



Rénovation thermique du parc bâti résidentiel de la CUB

Définition d'une méthodologie

a'urba.
agence d'urbanisme
Bordeaux métropole Aquitaine



Rapport méthodologique

23/12/2011

provisoire

étape

définitif

Hangar G2 Bassin à flot n°1
Tél. : 33 (0)5 56 99 86 33

quai Armand Lalande
Fax : 33 (0)5 56 99 89 22

BP 71 F-33041 Bordeaux Cedex
e-mail contact@aurba.org

Objet de l'étude

L'étude vise à proposer une méthodologie permettant de déterminer les conditions, techniques et économiques, favorisant la réalisation du facteur 4 sur le parc résidentiel de la Communauté urbaine de Bordeaux.

Il s'agit de disposer d'un outil paramétrable permettant de mesurer l'efficacité de différents scénarii d'actions publiques ou privées.



Équipe projet

Sous la direction de
Antonio Gonzalez Alvarez

Chef de projet
Julien Alibert

Équipe projet
Camille Stephan-Perrey (élève ingénieur bâtiment ESTP)
Bob Clément (ingénieur urbaniste)

Avec la collaboration de
Jean-Christophe Chadanson
Jean-Bernard Malaussena
Thierry Bucau

Ce travail a été conduit avec la collaboration technique de l'agence locale de l'énergie et du climat de l'agglomération bordelaise et Gironde (ALEC)



Sommaire

Présentation de l'agence	<u>6</u>
Avant-propos	<u>7</u>
1 Principe méthodologique	<u>8</u>
2 Objectifs de l'étude	<u>9</u>
3 Méthodologie	<u>11</u>
3.1 Les modèles	<u>11</u>
3.1.1 Définir les typologies	<u>11</u>
3.1.2 Définir les sous-typologies	<u>15</u>
3.1.3 Détermination des caractéristiques du modèle de bâti type	<u>17</u>
3.2 La thermique	<u>18</u>
3.2.1 Caractérisation thermique du modèle	<u>18</u>
3.2.2 Calcul du besoin initial en énergie de chauffage	<u>18</u>
3.2.3 Localisation des faiblesses	<u>18</u>
3.2.4 Fixer les nouvelles valeurs de U	<u>19</u>
3.3 Les solutions	<u>19</u>
3.3.1 Le parti-prix	<u>19</u>
3.3.2 Choix des solutions	<u>19</u>
3.3.3 L'investissement	<u>20</u>
3.4 Les impacts	<u>20</u>
3.4.1 Sur l'économie	<u>20</u>
3.4.2 Sur les activités	<u>20</u>
3.4.3 Sur les besoins moyens	<u>20</u>
4 Les données finales	<u>21</u>
4.1 Le référentiel	<u>21</u>
4.1.1 Pourquoi et sur quoi?	<u>21</u>
4.1.2 Quelles informations?	<u>21</u>
4.2 Les fiches typologiques	<u>21</u>
4.3 Le rapport	<u>21</u>
5 Exemple : L'échoppe simple de l'avant 1900	<u>22</u>

Note de synthèse



Ce rapport présente une méthodologie pour une action de rénovation thermique à mener sur l'ensemble du parc bâti résidentiel de la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB).

La rénovation de ce parc bâti consistera à réduire le besoin en énergie de chauffage en vue d'atteindre l'objectif « facteur 4 » (diminution par 4 des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050), le tout en travaillant sur l'enveloppe des bâtiments.

Pour cela, trois points sont essentiels : la connaissance des caractéristiques des différents bâtis existants dans la Communauté Urbaine de Bordeaux, puis une étude thermique des besoins en énergie de chauffage permettant de préconiser, par la suite, une solution « modèle » de rénovation.

Ce rapport propose un cadrage méthodologique permettant d'effectuer ces trois points à l'échelle de la CUB. Il reste adaptable à d'autres régions.

Pour illustrer et tester cette méthode, une étude de cas a été réalisée sur les échoppes simples d'avant 1900. Cette étude de cas est mise à titre d'exemple en annexe.

Avant-propos

Face à la double contrainte du changement climatique et de la raréfaction des énergies fossiles, la communauté internationale s'est lancée dans un processus de négociations et d'accords, depuis une quinzaine d'années ; une démarche visant à réguler les impacts de l'activité humaine sur le milieu naturel.

Impulsés par une suite d'accords, conventions et protocoles, dont le protocole de Kyoto (1997) est le plus célèbre, un certain nombre d'engagements nationaux ont été pris afin de mettre en place normes et outils permettant de répondre aux objectifs fixés.

Parmi ces objectifs, le facteur 4 pose comme enjeu de «diviser par un facteur 4 les émissions nationales de gaz à effet de serre du niveau de 1990 d'ici 2050». Dans son sillage, la France a mené un certain nombre de démarches et s'est dotée d'un Plan Climat en 2004. Il a été élaboré sur la base de scénarii du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) et d'une analyse des scénarii de réduction d'émissions en 2050, faite par la Mission interministérielle de l'effet de serre (Mies), avec l'aide de l'ORNEC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique) et de nombreux experts, l'Ademe notamment.

Le plan climat français de 2004 visait, selon son prologue, à « susciter l'adhésion de la société tout entière et encourager les gestes citoyens par la sensibilisation et l'information ; favoriser les sources d'énergie non émettrices de carbone ; insérer l'écologie dans l'économie grâce à des mécanismes novateurs, efficaces et flexibles ; préparer l'avenir au travers d'efforts de recherche qui mettent la France sur la voie d'une société sobre en carbone ; rendre le secteur public exemplaire ; accompagner les collectivités locales pour qu'elles réalisent leurs propres plans pour le climat ».

Pour plus d'opérationnalité, ces plans sont aujourd'hui déclinés territorialement ; déclinaison rendue obligatoire depuis la Loi Grenelle II (2010). De fait, les territoires se sont engagés dans le cadre de leurs Plans Climat Énergie Territoriaux, vers la division par 4 des émissions de G.E.S. et des consommations d'énergie à l'échéance 2050.

Dans ce mouvement, la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) a adopté en 2009 son Plan Climat Énergie Territorial, déclinant sur son propre territoire les engagements nationaux formulés dans la loi POPE de 2005 et précisés dans la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

Pour appuyer ce Plan, un certain nombre d'études ont été menées pour identifier l'origine des émissions de gaz à effet de serre sur le territoire communautaire. De manière globale, les émissions de G.E.S du territoire s'élèvent à 4 765 000 teqCO² (tonnes équivalents CO²), soit 6,7 teqCO² par habitant et par an.

Le secteur « résidentiel / tertiaire » constitue le premier poste de consommation d'énergie sur la CUB : 27% des 1 300 000 tep /an, soit 570 000 tep et 1 200 000

tonnes de CO₂¹. Ce secteur constitue donc un enjeu majeur, où l'application du facteur 4 signifie d'y diminuer la consommation de plus de 10 600 tep chaque année, soit 29 tep chaque jour.

C'est dans ce contexte que l'a-urba et l'ALEC (Agence Locale de l'Energie et du Climat) ont entrepris depuis 2009 une réflexion, puis un travail visant à construire un futur outil d'aide à la planification, recherchant l'adéquation entre les « besoins » énergétiques du parc de bâtiments et les « ressources » énergétiques disponibles, exprimant « l'offre » globale d'énergie correspondante. La première étape de ce travail consiste à identifier les solutions techniques et leur efficacité énergétique et économique, actualisées dans le temps (échéance 2050).

Suite à la première étude réalisée en 2009², visant à caractériser les besoins en énergie de chauffage du parc bâti résidentiel de la CUB, deux questions se sont imposées :

- Comment chauffer le parc bâti en émettant le moins de gaz à effet de serre possible?
- Comment réduire les besoins en énergie de chauffage du parc bâti résidentiel?

La première question fait d'ores et déjà l'objet d'une étude en cours de réalisation qui, au travers de périmètres géographiques d'étude, cherche à mettre en place des solutions de chauffage adéquates pour chauffer les bâtis de ce périmètre.

La deuxième question est l'objet de ce rapport méthodologique. Demandant des connaissances techniques dans de nombreux domaines, cette question mène à une étude nécessitant de nombreux partenariats pour satisfaire ce besoin.

Ce rapport méthodologique concerne donc la rénovation thermique du parc bâti résidentiel de la CUB. Il développe une stratégie d'étude permettant à la fois d'avoir des documents d'aide à la décision pour le grand-public tout en intégrant une dimension plus vaste permettant à la CUB de motiver et planifier la rénovation du parc bâti résidentiel.

Cette stratégie d'étude comprend donc plusieurs pôles de compétences :

- Des compétences architecturales pour identifier les différentes typologies de bâtis sur la CUB
- Des compétences en thermique pour connaître les besoins de chauffage des bâtis
- Des compétences techniques en rénovation de bâtiments pour le choix des solutions à apporter
- Des compétences économiques pour l'aide à la planification de ces rénovations.
- Des compétences territoriales pour connaître les différents règlements influents sur les choix à faire.

La finalité de cette étude serait de mettre en place un outil pour la CUB stimulant la rénovation thermique de son parc bâti résidentiel et planifiant l'action publique dans ce domaine.

1 Bilan énergétique de la CUB, année 2007, ALEC

2 Caractérisation thermique du parc bâti résidentiel de la CUB, a-urba/ALEC 2009

1 | Principe méthodologique

Le principe méthodologique de cette étude est de créer un document de travail permettant de visualiser les travaux de rénovation thermique du parc bâti résidentiel de la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) à l'aide de modèles de bâti.

Notre plus-value par rapport aux études et démarches existantes de monétarisation de la rénovation de ce parc est :

- Des solutions de rénovation thermique choisies en tenant compte des caractéristiques des modèles du bâti.
- Un travail en collaboration avec l'Agence Locale de l'Énergie de l'agglomération bordelaise et de la Gironde (ALEC) pour mettre en perspective les apports de la rénovation par rapport à l'objectif qui est d'atteindre le facteur 4 des émissions de gaz à effet de serre du parc bâti résidentiel.
- Une planification de la mise en œuvre des travaux à l'échelle de la CUB. Cette planification sera possible grâce aux données présentes à l'a-urba, qui permettent de quantifier et spatialiser les résultats obtenus lors des modélisations.

Cette étude se déroulera en deux parties.

La première partie consistera à **affiner les coûts de la rénovation thermique du parc bâti résidentiel de la CUB** en travaillant sur des modèles de bâtis. Ce travail se décomposera comme suit :

- élaboration de modèles de bâtis permettant de balayer l'ensemble des typologies existantes sur la CUB ;
- réalisation d'un bilan énergétique initial permettant de comprendre les faiblesses de ces modèles ;
- élaboration de solutions théoriques pour diminuer les besoins en énergie de chauffage des modèles ;
- mise en place de ces solutions théoriques par le biais de solutions pratiques adaptées à chaque modèle ;
- évaluation du coût unitaire de la rénovation ;
- évaluation des impacts engendrés à l'échelle de la CUB.

La réalisation d'un référentiel de matériaux pour la rénovation sera nécessaire pour la réalisation de cette partie. Ce référentiel fera partie d'un travail annexe mais néanmoins important. Il consistera à répertorier tous les matériaux de rénovation existant sur le marché de la CUB ou pouvant faire l'objet d'une filière à aménager.

La seconde partie sera davantage basée sur **une évaluation monétaire et une planification des travaux**. Elle permettra aux collectivités intéressées de comprendre l'enjeu de cette rénovation thermique et d'appréhender les efforts à mettre en œuvre pour motiver cette rénovation. Ce travail sera réalisé à partir des modèles et des coûts calculés dans la première partie en les intégrant à l'échelle de la CUB.

2 | Objectifs de l'étude

Cette étude a pour but de proposer un cadre d'étude pour la rénovation thermique du parc bâti résidentiel de la CUB afin de diviser par 4 ses émissions de gaz à effet de serre.

Sachant que diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage nécessite une action globale et relativement complexe (besoin en chauffage, type de chauffage, matériaux utilisés, ventilation, ...), cette étude se concentrera sur la réalisation du facteur 4 pour les besoins en énergie de chauffage sur l'ensemble de la CUB.

Pour connaître ce besoin moyen à atteindre par la mise en place de mesures de rénovation, l'étude « Caractérisation thermique du parc bâti résidentiel de la CUB » sera utilisée comme base pour calculer les besoins en énergie de chauffage. Y sont ajoutés les futurs bâtis en tenant compte de ces règles :

- le nombre prévisionnel de logements construits par an à partir de 2011. C'est-à-dire 10 000 logements avec 6% de T1, 46% de T2, 38% de T3, 8% de T4 et 2% de T5 et plus (valeurs issues du Plan Local d'Habitat (PLH)) ;
- la proportion de logements collectifs et individuels construits dans les années 2010 – 2020 (80% de logements collectifs et 20% de logements individuels) et dans les années 2020 – 2050 (80% de logements collectifs et 20% de logements individuels) ;

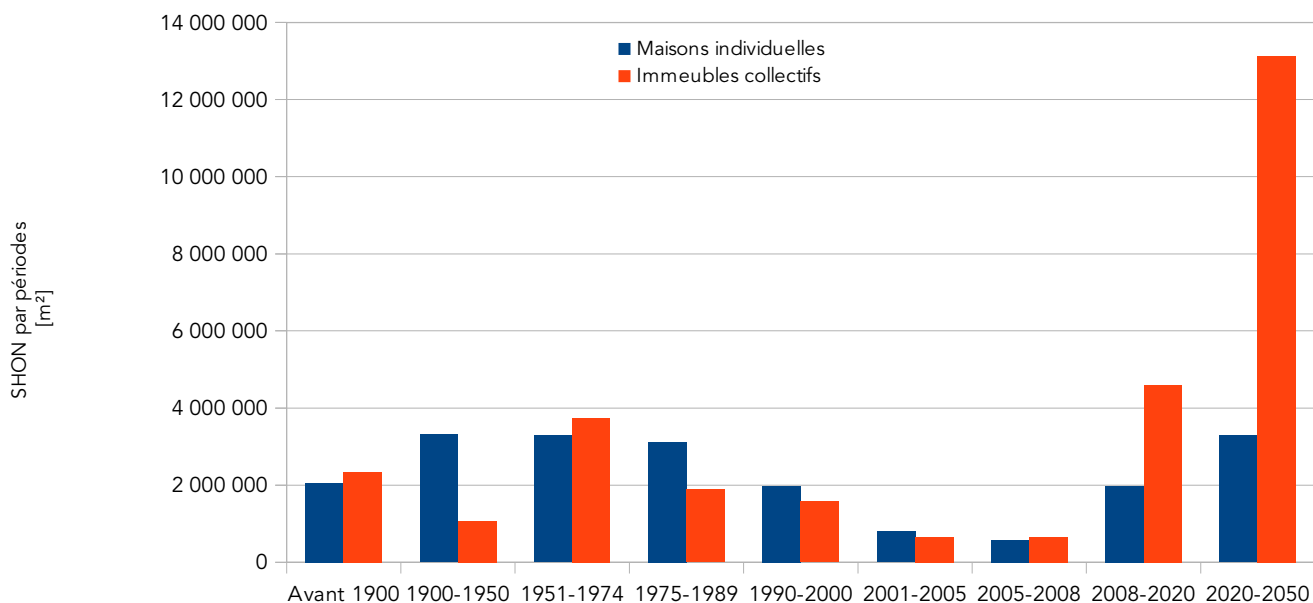


Diagramme 1: SHON par période

- les bâtiments de 2008 à 2013, qui respectent la réglementation thermique RT2008, génèrent une consommation de 50 kWh/m²/an ;
- les bâtiments de 2013 à 2020 respecteront la future réglementation thermique RT2012 ; à savoir une consommation de 50 kWh/m²/an ;
- les bâtiments d'après 2020 seront des bâtiments à énergie positive donc leur besoin en énergie de chauffage est nul.

Pour des raisons de simplification, nous prendrons un rapport besoin/consommation égal à 1.

Les besoins en énergie de chauffage par période sont représentés dans le diagramme ci-dessous.

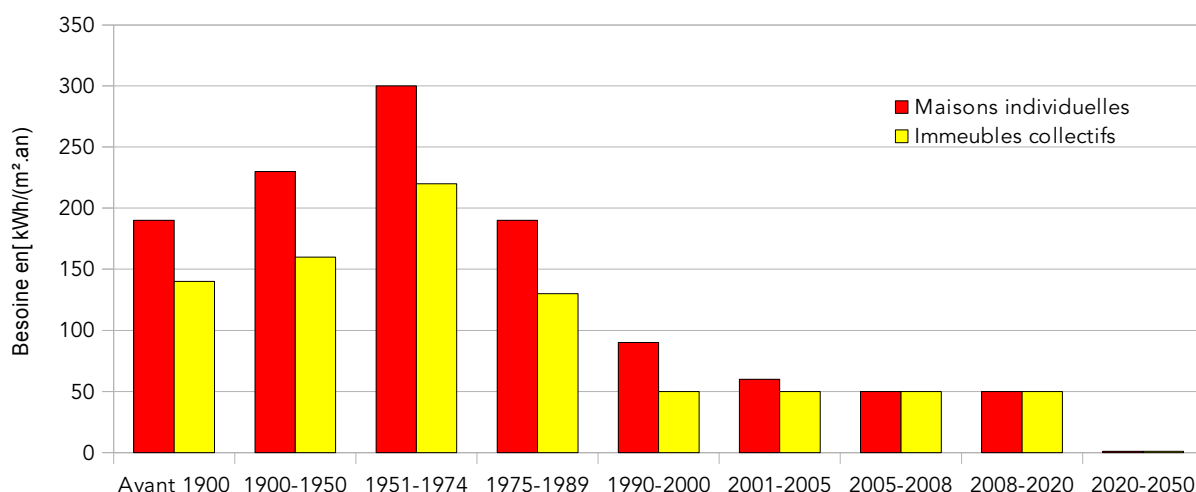


Diagramme 2 : Besoin moyen en énergie de chauffage par typologie

Sans prendre en compte aucune rénovation, le besoin moyen en énergie de chauffage en 2050 serait de 4 940 581 700 kWh/an.

Pour atteindre le facteur 4 en terme de besoins en énergie de chauffage, l'étude propose de procéder en deux étapes :

- Une première étape qui consiste à rénover les bâtis d'avant 2005 pour que leurs besoins en énergie de chauffage atteignent 47kWh/m²/an ;
- Une deuxième étape qui consistera à réaliser des maisons à énergie positive ou nulle avec les bâtis d'après 2005.

Ainsi le besoin en énergie de chauffage pour la CUB serait de 1 212 571 001 kWh/an, ce qui est inférieur au quart du besoin initial (4 940 581 700 [kWh/an] /4=1 235 145 425 [kWh/an]).³

Cependant, au vu des avancées technologiques en matière de chauffage, il semble raisonnable de ne viser que les bâtis d'avant 2005. Pour la suite, une révision de la méthode et de la documentation sera nécessaire. Révision d'autant plus importante que le modèle, en terme de monétarisation ne peut être viable d'ici à 2050. Certaines fluctuations, liées aux coûts de l'énergie, des matériaux, à l'inflation...ne sont pas prévisibles à long terme.

3 Détail des calculs en annexe

3 | Méthodologie

3.1 | Les modèles

La création de modèles de bâtis nécessite une grande connaissance des courants architecturaux de la région.

Le travail consiste à référencer un maximum de typologies de bâtiments permettant de balayer l'ensemble des courants architecturaux de la CUB. Ce travail doit pouvoir s'accompagner d'une spatialisation et d'une quantification de ces typologies pour pouvoir élaborer une stratégie d'action à l'échelle de la CUB.

3.1.1 | Premier découpage : les typologies

Une première division des bâtiments est établie d'un point de vue des caractéristiques thermiques.

Cette division par caractéristique thermique a été réalisée dans l'étude « Caractérisation thermique du parc bâti résidentiel de la CUB » en 2009. Son principe est le suivant :

« Les caractéristiques thermiques d'un bâtiment sont directement liées aux matériaux de construction, il est donc nécessaire de recenser les différentes solutions constructives employées sur le territoire communautaire et d'en déduire les propriétés thermiques.

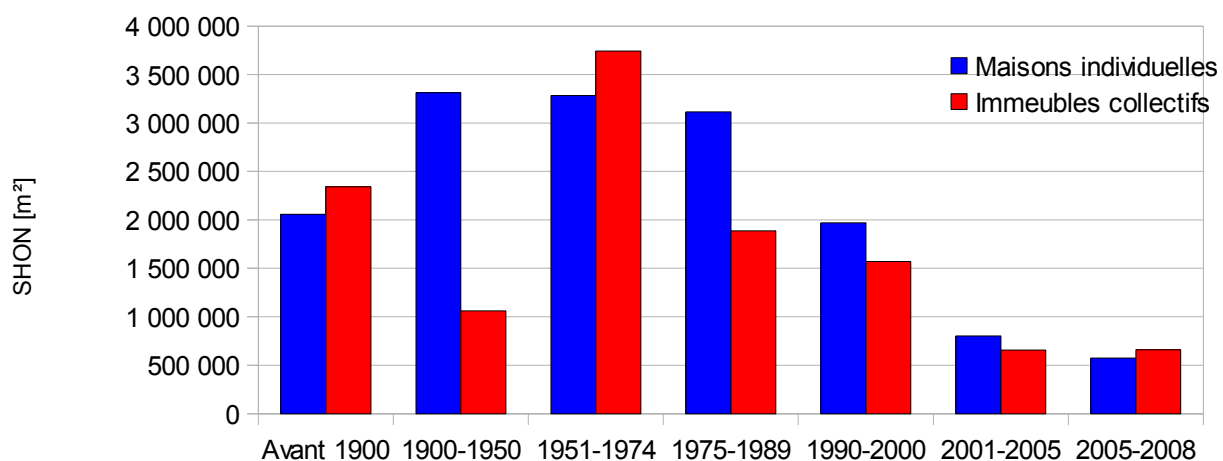
La méthode choisie consiste à dégager des procédés constructifs typiques pour chaque période de construction, pour les immeubles collectifs d'une part et pour les maisons individuelles d'autre part. »

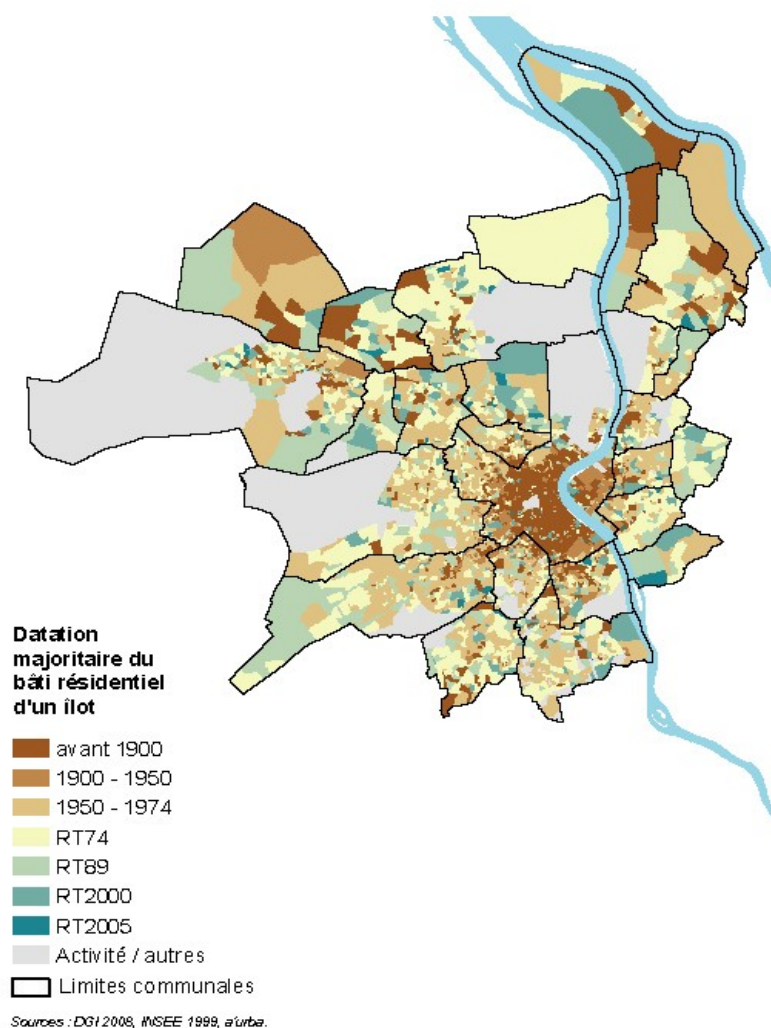
Ce travail a permis de dégager 7 grandes périodes de construction prenant en compte les arrivées des différentes réglementations thermiques, en différenciant les immeubles collectifs et les maisons individuelles.

Il arrive donc à 14 typologies de bâtis: les maisons individuelles et les immeubles collectifs des périodes avant 1900, de 1900 à 1950, de 1951 à 1974, de 1975 à 1989, de 1990 à 2000, de 2001 à 2005, après 2005.

Diverses données ont pu être associées à ces typologies telles que le nombre de bâtis par époque, la SHON, la mitoyenneté moyenne, ...

	TAUX DE MITOYENNETE	
	Maisons individuelles	Immeubles collectifs
après 2005	6 %	8 %
2001 - 2005	6 %	11 %
1990 - 2000	9 %	18 %
1981 - 1989	7 %	19 %
1975 - 1980	8 %	11 %
1950 - 1974	12 %	15 %
1900 – 1950	27 %	39 %
avant 1900	36 %	50 %





Carte 1 : Datation du bâti résidentiel à l'îlot

Ces différentes données ont permis de calculer les besoins en énergie de chauffage des bâtis suivant sa période de construction avec les règles de calculs de la réglementation thermique RT1988. Grâce à ces besoins, une première hypothèse sur les bâtis prioritaires pour la rénovation thermique a pu être faite. Les premiers bâtis nécessitant une rénovation thermique seraient les bâtis des périodes 1951 à 1974 et 1975 à 1989 .

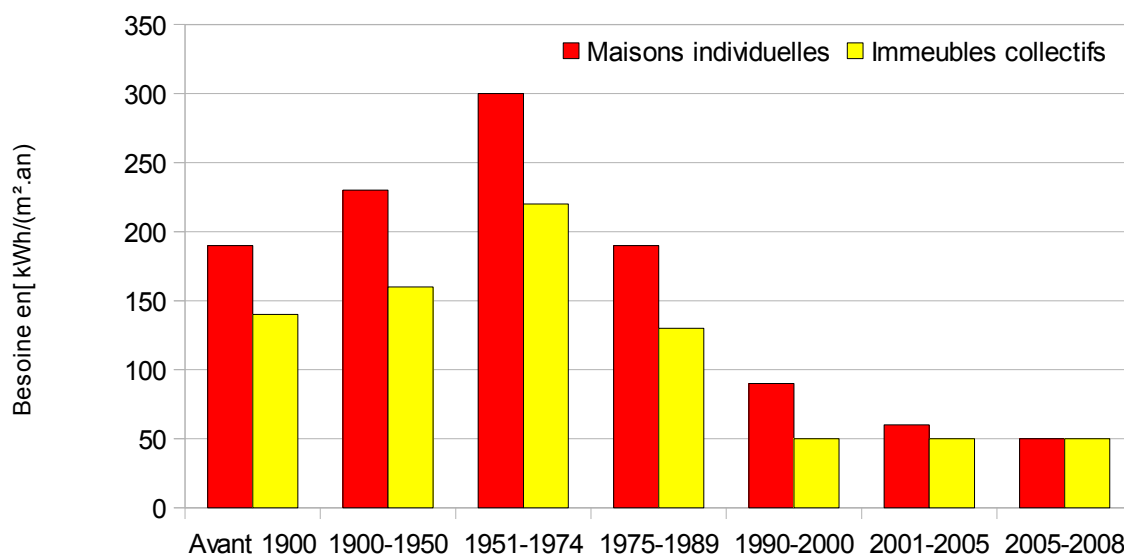


Diagramme 4 : Besoin en énergie de chauffage par époques de construction

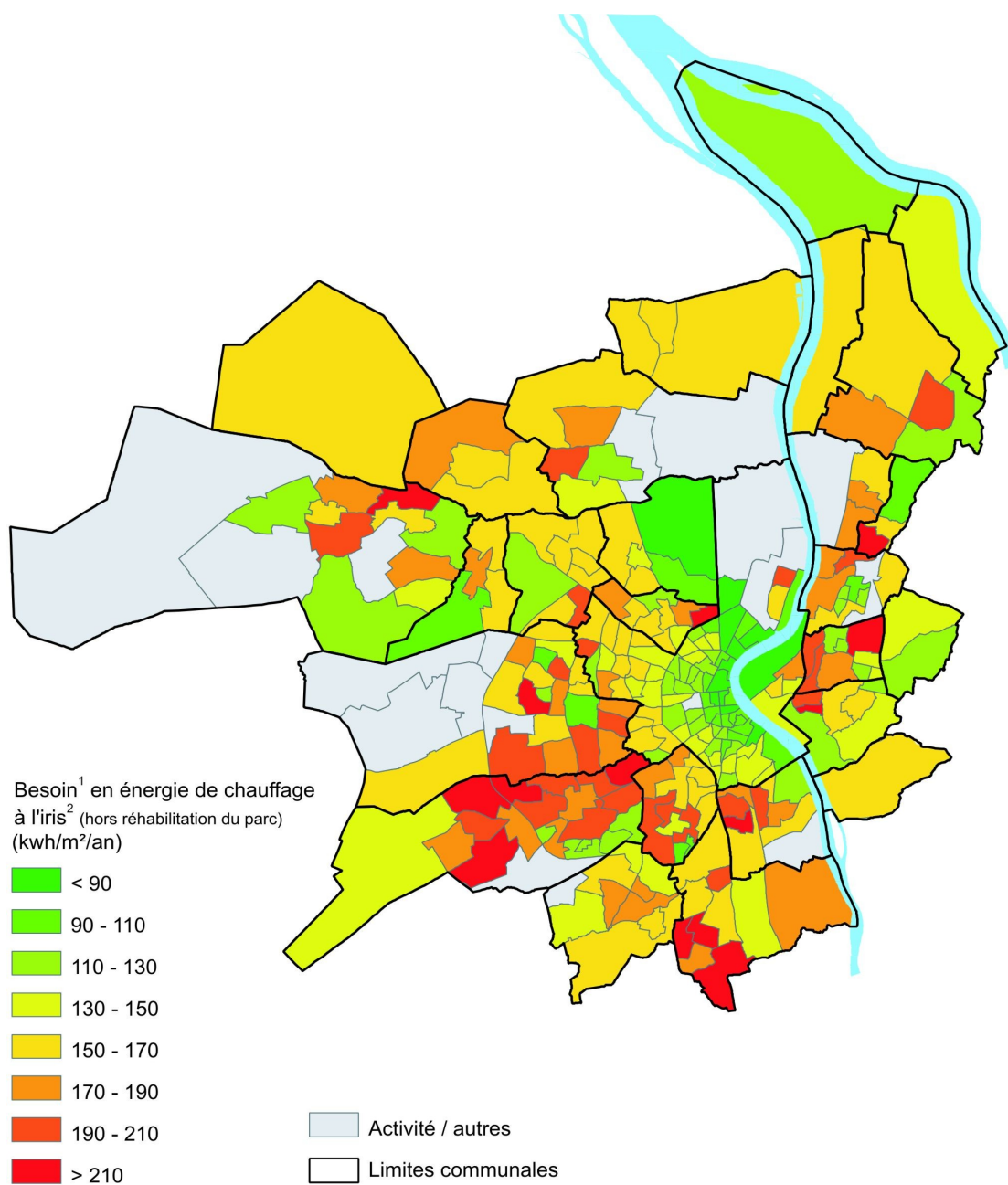
Toutes les données nécessaires aux calculs des besoins en énergie de chauffage ont été prises dans la base de données SIG de l'a-urba. Ces données sont issues des renseignements de la Direction Générale des Impôts (DGI). Elles sont sujettes à des erreurs car ce sont des données déclaratives servant pour le calcul des impôts. Un exemple d'erreur est la datation du bâti. En effet, la datation du bâti se fait par la date de la dernière déclaration de travaux enregistrée. Donc, un bâtiment de 1900 ayant subi des travaux déclarés en 2000 sera enregistré comme un bâti de 2000.

Cependant, ces données peuvent être spatialisées et quantifiées. Or, pouvoir spatialiser permet de visualiser les zones intéressées par les différentes typologies et pouvoir quantifier permet de calculer le prix des travaux de rénovation. Ces deux «actions» permettront la hiérarchisation des priorités d'action. Il est possible de réaliser des cartes représentant différentes périodes de construction sur la CUB (cf. carte 1) et des cartes représentant les besoins en énergie de chauffage (cf. carte 2) à l'iris ou à la parcelle à l'échelle de la CUB.

La réalisation de cartes représentant, à l'îlot ou à l'iris, les besoins en énergie de chauffage permet de réaliser une deuxième hypothèse sur les priorités d'actions des rénovations thermiques par zonage géographiques. Elle révèle par exemple, que la zone Sud-Ouest de la CUB (Mérignac, Pessac, Talence) a une forte demande en besoins d'énergie.

Un parallèle peut être fait entre les besoins en énergie de chauffage de ces zones et la datation de leurs bâtis. Il apparaît que sur la zone Sud-Ouest de la CUB, la majorité des bâtis sont datés des années 1950 à 1974, soit les bâtis ayant le plus grand besoin en énergie de chauffage..

Les deux hypothèses de priorité d'actions sont donc liées.



Sources : DGI 2008, INSEE 1999, a'urba.

1 | Le besoin est calculé à partir de propriétés constructives types par période de construction et de paramètres morphologiques liés à l'implantation du bâtiment sur la parcelle (mitoyenneté, orientation)

2 | L'IRIS est une unité statistique de l'INSEE regroupant au minimum 2000 habitants

a'urba.
agence d'urbanisme
Bordeaux métropole Aquitaine

Carte 2 : Besoin en énergie de chauffage à l'iris

3.1.2 | Définir les sous-typologies

Le découpage des bâtis de la CUB par les caractéristiques thermiques, bien que permettant la mise en place des priorités d'actions, ne donne pas la possibilité d'une approche précise des travaux de rénovation à mettre en œuvre. En effet, les solutions de rénovation diffèrent suivant les matériaux de construction utilisés, l'architecture extérieure, voire intérieure, les techniques de construction ...

Un premier sous-découpage est donc réalisé pour différencier les matériaux utilisés sur l'enveloppe du bâti. Ces informations sont tirées de la base de données MAJIC II qui permet de répertorier les matériaux de construction des bâtis suivant les époques de construction définies précédemment. Pour les mêmes raisons que pour les données de la DGI, les informations présentes dans la base MAJIC II sont des informations déclaratives donc sujettes à des erreurs.

Cependant, elles nous permettent d'avoir une première approche globale des différentes techniques de construction et de l'architecture générale des bâtis sur la CUB par période. Grâce à ces données, il est également possible de créer une carte de la CUB permettant de localiser par îlot ou par iris les matériaux de construction prépondérants des bâtis.

Remarques : un parallèle peut être fait entre les besoins en énergie de chauffage et les matériaux de construction. On peut en effet noter que les périodes les plus déperditives thermiquement, à savoir les périodes comprises entre les années 1950 à 1971 (cf. diagramme), sont les années d'apparition du béton dans les immeubles collectifs et de la brique dans les maisons individuelles.

C'est à cause de ces nouveaux procédés de construction à parois minces (généralement inférieure à 20cm) peu connus à l'époque et d'un manque de réflexion sur la question du chauffage des bâtiments, que les besoins en énergie de chauffage ont connu une grande augmentation.

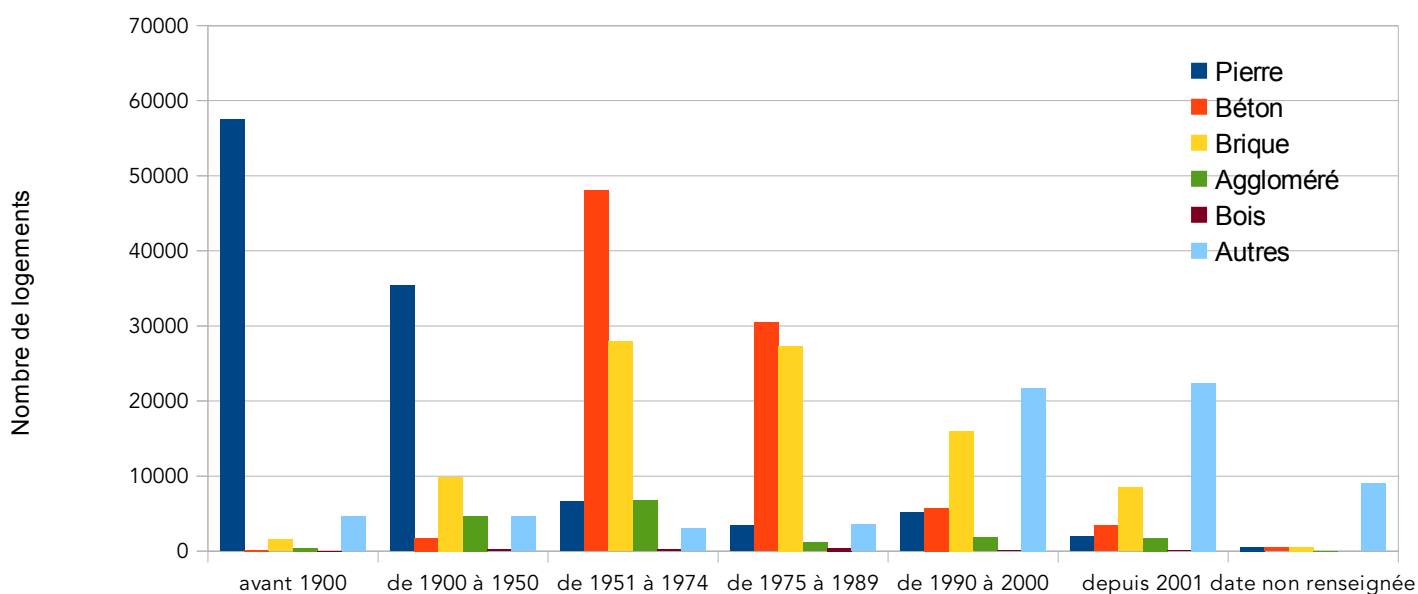


Diagramme 5 : Répartition des matériaux de construction par époque pour les immeubles collectifs

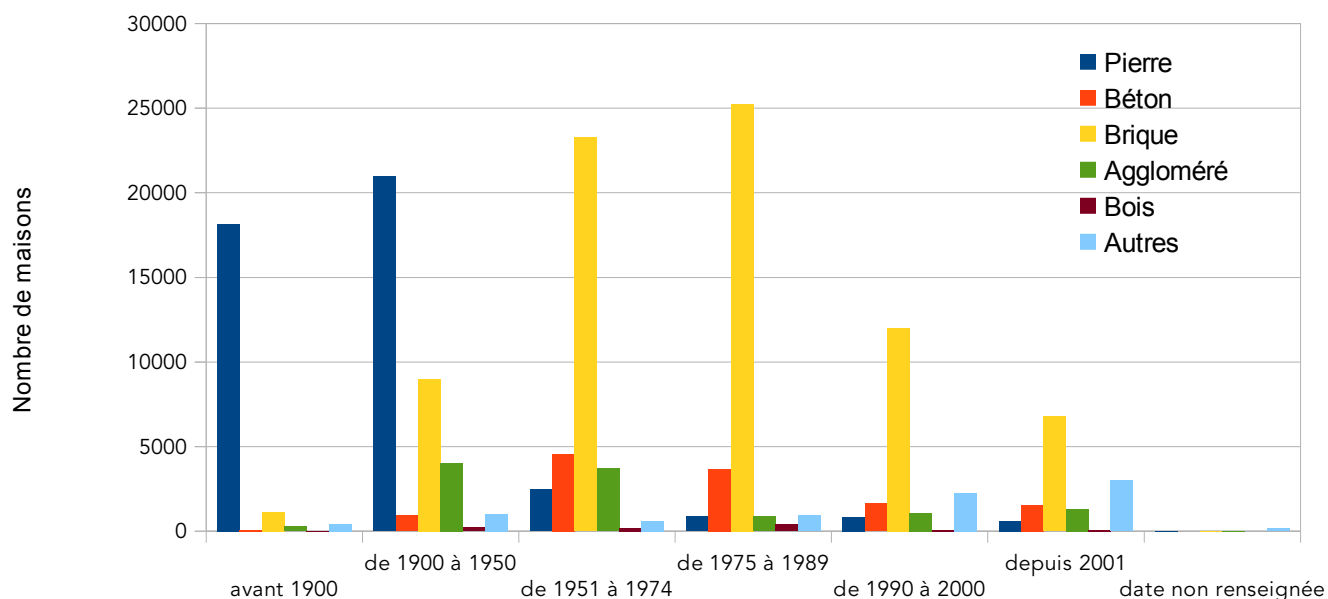


Diagramme 6 : Répartition des matériaux de construction par époque pour les maisons individuelles

Ce découpage peut encore être affiné en regardant plus précisément les solutions architecturales choisies selon les matériaux prépondérants dans la construction.

Cette dernière découpe semble indispensable lorsque l'on souhaite réaliser un modèle de bâtis des années 1950 à 1989. En effet, cette période est la plus sujette à de nouveaux élans architecturaux, de part les nouvelles techniques de construction : structure béton de plus en plus innovante notamment.

Mais cette difficulté de modélisation existe également dans les autres périodes comme celle des années où la pierre est le matériau prépondérant. En effet, plusieurs types d'architecture de cette époque (échoppes, maisons à étages, hôtels particuliers,...) nécessitent une étude personnalisée pour permettre d'adapter les rénovations.



En outre, ce découpage des formes architecturales ne peut se faire par des données SIG. Il nécessite donc un travail de recherche, de quantification et de spatialisation essentiel pour la suite de l'étude. Il doit également intégrer la recherche des matériaux de construction secondaires comme ceux de la toiture, des planchers...

3.1.3 | Détermination des caractéristiques du modèle de bâti type

A partir de ces découpages du parc bâti résidentiel, il est possible de créer des modèles de bâtis permettant de balayer architecturalement l'ensemble de la CUB.

Pour créer ces modèles les plus réalistes possible, il est important que la dernière étape de découpage soit réalisée avec sérieux et précision afin de délimiter la forme du bâti modélisé et les matériaux secondaires de construction (couverture, plancher, ...). C'est grâce à ces données que la modélisation 3D informatique sera réalisée, modélisation qui servira dans la suite de l'étude pour les calculs thermiques.

Dans le modèle de bâti, les informations nécessaires sont :

- le nombre de bâti entrant dans cette modélisation et leur localisation ;
- la forme architecturale et les dimensions (SHON, hauteur sous-plafond, ...);
- les matériaux de construction (façades, ouvrants, toiture, ...) ;
- les caractéristiques thermiques (coefficient de transmission thermique) ;
- les pathologies et les détails.

Des données supplémentaires décrivant l'entourage urbanistique des bâtis peuvent éventuellement être ajoutées.

C'est à partir de ces modélisations que la suite de l'étude s'appuiera. Elles seront la base de nos calculs de déperditions thermiques et de nos choix de solutions pour la rénovation. Il ne faut donc absolument pas faire l'impasse sur les détails de construction jouant un rôle essentiel sur la thermique du bâtiment.

3.2 | La thermique

3.2.1 | Caractérisation thermique du modèle

Une fois les modèles de bâtis établis, il faut dégager les caractéristiques thermiques qui en sont associées.

Pour cela, il est essentiel de distinguer les 4 postes principaux de construction. Ces postes sont les suivant :

- La toiture comprenant la couverture, la charpente, les combles, ...
- Le plancher
- Les murs
- Et les ouvrants (portes, fenêtres, ...)

Une fois ces postes identifiés, la connaissance de leurs principes constructifs ainsi que celles de leurs matériaux permettra, par poste, de donner différentes valeurs thermiques nécessaires aux calculs de déperditions.

Pour la méthode de calcul utilisée cette année, seul le coefficient de transmission thermique (U) qui caractérise la quantité de chaleur traversant une paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi est nécessaire. Ce coefficient peut être évalué grâce à la conductivité thermique (λ) des matériaux et à leur épaisseur.

Cependant, suivant les moyens mis en œuvre pour la future étude, d'autres caractéristiques thermiques intervenant dans le calcul des déperditions thermiques pourront être prises en compte, permettant une approche plus précise du problème.

L'orientation des bâtiments est l'un des points importants sur le calcul des déperditions thermiques qui n'est pas pris en compte par la méthode de calculs utilisés tout comme la mitoyenneté des bâtiments, leur exposition au vent, ...

3.2.2 | Calcul du besoin initial en énergie de chauffage

A partir des différentes caractéristiques du bâti, il est possible de calculer les déperditions thermiques et le besoin en énergie de chaque modèle. Ces calculs permettent de mettre en évidence la qualité thermique des modèles et de la confronter à nos objectifs «facteur 4» (atteindre un besoin en énergie de chauffage de 47kWh.m²/an).

Travaillant avec les outils à notre disposition à l'a-urba et à l'ALEC, les premiers calculs seront réalisés en suivant les règles de calculs de la réglementation thermique 1988 (RT 88) et avec l'aide du logiciel PERRENOUD. (cf. annexe, note de calculs).

Cependant, ces outils n'ayant pas de grandes précisions, il est envisageable d'utiliser de nouveaux outils plus performants. Des outils prenant en compte dans les calculs la mitoyenneté des bâtis, leur exposition au soleil, ...

L'étude de l'a-urba réalisée en 2009 a permis de calculer les besoins en énergie de chauffage suivant les grandes périodes de construction (premier découpage des typologies). Grâce à ces besoins, il est possible de faire une première estimation des périodes de construction prioritaires pour la rénovation et d'être conscient des grandes améliorations thermiques à mettre en œuvre. (cf. tableau). En effet, ces améliorations sont considérables pour tous les bâtis d'avant 1990 doivent diminuer leurs besoins en énergie de plus de la moitié. L'amélioration la plus spectaculaire

est celle des maisons de 1951 à 1974 qui doivent passer d'un besoin moyen en énergie de 300kWh/m²/an à un besoin en énergie de 47kWh/m²/an, soit une réduction de 253kWh/m²/an.

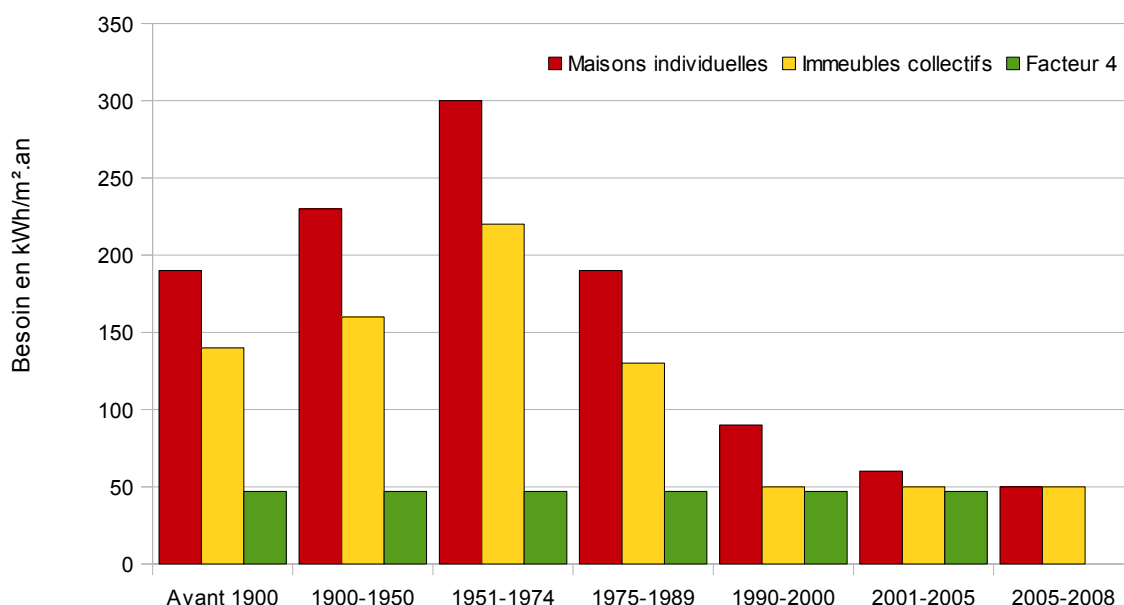
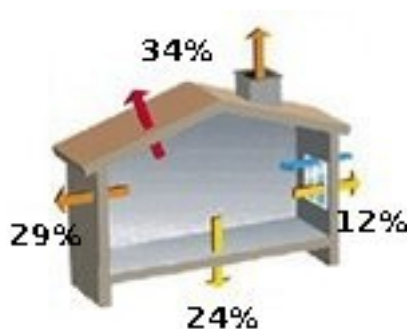


Diagramme / : Besoin en energie de chauffage par epoque de construction

3.2.3 | Localisation des faiblesses

Les premières priorités d'actions correspondent aux modèles de bâtis à rénover en premier suivant leur besoin initial en énergie de chauffage. Une fois ce classement des bâtis effectué, il est intéressant de connaître les priorités d'actions des postes de rénovation (toiture, plancher, murs, ouvrants) suivant chaque bâti.

En effet, le travail de caractérisation thermique du modèle et le calcul des déperditions thermiques permettent de visualiser les faiblesses thermiques du bâti. Ainsi, une hiérarchisation des postes de rénovation est possible et permet de mettre en évidence les « urgences » de la rénovation thermique de chaque modèle.



Exemple de schématisation de localisation des faiblesses

Nota bene : il est important de ne pas oublier le confort thermique de l'espace chauffé. En effet, on ne peut pas uniquement se fier aux calculs des déperditions pour établir un plan de rénovation, il faut également songer à d'autres éléments de confort tels que les parois froides.

3.2.4 | Fixer les nouvelles valeurs de U

Pour atteindre nos objectifs «facteur 4», les améliorations thermiques seront basées sur le changement des coefficients de transmission thermique des différents postes de rénovation.

Tout en gardant à l'esprit le principe de confort thermique, les coefficients de transmission thermique seront revus à la hausse suivant les priorités d'actions mais également suivant leurs faisabilités ; le tout dans le but d'atteindre un besoin en énergie de chauffage après changement de 47 kWh/m²/an.

Ces valeurs de coefficients de transmission thermique ainsi évaluées constitueront l'objectif à atteindre par le choix des solutions de rénovation.

3.3 | Les solutions

3.3.1 | Le parti-pris

La démarche cherchant à minimiser l'impact du bâti sur l'environnement implique nécessairement des solutions de rénovation allant dans ce sens. Pour cela, les solutions feront appel à des matériaux à faible énergie grise, c'est-à-dire des matériaux dont la fabrication ne pollue pas outre mesure, et des matériaux permettant un confort d'été.

L'impact environnemental des matériaux est très influent dans les choix à faire car il ne s'agit pas de diminuer une consommation d'énergie de chauffage pour en augmenter une de fabrication. Pour cela, des matériaux nécessitant peu de transformation, des matériaux recyclés, des matériaux de fabrication locale... seront prioritaires pour les solutions.

De plus, il ne faut pas substituer l'énergie de chauffage pour l'hiver par l'énergie de climatisation pour l'été. Les matériaux devront alors être des matériaux à grande inertie permettant ainsi la «diffusion lente» des calories. C'est cette inertie qui donne aux murs cette balance des températures : en été, le matériau se réchauffe, en hiver, il restitue la chaleur emmagasinée. Le but de la rénovation n'étant pas de mettre «un pull-over» au bâti qui maintiendrait la chaleur à l'intérieur de l'habitat.

La démarche visant la rénovation complète du parc bâti résidentiel de la CUB, il est important de prendre en compte des questions patrimoniales.

En effet, le patrimoine architectural de la CUB étant très large et diversifié, allant des maisons en pierre de taille, à la cité de Frugès de Le Corbusier en passant par les constructions au pas de grues, les solutions de rénovation devront permettre de le conserver. Ce parti-pris architectural est obligatoire pour des zones protégées telles que la zone de Bordeaux classée au patrimoine mondial de l'UNESCO, mais il ne doit pas pour autant ne pas faire l'objet d'une étude pour les autres zones.

3.3.2 | Choix des solutions

Les solutions de rénovation seront apportées par poste de travail (murs, plancher, toiture, ouvertures). Par cette méthode, il sera possible d'effectuer une planification d'actions par poste privilégiant les «urgences» pour l'économie des besoins thermiques.

Pour chaque poste de rénovation, le choix d'un matériau et sa mise en œuvre seront faits de telle sorte que le coefficient de transmission thermique préconisé dans l'étude thermique (cf 3-2-4) soit atteint.

Afin de préconiser une solution, il sera nécessaire que cette solution fasse l'objet d'une étude de faisabilité et d'une étude d'impact. Les préconisations faites doivent être le fruit d'une réflexion partenariale entre professionnels.

3.3.3 | L'investissement

Une fois les solutions de rénovation choisies, leur coût et leur durée de vie seront alors calculés.

Le coût permettra de connaître l'investissement premier à réaliser, la durée de vie permettra d'évaluer un coût d'entretien et de changements.

En rassemblant ces données à l'échelle de la CUB, il sera possible d'élaborer des plans d'actions de rénovation pour les administrations (plans d'actions pouvant faire l'objet d'une future étude).

3.4 | Les impacts

Ce dernier point, qui représente quasiment un point à part, une « étape 2 », nous permettrait de mesurer monétairement et planifier spatialement l'effort à mener en matière de réhabilitation thermique.

Il n'est pas traité dans ce rapport, mais reste essentielle pour offrir une réalité « économique » à la méthodologie proposée. Il ne devra toutefois pas s'imposer au travail technique qui sera réalisé. L'objectif est ici de promouvoir une action volontariste, notamment au niveau de la puissance publique et de se focaliser sur les solutions techniques avant tout, sous réserve de leur viabilité économique sur le long terme.

Il est également utile de préciser que ce travail devra en parallèle être mené sur les sources d'énergie et donc la production de chauffage.

3.4.1 | Monétaire

Ce point nous permettrait de chiffrer de manière globale et actualisée dans le temps, le coût des mesures à prendre pour mener, aux conditions techniques retenues, les actions permettant de parvenir au facteur 4.

Ce calcul économique ne devra se border qu'au seul coût des travaux et à leur rentabilité « stricte ». S'il est important de connaître le temps de retour sur investissement, ce seul critère est trop restrictif pour promouvoir une action forte sur la réhabilitation thermique du parc bâti résidentiel (action déjà très complexe à mener).

Il est donc important de dépasser ce critère pour prendre en compte l'ensemble des gains réalisés après travaux, en tenant compte de la durée de vie des matériaux notamment. Dans cette logique, il sera donc nécessaire de savoir comment il est possible de valoriser ces gains qui dépassent l'unique retour sur investissement.

Des coût et des gains qui, dans ce cadre, doivent également être actualisés dans le temps sur différents aspects (coût de l'énergie, coûts des matériaux...). Cette actualisation permettra également de faire varier, le cas échéant, l'efficacité « gain énergétique/gain économique » des différentes solutions retenues.

Cependant, cette actualisation ne sera viable que sur du moyen terme à l'échelle de l'étude, c'est-à-dire une dizaine d'année au maximum.

3.4.2 | Économique

Dans le prolongement de la démarche de planification énergétique et de réhabilitation du parc bâti résidentiel de la CUB, l'objectif serait ici de mettre en place une étude nous permettant de connaître le fonctionnement et la structure de la filière du bâtiment sur le territoire (girondin, Sysdau, CUB?). Une filière qui serait traitée du secteur de la production de matériaux (et leur acheminement s'ils ne sont pas produits sur le territoire cible) au secteur de la construction (jusqu'au niveau

artisanal), en prenant en compte l'aspect formation et qualification de la main d'œuvre.

Le but est ici de comprendre de quelle manière se comporte la filière afin de déterminer si elle est suffisamment structurée pour répondre aux ambitions fortes, portées par la réhabilitation et la mise en place du facteur 4. De plus, cette étude présente l'intérêt de se connecter avec la question relative à la marge de manœuvre dont dispose le secteur du BTP pour répondre aux objectifs de production de logements sur l'agglomération bordelaise (question soulevée lors d'un atelier débat de l'observatoire Habitat en 2010).

En d'autres termes, cette étude chercherait à déterminer, à travers une étude « filière » précise, si l'appareil productif du secteur du BTP est en mesure, ou non, d'absorber le surplus d'activités lié aux ambitions démographiques (l'Agglo millionnaire) et environnementales (Plans Climat Energie Territoriaux) que le territoire a défini.

4 | Les données finales

4.1 | Le référentiel

4.1.1 | Pourquoi et sur quoi?

La rénovation thermique des bâtiments s'encre dans une action de développement durable. Cette logique motive aujourd'hui la constitution d'un référentiel de matériaux.

Le développement durable étant une action commune à tout le monde, il semble essentiel de mettre en place un document permettant de recenser tous les artisans de la région, favorisant ainsi l'emploi local et diminuant les frais de transport, et également permettant une explication des différentes techniques utilisées dans la rénovation.

Ce référentiel, qui reste à construire, serait un document annexe à l'étude sur la rénovation du parc bâti résidentiel de la CUB. Un document annexe que l'on pourrait identifier comme étant l'annuaire de tous les matériaux et des techniques de rénovation de la région donnant des informations dans ce domaine pour le grand-public et permettant la promotion des artisans locaux.

4.1.2 | Quelles informations?

Ce référentiel serait présenté comme un catalogue de matériaux triant ces derniers dans diverses familles telles que la famille des isolants, la famille des ouvertures, la famille des revêtements, ...

Pour chaque famille, un glossaire et des aides techniques seront édités afin d'aider l'utilisateur dans ses choix.

Pour chaque matériau, les informations suivantes seront renseignées :

- Caractéristiques physiques ;
- Caractéristiques thermiques ;
- Energie grise ;
- Si le matériau est issu de filières de recyclage ou de ressources renouvelables et durables ;
- Mise en œuvre ;
- Prix moyen.

Ce référentiel étant en relation avec l'étude du facteur 4, c'est-à-dire la diminution des émissions des gaz à effet de serre, il est essentiel d'apporter des informations de développement durable et d'énergie grise dans la description des matériaux.

Il serait par ailleurs intéressant d'approfondir ce travail en y ajoutant une valeur régionale en impliquant l'économie du territoire. Dans ce sens, un annuaire des fournisseurs locaux de matériaux pourra compléter ce référentiel permettant de

dynamiser l'activité économique de la région mais également d'éviter la pollution due au transport des matières.

Un travail similaire a d'ores et déjà été réalisé par la région PACA pour le «guide régional des matériaux éco-performants». Ce guide pourra nous servir d'exemple pour la confection de notre référentiel.

4.2 | Les fiches typologiques (exemple test)

La fiche typologique est un document de recommandations pour des travaux de rénovation d'une typologie de bâti donnée.

Ces fiches typologiques sont l'illustration de la méthodologie de « rénovation du parc bâti résidentiel de la CUB ». Elles intègrent les différentes parties de cette méthodologie, à savoir :

- Les informations globales sur la typologie permettant de la modéliser,
- La modélisation faite de la typologie,
- Les calculs des besoins thermiques et les solutions théoriques du modèle,
- Les solutions techniques à apporter au modèle,
- Une évaluation du coût unitaire et globale de la rénovation,
- Les impacts de la rénovation sur la CUB.

Ces fiches sont un outil double pour l'étude de «rénovation du parc bâti résidentiel de la CUB». Elles permettent d'affiner les coûts de la rénovation thermique du parc bâti résidentiel de la CUB ; coûts qui serviront à planifier et à élaborer des stratégies pour la rénovation thermique de ce parc. Ces fiches donneront également des recommandations sur la rénovation des bâtis par typologie ; elles pourront faire l'objet d'une publication au grand-public.

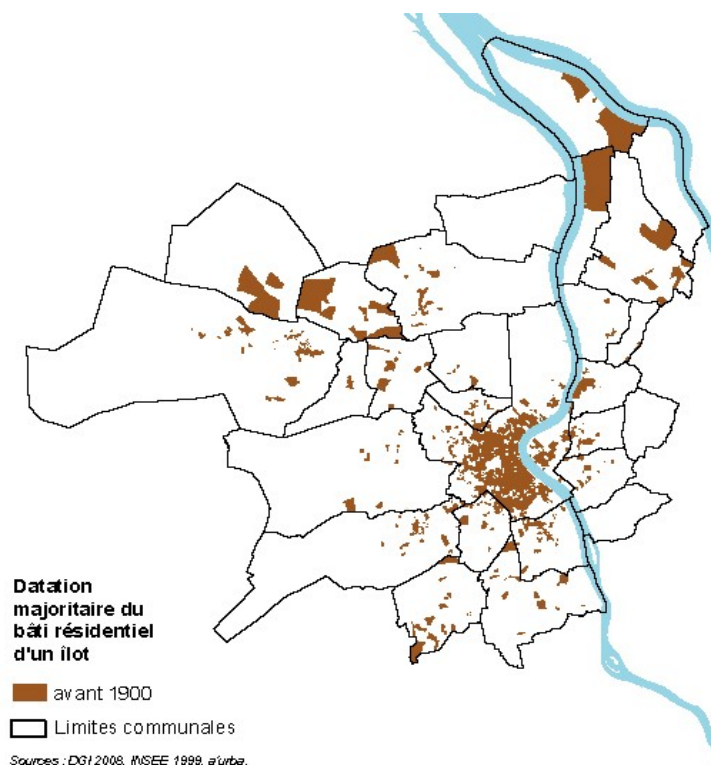
Suite à la mise en place de la méthodologie pour l'étude de la « rénovation thermique du parc bâti résidentiel de la CUB », un exemple de fiche typologique a été élaboré. Cette fiche test porte sur la rénovation des échoppes simples de l'avant 1900. Elle permet de mieux appréhender les attentes didactiques de ces fiches.

Ces fiches typologiques ont été réalisées dans le cadre de l'étude de l'application du facteur 4 sur le parc bâti résidentiel de la CUB.

Cette étude a mis en évidence que pour atteindre le facteur 4 sur le parc bâti résidentiel, c'est-à-dire diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre de ce parc. Le but est d'agir sur différents aspects du bâti et de son utilisation.

En ce qui concerne l'aspect «chauffage», cette étude montre que l'obtention d'un besoin en énergie de chauffage de 47 kWh/m²/an (besoin correspondant aux objectifs à atteindre) pour tous les bâtis résidentiels, permettrait de diviser par quatre le total des besoins de chauffage. À posteriori et à l'échelle de la CUB, l'obtention du facteur 4 pourrait se porter également sur la consommation en énergie de chauffage du parc bâti résidentiel.

Bilan de la période avant 1900



Datation majoritaire du bâti résidentiel d'un îlot
(source DGI, INSEE, A'urba)

Avant 1900, plus de 90% des maisons sont construites en pierres de taille et moellons ce qui représente plus de 18 000 maisons soit environ 5% du parc bâti résidentiel total de la CUB.

Matériaux	Pierres	Briques	Autres
Nombre de maison	18 146	1136	782
Pourcentages	90%	6%	4%

Répartition des matériaux de construction
des maisons d'avant 1900

Les informations générales concernant l'architecture de l'ensemble des bâtis des maisons individuelles d'avant 1900 ont pu être établies grâce aux données de la direction générale des impôts (DGI). Ces informations permettent d'avoir une visualisation globale du tissu urbain des maisons individuelles construites avant 1900. Elles révèlent que les maisons de cette époque sont principalement des maisons de taille modeste fortement mitoyenne et ne comportant pas plus d'un étage.

SHON moyenne (surface hors œuvre nette)	103 m ²
Hauteur moyenne de mur de façade	6,33 m
Hauteur d'étage moyenne	3,5 m
Nombre de niveau moyen	1,55
Mitoyenneté moyenne	36,00%

Caractéristiques architecturales des maisons individuelles d'avant 1900 de la CUB
(source DGI)

L'architecture :

Les maisons en pierres de taille ont schématiquement une structure parallélépipédique, surmontée d'une toiture à deux pentes souvent dissymétriques.

Côté rue, les maisons en pierres de taille sont caractérisées par leurs fenêtres, par leur soupirail (constituant souvent l'unique accès à la cave) et par leur porte d'entrée. Surmontée d'un imposte vitré, ces portes d'entrées permettent l'éclairage du couloir intérieur. Ces différents éléments sont placés par des travées sur la façade. La maison en pierre la plus simple est constituée d'un rez-de-chaussé à deux travées (une pour la porte, l'autre pour la fenêtre) : c'est l'échoppe simple.

Côté jardin, ces maisons sont dotées d'une véranda et d'un jardin individuel créant un confort tant bien estival qu'hivernal.

Au niveau de l'organisation intérieure, les maisons en pierre de taille sont généralement constituées d'un couloir unique qui permet la distribution des différentes pièces et également d'un escalier si la maison possède un étage.

La construction :

Les murs de ces maisons sont constitués de pierres. Généralement le mur côté rue, d'une épaisseur d'environ 50cm, est réalisé en pierres de taille et les autres murs, d'une épaisseur d'environ 25cm, en moellons.

En ce qui concerne les menuiseries, elles sont principalement réalisées en bois et placées sur l'arase intérieur du mur. Les vitrages sont fait de simples vitrages d'époques, ce qui procurent à ces maisons un charme mais également des défauts (notamment thermiques).

La toiture est réalisée sur combles perdus avec une charpente bois et une couverture en tuile de Gironde ou en tuile de Marseille. Une corniche, légèrement en saillie par rapport au mur, vient supporter un chéneau en zinc.

Le premier plancher est généralement constitué par des pierres recouvertes de plancher. En effet, la pierre est un matériau qui résiste à l'humidité de la terre. Les autres planchers sont réalisés en bois sur poutres et solives. Dans le couloir et la cuisine, le plancher peut être recouvert de carreaux de ciment.

L'énergie de chauffage :

De part l'épaisseur des murs en pierres, ces maisons d'avant 1900 ont un besoin en énergie de chauffage égale à 190 kWh/(m².an). A noter que le parc bâti résidentiel de la CUB a un besoin moyen en énergie de chauffage de 174 kWh/(m².an).

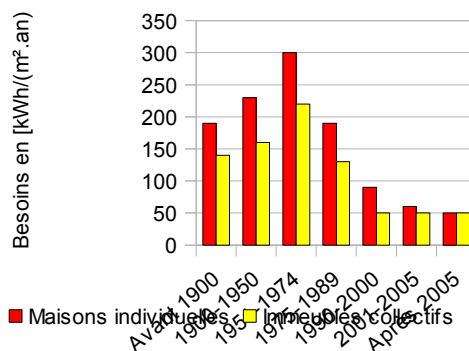


Diagramme des besoins en chauffage

Zoom sur l'échoppe simple

L'échoppe simple :

Les échoppes simples représentent plus de 50% des maisons individuelles d'avant 1900 soit plus de 9 000 maisons, ce qui correspond à environ 3% du parc bâti résidentiel de la CUB.

Ces échoppes simples sont des petites maisons en pierres de taille, réalisées avec les techniques de construction de l'époque. A l'origine pour loger les ouvriers, ce sont donc des maisons modestes d'un point de vu architectural et décoratif. Leur superficie moyenne est de 60m² et leur hauteur moyenne de faitage est de 5,70 m.



Photographie d'une échoppe simple

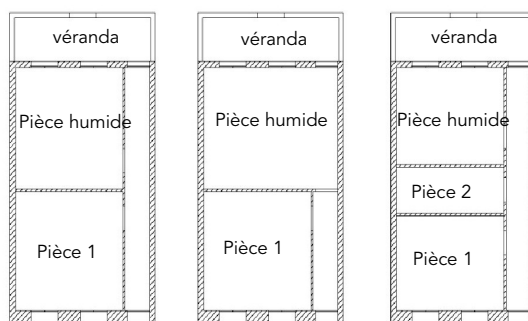


Schéma d'aménagements possibles d'échoppes

L'intérieur est constitué d'un couloir desservant deux à trois pièces. A l'arrière, la maison est dotée d'un jardin et d'une véranda qui sert, en plus d'un lieu de détente, de tampon thermique. Dans la façade, un soupirail permet l'accès, généralement unique, de la cave servant à l'époque à stocker le charbon et le vin.

Vu l'âge des bâtis des échoppes, de nombreuses pathologies sont apparues. Les deux principales sont la remontée de l'humidité par les défauts du plancher et la perte de chaleur par la qualité de l'isolation de la toiture. Une liste des pathologies de l'échoppe simple est donnée ci-dessous.

Les pathologies de l'échoppe simple	
Mur	Les murs sont en pierres de taille qui ont pu être détériorées dans le temps, soit par vieillissement, soit par l'humidité soit, par un mauvais traitement (enduit de béton, ...)
Plancher	Les planchers de rez-de-chaussée sont sujet à l'humidité et donc au pourrissement selon le type de matériaux utilisés. De plus, la liaison mur-plancher n'est pas forcément bien réalisée ce qui amplifie le phénomène d'humidité à l'intérieur même de l'habitat.
Toiture	La toiture est faite en tuile de Gironde ou de Marseille. Ces matériaux peuvent perdre de leur efficacité d'étanchéité dû à leur vieillissement La toiture est souvent mal isolée ce qui fait de cette partie du bâti le principal lieu des pertes thermiques.
Ouvrants	Les ouvrants constituent une paroi froide de la maison ce qui procure un mal-être des personnes s'y trouvant. Le simple vitrage est un très mauvais isolant et les menuiseries ont certainement besoin d'un rafraichissement important.

Liste des pathologies fréquentes dans les échoppes simples

Le modèle de bâti

La Modélisation :

La modélisation réalisée correspond à une maison sur un niveau avec une SHON de 60m³ et une hauteur sous-plafond de 3,50m.

Le mur côté rue est en pierres de taille d'une hauteur de 4,30m, d'une longueur de 6,00m et d'une épaisseur de 50cm. Les autres murs sont en moellons d'une épaisseur de 25cm. Côté cour, le mur a une hauteur de 4,20m et une longueur de 6,00m. Les murs mitoyens ont une hauteur moyenne de 4,90m et une longueur de 12,00m.

La toiture est constituée d'une charpente en bois recouverte de tuile de Gironde. Sa surface projetée au sol est de 60m². On considère les combles comme des combles perdus.

Le plancher bas est réalisé sur terre battue (pas de cave). Le plancher a une superficie de 60m² et est constitué de bois ou de carreaux de ciment dans les pièces humides (couloir, cuisine, ...)

En ce qui concerne les ouvrants, ils sont considérés comme identiques côté rue et côté cour. Ils sont réalisés avec des menuiseries en bois et des simples vitrages. Les portes font 1,00m sur 2,50m. Les fenêtres font 1,10m sur 1,40m.

De part les matériaux le constituant, le bâti est considéré comme poreux, ce qui lui procure une étanchéité et une inertie thermique moyenne (ce sont des matériaux respirants).

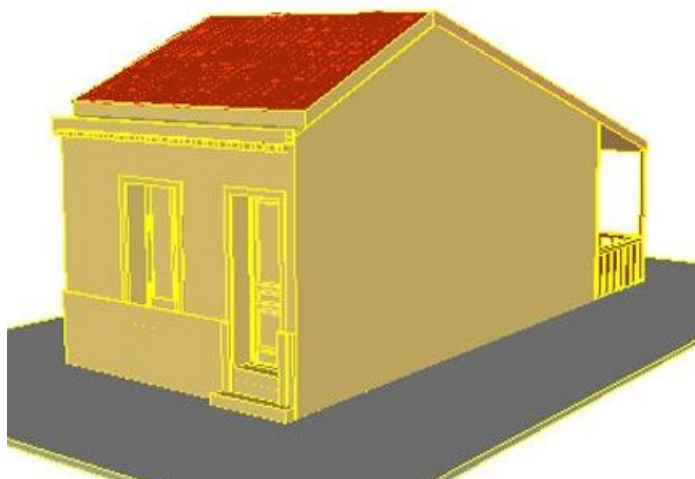
Les principales caractéristiques thermiques de ce modèle d'échoppe sont répertoriées dans le tableau qui suit.

Il s'agit du coefficient de transmission thermique U , exprimé en W/m².°C. Il caractérise la quantité de chaleur traversant une paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi.

Pour les fenêtres et les portes, nous avons considérés le coefficient de transmission thermique jour-nuit (U_{jn}) qui correspond à une moyenne des coefficients de transmission thermique avec et sans volets.

Mur côté rue	1,45 W/m ² .°C
Mur côté cour	2,20 W/m ² .°C
Plancher	1,05 W/m ² .°C
Toiture	0,50 W/m ² .°C
Fenêtre	4,95 W/m ² .°C
Porte	3,30 W/m ² .°C

Coefficients de transmission thermique



Modélisation 3D d'une échoppe simple type

Les calculs thermiques:

Les règles utilisées pour les calculs des besoins en énergie de chauffage, sont tirées de la réglementation thermique RT 88. L'utilisation en parallèle du logiciel de calculs thermiques PERRENOUD, permet une vérification des précédents calculs.

Besoin initial en énergie de chauffage

Les calculs des besoins en énergie de chauffage montrent que le modèle de bâti de l'échoppe simple a un besoin à l'état initial de 234 kWh/m²/an.

Ce besoin en énergie de chauffage peut se décomposer en deux éléments distincts:

- les déperditions thermiques de 345 W/°C liées aux parois déperditives du bâti,
- les apports thermiques de 2130 kWh liés aux apports solaires et aux apports internes.

	Bilan initial
Déperditions thermiques	345,70 w/°C
Apports thermiques	2130 kWh
Besoin de chauffage au m ²	234,13 kWh/(m ² /an)

Tableau des besoins initiaux en énergie de chauffage du modèle échoppe simple

Il est possible de visualiser le pourcentage des déperditions par zone du bâti. Sur le modèle de bâti de l'échoppe simple, la toiture a le plus grand taux de déperditions.

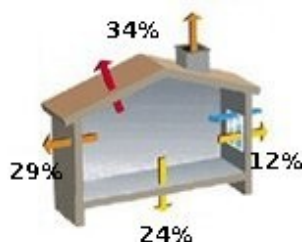


Schéma des déperditions thermiques

Corrections

L'objectif de l'étude est d'atteindre un besoin en énergie de chauffage de 47kWh/m²/an.

Théoriquement, il est nécessaire de réaliser des changements sur les coefficients de transmission thermique ce qui implique la réalisation d'isolation des différentes zones du bâti.

Les changements réalisés sont les suivant :

- une isolation des murs de résistance thermique égale à $R=2,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$,
- une isolation de la toiture de résistance thermique égale à $R=7,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$
- une isolation du plancher de résistance thermique égale à $R=1,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

NB : la résistance thermique est l'inverse du coefficient de transmission thermique.

Les ouvrants sont changés par des ouvrants ayant un coefficient de transmission thermique maximum de $2,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Le tableau ci-dessous donne les coefficients de transmission thermique équivalent des différentes zones déperditives du bâti suite à la pose de l'isolation souhaitée.

Mur côté rue	0,31 W/m ² .°C
Mur côté cour	0,34 W/m ² .°C
Plancher	0,40 W/m ² .°C
Toiture	0,12 W/m ² .°C
Fenêtre	2,00 W/m ² .°C
Porte	2,00 W/m ² .°C

Coefficients de transmission thermiques

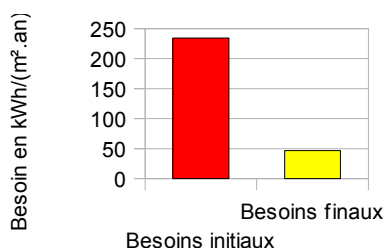
Besoin final en énergie de chauffage

Les changements précédents réalisés sur le modèle de bâti d'échoppe simple, le nouveau besoin en énergie de chauffage est de 47 kWh/m²/an.

Ce besoin se décompose en 99 W/°C de déperditions thermiques et en 2130 kWh d'apports thermiques.

	Objectif facteur 4
Déperditions thermiques	99,31 w/°C
Apports thermiques	2130 kWh
Besoin de chauffage au m ²	46,67 kWh/(m ² .an)

Tableau des besoins finaux en énergie de chauffage du modèle d'échoppe simple



Graphique des besoins en énergie de chauffage

Les changements des différentes zones du modèle de bâti d'échoppes simples apportent des améliorations thermiques. Ces améliorations thermiques sont représentées sur le tableau des gains thermiques.

Il met en évidence la grande rentabilité du changement effectué sur la zone toiture et la faible rentabilité du changement effectué sur la zone ouvrants.

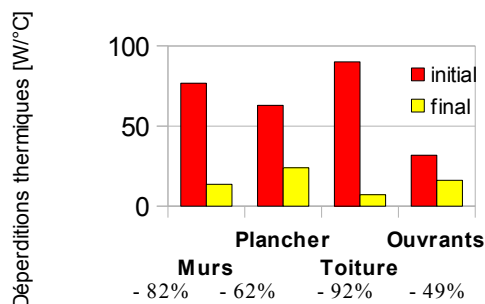


Diagramme des gains obtenus

Solutions techniques

Pour répondre aux changements à apporter pour atteindre les 47 kWh/m²/an, une seule solution par poste de travail (à savoir les murs, le plancher, la toiture, et les ouvrants) est détaillée dans cette fiche. Ces solutions font l'objet de recommandations et en aucun cas de solutions imposées. Elles sont mises en œuvre sur un modèle type de bâti, ce qui implique qu'une étude au cas par cas est nécessaire avant d'entreprendre tout travaux de rénovation dans un bâtiment.

La performance thermique, été comme hiver, la durabilité (rentabilité), le respect de l'architecture et l'impact environnemental sont les mots d'ordre de cette réflexion.

Le poste «Ouvrants»

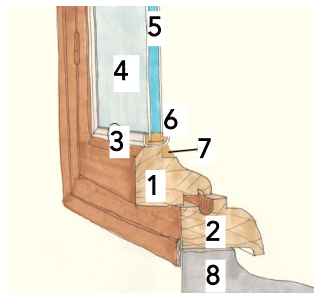
Le coefficient de transmission thermique à atteindre pour chaque ouvrant (c'est-à-dire deux portes et deux fenêtres) est de $U_{jn}=2,00 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Les ouvrants ayant un impact visuel sur la façade, il est préférable de conserver aux mieux les caractéristiques des ouvertures originelles.

Du bois pour les menuiseries et du double vitrage sont un bon compromis pour le respect visuel et le confort thermique. (Il existe cependant des vitrages simples épais de performances thermiques moindre mais qui peuvent convenir si le bâti rénové se trouve sur un site protégé).

Des volets à battants complètent l'ensemble fenêtre permettant de réguler manuellement les flux thermiques.

La valeur du coefficient de transmission dépend de la qualité du montage des différents éléments constituant les ouvrants. Elle peut varier autour des $U_{jn}=2,00 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.



- 1-Ouvrant
- 2-Dormant
- 3-Joint de réduction
- 4-Double vitrage
- 5-Lame d'air ou d'argon
- 6-Étanchéité
- 7-Mastic
- 8-Appui de fenêtre

Détails d'une menuiserie double vitrage

Ce poste de rénovation correspond à 17% des gains thermiques apportés par l'isolation du bâti, soit environ 10 kWh/m²/an, et à 52% du coût global de la rénovation, soit environ 13400 €.

Le poste «murs»

Le coefficient de transmission thermique à atteindre est pour le mur côté rue de $U = 0,31 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ et de $U = 0,34 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ pour le mur côté cour. Ces deux valeurs correspondent à la pose d'une isolation de résistance thermique égale à $R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$.

Les murs étant réalisés en pierres de taille, ils constituent une paroi poreuse et respirante ainsi qu'une caractéristique architecturale du bâti.

Le choix d'une isolation intérieure comprenant un isolant en fibres de bois en panneaux semi-rigides, des ossatures en bois, et un bardage intérieur en bois, est justifié car cette solution d'isolation a un faible impact environnemental, elle conserve le caractère respirant des parois et l'architecture extérieure.

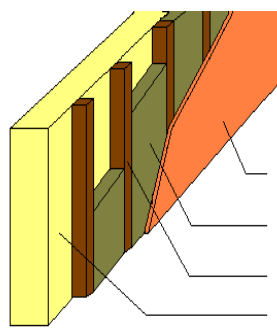
D'un point de vue technique :

Les panneaux semi-rigides de fibres de bois ont une épaisseur de $e_1 = 12 \text{ cm}$ et une conductivité thermique de $\lambda_1 = 0,05 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, ce qui donne une résistance thermique de $R_1 = e_1 / \lambda_1 = 2,4 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$. La surface à couvrir est d'environ 112m².

Le bardage intérieur en bois a une épaisseur de $e_2 = 1,8 \text{ cm}$ et une conductivité thermique de $\lambda_2 = 0,18 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, ce qui donne une résistance thermique de $R_2 = e_2 / \lambda_2 = 0,1 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$. La surface à couvrir est d'environ 112m².

L'ensemble isolant a une résistance thermique globale de $R = R_1 + R_2 = 2,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$.

Pour mettre en place cet ensemble isolant, une ossature constituée de 36 montants en bois de 12x10 cm de section et de 3,5m de hauteur espacés de 0,90m est installée.



- 1 – mur en pierres
- 2 – ossature en bois
- 3 – panneaux de fibres de bois
- 4 – bardage intérieur bois

Schéma de l'isolation intérieure des murs

Ce poste de rénovation correspond à 29% des gains thermiques apportés par l'isolation du bâti, soit environ 54 kWh/m²/an, et à 27% du coût global de la rénovation, soit environ 7100 €.

Le poste «plancher»

Le coefficient de transmission thermique à atteindre pour le poste plancher est de $U=0,40\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Cette valeur correspond à la pose d'une isolation de résistance thermique égale à $R=1,5\text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$. L'un des soucis majeurs à résoudre pour le plancher est le pourrissement des lattes de bois reposant directement sur le sol humide.

N'ayant pas accès au plancher par dessous, il est nécessaire de démonter le plancher existant.

Une fois cette étape réalisée, une chape de béton est coulée sur un film protecteur pare-vapeur. Ainsi l'humidité ne peut plus remonter dans le plancher. Les solives constituant la base du nouveau plancher sont mises en place directement sur la chape avec une hauteur minimale de 7cm. Les interstices sont remplies de ouate de cellulose en vrac sur une épaisseur de 7cm. Le plancher de 60m² recouvrira le tout.

D'un point de vue technique :

Il est nécessaire de creuser dans le sol afin de libérer la place pour l'épaisseur du film pare-vapeur de la dalle en béton de l'isolant et du plancher.

Le film pare-vapeur est placé sur toute la surface du sol soit environ 70m². Il est recouvert par une épaisseur de $e_1=15\text{cm}$ de chape en béton, elle-même recouverte d'une épaisseur de $e_2=7\text{cm}$ de ouate de cellulose en vrac d'une conductivité thermique de $\lambda=0,04\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Ainsi, l'isolation du plancher a une résistance thermique globale de $R= (e/\lambda) = 1,5\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$.

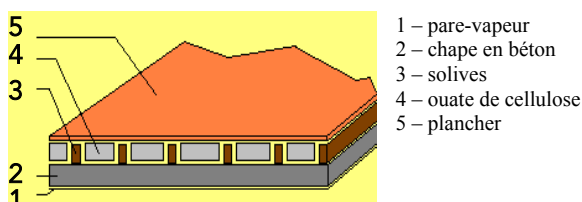


Schéma de l'isolation du plancher

Ce poste de rénovation correspond à 22% des gains thermiques apportés par l'isolation du bâti, soit environ 41 kWh/m²/an, et à 15% du coût global de la rénovation, soit environ 4000 €.

Le poste «toiture»

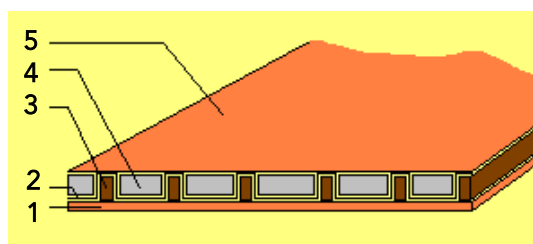
Le coefficient de transmission thermique à atteindre est pour le poste toiture de $U=0,12\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Cette valeur correspond à la pose d'une isolation de résistance thermique égale à $R=7,5\text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$.

Les combles étant des combles perdus, la solution d'isolation retenue est de répandre de la ouate de cellulose en vrac sur le sol sans oublier de poser un frein-vapeur afin de protéger la ouate de cellulose contre l'humidité. Il est possible de recouvrir cet isolant par des planches reposant sur les solives afin d'utiliser ces combles comme grenier.

La ouate de cellulose est un matériau recyclé et à faible énergie grise. Elle permet un confort hiver comme été grâce à sa grande inertie thermique.

D'un point de vue technique :

Un film frein-vapeur est placé sur toute la surface du sol des combles. Il est recouvert par $e=30\text{cm}$ de ouate de cellulose en vrac d'une conductivité thermique de $\lambda=0,04\text{W/m}^2.\text{°C}$, ce qui donne à l'isolation de la toiture une résistance thermique globale de $R= (e/\lambda) =7,5 \text{ m}^2.\text{°C/W}$.



1- plafond – 2 – frein-vapeur – 3 – solives – 4 – ouate de cellulose – 5 – planches

Schéma de l'isolation de la toiture

Ce poste de rénovation correspond à 32% des gains thermiques apportés par l'isolation du bâti, soit environ $60 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$, et à 6% du coût global de la rénovation, soit environ 1500 €.

Le coût

Le coût global de cette rénovation est d'environ 26 000 €. Ce prix correspond au prix de la rénovation thermique uniquement. Il ne prend pas en compte les rénovations dues à la dégradation du bâti par le temps. Ce prix est détaillé par poste de rénovation et par matériau dans le tableau ci-dessous.

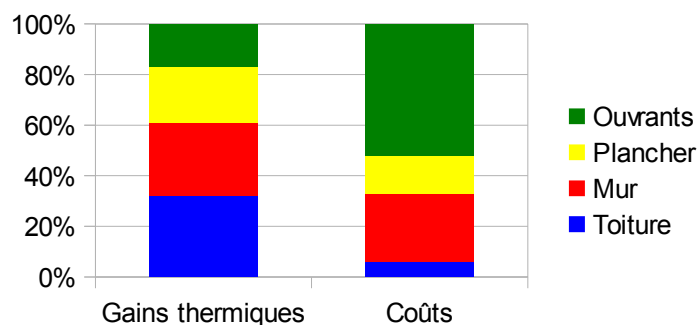
Il faudra prévoir des retouches sur cette rénovation dans environ 20 ans car la ouate de cellulose tout comme la fibre de bois peuvent connaître des tassements qui réduisent leur efficacité thermique.

Les outils économiques et techniques ne permettant pas de prévoir convenablement l'évolution des prix des matériaux, ceux de la main d'œuvre mais également les évolutions techniques des isolations et des réglementations thermiques, il n'est pas possible d'évaluer correctement la rentabilité économique de cette solution.

Poste de rénovation	Matériaux	Conditionnement	Dimensions	Prix à l'unité	Quantité	Prix (en €)
Murs	Fibre de bois	Panneaux semi-rigides	épaisseur 12cm	30 € / m²	112 m²	3360
	Bois	Montants	section de 12x10cm	230 € / m3	1,6 m3	368
		Planches	épaisseur de 1,8cm	30 € / m²	112 m²	3360
Coût total du poste Murs						7088
Toiture	Ouate de cellulose	Vrac	épaisseur de 30 cm	64 € / m3	21 m3	1344
	Frein vapeur	Rouleaux	épaisseur de 0,23mm	3 € / m²	70 m²	210
Coût total du poste Toiture						1554
Plancher	Ouate de cellulose	Vrac	épaisseur de 7cm	64 € / m3	7 m3	448
	Bois	Planches	épaisseur de 1,8cm	30 € / m²	60 m²	1800
	Béton	chape	épaisseur de 15cm	20 € / m²	70 m²	1400
	Frein vapeur	Rouleaux	épaisseur de 0,23mm	3 € / m²	70 m²	210
Coût total du poste Plancher						3858
Ouvrants	Bois + double vitrage	Fenêtres+Volets	1,10 x 1,40	3700 € / fenêtre	2 fenêtres	7400
		Portes	1,00 x 2,50	3000 € / porte	2 Portes	6000
Coût total du poste Ouvrants						13400
Coût total						25900

Tableau récapitulatif des matériaux
et leur coût

La figure suivante permet de mettre en évidence le rapport entre le coût et les gains thermiques apportés par la rénovation des différents postes.
Il apparaît qu'en isolant les murs et la toiture, les gains thermiques sont de plus de 50%, le tout pour seulement 1/3 du coût de la rénovation totale.
Attention, lors d'une rénovation thermique il est important de penser aux gains thermiques obtenus mais également aux confort des individus. Ce confort est possible en limitant la présence de parois froides telles que les fenêtres.



Pourcentages cumulés des gains thermiques et des coûts par poste de rénovation

Impacts de la rénovation des échoppes simples sur la CUB

Avant rénovation, le parc bâti résidentiel de la CUB a un besoin moyen en énergie de chauffage de 174 kWh/m²/an.

Après la rénovation, le besoin moyen en énergie de chauffage de la CUB est de 169 kWh/m²/an.

La rénovation des 3% du parc bâti résidentiel correspondant aux échoppes simples impliquerait donc une diminution de 5kWh/m²/an des besoins moyen en énergie de chauffage de la CUB.

Il faut noter que l'application de cette solution de rénovation à l'ensemble des échoppes simples de la CUB impliquerait le besoin d'une grande quantité de matériaux à proximité.

Les quantités des différents matériaux sont listées dans le tableau suivant.

Ouate de cellulose	252 000 m ³
fibre de bois	1 008 000 m ²
planche	1 548 000 m ²
Bois	14 400 m ³
frein et pare vapeur	1 260 000 m ²
béton	94 500 m ³
fenetre	18 000 pièces
porte	18 000 pièces

4.3 | Le rapport

Le rapport qui viendra sceller l'étude sera un document d'appui et d'aide à la décision pour les collectivités concernées.

Il devra reprendre l'ensemble des solutions techniques retenues pour chaque typologie de bâti, en intégrant leurs coûts et gains monétaires.

Il devra également proposer une planification territorialisée, quantifiée et qualifiée. Cette planification ne se bornera pas à représenter spatialement la démarche mais proposera également des outils et moyens d'actions pour les collectivités afin de mieux encadrer l'investissement public nécessaire à une telle démarche.

5 | Bibliographie

- Le grand livre de l'isolation, Eyrolles
- L'isolation écologique, Terre Vivante
- Le guide régional des matériaux éco-performants,
- Maison de Gironde, Tome 1, Le Festin

Annexes :

Méthode de calculs

Méthode de calculs des besoins en énergie de chauffage élaborée dans l'étude précédente.

Annexe 1 : Méthode de calculs

Méthodologie de calcul des besoins

1. Les déperditions de chaleur

Les pertes par l'enveloppe

- Les déperditions par les parois :

Les déperditions par les parois extérieures découlent de la relation :

$$DP = \Sigma (U.A_o) + \Sigma (U_{jn}.A_v) \quad [W/^{\circ}C]$$

U : conductance des parois opaques [W/(m².°C)]
Ao : surface des parois opaques [m²]
Ujn : conductance jour/nuit des parois vitrées [W/(m².°C)]
Av : surface des parois vitrées [m²]

Remarques :

1. Pour le vitrage, il est important de noter que la nuit la fermeture des volets vient renforcer leur résistance thermique. Un coefficient U moyen entre le jour et la nuit est donc adopté.
2. Les coefficients U sont réduits grâce aux phénomènes de résistances dû aux échanges superficiels. Les coefficients U doivent donc être pondérés au préalable :

$$\frac{1}{U_{tot}} = R_{int} + \frac{1}{U} + R_{ext}$$

Flux	Rint	Rext
Horizontal (murs)	0,11	0,06
Ascendant (toit)	0,09	0,05
Descendant (plancher bas)	0,17	0,05

- Les déperditions par les ponts thermiques :

Les déperditions par les ponts thermiques **DPt** seront prises en compte de la façon suivante :

$$DPt = \Sigma (k.L) \quad [W/^{\circ}C]$$

k : coefficient de transmission linéique [W/(m.°C)]
L : longueur de chaque liaison [m]

Les pertes par la ventilation

Les pertes par la ventilation **DR** s'expriment par :

$$DR = 0,34(Q_v + Q_s) \quad [W/^{\circ}C]$$

Q_v : débit spécifique de ventilation [m³/h]
 Q_s : débit supplémentaire dû au vent [m³/h]
0,34 : chaleur volumique de l'air [Wh/(m³.°C)]

Dans la caractérisation thermique de la CUB, le vent n'est pas pris en compte, par conséquent **Q_s** est considéré nul.

2. Les apports

Les apports solaires

Les apports solaires sont fonction de l'ensoleillement et de la « surface sud équivalente »:

$$As = Sse \cdot E$$

As : apports solaires [kWh]
 E : ensoleillement reçu par une paroi verticale orientée sud [kWh/m²]
 Sse : Surface transparente sud équivalente [m²]

Sse se calcule en sommant les valeurs suivantes pour chaque paroi.

$$Sse = \sum [A \cdot Fts \cdot Fe \cdot C1]$$

A : surface de la paroi [m²]
 Fts : facteur de transmission solaire
 Fe : facteur d'ensoleillement
 $C1$: coefficient d'orientation et d'inclinaison

Calcul du coefficient d'orientation et des facteurs d'ensoleillement et de transmission dans le cadre de la caractérisation thermique du parc de la CUB :

$C1$ est directement renseigné par les bases de données disponibles, en effet chaque parcelle contient l'information sur son orientation par rapport au sud.

Fts : la réglementation thermique de 1989 indique l'expression suivante : $Fts = 0,85 S$; S étant le facteur solaire de la paroi considérée. Les valeurs de S sont fonction du type de vitrage et du type d'hubloterie. La valeur moyenne de 0,5 a été choisie.

Fe : la part d'ombrage portée sur les bâtiments a été calculée directement à partir des données disponibles sur la hauteur des bâtiments, la largeur des rues et leur orientation par rapport au sud.

Les apports internes

Une valeur forfaitaire est donnée par la réglementation thermique de 1989, fonction de la région d'implantation des logements. Pour la zone H2, les apports internes Ai sont estimés comme tel :

$$Ai = 21,7 Sh$$

Ai : apports internes [kWh]
 Sh : la surface habitable du logement [m²]

3. Les besoins d'énergie

Ci-dessous sont rappelées les expressions des déperditions (coefficient GV) et des apports :

$$GV = DP + DPt + DR$$

$$GV = \Sigma(U.Ao) + \Sigma(Ujn.Av) + \Sigma(k.L) + 0,34 Qv$$

U : conductance des parois [W/(m².°C)]
 Ao : surface des parois opaques [m²]
 Ujn : conductance des vitrages [W/(m²/°C)]
 Av : surface des vitrages [m²]
 k : coefficient de transmission linéique [W/(m.°C)]
 L : longueur des ponts thermique [m]
 Qv : débit spécifique de ventilation [m³/h]
 GV : coefficient de déperdition thermique [W/°C]

$$Apports = As + Ai$$

As : apports solaires [kWh]
 Ai : apports internes [kWh]

Le coefficient BV, de besoin en énergie de chauffage s'exprime de la façon suivante :

$$Bv = GV \cdot (1 - F)$$

Bv : coefficient de besoins [W/°C]

F représente la couverture d'apports gratuits. Sa valeur est fonction de l'inertie du logement et du rapport X des apports gratuits aux déperditions :

$X = \frac{As + Ai}{GV \cdot DH}$ As et Ai en kWh Gv en W/°C DH : milliers de degrés-heures de chauffage	
Inertie très faible : $F = \frac{X - X^{2,1}}{1 - X^{2,1}}$	Inertie faible : $F = \frac{X - X^{2,5}}{1 - X^{2,5}}$
Inertie moyenne : $F = \frac{X - X^{2,9}}{1 - X^{2,9}}$	Inertie forte : $F = \frac{X - X^{3,6}}{1 - X^{3,6}}$

Afin d'obtenir des besoins en énergie de chauffage par unité de surface, le coefficient Bv doit être multiplié par DH puis divisé par la surface habitable :

$$\text{besoin}_{\text{unitaire}} = \frac{Bv \cdot DH}{Sh}$$

Besoin unitaire	[kWh/(m².an)]
DH : milliers de degrés-heures	[°C.h.10³]
Sh : la surface habitable	[m²]
Bv : besoins de chauffage	[W/C]

Remarque : Le guide d'audit énergétique 1999 de l'Utilisation Rationnelle de l'Energie dans le Bâtiment (publié par l'ADEME et le COSTIC) fournit les Degrés Jours Unifiés (DJU) mensuels pour plusieurs communes de France. Le somme des DJU sur la période de chauffe (d'octobre à avril) pour la ville de Bordeaux, multipliée par 24 fournit les degrés-heures de chauffage :

$$DH = 46\,680 \text{ } ^\circ\text{C.h}$$



Agence d'urbanisme Bordeaux Métropole Aquitaine
Hangar G2 – Bassin à flot n°1 BP 71 – F-33041 Bordeaux cedex
tél.: 33 (0)5 56 99 86 33 | fax : 33 (0)5 56 99 89 22
contact@aurba.org | www.aurba.com

© aurba |