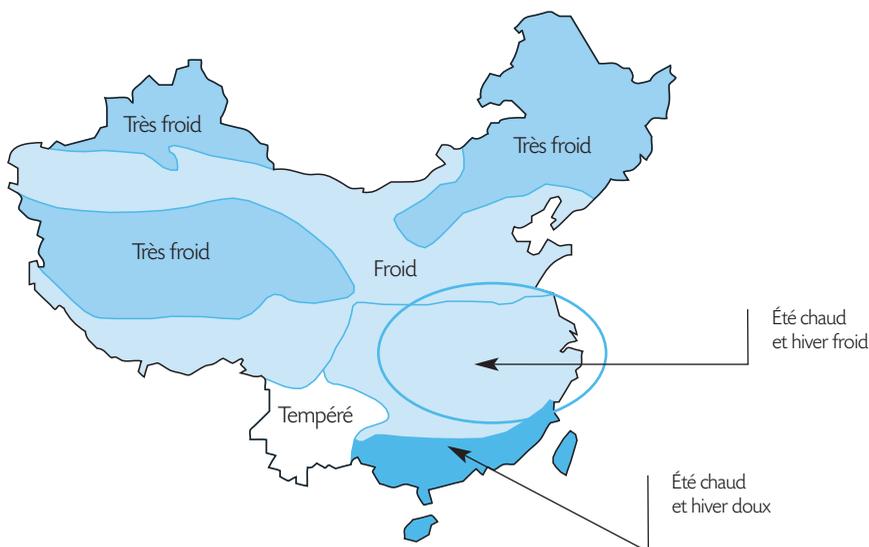
Nous pouvons dire que les villes de Shanghai, Nanjing, Hangzhou, Hefei, Nanchang, Wuhan et Changsha sont assez similaires pour les principaux paramètres climatiques. Le cas de l'ensoleillement reste particulier et les données varient trop d'une source à l'autre pour en tirer des conclusions sûres.

Les villes de Chengdu et Chongqing se démarquent un peu de ce « paquet » climatique à cause de leur position géographique plus à l'ouest, vers la frontière de la zone climatique « été chaud et hiver froid » avec la zone « hiver froid ».

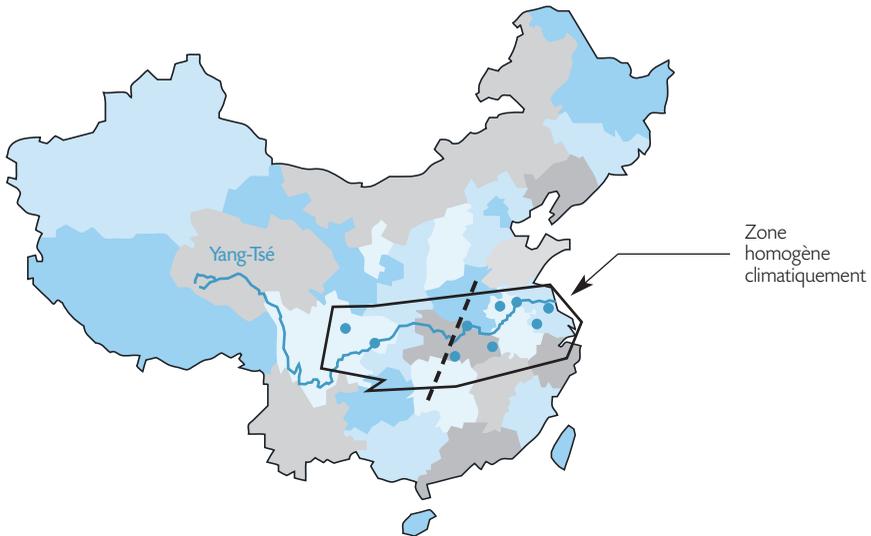
Cette distinction ne concerne donc principalement que la région englobant les provinces du Sichuan et de Chongqing ; celles-ci étant à cheval sur deux zones climatiques, il est plus prudent de les écarter.

Nous pouvons donc considérer que le climat autour du Yang-Tsé est assez homogène et ce, en s'appuyant sur plusieurs paramètres de comparaison. Les analyses énergétiques faites à Wuhan peuvent donc servir de première base pour extrapoler les résultats sur les provinces entourant le Yang-Tsé, excepté le Sichuan où les résultats devraient être recalculés.

### Carte 3 Zones climatiques homogènes



Source : Lawrence Berkley National Laboratory.



Source : carte de la Chine, d'après la version Internet du State Bureau of Surveying and Mapping.

### Conclusions sur les statistiques de surface construites

On observe un comportement marginal des provinces du Jiangsu et de Zhejiang, qui construisent beaucoup plus que les autres. Elles sont situées dans la région est du bassin du fleuve, autour de Shanghai. Les statistiques montrent que le développement urbain y est assez différent de celui des autres provinces ; l'industrie, notamment, y occupe une place plus importante. On observe la même tendance à Shanghai. Toute cette région côtière a manifestement des statistiques de surfaces qui diffèrent des provinces plus centrales. Pour ces raisons, nous considérons que l'extrapolation des travaux de Wuhan doit être menée dans des régions où la dynamique du secteur du bâtiment est homogène.

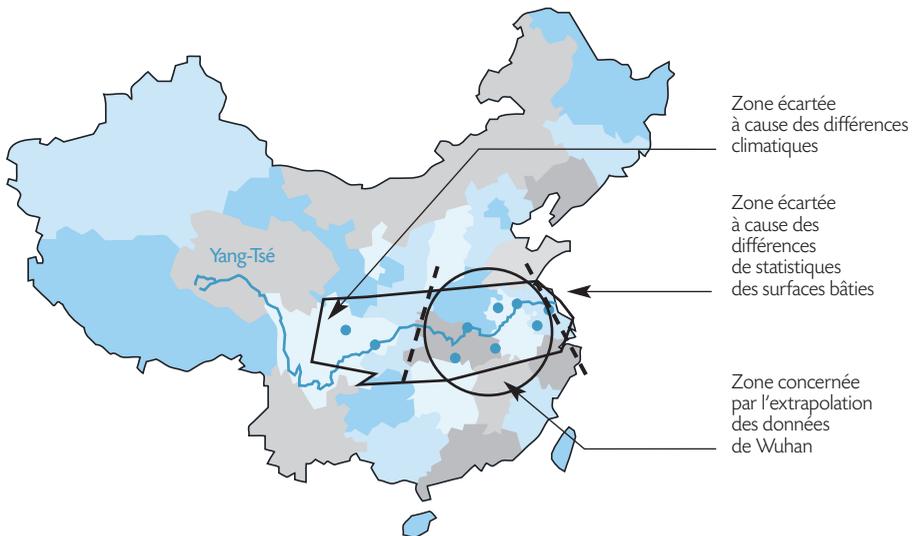
À partir des statistiques de surfaces construites et totales pour Wuhan, le Hubei et ces quatre provinces, nous obtenons les chiffres suivants :

- surface totale en milieu urbain : 2,56 milliards m<sup>2</sup> ;
- surface de logement en milieu urbain : 1,67 milliard m<sup>2</sup> ;
- surface de bâtiments publics : 890 millions m<sup>2</sup> ;
- population des quatre provinces : environ 235 millions d'habitants.

Nous conservons encore la répartition de Wuhan selon laquelle notre échantillon de bâtiments publics (grands bâtiments publics et bâtiments administratifs) représente la moitié du parc public, soit environ 445 millions m<sup>2</sup>.

La carte 4 indique la zone sur laquelle nous pouvons extrapoler, à priori, les résultats obtenus sur Wuhan.

**Carte 4** *Carte représentant les différentes villes et provinces autour du Yang-Tsé*



Source : carte de la Chine, d'après la version Internet du State Bureau of Surveying and Mapping.

À l'échelle du bassin du Yang-Tsé, les enjeux portent donc sur une surface de bâtiments publics de 445 millions m<sup>2</sup> pour une zone climatique homogène.

*En améliorant seulement les systèmes*

Coût d'investissement : 49 milliards RMB

Économies annuelles : 9 milliards RMB

Économies d'énergie primaire: 3,6 Mtce/an soit 13 % d'économies du total

Coût unitaire d'investissement par unité d'énergie primaire économisée :

13,7 RMB/kgce\_économisé

Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : 9,5 MtCO<sub>2</sub>/an

Coût unitaire d'investissement par tonne de CO<sub>2</sub> évitée : 5 125 RMB/CO<sub>2</sub>\_évitée

*En améliorant les systèmes et l'enveloppe « niveau moyen »*

Coût d'investissement : 102 milliards RMB

Économies annuelles : 13,2 milliards RMB

Économies d'énergie primaire: 5 Mtce/an soit 19 % d'économies du total

Coût unitaire d'investissement par unité d'énergie primaire économisée :

20,5 RMB/kgce\_économisé

Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : 13,1 CO<sub>2</sub>/an

Coût unitaire d'investissement par tonne de CO<sub>2</sub> évitée : 7 818 RMB/CO<sub>2</sub>\_évitée

*En améliorant les systèmes et l'enveloppe « niveau fort » :*

Coût d'investissement : 134 milliards RMB

Économies annuelles : 16,7 milliards RMB

Économies d'énergie primaire: 6,3 Mtce/an soit 24 % d'économies du total

Coût unitaire d'investissement par unité d'énergie primaire économisée :

21 RMB/kgce\_économisé

Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : 16,4 Mt CO<sub>2</sub>/an

Coût unitaire d'investissement par tonne de CO<sub>2</sub> évitée : 8 000 RMB/t CO<sub>2</sub>\_évitée

# Quatrième partie



## 4. Institutions et partenaires dans le processus de décision, d'organisation et de financement

### Préambule

La réhabilitation thermique des bâtiments cristallise, à des niveaux certes encore distincts, l'intérêt des pouvoirs publics, mais aussi des opérateurs économiques. Le traitement du potentiel d'économies d'énergie enclenche naturellement une série de bénéfices convergents pour la collectivité :

- source de croissance nouvelle, mais aussi relais de croissance pour le secteur de la construction dans les périodes de baisse de l'activité dans le secteur de la promotion immobilière ;
- vecteur d'amélioration de la sécurité énergétique du pays, en réduisant la dépendance du secteur des bâtiments aux énergies primaires importées ;
- amélioration des conditions et du confort d'usage des bâtiments ;
- réduction des pollutions locales et des impacts sur l'environnement global.

Cette vision partagée des intérêts à agir sur ce patrimoine ne s'accompagne pas encore d'un engagement à agir de façon autonome des parties prenantes, et en particulier des gestionnaires et usagers de ce patrimoine. La situation rencontrée en Chine est de ce point de vue très peu différente de celle que l'on rencontre en France ou dans les autres pays de l'OCDE.

Certaines externalités (coût de l'énergie au consommateur en particulier, rentabilité plus forte des investissements réalisés dans d'autres secteurs dont la promotion immobilière) mais également certaines distorsions et/ou discontinuités dans la transmission des signaux de marché (dichotomie d'intérêt entre propriétaire et occupant/locataire d'un bâtiment notamment) créent encore trop souvent une situation dans laquelle l'investisseur en économie d'énergie ne peut pas retirer la totalité des bénéfices potentiels associés. Malgré ces difficultés, la rénovation du patrimoine bâti existant s'inscrit au rang des priorités (et leviers) de la politique de

maîtrise de l'énergie en Chine, comme l'illustre l'énoncé de l'objectif national décliné en trois axes :

- *développement des énergies renouvelables en trois étapes* : 61 projets pilotes financés par le gouvernement central qui conduiront à la désignation de villes ou de provinces pour une expérimentation à grande échelle, avant une généralisation à l'ensemble de la Chine ;
- *construction de bâtiments « verts » (green buildings)*, qui répondront à des normes précises, suivant un travail de recherche et développement sur les matériaux pour créer des bâtiments écologiques au sens large (pas seulement économes en énergie) ;
- *rénovation du parc existant*, avec un plan de 150 millions m<sup>2</sup>, dont 40 millions ont été faits en 2008, 60 en 2009 et probablement 60 à nouveau en 2010.

L'effort engagé entre 2000 et 2010, fortement soutenu par le gouvernement central au moyen de subventions et de lignes de financements dédiées, est appelé à se poursuivre : le 12<sup>e</sup> plan quinquennal, qui a débuté en 2011, se donne pour objectif de rénover, rien que dans le secteur du logement, 300 millions de m<sup>2</sup> (environ six millions de foyers). Face à un tel enjeu, la question du financement devient un facteur déterminant de succès, l'État ayant pleinement conscience que les dispositifs d'incitation, basés sur des subventions du budget national, ne pourront être durablement maintenus.

Dans ce chapitre, nous présentons dans une première partie les organisations et dynamiques institutionnelles sur lesquelles prennent appui les initiatives provinciales et locales dans le domaine de la maîtrise de l'énergie, et nous illustrons l'état des pratiques actuelles de financement des investissements de réhabilitation et leurs limites. Dans une seconde partie, nous présentons une revue du niveau d'intérêt et d'engagement des acteurs publics et privés concernés par les programmes de réhabilitation et mettons en avant les points de blocages identifiés dans le cadre des concertations et échanges conduits par l'équipe de recherche franco-chinoise.

Le processus de réforme engagé au niveau national depuis 1988 s'accompagne d'un mouvement de décentralisation et de transfert de compétences. Aujourd'hui, 65 % des dépenses publiques sont assurées par les autorités locales, provinciales et municipales.

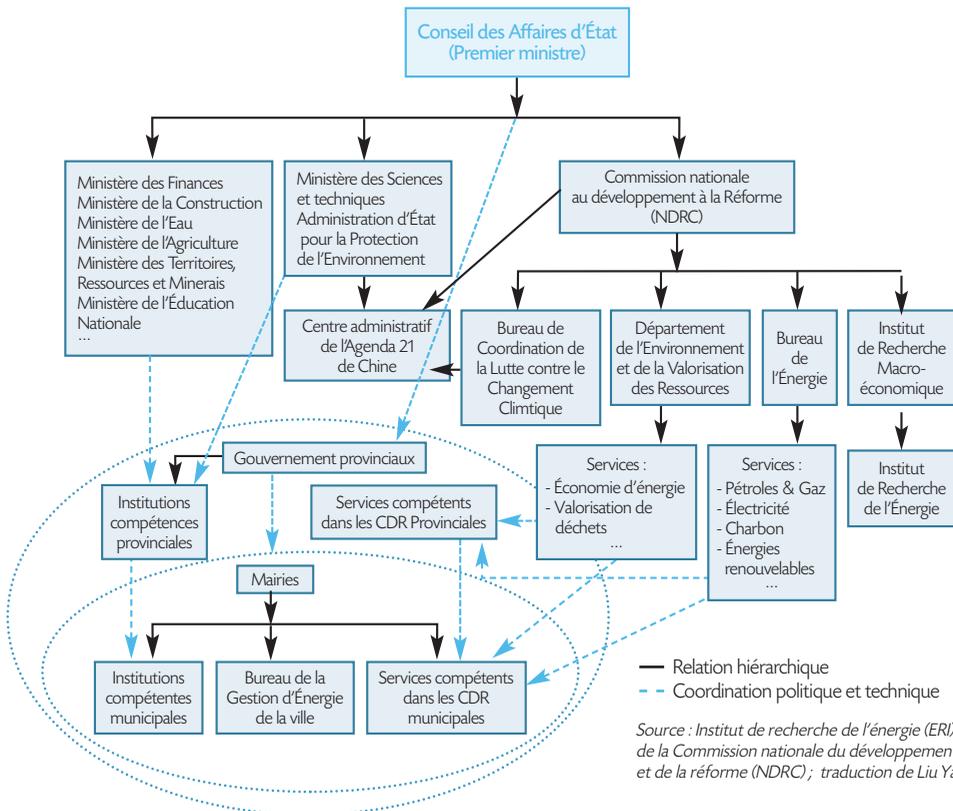
En matière d'efficacité énergétique et de promotion des énergies renouvelables, les actions des autorités centrales se concentrent sur le plan macroéconomique en déployant les outils législatifs, normatifs, réglementaires, etc. (normes de construction, réglementation thermique, fiscalité, subventions, lignes de financement dédiées, etc.).

## 4.1. Structure d'ensemble de l'efficacité énergétique en Chine

Issue de la dernière réforme institutionnelle en 2003, la Commission nationale du développement et de la réforme joue un véritable rôle de chef d'orchestre sur le plan national pour les actions de maîtrise de l'énergie, la promotion des énergies renouvelables et le développement de l'industrie environnementale. Elle a annexé les services responsables de ces domaines qui étaient présents dans l'ancienne Commission d'État de l'économie et du commerce.

Le schéma 9 propose (dans la mesure du possible) une description de la nouvelle structure de décision en matière d'environnement, d'efficacité énergétique, et d'énergies renouvelables (ce schéma est synthétique ; la structure de décision est en réalité plus complexe).

**Schéma 9** Organigramme de la structure chinoise d'efficacité énergétique



Pour faciliter la compréhension, le niveau national en Chine est désormais à peu près l'équivalent de la Commission européenne et le niveau provincial chinois se situe au niveau des pays membres européens. Il y a cependant une grande différence : les échanges et surveillances administratives entre les deux niveaux chinois sont beaucoup plus importants que ceux entre la Commission européenne et les pays membres.

Le niveau municipal chinois est l'équivalent des régions françaises, bien que la mairie chinoise dispose d'une autonomie plus forte que les conseils régionaux français.

C'est ainsi que les institutions centrales en Chine jouent plutôt un rôle de coordination, et celles au niveau provincial et municipal, un rôle plus opérationnel.

### 4.1.1. Au niveau national

La nouvelle Commission nationale du développement et de la réforme (*National Development and Reform Commission*, NDRC) a en charge une coordination de développement intersectoriel et interrégional. En matière d'efficacité énergétique, de promotion des énergies renouvelables et de l'environnement, quatre départements et institutions sont impliqués en dessous de la NDRC. Ils sont présentés *infra*.

#### Institut de recherche de l'énergie

Dépendant directement de l'Institut de recherche macroéconomique, l'ERI est chargé de fournir des assistances « politico-techniques » aux institutions chinoises dans l'élaboration de leurs politiques sectorielles et pour l'organisation et la participation aux négociations internationales. Ses compétences en matière de recherche se concentrent sur les domaines suivants :

- la stratégie du développement de l'économie énergétique nationale ;
- la stratégie de l'efficacité énergétique et les actions à entreprendre dans les différents secteurs en la matière ;
- les impacts de la production et de la consommation d'énergie sur le changement climatique ;
- la politique sectorielle de la promotion des énergies renouvelables ;
- la participation à la rédaction de la politique énergétique du pays ;

- le développement des modèles informatiques : modèle d'évaluation des actions pour la réduction d'émission de gaz d'effet de serre – SGM<sup>[12]</sup> (China), modèle d'évaluation des impacts politiques sur le développement économique et social (*Integrated Policy Assessment model for China*, IPAC).

### Bureau de l'énergie

Chargé de la coordination du développement de la production et de l'approvisionnement d'énergie dans toute la Chine, ce bureau organise et participe à l'élaboration de la politique de la production d'énergie (charbon, pétrole, gaz naturel, électricité et chaleur). Tous les nouveaux projets de production énergétique dont la puissance installée ou les investissements dépassent le seuil<sup>[13]</sup> d'approbation des autorités locales doivent être approuvés par les services compétents de ce bureau. Il a également en charge la mise en œuvre de la politique de la promotion des énergies renouvelables, éolienne, photovoltaïque, mini et micro hydraulique. Les plans d'action d'efficacité énergétique dans les entreprises de production énergétique font également partie de ses missions.

### Département de l'environnement et de la valorisation des ressources<sup>[14]</sup>

Ce département a en charge l'élaboration et l'application des politiques nationales en matière d'efficacité énergétique, de valorisation des déchets, et de développement de l'industrie environnementale.

En matière d'efficacité énergétique, jusqu'en 2006, il limitait son activité au secteur de l'industrie avec un budget d'intervention annuel de 10 à 20 milliards RMB/an. Cette ressource a été mobilisée sous forme de crédits bonifiés dédiés aux projets d'innovation industrielle et aux financements d'équipements économes en énergie (la liste des équipements éligibles étant établie et actualisée annuellement par le département).

[12] Il s'agit d'un modèle macroéconomique. Comme les autres modèles, il permet la simulation des interactions intersectorielles et de la propagation des effets des politiques de réduction des émissions dans l'ensemble des économies. Ces modèles fournissent une évaluation du coût macroéconomique des politiques de réduction, sous la forme de variations de PIB ou de coûts en bien-être, une fois pris en compte l'ensemble des effets de système dans l'économie. Le modèle SGM est essentiellement consacré à l'énergie. En France, les modèles de simulation généralement utilisés sont GEMINI-E3 et LINKAGE-ENV (successeur de GREEN à l'OCDE) Dans le monde, parmi les plus connus de cette catégorie, on compte les modèles EPPA, Worldscan, SGM, WIAGEM et AMIGA.

[13] Le seuil variant selon la province et la ville, nous ne sommes pas en mesure de tous les citer dans ce document.

[14] Cette institution est connue dans le milieu de la maîtrise de l'énergie et de l'environnement en France par son ancienne appellation : Bureau des économies d'énergies et de l'utilisation rationnelle des ressources, BEURR.

À partir du 11<sup>e</sup> plan quinquennal (2006-2010), ce département intègre l'efficacité énergétique dans le bâtiment dans ses plans d'actions. Il financera, *via* des subventions directes et des crédits bonifiés, des projets pilotes de réhabilitation des bâtiments publics et de logements, dans le cadre d'un objectif national de baisse de 20 % de l'intensité énergétique sur la période d'exécution du 11<sup>e</sup> plan.

### Bureau de coordination nationale de la lutte contre le changement climatique

Coordinateur chinois de l'application de la Convention de Rio et du Traité de Kyoto, ce bureau est intégré dans le département de l'économie régionale. Il est chargé de l'élaboration – et notamment de la coordination de l'application – de la politique du développement économique et social des régions, tout en intégrant la mise en œuvre des mécanismes du développement propre dans le développement régional.

#### 4.1.2. Au niveau provincial

Dans chaque province les gouverneurs et leurs adjoints sont élus lors de la session plénière de l'assemblée de la province, dont la présidence est souvent assurée par le secrétaire du comité du parti communiste chinois de la province. Toutes les institutions administratives, bureaux et commissions, dépendent directement du gouvernement provincial et les directeurs sont proposés, en principe, par le gouverneur et approuvés par l'assemblée. La structure administrative de la province est quasiment la même qu'au niveau national. On trouve donc une institution provinciale correspondant au ministère ou à la commission du niveau national, cependant la liaison entre les institutions des deux niveaux est plutôt technique et coordinatrice. Bien entendu, il y a des sujets<sup>[15]</sup> et des projets<sup>[16]</sup> qui doivent être traités ou approuvés par les institutions centrales.

Comme la NDRC, la Commission du développement et de la réforme (*Development and Reform Commission*, DRC) provinciale joue un rôle de coordination du développement économique et social au niveau de la province. Pour des raisons historiques, les institutions provinciales sont plus exécutives et plus pragmatiques que les institutions nationales. Les moyens dédiés aux activités de recherche et d'études y sont donc plus limités. Il n'y a, par exemple, pas d'équivalent de l'ERI dans les provinces. Néanmoins, elles travaillent beaucoup avec les laboratoires et les centres de recherche publics, universitaires ou académiciens. Ainsi, on trouvera toujours, au sein de la

---

[15] Relations diplomatiques, questions de la défense nationale, etc.

[16] Des grands projets d'infrastructure ou projets dont les investissements dépassent le seuil de l'approbation des autorités provinciales compétentes.

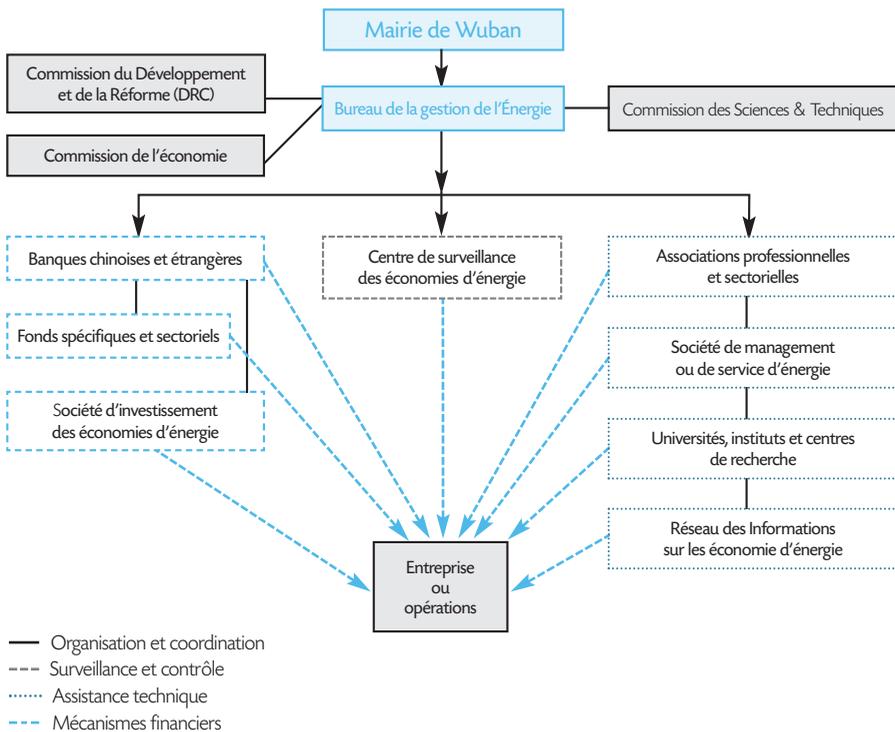
commission de la construction au niveau provincial et municipal, un comité des sciences et techniques réunissant tous les grands experts et spécialistes locaux dans les domaines des matériaux de construction, de l'architecture, des travaux de génie civil, de la construction, des questions thermiques, etc.

Les services locaux, au niveau provincial comme au niveau municipal, ont des missions à vocation plus opérationnelle que ceux du niveau central.

### 4.1.3. Au niveau municipal

La structure et le fonctionnement de l'administration municipale sont les mêmes qu'au niveau provincial. C'est à ce niveau que sont réalisées les opérations concrètes.

**Schéma 10** *Structure d'intervention pour la réalisation des projets d'efficacité énergétique de Wuhan*

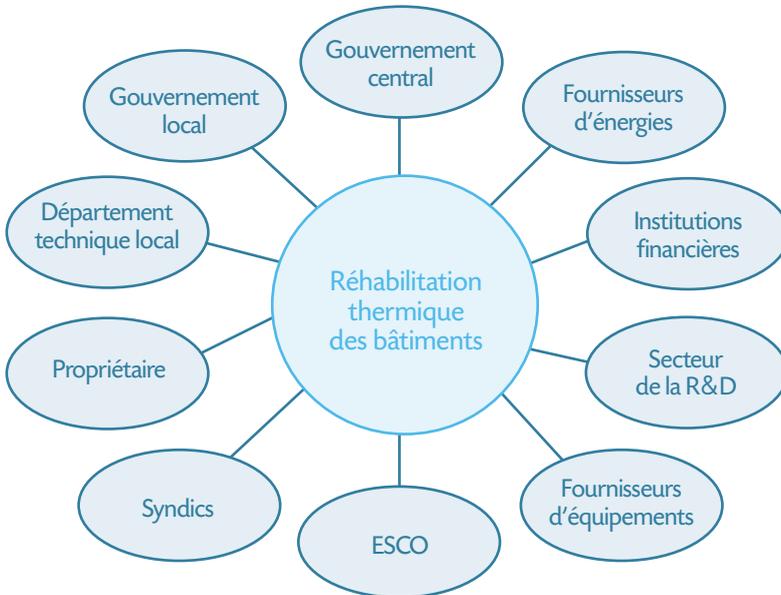


Source : Bureau de gestion de l'énergie de la ville de Wuhan (traduction de Yazhong Liu).

## 4.2. Intérêts et barrières au développement des investissements de réhabilitation thermique des bâtiments : le jeu des acteurs

### 4.2.1. Les acteurs de la réhabilitation énergétique des bâtiments

#### Schéma 11 Les acteurs de la réhabilitation



Source : ICE

Nous avons vu que le gouvernement central et les institutions provinciales et locales disposaient de structures et de moyens dédiés à la promotion et au soutien de l'efficacité énergétique. Nous avons également montré, en deuxième partie de cet ouvrage, comment ces institutions s'étaient impliquées, avec le soutien de l'AFD et de ses consultants, dans la formalisation des enjeux énergétiques et d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre associés à des programmes de réhabilitation des bâtiments à grande échelle. Aux côtés des institutionnels, les acteurs économiques (promoteurs, gestionnaires, sociétés de services, institutions financières, etc.) ont également exprimé le souhait de mieux comprendre l'intérêt économique de tels programmes, et les conditions dans lesquelles ils pouvaient y participer.

Il est cependant apparu, pour des raisons souvent de natures différentes, que la majorité des acteurs voyaient leur volonté d'engagement limitée par des contraintes de

nature institutionnelle, économique ou financière. L'équipe de recherche franco-chinoise a mené des entretiens avec les différentes parties prenantes pour évaluer leurs positions respectives et dégager des pistes pour des recommandations et des futurs montages financiers. Nous présentons *infra* le rôle et le positionnement de chacun des acteurs.

#### 4.2.2. *Gouvernement central*

Les institutions représentant l'intérêt national véhiculent un message extrêmement positif quant à la démarche engagée par la province du Hubei. Celle-ci s'inscrit dans le droit fil de la stratégie nationale d'efficacité énergétique et cible un secteur à forts enjeux économiques et sociaux, mais également environnementaux et « réputationnels », renforçant en effet la crédibilité de la Chine dans les négociations internationales sur le climat. La motivation de voir se développer des programmes de réhabilitation thermique des bâtiments est donc très forte. Dans le même temps, le gouvernement central et ses structures dédiées ne disposent pas des ressources suffisantes pour accompagner toutes les initiatives provinciales aux travers d'allocations de subventions, comme cela a pu être le cas entre 2000 et 2010, dans le cadre des programmes prioritaires de réhabilitation menés dans les provinces du nord du pays (cf. encadré 2).

Encadré

2

#### *Le cadre de la réhabilitation énergétique pour les bâtiments existants dans le nord de la Chine*

##### Contenu du programme de réhabilitation et acteurs

Au plan technique, la réhabilitation en Chine du Nord se déroule en trois étapes : (i) rénovation des installations de comptage thermique, (ii) rénovation des réseaux de chaleur, et (iii) rénovation de l'enveloppe (murs, toitures, fenêtres, portes). On trouve d'un côté les acteurs publics (le gouvernement central, les collectivités locales, *i.e.* régions et municipalités) et, de l'autre côté, les comités de quartiers.

Chaque acteur joue un rôle précis dans le processus :

- *le gouvernement central* (*i.e.* le ministère du Logement et du Développement urbain et rural, et le ministère des Finances) fixe l'objectif global de réhabilitation (*i.e.* les surfaces d'habitation à réhabiliter) et la répartition de cet objectif entre les quinze provinces du Nord ; les normes de réhabilitation et les modes opératoires ; les ressources humaines à mobiliser (manuel de formation, bureaux d'études, d'exécution, de contrôle, etc.). Il est responsable de l'évaluation et de la réception des travaux ;

...

•••

- *les collectivités régionales et locales* mettent en place les financements pour accompagner les rénovations, effectuent des sondages pour mesurer les consommations d'énergie, et peuvent édicter des normes de réhabilitation plus exigeantes que celles édictées par le gouvernement central ;
- *les comités de quartier* organisent les travaux : porte à porte auprès des habitants pour sensibiliser les ménages aux économies d'énergie et les faire adhérer au programme ; appels d'offre pour la réalisation des travaux.

Les autres acteurs impliqués dans la mise en œuvre du programme sont les acteurs privés : propriétaires immobiliers, habitants, entreprises de fourniture de chaleur, ESCO (qui, pour le moment, ont un rôle minime). Ils interviennent dans les phases de décisions, de financement et d'exécution aux différents stades du montage et de la réalisation des travaux.

### Modes de financement

Différents modes de financement existent en fonction de l'opérateur principal responsable de l'opération de rénovation. En règle générale, le gouvernement central subventionne les opérations de rénovation dans le Nord, à hauteur moyenne de 50 RMB/m<sup>2</sup> soit environ 25 % du coût de la réhabilitation. À ce premier niveau de soutien et d'incitation s'ajoute, la plupart du temps, une subvention du même montant allouée par la province et la municipalité. Le reste du coût des travaux est le plus souvent à la charge du propriétaire. Lorsque ce sont les promoteurs immobiliers qui entreprennent des opérations de rénovation, ils les financent en augmentant la surface habitée par deux procédés : rajout d'étage ou intégration des balcons dans une structure plus vaste (gain de 20 m<sup>2</sup> par logement en moyenne). Dans certains cas, sous la pression du gouvernement, ce sont les sociétés de distribution de la chaleur (certaines sont publiques) qui investissent, dans d'autres, ce sont les sociétés de construction qui font les travaux sur leurs fonds propres (en se rétribuant ensuite sur les économies réalisées).

### Cas des sociétés de gestion immobilière

Dans la province du Shandong, la rénovation de l'École normale supérieure (intervention sur les réseaux de chaleur et le comptage de l'énergie) a été réalisée pour un montant d'investissement de 5 millions RMB. Les économies engendrées ont été de 40 % par rapport à la situation initiale. La société de gestion immobilière perçoit les charges de chauffage. Leur niveau est resté inchangé après la rénovation pendant un certain temps afin de permettre le remboursement des investissements. Une fois l'investissement amorti, les charges de chauffage de l'établissement baisseront. C'est un modèle assez simple qui tend à se reproduire en Chine.

•••

...

### Cas des sociétés de gestion immobilière

Le système le plus simple est celui mis en œuvre par les grandes entreprises (pétrolières, de construction automobile, banques, etc.), qui sont propriétaires des bâtiments (et parfois même du réseau de chaleur). Outre le fait de posséder les bâtiments (logement des employés et bureaux) et les réseaux de chaleur, elles disposent également de la surface financière suffisante pour investir en propre dans la rénovation de ce patrimoine, ou soutenir les investissements en économie d'énergie des occupants dans la rénovation de ce patrimoine. Un constructeur automobile a, par exemple, incité les familles qu'il logeait à rénover leur logement en proposant des primes aux premières familles qui participaient.

Ce sont les habitants qui prennent en dernier ressort l'initiative de la rénovation, comme ce fut le cas dans la ville de Chényang. Certains habitants occupaient des logements sous-chauffés, humides (moisissures), bruyants ; ils se sont donc organisés pour démarcher les sociétés de construction et organiser le financement et la réalisation de la remise à niveau thermique de ces logements.

### Cas particulier

Dans la province pauvre de Ninxia, la municipalité et la région ne disposant pas de fonds, l'État subventionne toujours à hauteur de 25 %, la société de chaleur fournit 20 %, les habitants 15 % et la société de construction les 40 % restant.

Une étude récente sur la comparaison des modes de rénovation (individuelle ou collective) montre que les rénovations individuelles ont l'avantage d'être un tiers moins cher : c'est parce qu'elles ne concernent que les murs (isolant) et les fenêtres. Ces rénovations individuelles sont en effet initiées par les occupants pour parer aux problèmes de moisissure, de bruit, et dans un souci d'améliorer le confort thermique (16°C en hiver).

Si les rénovations collectives sont plus coûteuses, après les travaux, les bâtiments consomment moins d'énergie qu'en rénovation individuelle. Ces rénovations sont partiellement subventionnées par l'État ; une agence diligente la réalisation (avec un appel d'offres) et contrôle les travaux.

### Enseignements et les difficultés rencontrées

Même si les expériences et programmes de rénovation thermique des bâtiments constituent une démarche récente en Chine, il est possible d'en tirer quelques enseignements :

- l'intervention de l'État central est primordiale dans la réussite d'un programme de rénovation pour la définition et le pilotage du programme, pour la définition d'objectifs et de normes et pour le soutien financier par la subvention (sans le financement de 50 RMB/m<sup>2</sup> du gouvernement central, rien ne se serait fait pour les 150 millions de m<sup>2</sup>) ;

...

...

- se pose alors la question de la pérennisation des fonds : si l'association des fonds privés et des mécanismes de marché semble évidente, comment peut-elle se faire ? (Il n'y a plus de banques publiques en Chine, il n'y a que des banques commerciales.) Il faut responsabiliser les hommes politiques à tous les niveaux ; il faut également mettre en place une politique d'évaluation à chaque niveau de décision. (Il y a trop peu d'évaluation : 20 % seulement) ;
- se posent également les questions relatives à la coordination des nombreux acteurs et aux compétences des autorités locales. Il est nécessaire d'adopter une approche scientifique, encadrée, de la rénovation (procédures légales, audit, enquêtes, appel d'offre, mesure des résultats *via* les compteurs, bilans). Il faut également réfléchir à des modes opératoires adaptés aux provinces, compte tenu de l'étendue du territoire. Enfin, il est important que le comité de quartier soit le premier relais de la politique gouvernementale pour convaincre les habitants.

### 4.2.3. Province et ville

L'attention et l'intérêt portés par les autorités provinciales et locales au développement de programmes d'économies d'énergie dans le secteur du bâtiment relaient évidemment les priorités définies au niveau national (matérialisées par un objectif de réduction rapide et d'ampleur de l'intensité énergétique : réduction de 20 % sur la période d'exécution du 11<sup>e</sup> Plan). Il serait cependant imparfait de limiter l'intérêt, au niveau provincial et local, à ce seul argument.

En effet, les raisons pour lesquelles la province du Hubei et la Ville de Wuhan s'intéressent à l'amélioration de l'efficacité énergétique sont également de nature locale : les coûts croissants de la facture énergétique sur leurs propres patrimoines, ainsi que sur celui des organismes et services qu'elles financent au travers de leurs budgets, constituent une première motivation. À celle-ci vient s'ajouter la responsabilité qui incombe aux gouvernements locaux d'assurer et de garantir la sécurité et la qualité de l'approvisionnement énergétique.

Or, dans un contexte de forte croissance de la demande énergétique (et en particulier électrique), qui accompagne le développement économique de la province, des déséquilibres apparaissent entre l'offre et la demande. Ils s'accompagnent de délestages, et parfois de ruptures d'approvisionnement en énergie primaire (essentiellement le charbon) nécessaire à la production d'électricité. L'efficacité énergétique apparaît donc comme un vecteur essentiel d'une meilleure gestion des capacités existantes et d'une planification optimisée des investissements de renforcement de capacités.

Ces facteurs favorables sont cependant contrebalancés par des arbitrages politiques imposés par le contexte local. Au premier rang de ces arbitrages, jouant négativement sur la faisabilité d'un engagement prioritaire en moyens des gouvernements locaux, figure l'incontournable hiérarchie des priorités budgétaires. À budget constant, les pouvoirs publics financent en priorité les investissements dont l'urgence s'exprime à court terme (infrastructures urbaines, développement économique, priorités sociales). Ces priorités, qui traduisent l'exigence de croissance économique, entrent naturellement en conflit d'intérêt avec les objectifs de la politique d'efficacité énergétique et environnementale. En outre, la décision politique s'inscrit dans le cadre du cycle des mandatures locales (renouvellement des mandats tous les 5 ans) qui impose des résultats concrets et mesurables à l'aune des indicateurs de performance économique et financière ; or, force est de constater que la rentabilité des investissements en efficacité énergétique dans les bâtiments existants arrive, par exemple, bien après celle des investissements de promotion immobilière. Par ailleurs, la visibilité et la dimension promotionnelle des projets d'économie d'énergie étant bien inférieures à celles des autres projets relevant de la compétence et de la décision politique, cette catégorie de projet ne peut pas se maintenir durablement au niveau des priorités de l'action politique.

Enfin, lorsque les institutions provinciales et locales s'engagent avec volontarisme dans un programme ambitieux de réhabilitation (comme ce fut le cas dans le cadre du programme de recherche), la capacité de communication, d'échange et de coopération inter-départements et services apparaît comme un facteur clé de succès. Or, la culture et l'expérience de cette transversalité (entre les départements et services à compétence technique et ceux à compétence patrimoniale, économique ou financière) restent encore peu développées ; ils allongent donc les processus de concertation et de décision et ralentissent la mise à jour de synergies de moyens.

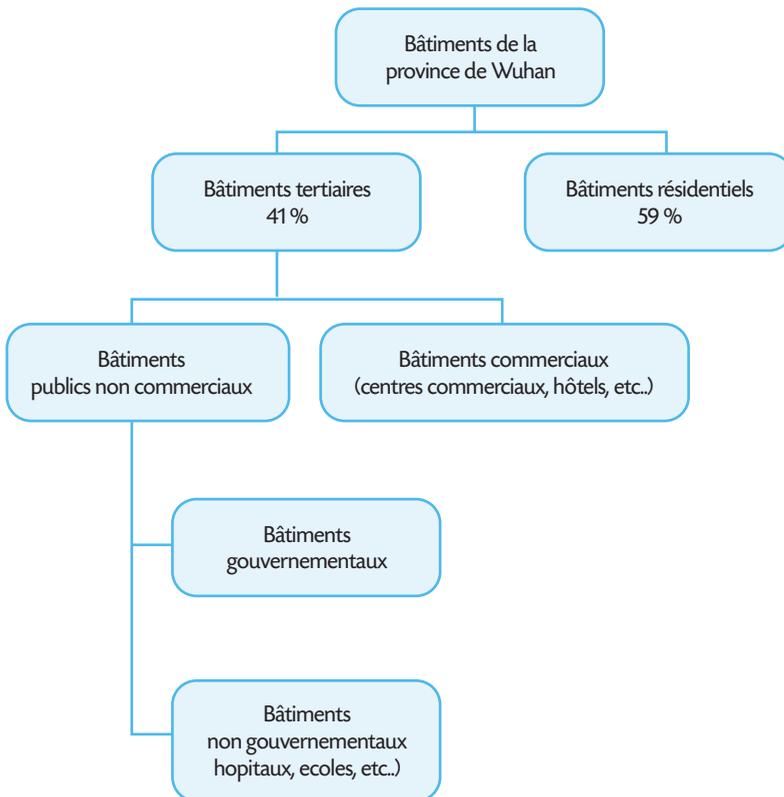
#### 4.2.4. *Propriétaires des bâtiments*

À une typologie très large de bâtiments (bureaux, enseignement, hôpitaux, magasins et centres commerciaux, bâtiments socioculturels, etc.) répond une diversité des statuts de propriété et d'occupation des bâtiments qui complexifie le processus de décision et les conditions de mise en œuvre d'investissements d'efficacité énergétique. Sur la partie du patrimoine relevant d'un statut de service public, la faisabilité économique d'un projet de réhabilitation est, en outre, rendue complexe par le fait que la charge de la facture énergétique peut souvent être répartie entre le propriétaire, l'occupant et le budget de l'institution locale ou provinciale.

On distingue ainsi :

- les bâtiments publics dont les charges de fonctionnement (dont la facture énergétique) sont prises en charge sur le budget public (bâtiments abritant les services des administrations de la ville ou de la province) ;
- les bâtiments de services dont les charges de fonctionnement (dont la facture énergétique) sont prises en charge sur le budget public (hôpitaux, écoles, etc.) ;
- les bâtiments dont les charges sont assumés directement par l'occupant, sans soutien public.

**Schéma 12** *Structure du parc de bâtiment dans la zone urbaine de Wuhan*



Source : Équipe projet, Groupe C.

Les statuts de propriété recouvrent au moins quatre configurations :

- propriétaire unique public ;
- propriétaire privé unique ;
- propriétaire privé unique ou multiple ;
- propriétaire public multiple.

Par conséquent, l'intérêt à investir pour améliorer la performance thermique des bâtiments dépend de trois motivations (qui peuvent, ou non, se combiner) :

- réduction de la facture énergétique ;
- amélioration du standard et du niveau de confort du bâtiment ;
- mise en application des recommandations insistantes du gouvernement central à agir pour améliorer l'efficacité énergétique de l'économie.

Cet intérêt est cependant atténué par un certain nombre de barrières non techniques :

- la réhabilitation thermique lourde (enveloppe et système) nécessite des montants d'investissement importants, qui rentrent en compétition avec les autres besoins d'investissement (en particulier avec les investissements productifs) ; de plus, ces investissements en efficacité énergétique présentent des profils de temps de retour beaucoup moins attractifs que les autres investissements ;
- le processus de décision implique de nombreux acteurs avec des motivations différentes, reflétant des coûts d'opportunités distincts.

#### 4.2.5. Sociétés de gestion immobilière

Nouveaux opérateurs sur le marché chinois de l'immobilier, les sociétés de gestion apportent l'ensemble des services nécessaires à une bonne exploitation des bâtiments (sécurité, nettoyage, chauffage, climatisation, espaces verts, etc.). Pour ces opérateurs, engagés contractuellement dans la qualité des services énergétiques des bâtiments qu'ils exploitent, l'amélioration des performances énergétiques est un axe de développement qui suscite un grand intérêt. Une baisse de la consommation permet en effet de dégager des marges financières. Cette catégorie d'acteurs est donc fortement motivée pour s'investir dans l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments. Toutefois, encore récents sur le marché chinois, ils manquent encore de références et de crédibilité pour emporter la décision des propriétaires à s'engager dans des schémas contractuels permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

#### 4.2.6. Sociétés de services énergétiques (ESE ou ESCO)

L'ESCO est une société qui investit dans un projet d'efficacité énergétique à la place du propriétaire (principe du « tiers payant »), qui réalise les travaux sous sa responsabilité, et qui est rémunérée (de son investissement et de ses services) par les économies d'énergies réalisées. Cette formule connaît un grand développement dans certains pays européens (Allemagne, Autriche, Espagne, pays d'Europe de l'Est). Elle s'applique surtout dans le secteur tertiaire et, de préférence, sur des projets groupés afin d'atteindre une taille d'investissement suffisante. La partie délicate de ce schéma de financement concerne l'établissement du contrat qui lie l'ESCO et son « client », dans la mesure où les deux parties doivent s'accorder sur un protocole permettant de déterminer la consommation de référence (*baseline*) avant les travaux, ainsi que les conditions de suivi des performances attendues des investissements en économie d'énergie après travaux. Ces données doivent permettre de déterminer la part des économies réalisées sur la facture énergétique revenant à l'ESCO et, par conséquent, la durée au terme de laquelle les investissements initiaux consentis par cette dernière auront été remboursés. À ce terme, le client de l'ESCO pourra bénéficier de la totalité des économies d'énergie et d'un bâtiment thermiquement rénové.

Apparues au début des années 2000 sur le marché chinois, les sociétés de service énergétique (ESE ou ESCO en anglais) se sont développées rapidement en nombre (*China Energy Management Company Association* – EMCA – l'association des ESCO chinois compte plus de 300 adhérents). Leur taille reste cependant encore modeste même si l'on dénombre déjà quelques ESCO ayant développé des portefeuilles de contrats de performance énergétique de plusieurs dizaines de millions d'euros (début 2007, le nombre de contrats développés par ces structures était, selon l'EMCA de 1 426, pour un montant d'investissement total de 550 millions USD). Ces sociétés se développent dans un contexte économique et institutionnel extrêmement favorable (croissance économique forte du marché de l'environnement, soutien institutionnel au développement des activités économiques permettant d'améliorer l'efficacité énergétique et de réduire les émissions de gaz à effet de serre). Pour ces opérateurs, la perspective de voir se développer des programmes de réhabilitation à grande échelle est un facteur de forte motivation à continuer de développer ce secteur et d'imaginer pour ce faire des montages juridico-financiers adaptés aux besoins des maîtres d'ouvrage.

L'activité des ESCO repose sur un mécanisme simple : financer les coûts d'investissements en économie d'énergie au moyen des économies d'énergies découlant de ces investissements. L'ESCO prend à sa charge le coût d'investissements et/ou s'engage

en garantie sur un niveau d'économie d'énergie qui permet au maître d'ouvrage de structurer le financement de son opération en toute sécurité.

La mise en œuvre de ce mécanisme suppose cependant l'existence de certaines conditions qui ne sont aujourd'hui pas nécessairement toutes réunies sur le marché chinois :

- les prix des énergies facturées au consommateur doivent s'établir à un niveau acceptable pour que les économies financières découlant de l'opération soient suffisantes pour permettre le remboursement de l'investissement et dégager une marge pour l'ESCO ;
- les ESCO doivent pouvoir disposer d'une surface financière pour être crédibles vis-à-vis des clients potentiels (et notamment pouvoir prendre des engagements contractuels sur la performance économique du plan d'économies d'énergie préconisé), mais également vis-à-vis des établissements bancaires qui devront apporter les ressources en prêts nécessaires au financement des investissements lorsque ceux-ci sont financés en direct par les ESCO ;
- les ESCO doivent pouvoir trouver sur le marché bancaire des prêts à des taux d'intérêt et avec des maturités adaptés aux performances financières des projets qu'elles financent (et en particulier accéder à des financements de long terme pouvant aller au delà de dix ans pour pouvoir prendre en compte des projets à temps de retour long, ce qui est généralement le cas lorsque le plan d'amélioration thermique du bâtiment s'attache à intervenir sur l'enveloppe) ;
- il doit exister un cadre juridique permettant aux ESCO d'adapter le contrat de performance énergétique aux opérations sur les bâtiments qui sont la propriété de l'État et des collectivités locales.

Aujourd'hui, les ESCO sont dans leur majorité encore trop faiblement capitalisées pour pouvoir assumer la charge d'investissement de programmes de réhabilitation d'ampleur. Elles se concentrent sur le marché de la rénovation et/ou du remplacement des systèmes de production de chaleur ou de froid et sur l'éclairage mais ne peuvent encore intervenir massivement sur l'enveloppe des bâtiments. Par ailleurs, le marché de l'efficacité énergétique, encore en phase de développement, est mal connu du secteur bancaire et financier. Cette méconnaissance se traduit par une perception de risque élevé, en particulier pour les projets financés avec des montages basés sur le contrat de performance énergétique. Cette appréhension se reflète naturellement par prudence dans l'octroi des crédits à ce type de projets et/ou par des conditions de prêts strictes et économiquement plus coûteuses pour l'emprunteur par rapport aux prêts consentis pour des projets plus classiques.

### 4.2.7. Producteurs et distributeurs de matériaux et d'équipements performants

L'intérêt des producteurs et distributeurs de matériaux et d'équipements performants pour des initiatives visant à développer le marché de la réhabilitation thermique est évident. Toutefois, la stratégie de développement commercial de ces acteurs se heurte à différentes catégories d'obstacles :

- *les prix* : les matériaux et équipements performants, du point de vue de l'efficacité énergétique, étant en général plus coûteux que les matériaux et équipements de standard énergétique moyen, l'arbitrage des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre se fait souvent en leur défaveur. Par ailleurs, les sociétés de service énergétique, vecteurs naturels pour la diffusion de ces équipements, souffrent de surfaces financières limitées, ce qui les amène à limiter les surinvestissements et, donc, à se centrer sur les composantes les moins onéreuses des programmes d'économies d'énergie qu'elles préconisent (gestion optimisée des installations de chauffage et de froid et éclairage) ;
- *l'accès aux marchés* : les règles de mise en concurrence des fournisseurs de matériaux et d'équipements ne sont pas toujours suffisamment transparentes, en particulier en ce qui concerne les critères techniques d'attribution des marchés. Le critère du moins disant reste un facteur de choix dominant, qui laisse peu de chance à ces nouveaux acteurs ;
- *la confiance des consommateurs* : les matériaux et équipements en efficacité énergétique souffrent de l'absence de cadre permettant de garantir leurs performances au moyen d'un label, par exemple. Cette situation ouvre la voie à une grande disparité des performances réelles des équipements mis sur le marché. Il en résulte, pour l'acquéreur potentiel, une perception de risque peu favorable à la décision d'achat.

### 4.2.8. Recherche et développement

Les acteurs de la recherche et du développement (grandes écoles, universités et laboratoires) sont reconnus par les pouvoirs publics comme un levier indispensable de l'adaptation de l'économie chinoise aux enjeux de l'efficacité énergétique et de la lutte contre le changement climatique. La motivation de ces acteurs est, en outre, renforcée par la grande variété des domaines de recherche (sociologie, économie, technologie, recherche fondamentale, etc.). En dépit de cette grande motivation, qui s'est illustrée tout au long du programme de recherche par un engagement constant des partenaires de l'École d'administration publique et l'École d'architecture et d'ur-

banisme, de l'université des sciences et technologies de Huazhong, le potentiel de recherche et de développement dans le domaine de l'efficacité énergétique est encore trop bridé par le cloisonnement des disciplines et des travaux, et par un déficit de communication entre le monde de la recherche, les entreprises et les institutions gouvernementales.

#### 4.2.9. Institutions financières

Les institutions financières sont le poumon du développement économique. Banques commerciales, banques publiques de développement et sociétés financières accompagnent les initiatives des investisseurs au moyen de prêts et d'apports en fonds propres. Dans le contexte de croissance économique rapide, ces acteurs répondent aux besoins des porteurs de projets et en assurent le risque. Les programmes de réhabilitation thermique des bâtiments sont considérés par les institutions financières comme une nouvelle source de création d'activité qui peut, en particulier, constituer un second pilier de la croissance dans le secteur du bâtiment, à côté des activités de promotion et de construction neuve.

Si l'intérêt des banques pour ce secteur se confirme, comme pour les investissements en efficacité énergétique dans l'industrie, le processus de compréhension des critères d'évaluation économique et financière de la qualité des projets (et en corollaire d'appréciation des risques) est un processus long qui implique un accompagnement. C'est, par exemple, le cas pour le projet d'assistance technique du FFEM/AFD mis en place pour accompagner les opérations de déboursement des lignes de crédits AFD octroyées à trois banques chinoises (*Merchant Bank*, *Shanghai Pudong Development Bank* et *Hua Xia Bank*) pour allouer des prêts aux industriels souhaitant réaliser des investissements en efficacité énergétique. En outre, pour les institutions financières, ce relais potentiel de croissance et de développement ne présente pas encore un profil de rentabilité suffisante (en comparaison avec d'autres types d'investissements). De fait, la demande des acteurs du secteur (propriétaires et gestionnaires de bâtiments, sociétés de service énergétique, etc.) doit encore se développer pour permettre aux institutions financières de se placer de façon proactive sur ce marché.

Beaucoup de banques ont, par ailleurs, mis en place des lignes de crédits dédiées à la rénovation et aux économies d'énergie, mais ces fonds vont principalement vers l'industrie. Il n'existe pas d'instruments financiers dédiés au logement ni de lien avec la politique de prêt bonifié de l'État central. Au final, la participation des banques aux projets de rénovation de bâtiments ne dépasse pas 5 % des fonds engagés.

Enfin, si les institutions financières chinoises participent activement au financement d'opérations immobilières à grande échelle dans le neuf, les procédures et outils de financement employés dans ce secteur ne correspondent pas nécessairement aux besoins des programmes de réhabilitation.

#### 4.2.10. *Les compagnies énergétiques*

Dans la zone urbaine de Wuhan, la consommation d'énergie, et en particulier d'électricité (qui représente plus de 60 % de la consommation énergétique du secteur), est en croissance continue. Cette demande exerce une forte pression sur le système d'offre et, nous l'avons vu, s'accompagne de fréquents délestages et ruptures d'approvisionnement. Dans une approche de planification *a minima* des capacités de production, les investissements d'économie d'énergie, et en particulier ceux permettant de réduire les pointes de consommation dans le secteur du bâtiment (éclairage, chauffage, climatisation), devraient faire l'objet d'évaluations. Ces dernières devraient amener, dans un certain nombre de cas, à donner la priorité à des investissements de maîtrise de la demande sur des investissements de production de pointe. Cet arbitrage, basé sur la comparaison entre les coûts de l'énergie économisée et les coûts de production supplémentaire d'énergie, n'est malheureusement que très peu pratiqué par les opérateurs énergétiques (en Chine comme dans le reste du monde, même si dans certains pays ou États, comme le Canada ou la Californie, les compagnies d'électricité ont développé cette pratique avec succès).

Dans le contexte du programme de recherche, il est apparu que la culture de l'offre dominait le processus de décision des énergéticiens (le cœur de métier est de vendre de l'énergie, pas de l'économiser) et, par conséquent, qu'il était peu probable de voir se développer des initiatives et programmes de réhabilitation impliquant des énergéticiens. Toutefois, les enjeux financiers et les contraintes techniques découlant de la croissance continue de la demande laissent entrevoir un changement progressif d'attitude, que les réformes du secteur de l'électricité pourraient sans doute contribuer à accélérer.

#### 4.2.11. *Motivation et capacité de décision des acteurs*

Les analyses précédentes permettent d'établir le schéma 13 qui indique, du faible au fort, le degré de motivation et le degré de capacité de décision des acteurs pour la réhabilitation énergétique des bâtiments.

**Schéma 13** *Motivation et capacité de décision : synthèse de l'analyse du jeu d'acteur*

Motivation des acteurs pour la réhabilitation des bâtiments



Capacité de décision des acteurs la réhabilitation des bâtiments



Source : ICE

On observe ainsi qu'à l'exception des propriétaires privés de bâtiments commerciaux, pour lesquels l'augmentation de la facture énergétique fait peser une contrainte sur l'efficacité et la rentabilité économique de l'activité commerciale et, par conséquent, induit un intérêt croissant à réduire cette charge, les maîtres d'ouvrages propriétaires de bâtiments affichent encore une motivation limitée à s'engager dans des travaux de réhabilitation. Les principales raisons de faible intérêt tiennent pour beaucoup à la non-convergence d'intérêt entre le statut de propriétaire et celui d'occupant, d'une part, et au fait que, dans les bâtiments relevant du secteur public, la facture énergétique est souvent réglée (en totalité ou en partie) par l'institution de tutelle. Ces difficultés se combinent et se renforcent avec la capacité et la responsabilité financières de cette catégorie d'acteur.

À l'autre bout de la chaîne d'un programme de réhabilitation, les prestataires de services et les équipementiers perçoivent l'intérêt de voir se développer un marché de l'efficacité énergétique, bien qu'ils ne disposent pas de levier direct sur la décision d'investissement. Aussi, la mise en place de schémas de soutien financier permettant

d'alléger la responsabilité de la décision d'investissement au niveau des maîtres d'ouvrages, mais aussi de rendre solvable l'offre de service et d'équipement des acteurs de marché, apparaît comme un levier majeur pour la faisabilité de programmes de réhabilitation.

Les gouvernements et institutions centraux et locaux sont ainsi attendus au côté des institutions financières pour contribuer à l'émergence de ces nouveaux dispositifs financiers. Leur motivation évolue progressivement dans ce sens, mais elle doit encore s'affirmer, c'est du moins ce qu'attendent les différentes catégories d'acteurs avec les premiers résultats des projets pilotes en cours dans ce domaine.



# Cinquième partie



# 5. Financement des programmes : instruments existants et mécanismes innovants

## 5.1. Rappel des enjeux macroéconomiques au niveau régional

L'équipe de recherche du programme a mené des audits et des études de faisabilité afin de déterminer la combinaison optimale de mesures de réhabilitation thermique pour différentes typologies de bâtiments au niveau de la ville de Wuhan (bâtiments administratifs, bureaux, centres commerciaux et hôtels). Sur la base des résultats de ces études et des simulations sur le coût des mesures techniques envisageables, l'équipe a défini deux options de paquets d'investissements, couvrant les catégories de bâtiments susmentionnées et le parc global de bâtiments à Wuhan : le premier ne porte que sur la modernisation des systèmes énergétiques des bâtiments, tandis que le second concerne à la fois la modernisation de ces systèmes et la réhabilitation de l'enveloppe.

Pour les typologies de bâtiments citées ci-avant, les économies d'énergie annuelles s'échelonnent de 0,2 Mtep (amélioration des systèmes énergétiques) à 0,37 Mtep (amélioration des systèmes énergétiques et rénovation de l'enveloppe). Les factures énergétiques correspondantes sont réduites respectivement de 13 % et de 24 %. Ces économies nécessitent un investissement allant de 4,1 milliards RMB (pour les systèmes énergétiques) à 11,2 milliards RMB (en incluant la réhabilitation de l'enveloppe). Les retours sur investissement vont de 4 ans pour la modernisation des systèmes énergétiques des hôtels et des centres commerciaux, à 8 ans pour l'amélioration des systèmes dans les bureaux (13 ans si l'on ajoute les investissements visant à réhabiliter l'enveloppe de ces bureaux), et à 18 ans pour la rénovation des systèmes énergétiques et de l'enveloppe sur les bâtiments administratifs.

Outre des économies directes d'énergie, un tel programme de réhabilitation à grande échelle apportera d'autres avantages pour la ville de Wuhan :

- création de 14 000 à 40 000 emplois équivalents temps plein sur une période de mise en œuvre du programme de 4 ans ;

- meilleur confort pour les usagers des bâtiments ;
- stimulation des marchés des matériaux de construction, des systèmes de climatisation et de ventilation, et de l'ingénierie en général ;
- génération de ressources budgétaires supplémentaires pour le gouvernement central et le gouvernement provincial local à travers la fiscalité sur l'activité économique.

Ce programme de réhabilitation thermique de référence développé au niveau de la ville de Wuhan pourrait être reproduit, comme nous l'avons montré dans la troisième partie de cet ouvrage, au niveau de la province du Hubei, puis à l'échelle hydrographique de Jiang Chang (couvrant les provinces du Hubei, Hunan, Jiangxi et Anhui).

## 5.2. Comparaisons internationales

Dans les sous-secteurs du bâtiment sélectionnés pour le programme, le volume des ressources financières à engager est considérable. Au niveau international, la réhabilitation thermique des bâtiments dans le cadre de l'objectif Facteur 4<sup>[17]</sup> implique la mobilisation de montants financiers d'ampleur équivalente. En guide d'illustration, le tableau 14 présente les besoins financiers et les impacts sur l'emploi de programmes à grande échelle en Allemagne et en France dans l'un des sous-secteurs du bâtiment : le résidentiel.

---

[17] Le facteur 4 correspond à un objectif, fixé par la France, de division par quatre de ses émissions de gaz à effet de serre, d'ici à 2050, afin de contenir le réchauffement climatique à un niveau d'élévation de 2°C. L'UE se fixe comme objectif une réduction de 30 % de ses émissions au titre de contribution au sein d'un accord mondial global et s'engage fermement, et indépendamment, à une réduction de 20 % par rapport à 1990. Au niveau international, on progresse vers la reconnaissance d'un objectif global de réduction de 50 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre en 2050 (par rapport au niveau de 1990).

**Tableau 14** *Besoins de financement de la réhabilitation dans le logement en Allemagne et en France (en Md EUR)*

	Allemagne	France
Besoins d'investissements Facteur 4 pour le résidentiel	920	461
Investissement par m <sup>2</sup> (EUR)	277	206
Investissement annuel d'ici 2030	38,3	19,2
Investissement annuel d'ici 2050	20,9	10,5
<b>Emplois directs générés par an</b>		
d'ici 2030	722 642	362 420
d'ici 2050	349 340	197 680

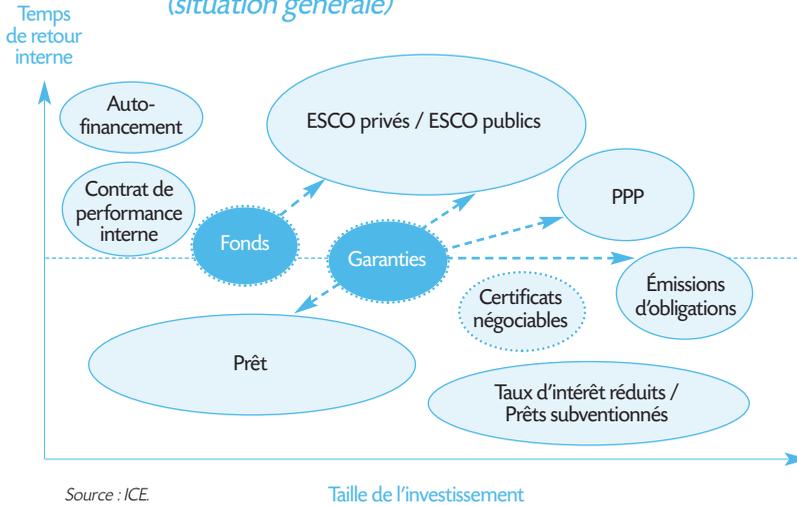
Source : ICE

## 5.3. Enjeux financiers

### 5.3.1. L'adéquation entre les outils de financement et le profil des projets

La faisabilité technique et économique de mise en œuvre de larges programmes de réhabilitation est aujourd'hui démontrée et suscite l'intérêt des pouvoirs publics. Toutefois, les principaux maîtres d'ouvrages et acteurs clés (comme la municipalité de Wuhan ou la Commission de la construction de la province du Hubei), comme dans la plupart des pays de l'OCDE, doivent faire face à des difficultés tant techniques que financières, qui ne permettent pas de passer du stade de la démonstration à celui de la généralisation des investissements dans ce secteur. Une grande partie des difficultés est liée au manque d'expertise interne pour la structuration technique des projets, mais également à la limitation des ressources et des outils de financement permettant de rendre plus attractives ces opérations pour les investisseurs (en particulier, taux d'intérêt compétitifs et mécanismes de garanties permettant de faciliter les opérations de prêt par les banques) mais aussi de faire coïncider les maturités (durées des prêts) aux profils de temps de retour des projets.

**Schéma 14** *Correspondances entre profils des projets (temps de retour et taille) et sources de financements (situation générale)*



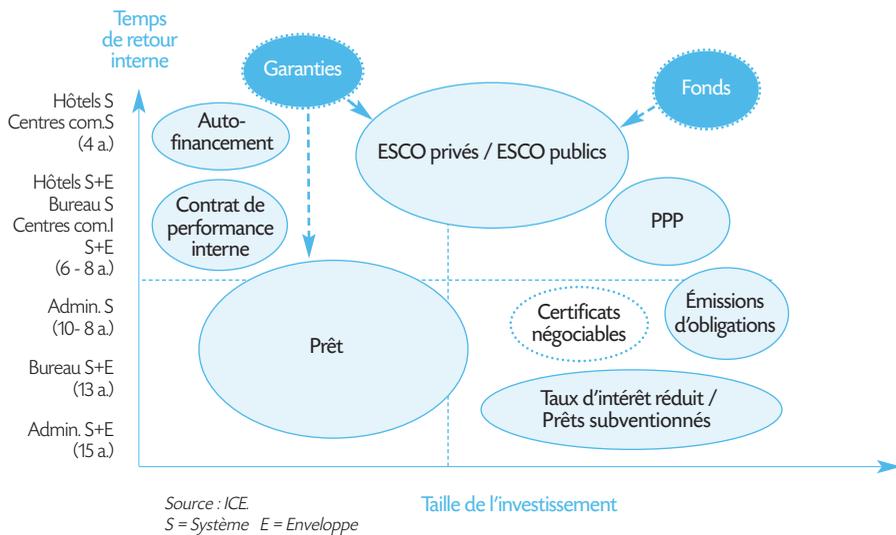
Le secteur privé (les sociétés d'ingénierie et de construction, les institutions financières locales, les entreprises de services énergétiques – ESE – bien établies ou en développement) considère le marché de la réhabilitation thermique comme une opportunité pour étendre ses activités commerciales et/ou compenser les fluctuations du marché de la construction neuve. Cependant, les projets de réhabilitation thermique à grande échelle dans le secteur du bâtiment présentent certains risques, notamment financiers, qui peuvent limiter voire décourager la participation du secteur privé.

Un premier risque est lié au fait que ces projets entrent en concurrence avec des investissements plus traditionnels, considérés comme plus faciles à mettre en œuvre, comme les projets de centrales électriques et/ou les projets de développement industriel. Un deuxième risque a trait à la perception que les acteurs peuvent avoir de ces projets : ils sont en effet considérés comme plus risqués que les projets d'offre énergétique car les économies d'énergie attendues peuvent être négativement influencées par la qualité des travaux de réhabilitation engagés et des équipements substitués, mais aussi par le comportement des usagers des bâtiments. En outre, en raison du statut juridique du bâtiment (propriété publique et/ou copropriété), les institutions financières ou les ESCO ne peuvent pas, ou très difficilement, prendre des sécurités sur les actifs concernés. Enfin, dernier risque : ces projets présentent des taux de rentabilité plus faibles et des temps de retour plus longs que les investissements dans d'autres secteurs.

Outre la mobilisation de mécanismes financiers adéquats, une condition nécessaire à l'appui au développement de ce marché est le renforcement des compétences techniques et d'ingénierie financière, ainsi que la mise en œuvre de mesures permettant de sécuriser l'intervention des investisseurs et des bailleurs.

L'équipe de recherche a montré que, selon le profil de qualité thermique du bâtiment et le secteur d'activité concerné par le bâtiment, différents types et combinaisons de ressources financières pouvaient et devaient être mobilisés pour répondre aux besoins des acteurs impliqués dans la réhabilitation (propriétaires de bâtiment, entreprises de la construction, équipementiers, ESE, etc.).

**Schéma 15** *Correspondances entre profils des projets (temps de retour et taille d'investissement) et sources de financements (profils des bâtiments étudiés dans le cadre du programme de recherche)*



À titre d'exemple, alors que les mesures d'investissement pour la réhabilitation ciblant les systèmes énergétiques dans les hôtels présentent un temps de retour sur investissement de 4 ans, permettant une structuration financière du projet basée sur une combinaison d'autofinancement et de prêts commerciaux à moyen terme et/ou schéma de tiers financement, les mesures préconisées pour les bâtiments administratifs nécessiteraient d'être financées par des lignes de crédit de maturités plus longues et à taux d'intérêt attractif.

### 5.3.2. Lignes directrices pour structurer un plan de financement

Les travaux de caractérisation des potentiels technico-économiques d'économie d'énergie sur le parc de la ville de Wuhan et de la province du Hubei ont montré que la mise en œuvre de programmes de réhabilitation à grande échelle nécessite différents types d'actions :

- cibler une large gamme de catégories de bâtiments ;
- répondre à différents potentiels d'économie d'énergie avec des combinaisons de mesures et d'équipements divers ;
- prendre en compte des profils d'investissement variés (taille, temps de retour, risques, etc.) ;
- associer différents acteurs (propriétaires, locataires, usagers, collectivités locales, etc.) ;
- attirer les promoteurs de projet et faire de l'efficacité énergétique un marché attractif pour le secteur du bâtiment ;
- mobiliser des ressources financières dans des volumes compatibles avec l'objectif d'un programme ambitieux.

L'équipe de recherche est parvenue à la conclusion qu'en ce qui concerne le volet financier de programmes de réhabilitation à grande échelle, il est nécessaire de proposer et/ou de développer non pas un mais plusieurs outils de financement bien coordonnés ou, mieux, un mécanisme de financement suffisamment large et flexible pour répondre aux besoins listés *supra*.

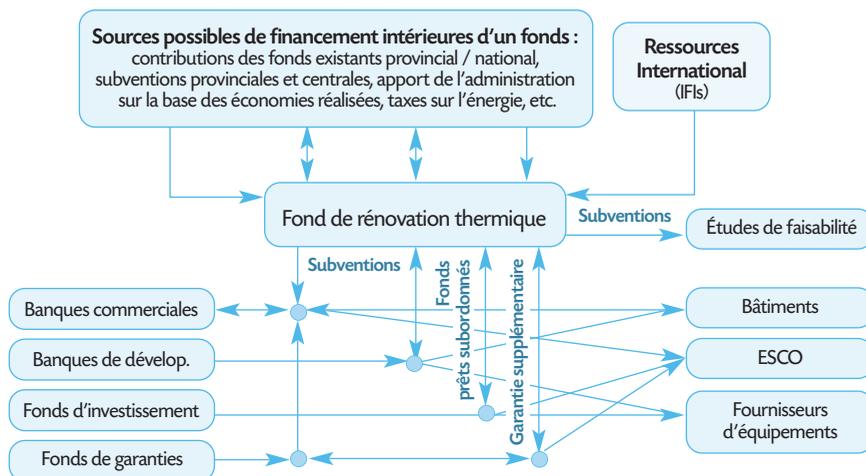
Sur la base d'une étude de cas internationaux, un mécanisme global de soutien pour le développement des programmes de réhabilitation a été prédéfini. Il repose sur la combinaison de ressources financières publiques et de ressources financières privées.

Schématiquement, le mécanisme envisagé consiste à réorienter une partie des ressources publiques nationales et locales, issues de fonds publics déjà établis, des budgets provinciaux et municipaux, des impôts, etc. vers un fonds de réhabilitation thermique géré par Wuhan et les autorités du Hubei. Les ressources publiques collectées seront combinées sous formes de subventions, de systèmes de garantie complémentaires, de participations en capital et dettes subordonnées (quasi-capital) à des ressources financières commerciales afin d'améliorer l'attractivité des produits financiers actuellement proposés (essentiellement des prêts et des fonds propres) et d'encourager le développement de mécanismes financiers novateurs, tels que le tiers financement proposé par les ESE.

La forme du fonds telle que présentée sur le schéma 16 n'a qu'une valeur indicative et devra être affinée dans le cadre des discussions entre les autorités locales, provinciales et centrales. Cette représentation a pour intérêt d'illustrer le grand nombre de combinaisons et interactions pouvant s'établir entre ressources publiques et privées dans l'objectif de répondre aux besoins de financement des programmes de réhabilitation : les travaux et équipements de réhabilitation mais également les besoins des opérateurs (ESCO, équipementiers, banques, etc.) sous formes de subventions, de prêts, de garanties, de fonds propres et quasi fonds propres. Dans le même esprit, ce schéma suggère la possibilité ouverte pour les autorités centrales ou provinciales de mobiliser des lignes de financement auprès des bailleurs de fonds internationaux, et en particulier ceux ayant fait du financement des investissements en économie d'énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre une priorité d'intervention en matière de coopération et d'assistance technique.

### Schéma 16 *Préfiguration du fonds de rénovation thermique des bâtiments et d'affectation des ressources*

#### Proposition de programme



Source : ICE.

### 5.3.3. Dimensionnement d'un fonds de réhabilitation thermique à l'échelle de la ville de Wuhan

Sur la base du schéma tout juste exposé, il a été possible de déterminer la taille d'un fonds dédié au soutien financier d'un programme de référence correspondant, dans son ampleur, à celui chiffré par l'équipe de recherche au niveau de la ville de Wuhan, et représentant un investissement total de 0,4 milliard EUR sur une période de quatre ans.

**Tableau 15** Répartition des sources de financement primaires pour le programme de réhabilitation

Sources de financement : la distribution primaire	Part de marché raisonnable des différentes sources de financement	Valeur (M EUR)	Commentaires	Distribution secondaire	Valeur (M EUR)
ESCO	20 %	80	dont 20 % en fonds propres et 80 % à travers le financement de la dette	Action	16
Banque	65 %	260		Dette	324
Autofinancement	10 %	40		Auto-financement	40
Subvention publique	5 %	20		Subvention publique	20
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>400</b>		<b>Total</b>	<b>400</b>

Source : ICE

La valeur d'investissement de 4 milliards RMB est répartie entre les principales sources de financement potentielles : les aides publiques, l'autofinancement, les prêts bancaires et le financement apporté par les ESCO dans le cadre de contrats de performance. La part estimée de chacune de ces sources de financement serait respectivement de : 5 %, 10 %, 65 % et 20 %. En ce qui concerne la contribution spécifique des ESCO, nous avons considéré que 20 % de la valeur des contrats de performance étaient financés sur fonds propres et 80 % par des prêts.

Ce calcul intermédiaire nous a permis de déterminer la distribution secondaire des ressources financières requises pour répondre aux besoins financiers du programme :

- aides publiques (financement en subvention) : 20 millions EUR ;
- autofinancement (financement par les maîtres d'ouvrage) : 40 millions EUR ;
- prêts bancaires : 324 millions EUR ;
- ESCO : 16 M EUR ;

Nous avons supposé que le fonds de réhabilitation thermique fournirait deux types de soutiens financiers : (i) des subventions directes pour faciliter l'élaboration d'études de faisabilité nécessaires pour la mise en œuvre d'un programme de rénovation à grande échelle, et (ii) des subventions adossées à des ressources financières de marchés sous formes diverses pour accroître leur attractivité en termes de coût et de maturité.

Le tableau 16 montre l'affectation des ressources du fonds de réhabilitation thermique entre les différents produits financiers et outils. Une partie importante de la contribution du fonds de réhabilitation thermique se ferait sous forme de prêts bonifiés (65 M EUR), ressource financière par nature renouvelable. Cette ressource particulière pourrait être accordée soit par le gouvernement ou la province, soit à partir d'une ligne de crédit fournie par une ou plusieurs institutions financières internationales.

**Tableau 16** Répartition finale des sources de financement pour le programme de réhabilitation

Produits/outils	Niveau de contribution aux besoins du marché	Valeur correspondante (M EUR)
Subventions pour les études de faisabilité	Pour 50 % des études de faisabilité jusqu'à 5 % des coûts du projet	10
Appui aux ESCO	Max 35 % des capitaux propres/prêts subordonnés à la participation	6
Prêts bonifiés	20 % des besoins d'endettement global (financement par l'emprunt des projets + dette des sociétés de services énergétiques)	65
Subventions pour les prêts	10 % des prêts et au maximum 20 % des subventions	6
Garanties complémentaires	Couverture de 20 % du marché des ESCO	2
<b>Total des ressources devant être fournies par le fonds sur une période de 4 ans</b>		<b>88</b>
<i>dont :</i> Subventions		16
Finance relais		72
<b>Besoins annuels TRF financiers</b>		<b>22</b>
<i>dont :</i> Subventions		4
Finance relais		18

Source : ICE

Compte tenu de l'effet de levier des ressources publiques, un programme de 0,4 milliard EUR nécessiterait de mobiliser, au niveau du fonds de réhabilitation thermique, un volume de 88 M EUR, dont 16 M de subventions publiques et 72 M de ressources financières en prêt (c'est-à-dire revenant au fonds après remboursement des emprunteurs). Chaque année, la contribution du fonds se répartirait en 4 M EUR de subventions et 16 M EUR de financement sous forme de prêt.

## 5.4. Organisation de la programmation et du financement : la plateforme collaborative

### 5.4.1. La plateforme de concertation

Le travail de recherche mené avec la province du Hubei sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments existants a abouti, dans ses composantes relatives aux questions institutionnelles et financières<sup>[18]</sup>, à une proposition originale, présentée au séminaire de restitution qui s'est tenu à Wuhan en mai 2009<sup>[19]</sup> : la plateforme provinciale de dialogue et de concertation pour l'élaboration et la mise en œuvre du programme de rénovation énergétique des bâtiments.

Le travail de recherche, pourtant effectué en très bonne coopération entre les experts chinois et français, a mis en évidence deux difficultés de concertation : d'une part, entre les instances officielles elles-mêmes (qui, comme presque partout, raisonnent en « vertical » et se fréquentent peu) ; d'autre part, entre les autorités et administrations publiques et « le marché », c'est-à-dire aussi bien les propriétaires publics et privés des bâtiments que les entreprises conduites à jouer un rôle dans les programmes de rénovation (qu'il s'agisse des bureaux d'études, des entreprises de construction, des fournisseurs de matériel et surtout des banques et autres organismes financiers).

Pour pallier cette quasi-impossibilité de dialogue, le programme de recherche a proposé la constitution d'une « plateforme » qui réunirait de façon organisée, et en quelque sorte institutionnalisée, l'ensemble de ces partenaires. L'existence d'une telle plateforme, associée à un programme particulier de rénovation à grande échelle des bâtiments, nous a paru indispensable et l'idée a été bien accueillie par nos partenaires chinois, notamment lors des discussions du Cercle de novembre 2009.

---

[18] Groupes de travail B et C de la méthodologie.

[19] Séminaire « *Urban Sustainable Development in Great Wuhan* », 12-13 mai 2009 – Ateliers B1 et B2, présentations de Mme le Professeur LI Jing.

### 5.4.2. Une proposition institutionnelle globale

Peut-on, à partir de ce point de départ, formuler une proposition institutionnelle ? Pour ce faire, il nous semble que certaines conditions doivent être réunies :

- la création au niveau d'une province et sur un programme particulier d'une telle plateforme ne peut pas, à notre avis, être décidée (par la partie chinoise) sans une approbation nationale et sans un schéma national qui permettrait de proposer une approche globale de la question de l'articulation État-marché souhaitée ;
- qui dit plateforme dit organisation et animation de celle-ci et, donc, pouvoir de convocation d'une autorité reconnue (aussi bien par le public que par le privé) et moyens de fonctionnement.

Tirer de cette proposition particulière une proposition institutionnelle globale est une démarche originale qui constitue un acquis tout à fait intéressant du programme de recherche. Il s'agit en effet d'une démarche *bottom-up*, basée sur l'exigence du partenariat et de la concertation, par opposition à une démarche *top-down* du type création d'une agence, à qui l'on donne ensuite des missions de dialogue et de partenariat.

On peut dire que la « cellule » de base de l'édifice institutionnel proposé est la plateforme provinciale sur un thème donné et bien défini (ex : la rénovation énergétique des bâtiments). Le cœur de l'édifice institutionnel que l'on pourrait proposer doit être public, situé au niveau national, et posséder une légitimité, une autorité et un pouvoir de convocation incontestés. Cette question doit être discutée avec les autorités chinoises, mais il semble bien qu'un tel « lieu » existe au niveau de la NDRC. Si tel est bien le cas, les branches provinciales de ce « chef d'orchestre » seraient chargées, au niveau de chaque province, d'organiser, de coordonner et d'animer différentes plateformes sur les thèmes prioritaires de la politique nationale d'efficacité énergétique. Le premier de ces thèmes serait la rénovation énergétique des bâtiments et la création, dans une ou deux régions, d'une plateforme de concertation sur ce thème. La démarche d'ensemble constituerait une « opération-pilote institutionnelle ».

Le dispositif des plateformes ne prétend absolument pas tout résoudre. Mais il répond, selon nous, au premier besoin, celui de la concertation entre les acteurs qui, si elle est bien organisée, doit permettre à chacun de contribuer, selon ses compétences et ses attributions, à l'élaboration et à la mise en œuvre des programmes. Ainsi, cet édifice « facilitateur » ne se substitue à aucun organisme ou acteur, mais aide à ce que chacun puisse participer à une démarche collectivement construite.



# Conclusion



# Conclusion

Le programme de recherche présenté dans cet ouvrage s'est déroulé sur une période de trois ans, de l'automne 2006 à l'automne 2009. Portant sur un sujet tout à fait nouveau dans la province du Hubei, il a permis de créer les bases d'une réelle dynamique de développement de la réhabilitation énergétique des bâtiments dans la ville de Wuhan et au-delà.

Après une série de contacts entre le département de la Recherche de l'AFD et le département de la Construction de la province du Hubei, qui ont conduit à un accord de coopération sur le programme de recherche commun, une première phase des travaux a porté sur l'élaboration de propositions méthodologiques par les experts de l'AFD. Les propositions ont ensuite été présentées à la partie chinoise et ont fait l'objet de longues discussions, pour aboutir à la méthodologie du programme de recherche exposée dans ce document.

Cette phase, essentielle pour établir le cadre de l'ensemble du programme ainsi que la constitution des groupes de travail, a été indispensable pour créer un climat de confiance et de compréhension mutuelle entre les acteurs du programme, l'administration de la province du Hubei et de la ville de Wuhan, les universitaires et l'équipe de l'AFD. Ce dialogue, souvent animé, a montré que, si les questions purement techniques étaient bien comprises, les questions économiques, institutionnelles et financières l'étaient moins, et qu'il existait une tendance naturelle vers un déroulement linéaire de la recherche, par étapes consécutives. La démarche méthodologique d'une approche parallèle et interactive des différents thèmes, surprenante au début des discussions, a été adoptée grâce à la prise de conscience de l'importance d'une approche globale et complémentaire (ne serait-ce que pour convaincre les décideurs de l'importance des enjeux et de l'intérêt des impacts de la réhabilitation à tous les niveaux).

Cette difficulté, que l'on peut associer à la transition que vit actuellement la Chine entre une économie planifiée et étatique et une économie de marché (dans le cadre cependant de fortes directives du gouvernement, notamment sur l'efficacité énergétique), n'est pourtant pas spécifique à ce contexte : on la retrouve dans presque tous les pays. L'ouverture d'esprit dont ont fait preuve tous les partenaires a été un facteur déterminant de l'élaboration définitive de la méthodologie, du déroulement et des résultats du programme, qui ont permis de vérifier sa pertinence.

La deuxième phase du programme de recherche a porté sur les travaux des trois groupes de travail : analyse technique et économique (groupe A), questions institutionnelles et organisationnelles (groupe B) et financement des investissements (groupe C). Cette phase a été ponctuée par des réunions de coordination permettant de faire le point sur l'avancée des travaux, de procéder à des réajustements et d'en améliorer la poursuite.

Indéniablement, ce sont les travaux du groupe A qui ont été les plus aboutis, et cela pour plusieurs raisons.

La première est que « l'art de l'ingénieur » est une discipline très bien développée en Chine et qu'il n'y avait pas de « surprise » dans ce domaine de la part des partenaires chinois. Les équipes étaient donc bien équipées pour réaliser ce travail et le transfert des compétences sur des sujets comme l'audit énergétique et les modèles de simulation a suscité un grand intérêt. Les questions économiques étaient, en revanche, plus nouvelles, surtout s'agissant de l'évaluation des impacts de la réhabilitation à tous les niveaux, du consommateur à la collectivité.

La deuxième raison de cette réussite est que, du côté des experts de l'AFD, une expérience en Chine sur l'efficacité énergétique des bâtiments était déjà acquise par des coopérations antérieures (notamment dans le nord du pays), que l'AFD avait anticipé sur ce programme en soutenant des formations sur l'audit énergétique, et que la présence permanente en Chine de collaborateurs du bureau d'études TERAO permettait de participer de plus près aux travaux de ce groupe. Enfin, l'implication de la partie chinoise y a été plus importante et plus experte en général que dans les autres groupes.

On a pu constater que la démarche proposée dans la méthodologie a été respectée de très près par les travaux du groupe A, depuis l'élaboration de la typologie des bâtiments jusqu'à l'évaluation des impacts de programmes à grande échelle, du niveau de la ville de Wuhan à celui du bassin du fleuve Yang-Tsé.

Ce « degré de satisfaction » explique l'importance de la troisième partie de cet ouvrage (et ses annexes). En effet, il a paru souhaitable de bien montrer à la fois la progression de la recherche étape par étape, le degré de complexité mais aussi de précision des différentes pratiques et instruments à mettre en œuvre (diagnostic énergétique, modèles de simulation, évaluation des coûts, calcul des impacts) et la qualité des résultats obtenus.

La progression a été plus difficile sur les questions institutionnelles et organisationnelles traitées par le groupe B. Sur ce sujet, la situation de transition de l'économie chinoise et

ses conséquences sur la structure de la prise de décision et l'implication des acteurs a joué un rôle important. En effet, l'idée fortement ancrée que « tout dépend de l'État » (*i.e.* du gouvernement central mais aussi de ses déclinaisons provinciales et locales) conduit à négliger l'importance du rôle des autres acteurs (consommateurs, entreprises, collectivités de tous les niveaux, organismes financiers) et, donc, l'importance du partenariat. On a vu, par exemple, que les quelques programmes d'envergure de réhabilitation thermique réalisés dans les régions du Nord étaient « commandés d'en haut » et pourtant, dans une situation où le gouvernement était de fait le maître d'œuvre, la question de la mobilisation des acteurs s'était posée. La nécessité du partenariat est donc bien réelle dans une économie centralisée, même si elle est le plus souvent ignorée ou négligée ; elle devient en revanche cruciale dans une économie en transition.

De nombreuses discussions ont eu lieu sur ces questions et un travail très important a été effectué par la partie chinoise sur ce thème, nouveau pour elle, de l'identification des partenaires et de l'analyse du « jeu des acteurs » présentée en quatrième partie de cet ouvrage. C'est d'ailleurs une question sur laquelle l'expérience des experts français a été précieuse car la France, bien qu'ayant une économie de marché, est un pays très centralisé, avec un secteur public puissant, y compris au niveau des entreprises.

Ce travail sur l'identification des acteurs, l'analyse de leurs intérêts et leur motivation vis-à-vis de la réhabilitation énergétique des bâtiments est tout à fait original et constitue un résultat particulièrement intéressant et innovant du programme de recherche. C'est en effet sur la base de ce travail, en complément des travaux sur les questions de financement, que l'on aboutit à la proposition de la « plateforme collaborative », évoquée en cinquième partie de cet ouvrage.

La question financière, objet des travaux du groupe C, était certainement la plus nouvelle. L'aspect le plus novateur de la démarche est le fait même d'intégrer les questions financières dans un tel programme de recherche. Autant les questions techniques et les calculs économiques, voire les questions réglementaires sont tout naturellement admis comme légitimes dans un tel programme, autant il est très rare que les questions institutionnelles et, encore plus, les questions financières soient considérées comme relevant de la recherche. En général, on considère que les questions financières viennent « en bout de ligne », qu'elles ne concernent pas la recherche, qu'elles ne sont pas « nobles » et qu'il s'agit d'une « cuisine » laissée soit à la puissance publique (qui doit investir ou donner des subventions), soit aux banquiers (à condition qu'ils s'intéressent à ce domaine d'activités).

La réalité est tout autre : la question du financement est centrale si l'on veut réaliser des programmes à grande échelle. Il est donc essentiel de l'aborder dès le début de la réflexion, si l'on ne veut pas se heurter à des difficultés et, au final, être dans l'impossibilité de passer de « projets pilotes », réussis grâce au financement public (forcément limité), à des projets à grande échelle.

L'évaluation des enjeux économiques et financiers conduit ainsi, en cinquième partie de cet ouvrage, à analyser les outils de financement existants et à travailler sur leur adaptation aux projets de réhabilitation énergétique des bâtiments. Si, quel que soit le pays, cette adaptation reste insuffisante, elle l'est notamment dans le contexte chinois, compte tenu de la très faible implication des banques. Il est donc nécessaire de proposer des instruments financiers innovants qui allient l'intervention la plus intelligente possible de la puissance publique et la mobilisation de financements privés. C'est ainsi que sont proposés (i) la création d'un « fonds de réhabilitation énergétique des bâtiments » à l'échelle de la ville de Wuhan, (ii) le développement d'ESCO capables de prendre en charge la réalisation et le financement des investissements (sur le principe du « tiers financement »), et (iii) l'intervention des banques chinoises (stimulée par des coopérations avec les IFI, permettant la mise en place de ligne de financement dédiées aux opérations de réhabilitation).

La question institutionnelle et la question financière se rejoignent autour d'une proposition originale, fruit de ce travail de recherche (après de longues discussions) de la constitution, à l'échelle de la province, d'une « plateforme collaborative » qui constituerait le lieu de la concertation sur l'élaboration, l'organisation et le financement des programmes de réhabilitation énergétique des bâtiments. Cette idée, de caractère décentralisé (*i.e.* « à partir du terrain »), conduit à une proposition organisationnelle globale (*i.e.* au niveau du pays) sur l'animation et l'organisation du partenariat.

La troisième et dernière phase du programme de recherche a consisté en la préparation et la présentation détaillée de la démarche et des résultats du programme de recherche, lors du séminaire de portée nationale organisé à Wuhan les 12 et 13 mai 2009, sur le thème du « développement urbain durable dans le Grand Wuhan » (AFD, 2010). Ce séminaire a été poursuivi par la tenue du Cercle franco-chinois sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments (17 au 24 octobre 2009, Paris).

# Annexes



# Annexe 1

## Exemple de collecte de données pour l'audit du bâtiment du Bureau de l'efficacité énergétique de la ville de Wuhan

### Observations générales sur les environs et l'enveloppe du bâtiment

Le bâtiment concerné est de faible hauteur (huit étages) et est entouré d'un certain nombre de bâtiments, dans toutes les orientations, qui agissent comme des masques le protégeant des rayonnements solaires.

Photo

3

*Photo satellite du bâtiment du bureau de l'efficacité énergétique de la ville de Wuhan*



Source : Google.

Les photos 4 à 7 montrent l'état et la conception de l'enveloppe du bâtiment.

Photos

4, 5, 6 et 7

*Façades du bâtiment du Bureau de l'efficacité énergétique de la ville de Wuhan*

4



5



6



7



*Crédits : équipe projet.*

Les façades sont moyennement vitrées, avec un ratio de surfaces vitrées de 25 %, un cas raisonnable à Wuhan. Les parois opaques ne sont pas isolées et les baies vitrées sont composées de simples vitrages avec des châssis métalliques coulissants. Il n'y a pas non plus de protections solaires. Cet état des lieux est typique d'un bâtiment construit selon les normes de construction de 1980 (avant qu'apparaissent les réglementations énergétiques, en 2005). La ventilation est naturelle (pas de VMC) ; elle se fait par ouverture des fenêtres. Compte tenu du fait que le bâtiment est chauffé et climatisé, cet état de fait est cause d'un grand gaspillage d'énergie.

Le bilan des surfaces donne :

- SHON = 5 617 m<sup>2</sup>
- SU = 4 700 m<sup>2</sup>
- Emprise au sol = 700 m<sup>2</sup>
- Le ratio SU/SHON d'environ 85 % est une valeur courante.

## Données d'occupation

L'audit relève une occupation de 400 personnes environ ; ce sont les occupants réguliers. Il y a une autre contribution, celle des visiteurs. Elle est non négligeable puisque l'on compte entre 500 et 600 visiteurs par jour, répartis dans la journée.

Les horaires d'occupation sont de 8h30 à 17h30 avec une pause déjeuner de 12h30 à 14h30. Le bâtiment est inoccupé le week-end et il y a entre 5 et 15 jours de congés par an, soit une occupation de 251 jours/an.

## Autres données d'apports internes de chaleur

Outre l'occupation, il est important de prendre en compte les données relatives à tout équipement susceptible d'influencer les consommations de climatisation et de chauffage, ainsi que l'usage direct d'électricité. Typiquement, dans un bâtiment de bureaux, ces contributions sont l'éclairage et la bureautique. Il y a environ 13W/m<sup>2</sup> de puissance d'éclairage installée. C'est une valeur assez élevée pour des bureaux alors qu'ils sont équipés de lampes basse consommation ; ce chiffre révèle un éclairage surdimensionné.

La plupart des bureaux sont équipés d'ordinateurs. Leur puissance moyenne en fonctionnement est estimée à 15W/m<sup>2</sup>, un chiffre typique des bureaux à occupation moyennement dense.

## Installations techniques

Photos 8 à 11

*Installations de génie climatique du bâtiment du Bureau de l'efficacité énergétique de la ville de Wuhan*

8



9



10



11


*Crédits : équipe projet.*

La production de froid et de chaud est assurée par un système à absorption au gaz naturel. Les puissances froid et chaud sont chacune de 780 kW. Ce système a un faible rendement : COP de 1 en mode froid et de 0,85 en mode chaud. Le brûleur gaz est récent car le changement de combustible a été effectué ; le groupe électrogène présent fonctionne au diesel. Les dispositions de sécurité du local chaufferie sont respectées (ventilation et coupure gaz). Il y a deux tours de refroidissement en toiture et une pompe de 30 kW sur le circuit de refroidissement. Le circuit de distribution contient une pompe de 30 kW également. Les colonnes de distribution alimentent des circuits secondaires qui se terminent par des ventilo-convecteurs en faux-plafond dans les bureaux. En Chine, ce type d'unité terminale est la plus courante dans les bureaux. Enfin, la conduite de l'installation étant assurée manuellement par le gestionnaire quotidiennement, il n'y a donc pas de GTB. Il règle les températures de fonctionnement des circuits d'eau et anticipe les heures d'occupation en ce qui concerne le chauffage.

Cet exemple illustre comment la collecte des données permet de comprendre les performances de l'existant et de faire le lien avec les données des factures.

# Annexe 2

## Exemple de l'audit de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei mené dans le cadre d'un diagnostic des consommations énergétiques

Un bâtiment plus représentatif des échantillons visés par la réhabilitation à grande échelle est l'hôpital de l'université des sciences et technologies de la province du Hubei ; cette représentativité est liée à sa taille et à ses consommations. Il est un candidat privilégié à la réhabilitation car il appartient à une catégorie énergivore (comme nous l'avons souligné dans les statistiques rassemblées par les enquêtes réalisées sur l'échantillon de 389 bâtiments).

### Description générale

Cet établissement hospitalier est composé de plusieurs bâtiments totalisant une surface construite de 45 761 m<sup>2</sup>. Elle inclut notamment des locaux d'hospitalisation, des lieux de consultation, un centre de beauté, des locaux administratifs, une cantine et la résidence des employés.

Photos 12 et 13

*Bâtiments d'hospitalisation (12) et de consultation (13)  
de l'hôpital de l'université des sciences et technologies  
du Hubei*

12



13



Crédits : équipe projet.

Comme beaucoup de bâtiments de Wuhan, la composition de l'enveloppe est classique, constituée d'une structure de poteaux en béton et de murs extérieurs en briques rouges de 24 cm. On trouve des simples vitrages sur toutes les façades. Les différents bâtiments ont 4 à 5 niveaux, à part la cantine qui est sur deux niveaux. Les bâtiments font entre 15 et 30 m de haut.

## Équipements électriques particuliers et autres apports internes

Le bâtiment d'hospitalisation compte trois ascenseurs de 11 kW chacun, et un ascenseur de 18 kW ; le bâtiment de consultation en compte deux, de 12 kW chacun. Il y a de nombreux équipements médicaux qui consomment de l'électricité et créent des apports internes<sup>[20]</sup>.

Nous avons ici un exemple d'audit incomplet puisque les personnes en charge de cette procédure n'ont pas relevé la puissance d'éclairage installée ni les données d'occupation.

## Systèmes actifs

Il y a trois chaudières vapeur utilisant le charbon comme combustible. Elles fonctionnent toute l'année et ont un très faible rendement d'environ 55 %. La vapeur ainsi générée va alimenter la boucle d'eau chaude *via* un échangeur à plaque et la boucle d'eau glacée par l'intermédiaire d'un groupe froid à absorption.

La climatisation et le chauffage sont assurés par une distribution d'air neuf préconditionné et avec des terminaux ventilo-convecteurs. Le chauffage fonctionne 100 jours en hiver, et la climatisation 4 mois en été.

Les usages additionnels caractéristiques des usages hospitaliers sont la cantine, la production importante d'eau chaude sanitaire et les procédés de stérilisation. Ils expliquent en partie le caractère énergivore d'un bâtiment hospitalier. Il faut également prendre en compte le critère de confort des usagers, bien supérieur à celui d'un bâtiment de bureaux par exemple. La température de chauffage est de 22°C, 24h/24 alors qu'un bâtiment de bureaux est plutôt chauffé aux alentours de 20°C pendant 8h/jour. Le système considéré est très centralisé puisqu'il dessert les locaux de consultation, d'hospitalisation, les locaux administratifs ainsi que les résidences des employés.

---

[20] Nous disposons d'une liste exhaustive recensant ces équipements ; nous ne la détaillons cependant pas dans cette partie, purement illustrative.

**Tableau 17** *Fonctionnement des installations de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei*

Équipement	Type	Référence	Type d'énergie	Nombre
Chaudière charbon	DZL6-127-A	–	Charbon	1
Chaudière charbon	DZL4-127-A	–	Charbon	2
Groupe froid	TSA-SFC-32	Puissance : 1 196 kW	Vapeur	2
Tour de refroidissement	CTA-400UFWH	Puissance : 15.2 kW	Électricité	2
Pompe d'eau glacée	V180L-4	Débit : 187 m <sup>3</sup> /h P : 22 kW	Électricité	4
Pompe de refroidissement	V200L-4	Débit : 400 m <sup>3</sup> /h P : 30 kW	Électricité	4

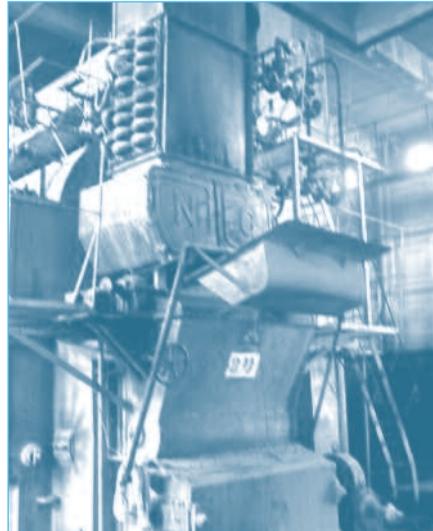
Source : équipe projet.

**Photos 14, 15 et 16** *Chaudières 4 tonnes (14) et 6 tonnes (15) et pompes d'eau glacée (16) de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei*

14



15





*Crédits : équipe projet.*

## Analyse des factures

Afin de pouvoir faire le lien entre l'inventaire des éléments de l'enveloppe, les systèmes actifs et les autres types de contributions aux bilans énergétique et thermique, il faut analyser de manière détaillée la structure des factures. Plus on peut en disposer, mieux c'est. En effet, pour certains types de bâtiments, la consommation sera assez fidèlement constante d'une année sur l'autre alors que, dans d'autres cas, on observera une variation de 20 %, par exemple. Si l'on ne peut obtenir qu'une année, alors il faut s'en contenter, mais dans le cas où l'on obtient plusieurs années, on peut apprécier les variations relatives et voir si elles sont dues aux comportements, à un changement d'équipement ou à une variation climatique. Le but de cet exercice est de pouvoir extraire de ces factures la décomposition par usage de l'énergie finale.

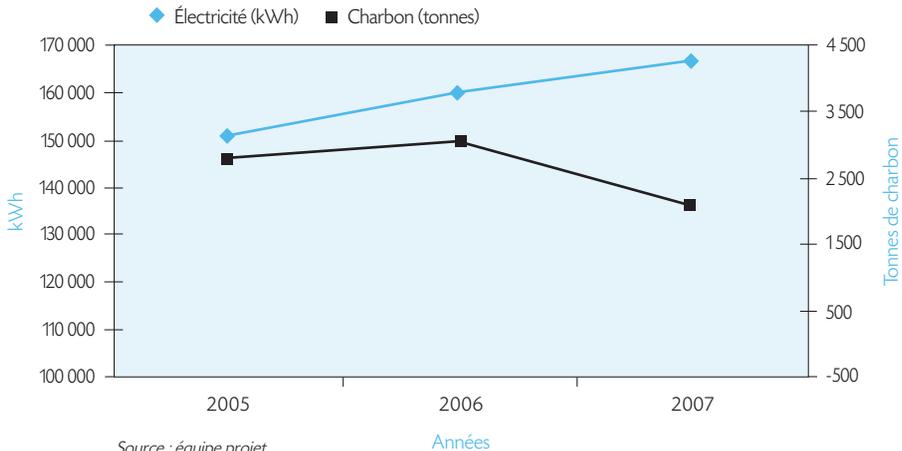
Dans le cas de cet hôpital, nous avons pu récupérer les factures des années 2005, 2006 et 2007 complètes. Les consommations annuelles par combustible sont présentées dans le tableau 18 et le graphique 34.

**Tableau 18** *Consommations annuelles par types de combustibles de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei*

Année	Électricité (kWh)	Charbon (tonnes)
2005	1 504 032	2 793
2006	1 593 135	3 060
2007	1 663 013	2 063
Moyenne	1 586 726	2 639
Usages concernés	Éclairage, appareils médicaux, ventilation, ascenseurs, ordinateurs, téléviseurs	Réseau vapeur pour chauffage, désinfection, eau chaude sanitaire et restauration

Source : équipe projet.

**Graphique 34** *Consommations annuelles par combustibles de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei*



Les consommations électriques sont relativement constantes ; celles de charbon le sont également sur 2005 et 2006. On observe cependant une baisse non négligeable en 2007. Il nous faudrait la donnée de 2008 pour déterminer si cette baisse est un « accident » dû à une panne du matériel ou à une gestion différente, ou si elle révèle un début de tendance de baisse des consommations.

L'étude de la consommation des bâtiments à grande échelle suppose que l'on normalise les données de consommation. La normalisation la plus courante est celle qui ramène en unité de surface construite. Par ailleurs, en Chine, l'unité standard des consommations est le kilogramme de charbon équivalent (kgce). Elle sert à exprimer les consommations en énergie primaire. Les conversions s'effectuent ainsi : 1kWh électrique = 0,3619 kgce.

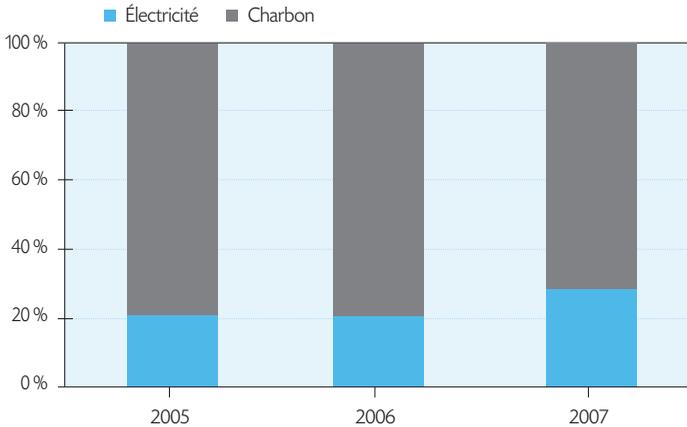
**Tableau 19** *Consommations d'énergie finale et d'énergie primaire annuelles par type de combustibles de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei*

Année	Électricité		Charbon		Total	
	kWh/m <sup>2</sup> /an (énergie finale)	kgce/m <sup>2</sup> /an (énergie primaire)	kg/m <sup>2</sup> /an (énergie finale)	kgce/m <sup>2</sup> /an (énergie primaire)	kWh/m <sup>2</sup> /an (énergie finale)	kgce/m <sup>2</sup> /an (énergie primaire)
2005	32,9	11,9	61	43,6	153,3	55,5
2006	34,8	12,6	66,9	47,8	166,8	60,4
2007	36,3	13,2	45	32,2	125,3	45,4
Moyenne	34,7	12,6	57,7	41,2	148,5	53,7

Source : équipe projet.

On voit donc sur ces factures que c'est la consommation de charbon qui est dominante dans l'énergie finale, comme l'illustre le graphique 35.

Graphique 35 Répartition de l'énergie finale par combustible pour l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei

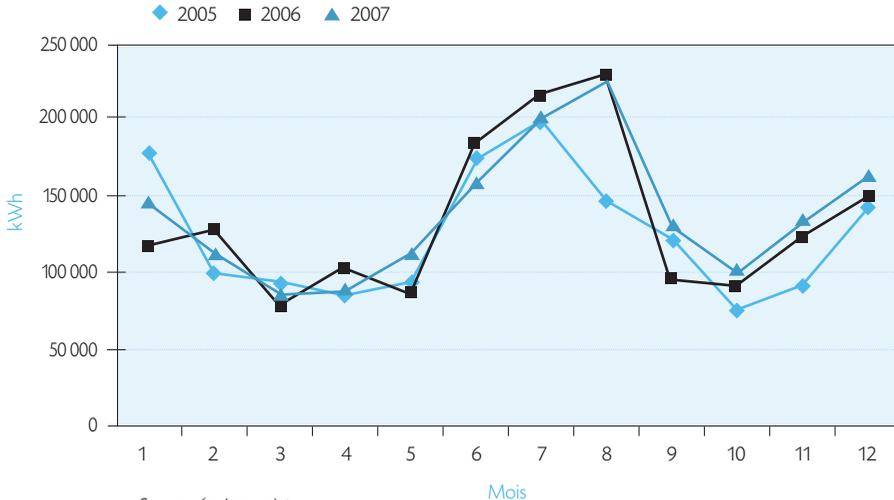


Source : équipe projet.

Le charbon représente donc de 60 à 70 % de la consommation totale en énergie finale et 70 à 80 % pour le bilan en énergie primaire. Puisque l'on se place dans l'optique d'une réhabilitation à grande échelle, il est pertinent de penser aussi en termes d'énergie primaire puisque les économies d'énergie combinées de nombreuses réhabilitations pourront avoir un impact non négligeable sur la filière énergétique. En d'autres termes : le choix de combustibles ou de systèmes à rénover pouvant avoir un impact sur les émissions directes de gaz à effet de serre d'une ville ou d'une province, il convient d'intégrer cet effet dans la démarche.

## Électricité

### Graphique 36 Consommations électriques mensuelles de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei



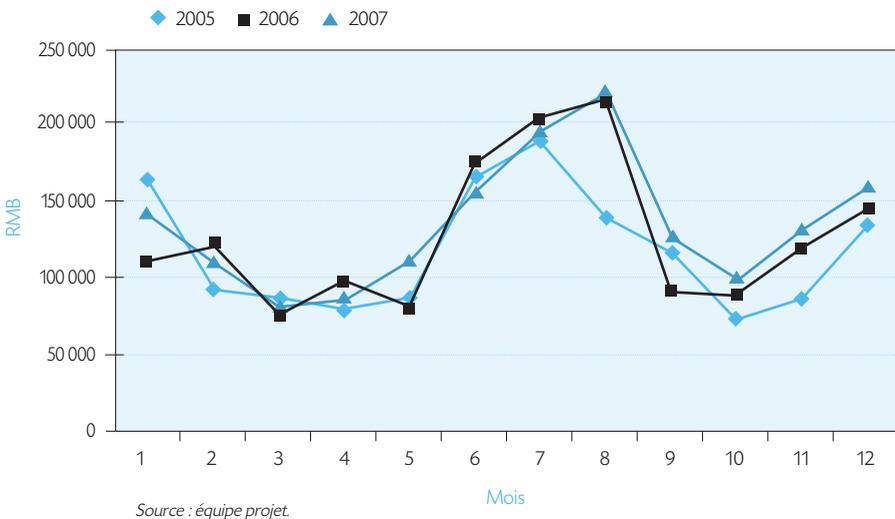
On voit clairement, sur le graphique 36, qu'il y a une saisonnalité de la consommation. En mi-saison, on enregistre une consommation de base, qui est probablement constante toute l'année et qui correspond aux usages qui ne sont pas liés aux saisons (éclairage, soins médicaux, etc.). Cette consommation de base est d'environ 100 000 kWh/mois. Ce chiffre, obtenu en effectuant la somme des puissances des équipements liés aux usages cités *supra* et en interrogeant le gestionnaire sur les temps de fonctionnement, permet également de déduire un coefficient d'utilisation des divers équipements.

En revanche, on relève également des pics de consommations en hiver et en été. Si le pic estival est le plus fort, ceci est simplement dû au poids relatif chauffage/climatisation (environ 60 %). En effet, la typologie, dans ce cas, est celle d'un système de distribution de l'air neuf prérafraîchi ou préchauffé (dit soufflé à enthalpie neutre) par CTA centrale avec des terminaux ventilo-convecteurs pour assurer la température de consigne désirée localement (cf. description générale ci-avant). Le pic de consommation observé correspond aux ventilo-convecteurs.

On constate ainsi que la lecture détaillée d'une facture énergétique peut déjà nous apporter beaucoup de renseignements, et permet même de vérifier la cohérence des données recueillies sur site. C'est une démarche d'itération avec les responsables du bâtiment pour converger vers l'identification réelle des usages de l'énergie.

Nous pouvons désormais également analyser les coûts engendrés par ces consommations électriques, une étape importante dans le processus de réhabilitation énergétique.

### Graphique 37 *Coût de l'électricité consommée de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei (en RMB)*



Le coût moyen de l'électricité en 2005, 2006 et 2007 est de 0,93 RMB/kWh. On observe de légères variations saisonnières : la courbe des coûts reproduisant assez fidèlement la courbe des consommations, le système de ventilo-convecteurs révèle son désavantage en termes de coûts d'exploitation (puisque'il occasionne des dépenses additionnelles significatives en été et en hiver).

## Charbon

Concernant le charbon, seules des données annuelles ont pu être recueillies.

**Tableau 20** *Consommation annuelle de charbon et coût de la consommation pour l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei*

2005	Charbon acheté (T)	2 793
	Coût (RMB)	1 125 691
2006	Charbon acheté (T)	3 060
	Coût (RMB)	1 229 199
2007	Charbon acheté (T)	2 063
	Coût (RMB)	875 595

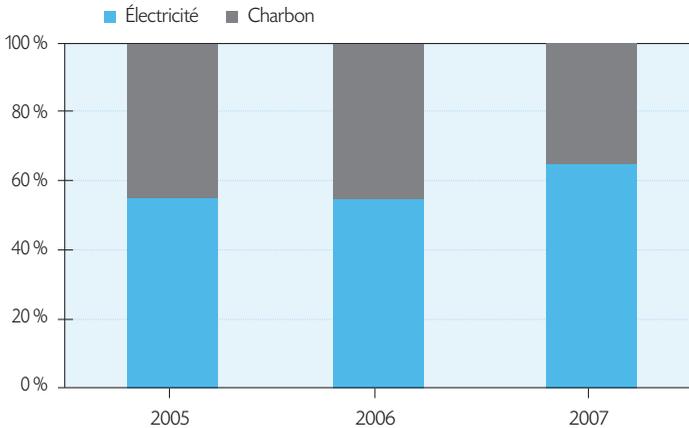
*Source : équipe projet.*

Le charbon est une énergie polluante et les chaudières correspondantes ont en général de mauvais rendements. Mais c'est aussi une énergie bon marché : le coût du kg de charbon est de 0,4 RMB. Sachant que le kg de charbon est équivalent à 1,4 kWh, on a un prix de 0,285 RMB/kWh. On voit que, comparé au 0,93 RMB/ kWh de l'électricité, le charbon est moins attractif pour les actions d'économie d'énergie. Pour une même économie d'énergie finale, le temps de retour brut avec du charbon sera 3,3 fois plus long ; cet élément est souvent prohibitif.

## Synthèse sur les coûts d'exploitation

Il est maintenant possible de voir le poids relatif de l'électricité et du charbon sur le coût total d'exploitation.

### Graphique 38 Répartition du coût d'exploitation par combustible de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei



Source : équipe projet.

Alors que, pour les consommations d'énergie finale, le charbon représentait entre 60 et 70 % du total, il ne représente que 40 % environ du coût d'exploitation. Du point de vue de la réhabilitation énergétique, il faudrait concentrer les efforts en priorité sur les postes de consommation énergivores, autrement dit les usages liés à la consommation de charbon. Toutefois, du point de vue de la faisabilité économique, il est probable que les actions de réduction de consommation d'électricité soient bien plus attractives, même si elles génèrent moins d'économie d'énergie dans l'absolu.

## Détermination du profil de consommation de l'hôpital

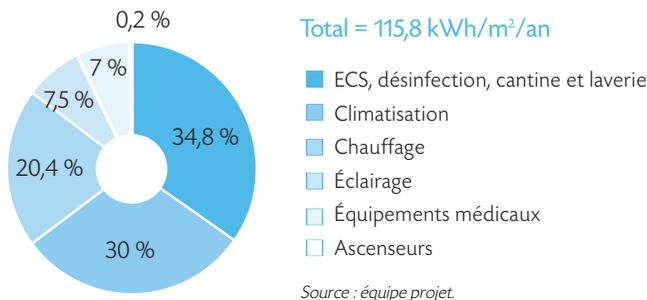
Il existe différentes approches pour déterminer la répartition par usage de la consommation d'énergie : mesures sur site, installation de compteurs dédiés, simulation thermique dynamique (cf. troisième partie) ou utilisation de méthodes simplifiées à partir des puissances installées, temps de fonctionnement et coefficients d'utilisation.

À l'époque de l'audit de cet hôpital, la méthode simplifiée a été utilisée. Elle permet d'avoir une idée de ce qui est dominant et de ce qui ne l'est pas. C'est une première entrée pour déterminer quelles techniques de réhabilitation seront les plus appropriées pour un type de bâtiment donné.

Dans le cas présenté, le profil de consommation est le suivant (on se base sur les moyennes des trois années) :

- l'usage le plus énergivore regroupe tous les usages courants de l'hôpital (ECS, désinfection, cantine et laverie) ; viennent ensuite la climatisation, le chauffage, l'éclairage, les équipements médicaux et enfin les ascenseurs ;
- les usages spécifiques qui sont les plus énergivores forment, quant à eux, la partie où des technologies spécifiques de l'hôpital pourraient être envisagées (récupération de chaleur sur les eaux usées) ;
- c'est, bien entendu, un cas où la réduction des consommations de climatisation est une priorité.

### Graphique 39 Répartition des usages de l'énergie finale de l'hôpital de l'université des sciences et technologies du Hubei



On note ici un point important : les catégories climatisation et chauffage incluent les consommations de leurs auxiliaires.

On voit, en conclusion de cet exemple, comment un audit détaillé permet d'établir un véritable diagnostic de la consommation énergétique. À partir de ce profil, peuvent être effectuées des investigations plus précises sur d'éventuels mauvais réglages des systèmes, ou des simulations thermiques pour déterminer le poids relatif de la mauvaise qualité de l'enveloppe sur cet état de fait. Ces travaux permettront de « préparer le terrain » pour élaborer des propositions d'améliorations. Cette méthode permet donc de dépasser largement ce que les enquêtes préliminaires avaient permis d'établir.

# Sigles et abréviations



## Liste des sigles et abréviations

<b>ADEME</b>	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
<b>AFD</b>	Agence Française de Développement
<b>AIE</b>	Agence internationale de l'énergie
<b>APD</b>	Aide publique au développement
<b>BEURR</b>	Bureau des économies d'énergie et de l'utilisation rationnelle des ressources
<b>COP</b>	Coefficient de performance
<b>CTA</b>	Centrale de traitement d'air
<b>CVC</b>	Chauffage, ventilation et climatisation
<b>DRC</b>	<i>Development and Reform Commission</i>
<b>ECS</b>	Eau chaude sanitaire
<b>EMCA</b>	<i>China Energy Management Company Association</i>
<b>ERI</b>	<i>Energy Research Institute</i>
<b>ESCO</b>	<i>Energy Service Company</i>
<b>ESE</b>	Entreprise de services énergétiques
<b>ETH</b>	<i>Eidgenössische Technische Hochschule</i>
<b>FFEM</b>	Fonds français pour l'environnement mondial
<b>GT</b>	Groupe de travail
<b>GTB</b>	Gestion technique du bâtiment
<b>IFI</b>	Institution financière internationale
<b>IPAC</b>	<i>Integrated Policy Assessment Model for China</i>
<b>ISI</b>	<i>Institut für System und Innovationsforschung</i>
<b>Kgce</b>	kilogramme de charbon équivalent
<b>MOHURD</b>	Ministère du logement et du développement urbain et rural

<b>NDRC</b>	<i>National Development and Reform Commission</i>
<b>OCDE</b>	Organisation de coopération et de développement économiques
<b>PAC</b>	Pompe à chaleur
<b>PIB</b>	Produit intérieur brut
<b>RMB</b>	Ren min bi (monnaie chinoise)
<b>SHON</b>	Surface hors œuvre nette
<b>SU</b>	Surface utile
<b>Tep</b>	Tonne équivalent pétrole
<b>TGBT</b>	Tableau général basse tension
<b>UE</b>	Union européenne
<b>VAV</b>	Volume d'air variable
<b>VMC</b>	Ventilation mécanique contrôlée

---

# Bibliographie



# Bibliographie

**AFD (2010)**, "Implementing Large-Scale Energy Efficiency Programs in Existing Buildings in China", actes de la conférence organisée par l'Agence Française de Développement et la Commission of Housing, Urban and Rural Development de la province de Hubei, à Wuhan (Chine), les 12 et 13 mai 2009, *Conférences et Séminaires 01*, AFD, Paris (document téléchargeable à partir du site Internet de l'AFD : <http://www.afd.fr/jahia/webdav/site/afd/shared/PUBLICATIONS/RECHERCHE/Scientifiques/Conferences-seminaires/01-Conferences-seminaires-septembre10-VA.pdf>).

**AFD et AIE (2008)**, *Promoting Energy Efficiency Investments Cases Studies in the Residential Sector*, OCDE, AIE et AFD, Paris (document téléchargeable sur les sites de l'AIE et de l'AFD : <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/PromotingEE2008.pdf>).

**AIE**, séries *World Energy Outlook* (publication annuelle), *Energy Technology Perspectives* et *IEA Country reviews* (pays membres de l'AIE et sélection de pays non membres) ; consultables sur le site : <http://www.iea.org/publications>

**CHEVALIER, J.-M. (2004)**, *Les grandes batailles de l'énergie*, Gallimard, Paris.

**CHEVALIER, J.-M., P. BARBET ET L. BENZONI (1986)**, *Économie de l'énergie*, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, Paris.

**COMMISSION EUROPÉENNE (2005)**, *Doing More With Less: Green Paper on Energy Efficiency*, COM 265 final, Bruxelles.

**DEBEIR, J.-C., J.-P. DELEAGE ET D. HEMERY (1986)**, *Les servitudes de la puissance : une histoire de l'énergie*, Flammarion, Paris.

**DESSUS, B. (1999)**, *Énergie, un défi planétaire*, Belin, Paris.

**ENERDATA-LEPII-EPE (2005)**, *Étude pour une prospective énergétique concernant la France*, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Paris.

**GOLDEMBERG, J., T. JOHANSSON, A.K. REDDY ET R. WILLIAMS (1987)**, *Energy for a Sustainable World*, World Resources Institute, Washington, DC.

**GLOBAL CHANCE – NEGAWATT (2010)**, « Du gâchis à l'intelligence, du bon usage de l'électricité », *Les Cahiers de Global Chance* n°27, Meudon.

GROUPE CONFEDERAL ENERGIE CFDT (1984), *Le dossier de l'énergie*, Le Seuil, Paris.

IEA (2005), *World Energy Outlook*, Paris.

LAPONCHE, B. (2004), *Maîtriser la consommation d'énergie*, Le Pommier, Cité des sciences et de l'industrie, Paris.

LAPONCHE, B., B. JAMET, M. COLOMBIER et S. ATTALI (1998), *Energy Efficiency for a Sustainable World*, ICE, Paris.

LOVINS, A. (1975), *World Energy Strategies*, HarperBusiness, New York.

MARTIN, J.-M. (1990), *L'économie mondiale de l'énergie*, La Découverte, Paris.

SALOMON, T. et S. BEDEL (1999), *La maison des négawatts*, Terre Vivante, Mens.

VON WEIZSÄCKER, E., A. LOVINS et H. LOVINS (1997), *Factor Four*, Earthscan, Londres.

---

## Sites Internet

ADEME, AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

AFD, AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT : [www.afd.fr](http://www.afd.fr)

AIE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE : [www.iea.org](http://www.iea.org)

ATEE, ASSOCIATION TECHNIQUE ÉNERGIE ENVIRONNEMENT : [www.atee.fr](http://www.atee.fr)

ECEEE, EUROPEAN COUNCIL FOR AN ENERGY EFFICIENT ECONOMY : [www.ecee.org](http://www.ecee.org)

ENERDATA S.A. : [www.enerdata.fr](http://www.enerdata.fr)

ENERTECH, SITE DU CABINET SIDLER : [www.enertech.fr](http://www.enertech.fr)

ENERGY CITIES : <http://www.energy-cities.eu/>

ASSOCIATION GLOBAL CHANCE : [www.global-chance.org](http://www.global-chance.org)

UNION EUROPÉENNE : [www.ec.europa.eu](http://www.ec.europa.eu)

ASSOCIATION NÉGAWATT : [www.negawatt.org](http://www.negawatt.org)

## Précédentes publications de la collection

- Focales N°1** : Accès de tous aux services d'eau : le rôle des petits opérateurs privés à Hô Chi Minh Ville, Vietnam
- Focales N°2** : Le système de gouvernement local en Palestine  
*The Local Government System in Palestine*
- Focales N°3** : *Linking Labour Organisation and Vocational Training in Uganda: Lessons for Rural Poverty Reduction*
- Focales N°4** : Financement des services d'eau en milieu urbain au Niger
- Focales N°5** : Les acteurs publics locaux au cœur du développement urbain vietnamien. Moyens, limites et évolution de l'action publique locale
- Focales N°6** : *The Regulation of Small-Scale Water Providers in LAO PDR*
- Focales N°7** : La décentralisation en Turquie
-

# Qu'est-ce que l'AFD ?

Établissement public, l'Agence Française de Développement (AFD) agit depuis soixante-dix ans pour combattre la pauvreté et favoriser le développement dans les pays du Sud et dans l'Outre-mer. Elle met en œuvre la politique définie par le Gouvernement français.

Présente sur le terrain dans plus de 50 pays et dans 9 départements et collectivités d'Outre-mer, l'AFD finance et accompagne des projets qui améliorent les conditions de vie des populations, soutiennent la croissance économique et protègent la planète : scolarisation, santé maternelle, appui aux agriculteurs et aux petites entreprises, adduction d'eau, préservation de la forêt tropicale, lutte contre le réchauffement climatique...

En 2010, l'AFD a consacré plus de 6,8 milliards d'euros au financement d'actions dans les pays en développement et en faveur de l'Outre-mer. Ils contribueront notamment à la scolarisation de 13 millions d'enfants, l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable pour 33 millions de personnes et l'octroi de microcrédits bénéficiant à un peu plus de 700 000 personnes. Les projets d'efficacité énergétique sur la même année permettront d'économiser près de 5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an.

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

# La réhabilitation énergétique des bâtiments

## Enjeux et méthodes

*La réhabilitation énergétique des bâtiments existants a longtemps été délaissée par les autorités publiques au profit de politiques énergétiques dans les bâtiments neufs, plus faciles à mettre en œuvre. Elle s'avère en effet plus complexe et plus délicate à organiser du fait de l'extrême diversité des bâtiments existants, des situations administratives et des statuts d'occupation. Élaborer des programmes de réhabilitation thermique nécessite, certes, une bonne connaissance technique mais exige également de porter une plus grande attention aux situations économiques, sociales et institutionnelles locales. La réhabilitation énergétique des bâtiments existants est à ce jour rendue indispensable à toutes les économies, y compris dans les pays émergents, compte tenu des contraintes liées à la sécurité énergétique, au changement climatique ainsi que par le potentiel considérable d'économies d'énergie qu'elle représente.*

*Le présent ouvrage, réalisé à partir de l'expérience acquise au cours d'un programme de trois années de recherche appliquée, mené par l'AFD et la province du Hubei en Chine, développe la méthodologie utilisée en l'illustrant pas à pas, par son application à un cas réel. Ce cadre méthodologique peut bien évidemment être appliqué à une autre région ou à un autre pays.*

### AUTEURS

Bernard LAPONCHE

*Consultant*

José LOPEZ

*Directeur général, ICE*

Michel RAOUST

*Directeur général, Terao*

Aymeric NOVEL

*Ingénieur, Terao*

Nils DEVERNOIS

*Chargé de mission, AFD*

### PILOTAGE DU PROGRAMME ET COORDINATION

Nils DEVERNOIS

[devernoisn@afd.fr](mailto:devernoisn@afd.fr)



**ADEME**



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

