

BATAN

Modélisation du comportement thermique du bâti ancien (avant 1948)

Tâche I : État de l'art du comportement thermique du bâti ancien

Rapport final

DGUHC – Convention n Y07.45-0003597

ADEME – Convention n 0704C0056



Auteurs :

Louis Bourru & Julien Burgholzer (CETE de l'Est)

Février 2011



Sommaire

1	Contexte et objectifs de la tâche I	5
1.1	Une étude bibliographique	5
1.2	La constitution d'une typologie « thermique » du bâti ancien.....	5
1.3	Le choix de deux panels d'étude.....	5
1.4	L'articulation avec les autres tâches du projet BATAN	6
2	Étude bibliographique	7
2.1	Retour sur l'étude connaissance des bâtiments anciens et économies d'énergie.....	7
2.2	Synthèse d'études recensées, ayant trait au comportement thermique du bâti ancien.....	9
2.3	Enseignements à tirer de ces études pour l'élaboration d'une typologie thermique du bâti ancien en France	23
3	Constitution d'une typologie thermique du bâti ancien	24
3.1	Les catégories constitutives de la typologie	24
3.2	Les catégories d'implantation du bâti ancien	26
3.2.1	Objectifs et démarche	26
3.2.2	Outils utilisés et naissance de la typologie.....	26
3.2.3	Précisions sur les maisons paysannes	29
3.2.4	Les catégories d'implantation obtenues	31
3.3	Les catégories de matériaux du bâti ancien	34
3.3.1	La prise en compte de l'inertie thermique et autres grandeurs	34
3.3.2	Les grandeurs choisies pour établir une typologie thermique des matériaux des parois anciennes	37
3.3.3	Elaboration du classement en grandes catégories thermiques.....	37
3.3.4	Les catégories de matériaux obtenues	39
3.3.5	Bref comparatif des ces matériaux avec les parois en béton	41
3.4	Les catégories de modes constructifs du bâti ancien	42
3.4.1	Aborder les modes constructifs sous l'angle de l'inertie	42
3.4.2	Présentation du modèle et des équations utilisées.....	43

3.4.3	Le classement des matériaux par catégories d'inertie.....	45
3.4.4	Les classes d'inertie quotidiennes obtenues dans le bâti ancien :.....	47
3.4.5	Les classes d'inertie séquentielles obtenues dans le bâti ancien :	49
3.4.6	Les catégories de modes constructifs obtenues	50
3.5	La typologie thermique proposée.....	52
4	Sélection d'un panel « restreint » de bâtiments à instrumenter	54
4.1	La démarche de sélection	54
4.1.1	Les organismes contactés.....	54
4.1.2	Les critères de sélection du panel.....	54
4.1.3	Les fiches de renseignements demandés.....	55
4.2	Le panel de bâtiments sélectionnés.....	55
5	Bibliographie de la typologie thermique	75
5.1	Partie statistiques: connaissance du parc existant par les chiffres	75
5.2	Etude des systèmes influençant la thermique des bâtiments.....	75
6	Liste des annexes.....	77
6.1	Annexe 1 : Bibliographie générale, relative aux techniques de construction anciennes, établie par Maisons Paysannes de France.....	77
6.2	Annexe 2 : Tableau permettant de définir la classe d'inertie thermique d'un bâtiment ancien, à partir des règles Th-I 2000.....	77
6.3	Annexe 3 : Exemple de fiche de renseignements utilisée pour recueillir des informations sur les bâtiments volontaires pour le panel.....	77

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA TÂCHE I

L'objectif principal de cette tâche est de définir les contours du projet BATAN et l'objet du futur modèle, à savoir le comportement thermique bâti ancien.

La tâche I comporte 3 sous tâches présentées ci-dessous.

1.1 Une étude bibliographique

Il s'agit ici de rassembler et d'analyser différents travaux déjà effectués sur le comportement thermique du bâti ancien. Cette tâche comporte notamment un retour sur la première étude instrumentée, permettant de définir les éléments influents du comportement thermique du bâti ancien.

1.2 La constitution d'une typologie « thermique » du bâti ancien

Les typologies existantes du bâti ancien sont généralement abordées sous l'angle architectural ou historique.

Nous proposons ici de constituer une typologie fondée sur des caractéristiques thermiques du bâtiment, sur la base de l'étude « Connaissance des bâtiments anciens et économie d'énergie » (CETE de l'Est – LASH – MPF – DGUHC – 2004 –2007) et de l'étude bibliographique.

Cette typologie devrait permettre de :

- constituer des grandes familles « thermiques » du bâti ancien ;
- définir un panel « restreint » de bâtiments représentatifs de la typologie, qui seront instrumentés et qui serviront de support au développement du modèle (lien avec la tâche II) ;
- définir un panel « élargi » de bâtiments pour la validation du modèle (lien avec la tâche IV) ;
- identifier, en première approche, les données d'entrée et les paramètres du modèle (lien avec la tâche III) ;

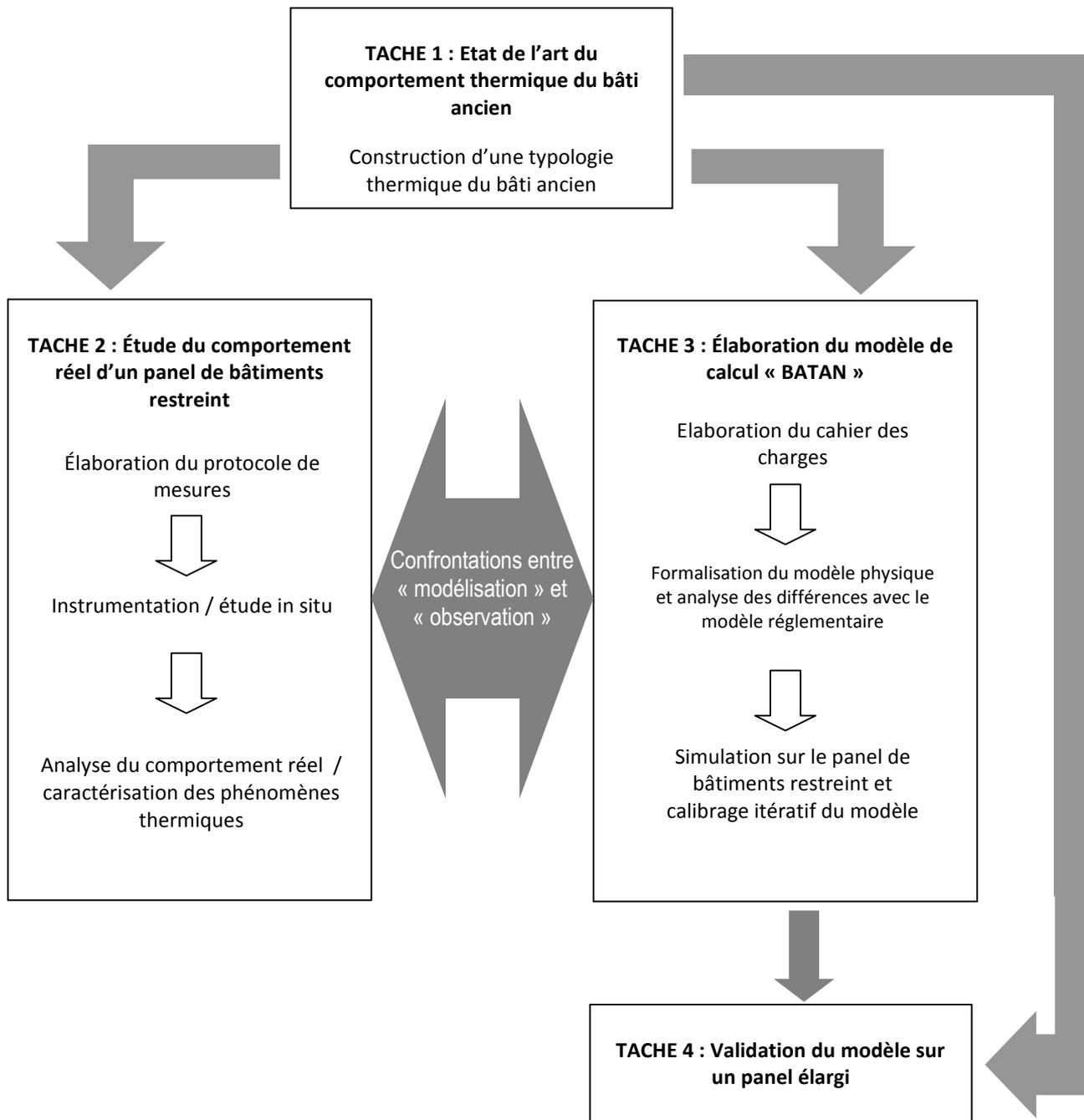
1.3 Le choix de deux panels d'étude

Les conclusions de l'étude typologique permettront de faire le choix raisonné de 2 panels d'étude :

- Un panel restreint (une vingtaine de logements) qui servira de support à la mise au point du modèle. Ces bâtiments seront lourdement instrumentés dans la tâche 2.
- Un panel élargi, qui permettra la validation du modèle développé dans la tâche 4.

NB : la constitution du panel élargi est présenté dans le rapport de la tâche 4 (chapitre 2).

1.4 L'articulation avec les autres tâches du projet BATAN



2 ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Retour sur l'étude connaissance des bâtiments anciens et économies d'énergie

L'étude *Connaissance des bâtiments anciens et économies d'énergie*, achevée en août 2007, avait mis en évidence deux enseignements principaux :

- Les propriétés thermiques particulières du bâti ancien.
- Les carences des logiciels de calcul actuels concernant la caractérisation du comportement thermique des bâtiments anciens.

Sur le premier point, l'étude a identifié, système par système, les spécificités thermiques du bâti ancien. Ce qui attire notre attention sur les éléments importants à considérer pour élaborer la typologie thermique ou lors de l'instrumentation future :

Spécificités thermiques des constructions anciennes	Enseignements pour l'élaboration de la typologie thermique ou pour l'instrumentation
Système environnement implantation	
Une implantation tenant compte du soleil, du vent, des pluies... Une forte corrélation du comportement thermique du bâtiment vis-à-vis du contexte extérieur	Bien prendre en compte le rapport au vent et au soleil du bâtiment lors de la définition des types thermiques de bâtiments
Système organisation intérieure	
Une organisation des pièces selon leur destination ultérieure, et l'utilisation d'espaces tampon	Bien choisir les espaces à instrumenter et relever précisément l'utilisation de chaque espace.
Système mode constructif	
Des bâtiments à structure lourde induisant une forte inertie thermique. Des liaisons façades planchers discontinues limitant les ponts thermiques	Bien relever les différents types de modes constructifs et en déduire les inerties correspondantes

Système enveloppe	
<p>Des parois verticalement très hétérogènes (épaisseurs variables, couches plus seulement verticales...)</p> <p>Des matériaux devant être caractérisés par un triplet d'indicateurs thermiques : conductivité, diffusivité, perméabilité à l'air</p> <p>Des matériaux très sensibles à l'humidité</p> <p>L'existence de barrières à l'humidité du sol.</p>	<p>Adopter une description en 3D des parois lors des relevés de l'instrumentation.</p> <p>Définir un bouquet d'indicateurs thermiques pour caractériser et classer les différents matériaux de paroi rencontrés dans le bâti ancien.</p>
Système ouvertures	
<p>Des ouvertures non-étanches et sources de renouvellement de l'air intérieur</p> <p>Des cas d'ouvertures spécifiques jouant le rôle de tampons et capteurs actifs</p>	<p>Choisir, au sein du panel restreint ou élargi, des cas d'étude présentant des doubles fenêtres ou des bow-windows</p>
Système équipements	
<p>Un rôle important des sources d'énergie ponctuelles et secondaires (cheminées, poêles) permettant un usage et un chauffage différenciés par pièce</p>	<p>Prévoir dans l'un des panels des cas comportant une source traditionnelle de chauffage comme le bois.</p> <p>Définir un protocole de suivi de ce genre de combustible</p>
Système occupants	
<p>Un comportement bioclimatique des occupants qui interagissent avec le bâtiment et le site selon les saisons (fermeture des protections solaires, ventilation naturelle)</p>	<p>Importance de l'enquête sur site, puis de la finesse de la modélisation de ce comportement humain dans le logiciel</p>

Concernant les carences actuelles des logiciels, l'étude a permis de pointer les éléments non ou peu pris en compte, qu'il sera important d'intégrer dans le futur logiciel BATAN :

- Définir correctement les masques solaires, tant urbains que ruraux.
- Prendre en compte l'exposition au vent et ses effets.

- Permettre la définition des **températures réelles** auxquelles sont exposées les façades du bâtiment (différence par exemple entre la façade sud sur rue d'un immeuble et sa façade nord donnant sur une cour intérieure sans soleil).
- Aborder correctement le zonage thermique.
- Pouvoir saisir les zones tampons types (mur enterré, serre, véranda...)
- Caractériser l'inertie totale de la structure selon ses composantes.
- Redéfinir l'échelle des pertes par ponts thermiques.
- Modéliser le renouvellement d'air par ouverture des fenêtres et par défaut d'étanchéité.
- Prendre en compte les appoints de chauffage tels que les cheminées.
- Dépasser la simple utilisation de la température de consigne sur l'air pour parvenir à modéliser le comportement intelligent des occupants.

2.2 Synthèse d'études recensées, ayant trait au comportement thermique du bâti ancien

Nous présentons ici 6 fiches de synthèse sur des études importantes de ces dernières années au sujet de la typologie thermique des bâtiments anciens, ou de la modélisation de leurs consommations énergétiques (parfois à l'échelle macroscopique).

Exploitation des sources de données statistiques existantes sur le bâti ancien :

- INSEE, recensement 1999, exploitation principale
- Etude CEREN de 1979 sur la réhabilitation du parc immobilier existant

Exploitation des études typologiques existantes sur le bâti ancien :

- Charles RAUX, Jean-Pierre TRASNEL, Jean-Pierre NICOLAS, Mindjid MAIZIA, Karine DELVERT (2005) *Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL*. ETHEL. Rapport R2. Action Concertée CNRS – Ministère de la Recherche. LET, Lyon.
- Etude typologique de Pascale Graulière et Energie Demain (typologie des bâtiments d'habitation existants).
- Typologie allemande et passeports énergie du Land de saxe.
- APUR, *Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes*, décembre 2007, 45 pages.

	<p>Titre : INSEE, recensement 1999, exploitation principale. Dont les volets : IMM1E-Caractéristiques de l'habitat collectif selon l'époque d'achèvement. PRINC1-Caractéristiques des résidences principales selon l'époque d'achèvement. LOG1-Logements par catégories de logements selon l'époque d'achèvement. INSEE, Enquête logement 2002.</p> <p>Date 1999 et 2002</p> <p>Auteurs INSEE</p>
<p>Organismes INSEE</p>	
<p>Sujet : Les statistiques du logement, connaissance du parc existant par les chiffres.</p>	
<p>Présentation</p> <p>Il s'agit ici d'exploiter les données statistiques existantes les plus complètes et les plus récentes à ce jour, celles du dernier grand recensement de la population (1999), afin de remplir 2 objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Affiner la connaissance du parc bâti ancien visé par la typologie (<1948). • Comparer la structure de ce parc ancien par rapport au parc actuel total. <p>Pour ce faire, nous avons croisé plusieurs données statistiques selon les époques d'achèvement des constructions pour obtenir des caractéristiques du parc ancien : répartition entre individuel et collectif, mode de chauffage, nombre de logements par immeubles...</p>	
<p>Principaux résultats :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avant 1948, les maisons individuelles représentent deux tiers du parc en nombre (64,8%) et leur surface moyenne est presque le double de celle des logements collectifs (107 m² contre 60 m²). • Nombre de maisons individuelles construites avant 1948 : 5 080 446 Nombre de logements en immeubles collectifs d'avant 1948 : 2 743 504 • Si l'on considère les surfaces totales de logement, la répartition entre individuel et collectif passe à ¾ individuel et ¼ collectif, du fait de la plus grande surface des logements individuels. En particulier, les maisons individuelles d'avant 1915 pèsent en surface 50% de tout le parc ancien. • Parmi les immeubles collectifs, les bâtiments de moins de quatre étages sont prépondérants à près de 90%. • Quatre postes notables à part plutôt équilibrée pour le chauffage sont relevés: <ul style="list-style-type: none"> ○ 25 % : la cheminée bois (maisons individuelles anciennes) ○ 25% : le tout électrique ○ 25% : la centrale individuelle au gaz de ville (immeubles anciens) ○ 15% : la centrale individuelle au fioul (maisons individuelles) 	

- Du point de vue de la ville de Paris, le bâti ancien représente en nombre 66,5 % du parc total, et jusqu'à 90% pour certains arrondissements historiques.
- Par une étude des bâtiments construits avant 1948 sont touchés 40% des maisons individuelles françaises, soit 6 576 724 logements, et 26,5% des immeubles collectifs français, soit 3 443 217 logements. Ce sont donc en tout près de 10 millions de logements qui sont concernés.
- La répartition du nombre de logements par immeuble pour chaque époque (maisons individuelles, immeubles de 2 à 9 logements, immeubles de 10 logements et plus) dessine trois périodes marquées : <1948, 1948-1974 puis >1974.
- Les maisons individuelles construites avant 1915 représentent en nombre une part notable du parc existant (15,3%), et les immeubles de grande hauteur sont rares avant guerre.

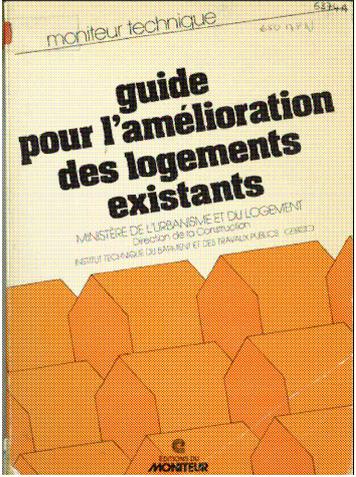
Conclusions utiles pour BATAN

Si l'on devait se calquer sur la réalité statistique pour choisir le panel restreint de bâtiments à instrumenter pour BATAN, les impératifs seraient les suivants :

- Au regard du strict nombre de bâtiments, le panel devrait comporter 2/3 de maisons individuelles et 1/3 d'immeubles collectifs.
- Au regard des surfaces habitables, le panel devrait comporter 3/4 de maisons individuelles (dont 2/4 de maisons datant d'avant 1915) et 1/4 d'immeubles collectifs.
- Les immeubles devront faire moins de quatre étages si l'on ne veut pas s'égarer sur des immeubles non représentatifs de la réalité ancienne.
- Il conviendrait également de choisir dans le panel des maisons individuelles équipées de cheminées à bois et des logements en immeubles chauffés par une centrale individuelle au gaz de ville.
- Enfin, le panel devrait comporter des bâtiments anciens dans la ville de Paris, étant donné la très forte proportion de bâti ancien dans cette ville. (*Voir également étude APUR*)

Ces données reflètent la réalité du parc ancien et nous permettent d'ajuster la typologie au réel observable. Mais il existe une limite à ce raisonnement : la typologie ne doit pas seulement refléter statistiquement le parc, elle doit aussi permettre de créer des grandes classes de comportement thermique homogène. Un type d'habitation pourra très bien représenter statistiquement 40 % du parc mais ne faire l'objet que d'une seule catégorie de la typologie (soit 1 type sur 12 au final comme nous le verrons). Un autre type de bâtiment pourra être plus rare dans le parc (sans être marginal), mais nécessiter tout de même une catégorie pour se donner une chance de saisir son comportement complexe et éviter des lacunes au futur logiciel.

Ces statistiques sont donc importantes pour l'étude mais restent à prendre avec des pincettes, dans un subtil équilibre entre représentation de chaque type de bâtiment et modélisation de chaque type de comportement thermique.

	<p>Titre : Enquête CEREN sur le patrimoine bâti français antérieur à 1967 (Dans l'ouvrage : <i>Guide pour l'amélioration des logements existants</i>, chapitre 1, le patrimoine bâti français)</p>
	<p>Date 1979</p>
	<p>Auteurs Direction de la construction & CEREN</p>
<p>Organismes CEREN avec les enquêteurs des PACT-ARIM pour la Direction de la Construction (Service de la politique technique) avec les participations de l'Agence pour les économies d'énergie, d'EDF, de GDF.</p>	
<p>Sujet : Connaissance du patrimoine bâti français datant d'avant 1967</p>	
<p>Présentation Nous ne disposons que du résumé de cette enquête fourni dans l'ouvrage suivant : Ministère de l'Urbanisme et du Logement, <i>Guide pour l'Amélioration des logements existants</i>, Editions du Moniteur, Paris, 1982, 391 pages. Une vaste enquête portant sur l'ensemble du patrimoine privé (hors HLM) antérieur à 1967 a été menée par la Direction de la Construction au cours de l'année 1979 pour améliorer la connaissance du parc bâti existant. La base de cette enquête est un ensemble de 5000 immeubles répartis selon trois critères: la région des programmes, l'âge et la taille des immeubles. Pour les parties privatives, le nombre de logements visités a été limité à trois par bâtiment. Un certain nombre de questions portaient sur la description physique du bâtiment (géométrie, mode constructif, équipements...). L'état du bâtiment a été apprécié par examen visuel et noté ensuite.</p>	
<p>Principaux résultats : Pour la structure des éléments porteurs verticaux d'avant 1948 : 92 % sont continues lourdes, 5 % en pans de bois et 1.7 % en ossature béton. Les pans de bois représentent 9% des bâtiments avant 1871, et l'ossature béton apparaît en 1915 à hauteur de 5 %. Pour les matériaux constitutifs des parois avant 1948 : 38% sont en moellons, 28 % en briques pleines, 10% en pierre de taille et 6 % en torchis, 4.5 % en meulière. Le torchis représente 11 % des parois avant 1871, et la brique pleine un tiers des parois pendant l'entre-deux-guerres (1914-48).</p>	

Si l'on regarde la manière dont se répartit chaque matériau entre époques, on constate clairement que béton, parpaing ciment et brique creuse ne sont pas les matériaux du bâti ancien, quand torchis, pierre de taille et moellon meulière le sont presque exclusivement.

Pour les revêtements de façade, les enduits et crépis à la chaux sont surtout utilisés lorsque les immeubles ont été construits avant 1915 (20% des immeubles achevés avant 1871 ont un tel revêtement). L'absence de revêtement est également constatée sur les immeubles anciens d'avant 1949: le matériau prédominant de remplissage est alors la brique pleine dans 51 % des cas, la pierre dans un peu plus de 41 % (moellon: 23, meulière: 5, pierre de taille : 13).

Type d'immeuble	Avant 1871	1871-1914	1915-1948	1949-1961	1962-1968
1 logement	2 100 000	1 690 000	1 520 000	1 155 000	700 000
2 à 4 logements	610 000	670 000	435 000	210 000	70 000
5 à 9 logements	270 000	425 000	200 000	220 000	195 000
10 à 19 logts	150 000	420 000	250 000	380 000	370 000
20 logts ou plus	70 000	245 000	220 000	260 000	300 000
Ensemble	3 200 000	3 450 000	2 625 000	2 225 000	1 635 000

Répartition des bâtiments selon les époques en fonction du nombre de logements

Conclusions utiles pour BATAN

Les données chiffrées sur la répartition des matériaux de paroi dans les immeubles d'avant 1948 nous permettent d'ajuster la répartition des types thermiques dans notre typologie et de rapprocher la composition du panel restreint de la réalité observable. Par exemple :

- Seuls 5% des immeubles construits avant 1948 sont en pans de bois, ce qui nous incite du point de vue statistique à ajuster notre panel en conséquence.
- L'ossature béton ne représente que 1,6 % des structures existantes parmi les immeubles anciens. Ce type d'immeuble n'est pas forcément à étudier dans notre panel (sachant qu'il se rencontre couramment dans l'habitat moderne).

Autre intérêt de cette enquête : La séparation statistique des bâtiments anciens est faite en 3 périodes : Avant 1871, 1871-1914 et 1915-1948. Les données INSEE actuelles ne comptent plus que 2 périodes : Avant 1914 et 1914-1948.

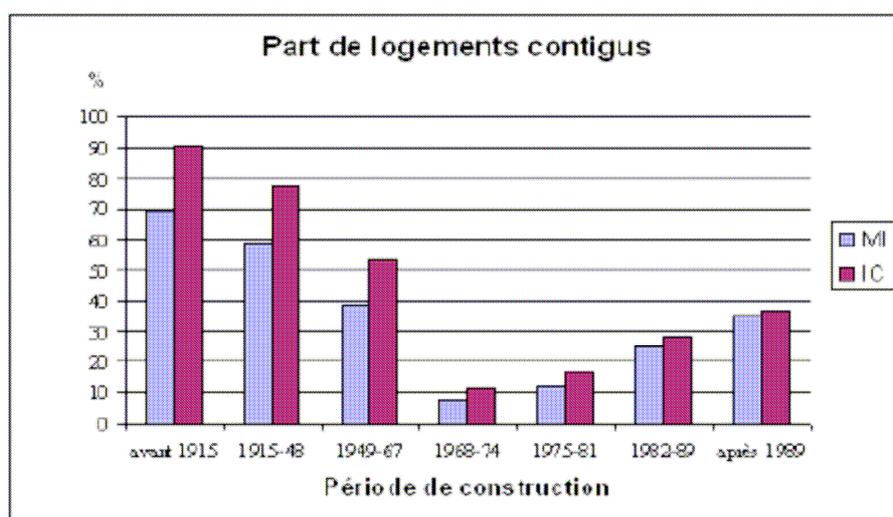
 	<p>Titre</p> <p>Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL. ETHEL. Rapport R2</p>
	<p>Date</p> <p>Octobre 2005</p>
	<p>Auteurs</p> <p>Charles RAUX, Jean-Pierre TRAISNEL, Jean-Pierre NICOLAS, Mindjid MAIZIA, Karine DELVERT</p>
<p>Organismes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire d'Economie des Transports (LET), UMR 5593, Lyon • Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR Cité (FRE 2408), Champs sur Marne • Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement, UMR N° 8568, Nogent-sur-Marne 	
<p>Sujet : Bilan des consommations énergétiques et émissions de CO₂ des secteurs transport et habitat</p>	
<p>Présentation</p> <p>Ce rapport présente les résultats d'une sous-tâche du projet ETHEL (Énergie Transport Habitat Environnement Localisations). Le projet ETHEL vise à de déterminer les marges de manœuvre des pouvoirs publics, les cibles ou les politiques susceptibles d'avoir le meilleur rapport coût-efficacité en matière de réduction des consommations d'énergie et d'émission de GES des secteurs transport et habitat à l'horizon 2020.</p> <p>Il répond à un triple objectif:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Situer à partir des statistiques nationales, les enjeux et ordres de grandeur en matière de consommations énergétiques et d'émissions concernant le transport et l'habitat. • Établir une méthodologie de calcul des émissions liées au transport et à l'habitat. • Présenter les calculs d'émissions effectués sur cette base. <p>Pour ce qui est du logement, l'étude s'appuie sur les Comptes du logement et les bases de données du CEREN (structure de la consommation d'énergie des ménages). La part des innovations, des caractéristiques morphologiques et topologiques (compacité, contiguïté, maillage ou arborescence des réseaux, longueur des cheminements, etc.) dans l'efficacité énergétique globale de l'habitat, dans ses multiples fonctions, est relevée.</p>	
<p>Méthodologie employée dans l'étude :</p> <p>Les besoins de chauffage par logement sont estimés comme dans la RT88, soit BV.DH en KWh/an : le coefficient BV, en W/K intègre la part récupérable des apports internes et des apports solaires directs, qui entre en réduction des déperditions exprimées par GV; DH représente les degrés par heure, base 18°. Ces données sont ensuite agrégées avec les effectifs du parc existant par période et leurs mitoyennetés respectives.</p>	

Principaux résultats de l'étude :

L'étude fait apparaître que le bâti ancien n'est pas plus consommateur d'énergie que le parc de la période 1949-1974 en valeur totale, et moins consommateur que lui en kWh par m², donc moins énergivore. Il faut noter, en plus, que la modélisation effectuée dans le projet BETEL considère pour le bâti ancien une enveloppe aussi médiocre que pour le bâti de 1949-74, ce qui n'est pas forcément le cas dans la réalité. La différence de consommation se joue donc sur le seul caractère plus mitoyen des constructions d'avant 1948, quand les maisons individuelles étaient souvent regroupées en bourg contigus et les centres anciens très serrés (au lieu des barres d'immeubles non contiguës d'après guerre ou des pavillons de banlieue).

Une méthode statistique a ainsi été introduite afin de chiffrer la propension des bâtiments à être compacts et contigus selon l'époque de construction. Traduite en effectifs, cette méthode donne une distribution très contrastée selon les périodes de construction :

(MI=maisons individuelles, IC=immeubles collectifs)



Conclusions utiles pour BATAN

« L'agrégation des données (effectifs de résidences principales et consommations énergétiques) indique que les gisements de réduction des consommations liées au chauffage se situent essentiellement dans la maison individuelle, dont les consommations cumulées par période de construction sont toujours supérieures à celles des immeubles collectifs. Il conviendra d'étudier avec une attention particulière les logements construits au cours de la période 1949-1974 de construction intensive, échappant à toute réglementation thermique, hormis quelques exigences de qualité appliquées au logement social. »

les spécialistes de l'étude BETEL ont choisi « d'exploiter une seule base homogène considérée comme la plus complète et la plus fine. Il s'agit des données extraites du Recensement Général de la Population de 1999 (RGP 1999). » Notre approche statistique étant similaire, les enseignements qu'ils en tirent nous intéressent, et la cohérence de notre approche à partir des données 1999 est confirmée.

Deuxièmement, leur point de vue est enrichissant, car ils se sont intéressés à un facteur difficile à modéliser: le taux de mitoyenneté des habitations. Pour obtenir la consommation d'énergie du parc d'habitat existant, ils ont ainsi insisté sur la spatialité de l'habitat: densité de l'habitat dans l'espace, contiguïté en fonction des époques de construction, évolution de la surface des logements... Autant de facteurs très importants dans la balance des consommations finales mais que l'on n'a pas l'habitude d'aborder en physique du bâtiment, où l'on se concentre plus sur les propriétés intrinsèques au bâti. Cette étude rend ainsi bien compte de l'influence de l'étalement urbain contemporain sur la consommation énergétique finale du bâtiment.

 ministère des Transports de l'Équipement du Tourisme et de la Mer 	Titre : Typologie des bâtiments d'habitation existants en France Synthèse des caractéristiques des bâtiments d'habitation existants permettant l'évaluation du potentiel d'amélioration énergétique Rapport de synthèse
	Date 2006
	Auteurs Pascale Graulière

Organismes Energies Demain

Sujet : Typologie architecturale des bâtiments d'habitation existants en France

Présentation

Cette étude typologique consiste en un classement des bâtiments d'habitations existants en France en familles types représentatives, selon des critères morphologique, esthétique, architectural et visuel. Cette classification doit permettre l'évaluation du potentiel d'amélioration énergétique des bâtiments existants types à l'échelle macroscopique du territoire français, dans le cadre d'un projet global confié par le ministère à Energies Demain.

Principaux résultats :

Numérotation des types	Avant XIXème siècle	Fin XIXème - 1914	1914 – 1948
Individuel			
1	Maison rurale		
2	Maison de bourg +	matériaux industriels	
3	Maison bourgeoise +	matériaux industriels	
4		Villa éclectique	
5		Pavillon de banlieue	
6		Pavillon ouvrier	
Collectif			
7	Immeuble de bourg		
8	Immeuble historique		
9		Immeuble ouvrier	
10		Immeuble Haussmannien	
11		Immeuble éclectique	
12		Immeuble HBM	
13			Immeuble moderne

Tableau 1 : Principaux types architecturaux recensés par Pascale Graulière sur la période avant 1948

Méthode de modélisation thermique employée :

Dans cette typologie, le côté thermique est assez rapidement évoqué, sous la forme d'un projet thermique applicable à chaque type de bâtiment, avec un angle de vue très macroscopique : emplacement de l'isolation thermique possible compte tenu des contraintes patrimoniales, changement complet des menuiseries, pose de volets extérieurs...

Le potentiel d'amélioration thermique est sans doute mieux détaillé dans le moteur de recherche développé par le thermicien d'Energie Demain et complémentaire de ce travail.

Conclusions utiles pour BATAN

Cette typologie architecturale nous permet de disposer d'une vision globale du parc d'avant 1948 et de mieux saisir les types architecturaux rencontrés sur le territoire, même si notre approche doit se centrer plus sur les éléments influençant directement la thermique, pour donner naissance à une autre typologie.

Il nous faut ainsi identifier si des regroupements sont opérables du point de vue du comportement thermique entre types architecturaux, ou si ces familles doivent être au contraire subdivisées.

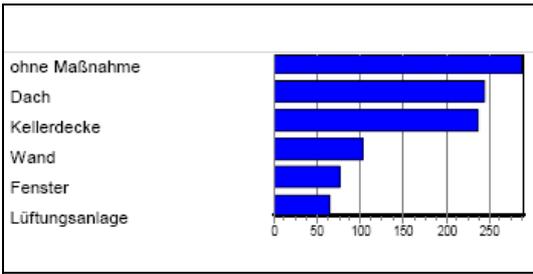
Parmi les informations très utiles pour BATAN, on recense dans cette étude :

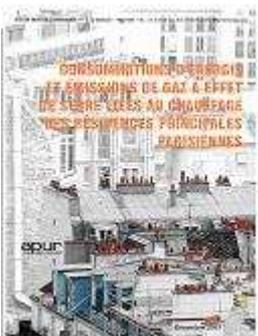
- Une définition des différentes situations géographiques et urbaines rencontrées.
- Les matériaux de remplissage prédominants et leur épaisseur de mise en œuvre.
- Les ratios vides-plein en moyenne nationale selon le type architectural de bâtiment.
- Le rapport au sol selon le type architectural de bâtiment.
- Le nombre de niveaux moyen par type architectural.
- La hauteur sous plafond moyenne selon le type architectural de bâtiment.

Cette étude comporte aussi une annexe avec des tableaux régionaux typologiques qui pourront nous servir lors du choix du panel et des régions climatiques d'étude:

- Les matériaux prédominants de remplissage par région et par type architectural.
- La hauteur sous plafond moyenne par région et par type architectural.
- Les ratios vide-plein par région et par type architectural.
- Le rapport au sol par région et par type architectural.

	<p>Titre : Les passeports énergie dans le Land de Saxe (Allemagne, « Energiepass Sachsen ») _ Typologie des bâtiments du Land de Saxe.</p>
	<p>Date décembre 2004</p>
	<p>Auteurs Ebök, bureau d'étude allemand en énergie, bâtiment et concept écologique.</p>
<p>Organismes associés Ministère de l'environnement du Land de Saxe, bureaux d'étude Bially (Ing.-Büro Bially) et Ebök, IFEU Heidelberg (Institut de recherche en énergie et environnement de Heidelberg)</p>	
<p>Sujet : Etablissement d'une typologie thermique des bâtiments du Land de Saxe, préalablement à la mise en place des passeports énergie.</p>	
<p>Présentation</p> <p>Depuis plus d'une dizaine d'années, certaines communes et Länder proposent, de manière facultative (à la différence des DPE), des passeports énergie pour les habitations construites en Allemagne. Au début des années 90, ces passeports ne portaient que sur les consommations de chauffage. Ensuite, les pertes d'énergie des bâtiments et la qualité de l'isolation thermique ont été analysées dans le but d'entraîner une baisse du niveau de consommation d'énergies dans les bâtiments neufs et existants.</p> <p>Près de 5.000 passeports ont été établis ces dernières années dans des communes comme Hambourg ou Hanovre, et près de 10.000 dans les Länder de Hesse, Rhénanie du Nord – Westphalie, Bade -Württemberg et Saxe. L'accent a été mis sur le caractère simple et clair du design des passeports. Le propriétaire du bâtiment devait avoir un aperçu global des éléments essentiels, sur une page. Dans la plupart des cas, des typologies de bâtiment ont servi de bases de données et des logiciels standardisés ont été utilisés pour l'établissement des passeports, ceci afin d'en réduire leurs coûts.</p> <p>Pour le cas du Land de Saxe, le modèle de calcul utilisé était aussi fidèle que possible au modèle national de l'Agence Allemande de l'Energie (DENA). Un projet pilote a d'abord été conduit sur deux grandes villes (Dresde et Zwickau) en 2001-2002, avant une extension du dispositif à tout le Land en 2003. Bien que basé sur le volontariat des propriétaires, près de 10000 passeports ont été réalisés.</p>	
<p>Méthode de modélisation thermique employée :</p> <p>Lorsque le diagnostiqueur veut établir son passeport rapidement, il classe le bâtiment dans une case de la typologie et obtient une consommation d'énergie type issue de résultats statistiques sur le parc associé. Pour un passeport plus précis, il peut utiliser un logiciel baptisé EVA2007 développé par un bureau d'étude allemand depuis plusieurs années et disponible en version d'essai sur 30 jours.</p> <p>C'est une sorte de méthode 3CL améliorée, plus perspicace sur les époques anciennes car basée sur une approche à la fois statistique, mais aussi corrigée des données constructives entrées par le diagnostiqueur.</p> <p>La fiche du passeport énergie est alors composée de deux volets: l'un décrivant le bâtiment avant réhabilitation, l'autre après.</p>	

 <table border="1"><thead><tr><th>Composant</th><th>Économies d'énergie (kWh/m²)</th></tr></thead><tbody><tr><td>ohne Maßnahme</td><td>250</td></tr><tr><td>Dach</td><td>200</td></tr><tr><td>Kellerdecke</td><td>180</td></tr><tr><td>Wand</td><td>100</td></tr><tr><td>Fenster</td><td>70</td></tr><tr><td>Lüftungsanlage</td><td>50</td></tr></tbody></table>	Composant	Économies d'énergie (kWh/m²)	ohne Maßnahme	250	Dach	200	Kellerdecke	180	Wand	100	Fenster	70	Lüftungsanlage	50	<p>Avec en vis-à-vis les compositions des murs, toiture, plancher courant et plancher bas, ainsi que les coefficients U correspondants en $W/m^2.K$, avant et après rénovation possible. Un graphique résume, sur le passeport, les économies d'énergie réalisables par ces mesures (voir ci-contre). Cette disposition permet d'inciter les habitants à faire des travaux.</p>
Composant	Économies d'énergie (kWh/m²)														
ohne Maßnahme	250														
Dach	200														
Kellerdecke	180														
Wand	100														
Fenster	70														
Lüftungsanlage	50														
Principaux résultats :															
<p>Les entrées utilisées dans la typologie sont : la taille du bâtiment (maison individuelle, maison en bandes, immeuble collectif) et sa date de construction.</p>															
<p>Trois modes constructifs marquants ont été relevés sur le territoire de la Saxe:</p>															
<ul style="list-style-type: none">• Le bâti conventionnel : datant d'avant 1945, en maçonneries ou à pans de bois.• Le bâti préfabriqué (début des années 50): Maison en blocs ou en bandes, qui utilisent des éléments préfabriqués comme les blocs béton.• Les grands ensembles montés sur place (1960): à partir d'éléments de construction industriels et uniformes comme les grandes plaques de béton.															
<p>Au sein du mode constructif datant d'avant 1945, le bâti ancien a été subdivisé en 3 catégories:</p>															
<ul style="list-style-type: none">• Catégorie A: <1870, c'est un bâti artisanal, « surdimensionné », principalement à colombages et pans de bois, recouvert d'enduit ou de crépis.• Catégorie B: 1850-1918, représenté par les villas bourgeoises et les maisons en bandes, dans le prolongement périurbain des principales villes, avec pour matériaux principaux des maçonneries de pierre.• Catégorie C: 1919-1945, époque marqué par l'industrialisation et l'augmentation de la fabrication des matériaux de constructions standardisés et peu coûteux, mais restant de la pierre.															
<p>La typologie mêle donc à la fois les matériaux, la forme urbaine et les modes constructifs, mais n'établit pas clairement le lien de ces systèmes avec la thermique du bâtiment. On se rapproche donc de la typologie architecturale de Pascale Graulière, où il manquerait peu de choses pour passer de l'architecture à la thermique.</p>															
Conclusions utiles pour BATAN															
<p>Ici, la typologie du parc de bâtiment a été établie selon:</p>															
<ul style="list-style-type: none">• La taille du bâtiment (maison individuelle, maison en bandes, immeuble collectif)• La date de construction du bâtiment.															
<p>Il a en effet été considéré que l'âge du bâtiment influençait fortement le mode constructif, les matériaux et le mode de chauffage employés. La taille du bâtiment jouant elle sur la compacité, la mitoyenneté et donc la surface déperditive rencontrée: pour une même époque de construction, les logements en immeubles sont moins énergivores que leurs homologues en maisons individuelles.</p>															
<p>A chaque type de bâtiment ainsi défini est rattachée une consommation représentative de la catégorie. Lors de la rédaction d'un passeport énergie, l'estimation des pertes d'un bâtiment est effectuée en se référant à cette typologie ou en utilisant un logiciel de simulation simplifié permettant de renseigner un peu mieux les caractéristiques constructives (EVA 2007).</p>															
<p>L'utilisation du logiciel EVA2007 permet d'estimer également les économies d'énergie réalisables en cas d'actions de réhabilitations types : isolation des combles, du plancher bas, des murs par l'extérieur, du changement de fenêtres ou du changement de système de ventilation.</p>															

	<p>Titre</p> <p>Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes</p>
	<p>Date</p> <p>décembre 2007</p>
	<p>Auteurs</p> <p>Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR)</p>
<p>Organismes</p> <p>APUR</p>	
<p>Sujet : Evaluation des consommations des résidences principales parisiennes pour le chauffage et les émissions de gaz à effet de serre correspondantes</p>	
<p>Présentation</p> <p>Partant du constat qu'à Paris le bâtiment constituait l'un des secteurs les plus émetteurs de gaz à effet de serre, et compte tenu de la difficulté à étudier les usages dans le bâti tertiaire, l'APUR s'est concentrée sur l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes. Le poste chauffage représentait en effet à lui seul « 76% des émissions résidentielles à Paris en 2004 ».</p> <p>De 2006 à 2007, « 96000 bâtiments parisiens de logement ont ainsi fait l'objet d'une modélisation et de calculs permettant de mesurer l'impact du chauffage du parc de logements parisiens sur le changement climatique global ».</p> <p>On retrouve tout d'abord dans cette étude un remarquable travail de datation des bâtiments parisiens, qui a ensuite permis le classement des immeubles d'habitation en familles de référence, pour lesquelles ont été calculées des consommations énergétiques annuelles.</p>	
<p>Méthode de modélisation thermique employée :</p> <p>L'algorithme de base utilisé ici est celui de la RT88. Il exprime les besoins en chauffage du bâtiment pour atteindre 19°C (selon les pertes des parois, les ponts thermiques et la ventilation) et minore ces besoins par les apports solaires gratuits. A partir de cette base, quelques adaptations sont faites, mais les équations de départ restent assez générales et plutôt bien adaptées à l'échelle macroscopique de l'étude (qui va de l'IRIS jusqu'au tout Paris).</p> <p>En revanche, il existe un problème d'ordre de grandeur entre ce modèle de départ et les adaptations qui lui sont opérées pour coller au cas parisien: ces efforts d'ajustement sont souvent d'un niveau de précision trop important par rapport au facteur limitant que constitue le modèle de base RT88.</p> <p>Si l'on prend le cas des apports solaires, l'APUR met en œuvre une description astucieuse et précise des masques subis par les bâtiments, mais, dans le même temps, n'utilise qu'une seule valeur d'ensoleillement par jour, la même pour toute l'année et pour tous les coins de Paris! Cette description des masques est donc trop précise par rapport à la donnée d'irradiation solaire utilisée ensuite.</p> <p>La RT88 est appliqué à un étage type et étendue ensuite à tout un immeuble. Les déperditions des parois et le taux de vitrages sont ajustés en fonction des grandes époques de construction définies précédemment. La surface déperditive des bâtiments est déduite astucieusement grâce à la base de données géographique de l'APUR, selon la mitoyenneté observée.</p>	

L'APUR parvient ainsi à estimer des besoins de chauffage pour chaque grand type d'immeubles, qu'elle convertit ensuite en consommations grâce à la prise en compte du rendement des équipements.

Une différence est constatée pour chaque époque entre les valeurs théoriques données par le modèle et les valeurs réelles de consommations dont l'APUR dispose. Elle impute cette différence au comportement réel des habitants, mais oublie de souligner le caractère simple et macroscopique des équations utilisées.

Pour le bâti d'avant 1945, les résultats du modèle APUR semblent néanmoins meilleurs que ceux du moteur DPE. (Même si le moteur DPE n'est pas fait pour être utilisé sur cette période d'avant 45, d'après la réglementation).

Principaux résultats :

L'étude APUR présente de nombreuses données sous formes de cartes qui ne peuvent être résumées ici. Le tableau ci-dessous présente l'essentiel des résultats numériques obtenus dans cette étude :

- La comparaison entre les résultats des modèles DPE, APUR et les données réelles.
- Les consommations détaillées pour les 4 époques du bâti ancien.
- La comparaison entre les consommations du bâti ancien (avant 1945) et celles des 2 autres grandes époques (1945-1975 et 1976-1999).

Epoque de construction	Effectif en % sur la totalité du parc parisien	Consommations chauffage+ECS données par le DPE en kWh/m ² .an	Consommations chauffage+ECS données réelles en kWh/m ² .an	Consommations chauffage obtenues par le modèle APUR en kWh/m ² .an
Avant 1800	10 %	402	239	150
1801-1850	15 %	338	197	129
1851-1914	49 %	306	241	133
1918-1939	9 %	320	190	145
Tout le bâti ancien	83 %	341	217	139
1945-1975	8 %	298	357	157
1976-1999	8 %	198	120	83

Tableau 2: comparaison des consommations obtenues sur le bâti ancien pour les modèles DPE et APUR

Le second tableau présente la part de chacune des 3 grandes époques dans la consommation totale de chauffage sur Paris, en prenant en compte les effectifs. La période de construction 1945-1975 est la plus énergivore, mais son effectif place sa contribution dans le total loin derrière celle du bâti ancien.

Epoque de construction	Effectif en % sur la totalité du parc parisien	Part de la conso totale selon le modèle DPE	Part de la conso totale selon les données réelles	Part de la conso totale selon le modèle APUR
bâti ancien	83 %	87,5 %	83,4 %	86,6 %
1945-1975	8 %	8,1 %	12,8 %	9,9 %
1976-1999	8 %	4,5 %	3,9 %	3,8 %

Tableau 3 : Part de chaque époque dans la consommation totale en chauffage du parc selon différents modèles

Conclusions utiles pour BATAN

La remarquable base de données sur la datation des immeubles accompagnée de sa représentation graphique sous forme de carte est très intéressante pour visualiser les grandes catégories thermiques existantes sur Paris : par exemple la localisation des immeubles haussmanniens choisis dans le panel.

Le découpage du bâti parisien ancien en 4 catégories (avant 1800, 1801 à 1850, 1851 à 1914 et 1918 à 1939) avec le descriptif des modes constructifs qui l'accompagne, nous donne des renseignements précieux pour BATAN.

L'APUR a émis la remarque qu'avant 1945, les modes constructifs généraient peu de ponts thermiques, constat partagé par l'étude *Connaissance du Bâti ancien*.

Ils ont comptabilisé que 83% du bâti parisien date d'avant 1945! Dont 75 % avant 1914.

Et, chiffre qui va avec: le bâti ancien représente 83 % des consommations des logements parisiens pour 83 % des effectifs totaux (factures réelles). Alors que le bâti de la période 1945-1974 monte à 13% des consommations pour 8% des effectifs. En effet, le bâti ancien consomme en moyenne 217 kWh/m² habitable.an pour le chauffage+ECS, contre 357 kWh/m².an pour le bâti 1945-1974 !

Cependant, si l'on se ramène aux effectifs, la marge de manœuvre pour générer des économies d'énergie reste plus grande sur le bâti ancien du fait de sa présence très majoritaire (avec toutes les précautions qu'une réhabilitation réclame sur ce type de bâtiments).

Plusieurs éléments abordés dans cette étude peuvent nous intéresser dans le cadre de BATAN :

- L'étude de l'effet de masque généré par les bâtiments d'une même rue, en fonction de la hauteur des constructions et de la largeur des voies de circulation (règle du prospect).
- Les aspects comportementaux relevés et leur influence sur la consommation d'énergie: par exemple, en fonction du mode de facturation du chauffage, l'énergie consommée varie de 1 à 2,5 entre une facture individuelle et une facture collective !
- Les fiches récapitulatives en annexe de l'étude, qui permettent, pour chaque grande époque de construction, de visualiser les résultats de consommations selon 3 modèles : le modèle DPE, le modèle APUR et les données réelles relevées. (sachant que le logiciel DPE est ici utilisé, contre l'avis réglementaire, sur les bâtiments d'avant 1948).
- La carte globale des consommations de chauffage sur Paris, avec le cas du XVIème arrondissement gros consommateur du fait de ses grandes hauteurs sous plafond. (cf. l'un des cas du panel de BATAN).

2.3 Enseignements à tirer de ces études pour l'élaboration d'une typologie thermique du bâti ancien en France

Nous pouvons tirer des ces six études de multiples enseignements en vue de la création d'une typologie thermique des bâtiments anciens, tant sur le point de vue de la répartition statistique que sur les systèmes classants auxquels il faudra être attentif pour bâtir la typologie.

Les principaux enseignements et points pour lesquels nous pourrions aller puiser dans ces travaux sont les suivants :

- La répartition entre les maisons individuelles et les immeubles collectifs sur la totalité du parc ancien.
- La répartition des différents modes de chauffage, notamment l'importance du bois, et l'influence du mode de facturation sur la consommation.
- La répartition des différents matériaux de parois et leur épaisseur traditionnelle de mise en œuvre.
- La répartition des modes constructifs anciens.
- Les différentes formes urbaines et rurales rencontrées.
- Le fait que le parc bâti des 30 glorieuses (1945-1975) soit le plus énergivore lorsque l'on considère l'ensemble du territoire français (où la maison individuelle et les grands ensembles sont plus fréquents que sur Paris intra-muros).
- Le cas singulier de la ville de Paris où le bâti ancien représente 83% du parc.
- L'importance de la mitoyenneté des bâtiments sur leur consommation.
- L'importance du rapport au soleil des bâtiments.

3 CONSTITUTION D'UNE TYPOLOGIE THERMIQUE DU BÂTI ANCIEN

Il s'agissait de dessiner des grandes familles thermiques au sein du parc bâti ancien. Cette typologie devait être fidèle à la réalité observable et permettre d'aboutir à un panel restreint instrumentable d'environ 15 bâtiments. Cet objectif du panel a défini, tout au long de notre démarche, le niveau de détail auquel nous pouvions descendre pour discerner les types thermiques entre eux.

3.1 Les catégories constitutives de la typologie

La typologie thermique du bâti ancien a été élaborée selon une approche systémique, afin de saisir toute la complexité des interactions à l'œuvre. Dans cette approche, le bâtiment est vu comme un ensemble de systèmes multiples et interdépendants :

- ⇒ Environnement extérieur (climat, végétation, relief...)
- ⇒ Implantation (îlot, mitoyenneté...)
- ⇒ Enveloppe et matériaux (les parois...)
- ⇒ Modes constructifs (liens entre ces parois)
- ⇒ Occupants (consignes de T°, habitudes de ventilation...)
- ⇒ Équipements (chauffage, ECS...)

Seuls les éléments intrinsèques au bâti ont été retenus pour les entrées de la typologie : implantation, enveloppe/matériaux, modes constructifs. Les 3 autres systèmes en ont été exclus: occupants, équipements et environnement extérieur.

La justification de ce choix est inscrite dans le sens même de la typologie thermique : définir des entrées intrinsèques au bâti permettant de distinguer sur le plan thermique deux bâtiments entre eux. Ainsi, les systèmes suivants ne sont pas considérés comme « classants » :

- Le comportement des occupants ne permet pas de cerner les différences thermiques entre une longère bretonne et une maison ouvrière du Nord. En revanche, il sera relevé très précisément au moment de l'instrumentation du panel, car il constitue un élément important pour la tâche 3 (modélisation).
- La nature des équipements de chauffage installés dans un bâtiment ne caractérise pas le comportement thermique intrinsèque du bâti. Les équipements ne constituent donc pas un système classant pour la typologie, mais seront suivis pendant l'instrumentation.
- Le climat pris seul ne pourra pas justifier le classement d'une maison dans telle ou telle catégorie de la typologie : une longère limousine peut appartenir au même type thermique qu'une longère bretonne, malgré les différences patentes de climat. Là encore, l'environnement extérieur ne sera pas classant pour l'étape typologie mais fera l'objet de mesures précises sur un an, car il représente une clé sérieuse de toute modélisation. (nous reviendrons sur ce point dans la partie implantation).

En revanche, deux maisons de centre-bourg dont l'enveloppe extérieure est composée de matériaux proches sur le plan thermique qui sont assemblées selon le même mode constructif,

auront de grandes chances de présenter, au final, le même comportement thermique. Et c'est bien là le genre de regroupement en grands types que nous cherchons à obtenir.

Nous allons donc étudier en détail les trois systèmes intrinsèques au bâtiment, pour dégager au sein de chacun d'eux de grandes catégories thermiques, qui aboutiront, une fois croisées entre elles, à la typologie thermique finale.

- Le premier système considéré correspond à l'échelle macroscopique : il s'agit de l'implantation du bâtiment par rapport aux autres édifices bâtis.
- Le second système, plus microscopique, est celui des matériaux de l'enveloppe et de leurs propriétés thermiques.
- Le dernier système, les modes constructifs, représente une échelle intermédiaire, celle de l'inertie résultant de la combinaison des différentes parois.

3.2 Les catégories d'implantation du bâti ancien

3.2.1 Objectifs et démarche

Les objectifs de cette typologie d'implantation des bâtiments anciens sont les suivants :

- Offrir une vision représentative des différentes implantations rencontrées parmi les bâtiments anciens.
- Mettre en évidence les phénomènes thermiques encore mal connus dont l'origine réside dans cette implantation (densité, mitoyenneté...).

Étant donné l'échelle que doit couvrir la typologie BATAN (= ensemble des bâtiments anciens, en zone rurale ou urbaine), il apparaissait que les critères classants à retenir pour l'implantation devait rester à une échelle « macroscopique ».

Ainsi, l'échelle de l'îlot a été retenue pour construire cette typologie d'implantation, à l'aide de trois critères principaux :

- la mitoyenneté
- la densité
- le potentiel d'ensoleillement, lié à la forme de l'îlot.

Ainsi, la présence de paramètres particuliers à chaque situation, comme les masques solaires végétaux, ne sont pas pris en compte au stade de la typologie. Ils seront néanmoins intégrés dans l'analyse physique des bâtiments de la tâche 2 et dans la constitution des modèles de la tâche 3.

3.2.2 Outils utilisés et naissance de la typologie

Un inventaire des types d'implantations existants pour les bâtiments construits avant 1948 a d'abord été dressé :

- à partir d'un document très complet de la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme¹ pour les formes urbaines.
- A partir du grand inventaire typologique de Jean Yves Chauvet², pour les formes rurales.

Un travail de regroupement de ces formes urbaines et rurales en grandes catégories a ensuite été réalisé, sous l'angle mitoyenneté / densité / ensoleillement.

Plusieurs questions se sont alors posées pour pouvoir établir une classification:

¹ FNAU, Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme, *Habitat-formes urbaines. Densités comparées et tendances d'évolution en France*, octobre 2006.

² CHAUVET J-Y. *La maison Paysanne, histoire, guide de restauration, typologie région par région*, Ed. Aubanel, 2005, 304p.

- Quelles formes d'îlots urbains rencontre-t-on parmi les immeubles anciens ?
- Les bâtiments anciens sont-ils en majorité mitoyens ou isolés sur leurs parcelles ?
- Le soleil pénètre-t-il à l'intérieur des cours d'îlots fermées?

Nous avons utilisé les notions de portions non bâties et de densité des îlots pour y répondre, en chiffrant ces aspects grâce à deux grandeurs utilisées en urbanisme : le Coefficient d'Emprise au Sol (CES), et la Densité bâtie des îlots (D), définis ci-après :

Définition du coefficient d'emprise au sol du bâti : CES

C'est le rapport entre l'emprise au sol du bâti et la surface de l'îlot.

Définition de la densité bâtie (ou densité nette visuelle) : D

C'est le rapport entre le total des m² bâtis et la surface de l'îlot. On l'obtient également en multipliant la hauteur de l'immeuble H par CES. (Voir schéma)

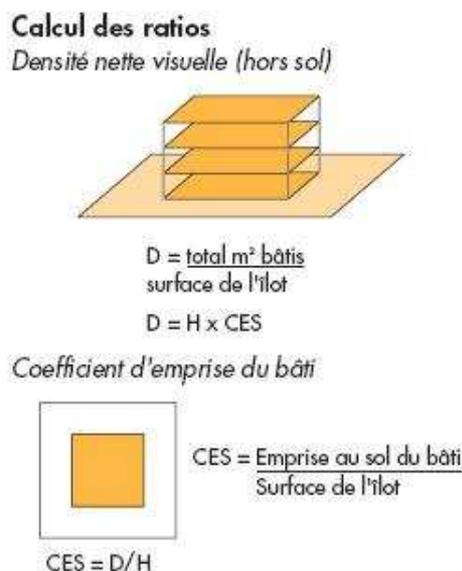


Figure 1: Méthode de calcul des ratios Densité et CES utilisés (Source : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France, Note rapide sur l'occupation des sols, juin 1999).

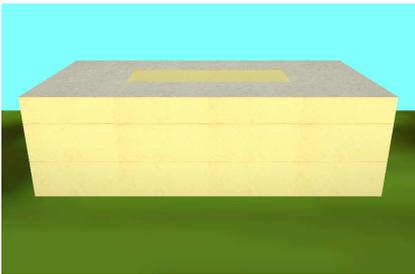
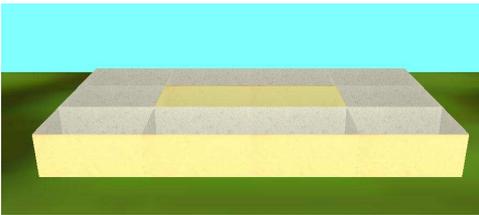
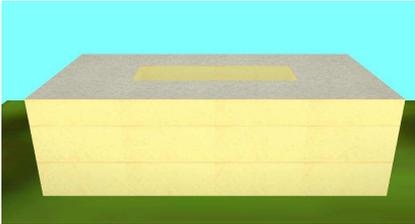
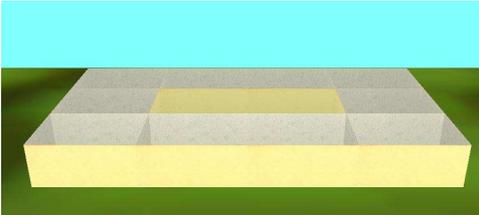
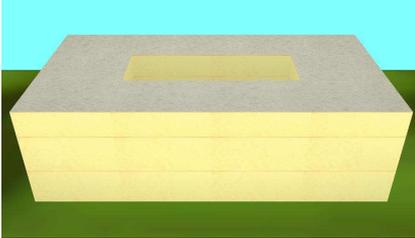
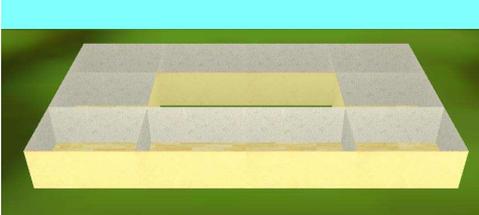
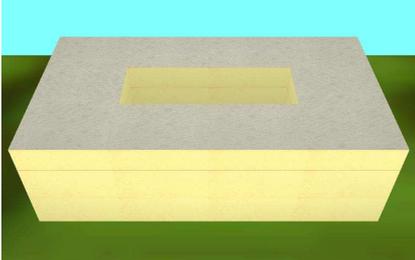
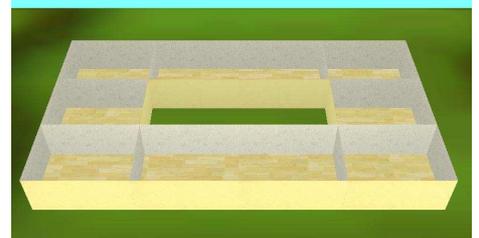
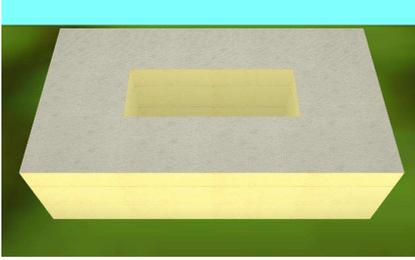
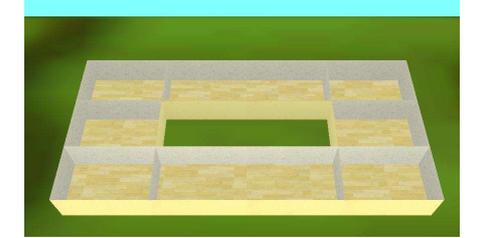
Ainsi, la notion de densité bâtie nous a permis de classer dans une catégorie notée 1 les îlots de centre anciens à très forte densité et dans une catégorie notée 2 les îlots haussmanniens. Le critère mitoyenneté a permis de mettre dans une catégorie 4 les constructions isolées sur leurs parcelles.

La dernière catégorie (n°3) regroupe trois types d'îlots. Ils sont différents sur le papier mais similaires quant à l'influence de leur implantation sur leur comportement thermique:

- Les îlots fermés de fort CES mais de faible hauteur (îlots fermés bas).
- Les bâtiments alignés et mitoyens (îlots ouverts).
- Les îlots fermés de faible CES, qui peuvent être de grande hauteur mais ne dépassent pas le R+4 dans l'habitat ancien. Catégorie plus rare.

Les caractéristiques principales de la catégorie 3 sont le caractère mitoyen des bâtiments et la pénétration du soleil en cœur d'îlot toute l'année (ou en façade directe pour les alignements).

Nous pouvons voir sur les schémas ci-dessous que le soleil ne pénétrera pas avant avril dans les cœurs d'îlots haussmanniens, mais atteindra dès février un îlot bas de la catégorie 3. (Simulations réalisées à l'aide du logiciel Pléiades Comfy/Alcyone). La vue présentée par ces schémas étant la vue depuis le soleil, ce qui permet de savoir à quelle date le soleil touche la totalité de la façade sud en cœur d'îlot.

Date de l'ensoleillement	Îlot haussmannien (catégorie 2) vu depuis le soleil à midi	Îlot fermé de faible hauteur mais de même CES (catégorie 3)
18 décembre		
18 janvier		
18 février		
18 mars		
18 avril		

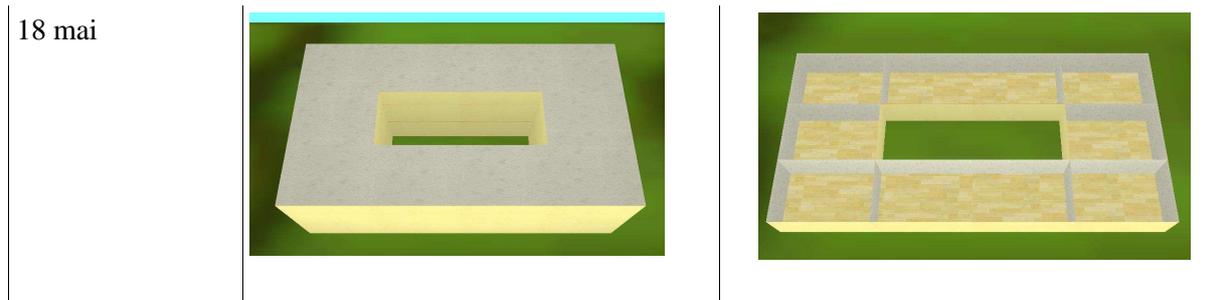


Figure 2 : Schéma d'enseillement des différentes formes urbaines considérées

En résumé et selon l'approche décrite ci-dessus, nous obtenons les 4 catégories d'implantation suivantes, avec leur numérotation:

- Catégorie I : îlots fermés de centre ancien.
- Catégorie II : îlots haussmanniens.
- Catégorie III : îlots fermés bas ou maisons alignées.
- Catégorie IV : maisons ou villas isolées ou dispersées.

3.2.3 Précisions sur les maisons paysannes

Le cas très riche des maisons paysannes s'insère parfaitement dans ce schéma environnement-implantation de 4 catégories. Les différents types d'unités d'exploitation rurales rentrent en effet tous dans les catégories 3 ou 4.

La grille d'analyse des maisons paysannes proposée par Jean-Yves Chauvet comporte cinq formes d'unités d'exploitation³:

- « Unités intégrées (toutes les fonctions sous un même toit, c'est à dire des bâtiments isolés les uns des autres).
- Unités agglomérées (les fonctions sont distinctes mais les bâtiments mitoyens et alignés).
- Unités associées (bâtiments contigus autour d'une cour fermée).
- Unités dissociées (les bâtiments se disposent de façon non jointive au sein d'une cour ouverte).
- Unités dispersées (ils sont éloignés les uns des autres). »

³ CHAUVET J-Y. *La maison Paysanne, histoire, guide de restauration, typologie région par région*, Ed. Aubanel, 2005, 304p.

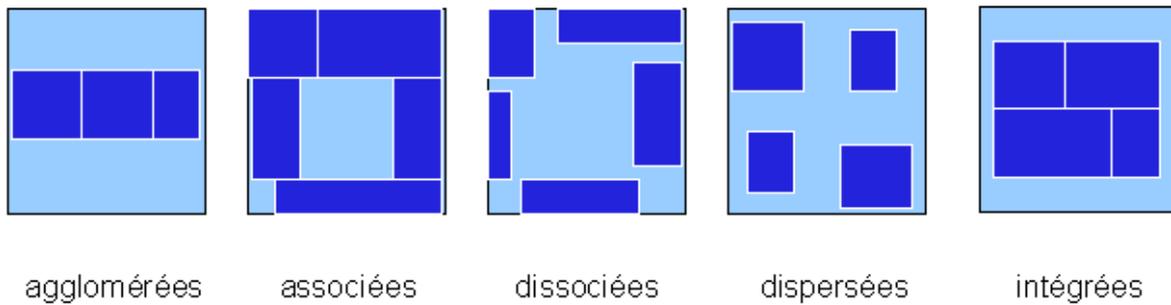


Figure 3 : Les différents types d'unités d'exploitation rurales (d'après Jean-Yves CHAUVET, *La maison paysanne, typologie par région*, Aubanel, 2005)

Ces cinq formes se répartissent comme suit dans nos catégories environnement-implantation:

- Catégorie 3 (îlots fermés bas ou maisons alignées) : unités agglomérées, unités associées.
- Catégorie 4 (maisons ou villas isolées ou dispersées) : unités intégrées, unités dispersées, unités dissociées.

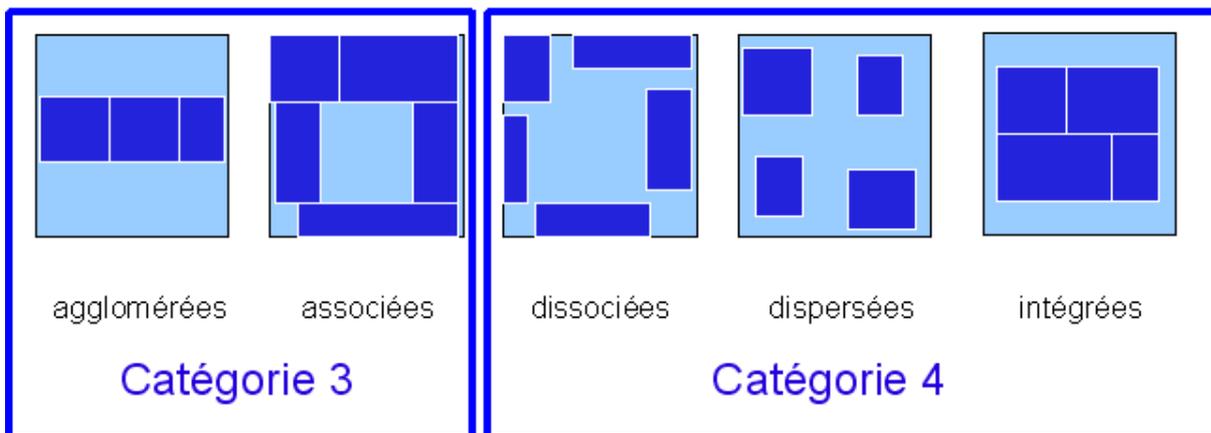


Figure 3 : La répartition de ces 5 types dans les catégories d'implantation de la typologie thermique

Le reste de l'environnement extérieur des maisons rurales (relief, végétation...) joue un rôle important du point de vue thermique mais ne peut faire l'objet, à l'échelle de la tâche 1, d'une typologie détaillée et classante. La typologie thermique entreprise doit en effet pouvoir s'appliquer à tout le territoire français et être assez synthétique pour permettre de concentrer l'instrumentation sur un panel réduit et les phénomènes physiques essentiels.

L'influence du relief, de la végétation, de l'exposition aux vents feront plutôt l'objet d'une étude au cas par cas sur les bâtiments choisis dans le panel restreint, en relevant avec rigueur les masques pour chaque maison. Ce qui permettra de bien étudier des cas réels sans se disperser en un catalogue qu'il serait inapproprié de constituer dès maintenant.

3.2.4 Les catégories d'implantation obtenues

Les 4 catégories d'implantation définies dans cette typologie sont les suivantes :

- Catégorie 1 : îlots fermés de centre ancien.
- Catégorie 2 : îlots haussmanniens.
- Catégorie 3 : îlots fermés bas ou maisons alignées.
- Catégorie 4 : maisons ou villas isolées ou dispersées.

Un tableau récapitulatif de cette typologie figure sur la page suivante.

Le classement d'un bâtiment ancien dans l'une des 4 catégories peut être réalisé en répondant successivement à ces 3 questions :

- 1) Le bâtiment est-il mitoyen? (Non = catégorie 4)
- 2) Si oui, l'îlot occupé est-il très dense? (Non = catégorie 3)
- 3) Si oui, existe-t-il une cour intérieure? (Non = catégorie 1, Oui = catégorie 2)

Les 7 dernières lignes du tableau nous renseignent sur les caractéristiques propres à chaque catégorie :

- Une vue aérienne du type d'implantation visé par la catégorie.
- La mitoyenneté du bâtiment avec d'autres bâtiments chauffés.
- L'ensoleillement des différentes façades sur cour et rue.
- Le type de bâtiment le plus souvent rencontré (collectif ou individuel)
- Une valeur moyenne du coefficient d'Emprise au Sol (CES)
- La valeur associée de la densité bâtie (D)
- Les types architecturaux que l'on peut ranger dans chaque catégorie (d'après ceux proposés par Pascal Graulière)
- Et enfin, une illustration de façade possible dans la catégorie.

Typologie thermique des implantations de bâtiments en fonction de la mitoyenneté et de l'ensoleillement			
Bâtiments mitoyens			Bâtiments non mitoyens
Îlot fermé très dense (densité>2)		Îlot fermé peu dense ou îlot ouvert	
Absence de cour intérieure		Espace intérieur existant	
Catégorie 1		Catégorie 2	
Îlot fermé moyenâgeux ou îlot de centre ancien		Îlot haussmannien ou îlot d'immeubles proches et hauts	
		Catégorie 3	
		Îlot fermé bas ou îlot fermé large ou alignement de bâtiments	
		OU	
			
			
			
			

Forte mitoyenneté Peu de façades ensoleillées	Forte mitoyenneté Soleil sur cour dès mars-avril	Mitoyenneté sur deux côtés Ensoleillé toute l'année	Pas de mitoyenneté Ensoleillé toute l'année
Collectif et individuel	Collectif	Collectif et individuel	Individuel
Coefficient d'emprise au sol CES = 90 %	Coefficient d'emprise au sol CES = 85 %	Coefficient d'emprise au sol CES = 30 à 50 %	Coefficient d'emprise au sol CES < 30 %
Densité bâtie = CES * hauteur D = 3,0	D = 5,5	D = 0,7 à 1,4	D = 0,4
Immeubles et maisons du Moyen-âge Immeubles historiques	Immeuble haussmannien immeuble post-haussmannien immeuble HBM immeuble moderne	Immeuble bourgeois immeuble éclectique pavillon ouvrier pavillon de banlieue maison de bourg	Maison rurale villa éclectique maison bourgeoise pavillon de banlieue
			

3.3 Les catégories de matériaux du bâti ancien

3.3.1 La prise en compte de l'inertie thermique et autres grandeurs

Nous avons pu voir parmi les enseignements de la première étude⁴ que se trouvait relevée l'inaptitude des moteurs de calculs réglementaires à prendre en compte l'inertie thermique importante des bâtiments anciens. Dans ce chapitre où nous exposerons l'élaboration d'une typologie des matériaux de l'enveloppe, il n'est pas superflu de commencer par aborder ce phénomène d'inertie thermique. Celui-ci se manifeste dans le bâti ancien sous deux formes principales:

- L'inertie thermique en tant que déphasage :

L'enveloppe du bâtiment est soumise aux variations climatiques extérieures, mais ne va pas transmettre instantanément cette énergie au milieu intérieur. Ce décalage entre sollicitation et réponse peut être caractérisé à l'aide de la grandeur « diffusivité thermique », qui illustre la vitesse avec laquelle le flux de chaleur va se propager à travers la paroi plutôt que se stocker.

- L'inertie thermique en tant que stockage :

Il existe, au sein des bâtiments, des apports internes de chaleur (chauffage, occupants, appareils...), ainsi que des apports solaires reçus par les vitrages puis piégés dans le milieu intérieur. L'enveloppe du bâtiment va capter plus ou moins cette énergie présente à l'intérieur avant de la restituer, plus tard, vers l'environnement intérieur. Cette propension à capter puis restituer l'énergie peut être caractérisée par la grandeur « effusivité thermique ».

Pour évaluer la participation des matériaux anciens à ce phénomène d'inertie, nous pouvons ainsi utiliser trois grandeurs physiques principales:

- La diffusivité thermique,
- l'effusivité thermique,
- le déphasage journalier.

La **diffusivité thermique**, notée a et exprimée en m^2/s , chiffre l'aptitude d'un corps à transmettre la chaleur plutôt qu'à l'absorber. Elle va donc nous permettre de chiffrer la vitesse avec laquelle l'environnement intérieur est affecté par les variations climatiques extérieures. Plus la diffusivité sera élevée, plus vite le bâtiment sera affecté. La diffusivité thermique s'obtient par la formule:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot Cp}$$

⁴ DGUHC/CETE de l'Est/DGCB-LASH/MPF, *Connaissance des bâtiments anciens et économies d'énergie*, rapport de synthèse, août 2007, 71p.

Avec

- λ la conductivité thermique du matériau (W/m.K).
- ρ sa masse volumique (kg/m³).
- C_p sa capacité thermique massique à pression constante (J/kg.K).

L'effusivité thermique, notée b et exprimée en J/(m².K.s^{1/2}), chiffre la quantité d'énergie absorbée par le matériau avant de changer de température.

Si b est élevée, la matière emmagasine beaucoup de chaleur avant de changer de température, chaleur qu'elle restituera ensuite. L'effusivité permet donc de voir si la paroi intérieure est capable de lisser les variations brusques de température intérieure. Un revêtement intérieur à faible effusivité sera très confortable en hiver.

L'effusivité thermique se calcule par la formule:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot C_p}$$

Avec les mêmes grandeurs que précédemment.

Le **déphasage temporel** se note τ et s'exprime en heures (ou secondes). Il permet de chiffrer le temps mis par le matériau pour passer d'un état d'équilibre thermique à un autre. A l'échelle du bâtiment, il permet de prévoir les déphasages dans le temps entre les sollicitations thermiques extérieures à la paroi et l'affection intérieure résultante.

Le déphasage se calcule par la formule:

$$\tau = \frac{e^2}{\pi^2 \cdot a}$$

Avec:

- e l'épaisseur de mise en œuvre du matériau dans la paroi (m).
- a sa diffusivité thermique (m²/s).

A ces trois grandeurs, il convient d'ajouter la résistance thermique et le facteur de résistance à la vapeur d'eau⁵, afin de caractériser d'une part les transferts par conduction thermique et d'autre part les transferts de masse au sein de la paroi.

⁵ Voir norme NF EN 12524, septembre 2000.

La **résistance thermique** se calcule par :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Avec:

- e l'épaisseur de mise en œuvre du matériau dans la paroi (m).
- λ la conductivité thermique du matériau (W/m.K).

Le **facteur de résistance à la vapeur d'eau** se note quant à lui : μ . Il est sans unité et sert à estimer la perméabilité du matériau à la vapeur d'eau, plus il est élevé, moins le matériau est perméable. Il existe en effet deux paramètres pour qualifier les transferts d'eau dans les matériaux : la porosité et la perméabilité⁶ :

-« La porosité est la capacité d'un solide à se laisser pénétrer par un fluide : on parle d'absorption (comme un buvard). Cette capacité d'absorption dépend de l'importance des vides (les porosités) mais elle dépend aussi du fait que ces mêmes vides soient capables de stocker l'eau.

- La perméabilité est la capacité d'un solide à se laisser traverser par un fluide. Ainsi une passoire laisse passer l'eau mais elle ne la retient pas. Une éponge laisse moins bien passer l'eau en revanche elle la retient.

La porosité et la perméabilité dépendent de la composition du bâti rocheux. Une roche dure, compacte, peu fissurée, comme un granite est à la fois peu poreuse et peu perméable. Certains calcaires, même compacts et résistants sont constitués d'une infinité de microporosités : ces roches sont peu perméables mais disposent d'une bonne capacité à emmagasiner de l'eau. En revanche la perméabilité peut croître si les roches sont intensément fissurées. L'argile est une roche qui se comporte comme une roche imperméable. »

NB : D'après les formules précédentes, les grandeurs physiques qu'il « suffit » de réunir pour caractériser précisément chacun des matériaux traditionnels présents dans les bâtiments anciens sont donc:

- la conductivité thermique λ (W/m.K).
- la masse volumique ρ (kg/m³).
- la capacité thermique massique à pression constante C_p (J/kg.K).
- l'épaisseur de mise en œuvre du matériau dans la paroi e (m).
- le facteur de résistance à la vapeur d'eau μ .

⁶ Pech Pierre, Cours de Master2 : Les transferts hydriques des versants aux lits. Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, mars 2006.

3.3.2 Les grandeurs choisies pour établir une typologie thermique des matériaux des parois anciennes

Dans le cadre de la définition d'une typologie thermique des bâtiments anciens en France, nous avons cherché à étudier si des propriétés thermiques communes existaient entre les matériaux constitutifs des parois anciennes.

Fort des constats précédents sur la prise en compte de l'inertie thermique, nous avons retenu **quatre critères classants** pour tâcher de regrouper ces matériaux en grandes catégories: **le déphasage temporel, l'effusivité, la résistance thermique et le facteur de résistance à la vapeur d'eau.**

Le déphasage, mieux que la diffusivité thermique, permet de juger de l'inertie des parois face aux sollicitations extérieures, car cette grandeur, en plus de la diffusivité, comprend l'épaisseur de mise en œuvre traditionnelle du matériau. Nous pourrions ainsi apprécier le comportement thermique en œuvre de la paroi plutôt que celui d'un matériau déconnecté de la réalité constructive. Le paramètre épaisseur devient ainsi particulièrement intéressant lorsque l'on compare les murs anciens aux murs contemporains en béton.

De même, la résistance thermique R a été privilégiée par rapport à la simple grandeur conductivité λ , puisqu'elle comprend l'épaisseur de mise en œuvre sur site. Cette résistance permet de juger des transferts par conduction observables dans la paroi.

La troisième grandeur choisie est l'effusivité thermique, qui nous permet de prendre en compte l'inertie de la paroi face à une sollicitation thermique superficielle, et de juger par là du confort qu'elle procure à l'occupant en hiver ou en été.

La quatrième grandeur retenue est le facteur de résistance à la vapeur d'eau, même si celui-ci confirme le plus souvent la tendance indiquée par la grandeur effusivité, du fait de son lien important avec la masse volumique du matériau.

3.3.3 Elaboration du classement en grandes catégories thermiques

Nous avons considéré les quatre grandeurs (déphasage, effusivité, résistance thermique, résistance à la vapeur d'eau) sur un pied d'égalité, afin de rendre compte autant des phénomènes de conduction que d'inertie face à l'intérieur ou l'extérieur. Nous avons d'abord recensé une liste matériaux traditionnels les plus courants dans les bâtiments anciens, à partir de l'étude typologique architecturale de Pascale Graulière⁷ et de nombreux documents fournis par l'association Maisons Paysannes de France. (NB : Au stade de la typologie, nous n'avons pas pris en compte la question des liants et des enduits, qui jouent un rôle thermique important qui sera évalué dans la tâche 2).

Puis nous avons réuni à partir de plusieurs sources documentaires⁸ les valeurs de nos trois grandeurs thermiques pour chacun de ces matériaux. Chaque source documentaire est à prendre avec certaines précautions, mais celles-ci peuvent être considérées comme fiables dès lors que l'énoncé des grandeurs thermiques est accompagné de la masse volumique du matériau considéré (toutes les valeurs thermiques étant étroitement conditionnées par la densité du matériau).

⁷ GRAULIERE Pascale, *Typologie des bâtiments d'habitation en France*, rapport de synthèse, 2007, 152 p.

⁸ Voir bibliographie.

Après traitement croisé de chaque donnée thermique pour chaque matériau obtenons un tableau général (cf. page suivante) où se dessinent quatre grandes catégories thermiques :

1) Les roches denses (voire très denses) et conductivité moyenne (voire forte): granit, basalte, gneiss, grès quartzeux, calcaire extra-dur, ardoise et schiste.

Elles présentent toutes une épaisseur de mise en œuvre moyenne de 50 cm et une forte conductivité, du fait de leur densité importante. Leur capacité de stockage/déstockage est très bonne: une grande conductivité et une grande capacité thermique volumique font que ces roches vont rapidement conduire l'énergie, la capter en grande quantité, puis la restituer tout aussi facilement. En revanche, leur diffusivité étant relativement forte, le déphasage par rapport aux sollicitations extérieures ne sera « pas très important », par rapport aux autres matériaux traditionnels, mais trois fois plus important qu'avec des parpaings nus ou du béton plein. Leur grande effusivité sera profitable l'été à condition de décharger les apports de chaleur par aération nocturne.

2) Les matériaux de densité moyenne et de faible conductivité : calcaire tendre, brique de terre cuite pleine.

Ces deux matériaux permettent une bonne performance en thermique d'hiver: une résistance thermique importante, une diffusivité pas trop élevée et une effusivité thermique encore intéressante. Le confort d'été sera cependant moindre qu'avec les deux catégories précédentes, même si la faible diffusivité permet de se mettre à l'abri des phénomènes thermiques extrêmes.

3) Les terres crues et roches extra-tendres : pisé, adobes, bauge, calcaire extra-tendre (tuffeau).

Leur faible diffusivité permet de se mettre à l'abri des températures extérieures extrêmes prolongées (canicule ou grand froid) mais leur capacité de stockage/déstockage est moins bonne que les autres catégories (effusivité faible). Leur avantage est de présenter une bonne résistance thermique et une mise à température ambiante rapide des parois en hiver.

Ci-dessous est présenté un inventaire illustratif de la diversité des épaisseurs de mise en œuvre des parois en terre crue, qui tourne le plus souvent autour des 50 cm :

- a. Le pisé: 50 cm d'épaisseur (La terre crue, Bruno Pignal⁹, p°25)
- b. La bauge: 50 à 60 cm pour une maison de plain-pied, jusqu'à 70 à 80 cm pour une maison de 2 niveaux. (Bruno Pignal, p°51)
- c. L'adobe: 29 à 45 cm (Champagne), 20 à 40 cm (Toulouse) 30 à 40 cm (sud de la France), 28 à 45 (BTC). (Bruno Pignal, p°69-71)
- d. Le torchis: de 8 à 15 cm (Bruno Pignal, p°78)

4) Les matériaux de faible densité et conductivité: pierre poreuse naturelle, briques creuses, bois et torchis.

Pour les roches poreuses et les briques creuses, leur très bonne résistance thermique et leur grand déphasage sont avantageux. En revanche, ces matériaux présentent très peu d'inertie en tant que stockage, et récupéreront donc peu les apports gratuits du climat.

⁹ PIGNAL Bruno, Terre crue, techniques de construction et de restauration, Paris, Ed. Eyrolles, Collection Au pied du mur, 2005, 120p.

Pour le torchis, il est difficile de généraliser, étant donné d'une part le caractère divers des propriétés thermiques mesurables (composition du torchis variable selon les régions) et d'autre part l'importance du mode constructif: le schéma de l'enveloppe passe d'une succession de couches verticales de l'extérieur vers l'intérieur de la paroi à un assemblage côte-à-côte de l'ossature bois et du remplissage torchis. Les données disponibles sont donc à prendre avec des pincettes, même si l'on peut avancer que le caractère peu dense du matériau fournit une bonne résistance thermique (malgré une faible épaisseur) mais une faible inertie de stockage.

3.3.4 Les catégories de matériaux obtenues

- 1) **Les roches denses (voire très denses)** : granite, basalte et gneiss + grès quartzeux, calcaire extra-dur, ardoise et schiste.
- 2) **Les matériaux de densité moyenne** : calcaire tendre, brique de terre cuite pleine.
- 3) **Les terres crues et roches extra-tendres** : pisé, adobes, bauge, calcaire extra-tendre (tuffeau).
- 4) **Les matériaux de faible densité**: pierre poreuse naturelle, meulière, bois et torchis.

Les deux tableaux ci-dessous résument les 4 catégories obtenues et leurs propriétés thermiques.

Le premier tableau liste les valeurs des 5 grandeurs de base (conductivité thermique, masse volumique, capacité thermique massique, épaisseur de mise en œuvre et facteur de résistance à la vapeur d'eau) qui servent ensuite à calculer les valeurs des grandeurs classantes (diffusivité, effusivité, déphasage, résistance thermique).

Ces valeurs classantes se trouvant dans le second tableau.

Les propriétés thermiques du béton ont été rajoutées à titre comparatif.

MATERIAUX	Masse volumique ρ kg/m ³	Conductivité thermique λ W/m.K	Capacité thermique massique Cp J/kg.K	Facteur de résistance à la vapeur d'eau : μ sec sans unité	Epaisseur de mise en œuvre « e » cm
Granit	2500-2700	2,8	1000	10000	50
Basalte et gneiss	2700-3000	3,5	1000	10000	50
Marbre	2800	3,5	1000	10000	50
Grès durs	2600	2,3	1000	40	50
Calcaire extra dur	2600	2,3	1000	250	50
Ardoise et schiste	2000-2800	2,2	1000	1000	50
Brique terre cuite pleine	2000	1	800	40	50
Calcaire tendre	1800	1,1	1000	40	50
Terre crue (adobe)	1600	0,8	900	10	50
Calcaire extra-tendre	1600	0,85	1000	30	50
pierre poreuse naturelle, lave	1600	0,55	1000	20	50
Bois	700	0,18	1600	200	20
Béton moyen	1800	1,15	1000	100	20
Béton haute densité	2400	2	1000	130	20

Tableau 1 : Valeurs des 5 grandeurs thermiques de base pour chaque matériau

MATERIAUX	Diffusivité thermique $a = \lambda / \rho \cdot Cp$ $\cdot 10^{-3}$ m ² /h	Effusivité thermique $b = (\lambda \cdot \rho \cdot Cp)^{1/2}$ J/m ² .K.s ^{1/2}	Résistance thermique $R = e / \lambda$ m ² .K/W	Déphasage temporel $T = e / (\pi \cdot a)$ heures	Facteur de résistance à la vapeur d'eau : μ sec sans unité
Granit	3,9	2698	0,18	6h30	10000
Basalte et gneiss	4,4	3158	0,14	5h30	10000
Marbre	4,5	3130	0,14	5h30	10000
Grès durs	3,2	2445	0,22	8h	40
Calcaire extra dur	3,2	2445	0,22	8h	250
Ardoise et schiste	3,3	2298	0,23	7h30	1000
Brique terre cuite pleine	2,2	1265	0,5	11h30	40
Calcaire tendre	2,2	1407	0,45	11h30	40
Terre crue (adobe)	1,9	1100	0,63	13h20	10
Calcaire extra-tendre	1,9	1160	0,59	13h20	30
pierre poreuse naturelle, lave	1,2	938	0,91	21h10	20
Bois	0,58	449	1,11	7h	200
Béton moyen	2,3	1438	0,17	1h45	100
Béton haute densité	3	2190	0,1	1h20	130

Tableau 2 : Les propriétés thermiques classantes de chaque matériau

Il est à noter que cette classification thermique est conforme à l'origine géologique des différentes roches présentes:

- Les roches magmatiques (granit, basaltes) sont dans la catégorie 1, tout comme les roches métamorphiques les plus denses (gneiss et marbre).
- Les terres crues qui présentent un profil thermique homogène malgré les variantes granulométriques sont regroupées en catégorie 4.
- Seuls les calcaires sont très divers selon les régions et peuvent se retrouver de la catégorie 2 à la catégorie 4 selon leur densité (d'extra-dur à extra-tendre).

3.3.5 Bref comparatif des ces matériaux avec les parois en béton

Les données thermiques pour les blocs bétons et le béton haute densité ont été incorporées dans le tableau à des fins comparatives. Ceci permet de voir que même les matériaux anciens les moins denses présentent un meilleur déphasage que le béton, du fait de la différence dans l'épaisseur de mise en œuvre (50 cm contre 20 cm pour un bloc béton). Face aux autres matériaux anciens, le béton a une capacité de stockage moyenne, qui s'apparente à celle du calcaire tendre (effusivité moyenne).

Il peut être rajouté à cela, qu'une isolation par l'intérieur des murs en béton coupera encore plus l'occupant de l'inertie de ces parois, comparé aux parois anciennes qui elles ne sont pas isolées.

En plus de la nature des matériaux, l'épaisseur de mise en œuvre joue un rôle à part entière dans les propriétés thermiques des parois anciennes: elle apporte un surplus de déphasage face aux sollicitations extérieures, ainsi qu'un avantage certain en termes d'isolation.

3.4 Les catégories de modes constructifs du bâti ancien

3.4.1 Aborder les modes constructifs sous l'angle de l'inertie

L'objectif, dans cette partie, était de parvenir à définir des grandes classes thermiques à partir de la multitude de modes constructifs rencontrés dans le bâti ancien. Le principe retenu consiste à convertir des combinaisons de parois et une organisation intérieure de la construction en données chiffrées permettant un classement typologique.

Un choix a été fait : étant donné le rôle primordial joué par l'inertie thermique dans le comportement énergétique du bâti ancien, c'est sous l'angle de cette inertie que les modes constructifs ont été analysés, puis classés.

Dès lors, il fallait inventorier les différentes combinaisons de parois existantes dans le bâti ancien (de manière générale à ce stade), puis les analyser pour dégager les grandes classes d'inertie de notre typologie thermique.

Nous avons recherché des outils existants permettant le calcul de l'inertie des parois puis le chiffrage de leur combinaison. Notre choix s'est porté sur deux méthodes complémentaires :

- La norme européenne NF EN ISO 13786 de janvier 2000 : « *performance thermique des composants de bâtiment _ Caractéristiques thermiques dynamiques_ Méthodes de calcul* ». Annexe A.
- Les règles Th-I de caractérisation de l'inertie thermique des bâtiments, issues de la réglementation thermique 2000.

La norme NF EN ISO 13786 permet de calculer les capacités thermiques surfaciques de chaque paroi, qui sont ensuite utilisées dans les règles Th-I pour déduire la classe d'inertie du bâtiment.

On pourrait objecter que l'utilisation des règles RT2000 n'est pas du tout appropriée au cas des bâtiments anciens, comme cela a pu être démontré lors de la précédente étude¹⁰. Seulement, la remise en question de ces règles reposait essentiellement sur les résultats finaux de consommation énergétique obtenus sur le moteur de calcul RT2000, et non sur la manière dont l'inertie du bâtiment y est estimée.

Ce qui nous intéresse pour la partie typologique est de pouvoir estimer l'inertie globale d'un bâtiment en considérant la composition de ses parois. A ce titre, les règles Th-I représentent une échelle de calcul adaptée pour la tâche 1. C'est ensuite le futur logiciel BATAN qui devra aller plus loin dans le calcul des échanges dynamiques paroi par paroi. A chaque tâche son échelle.

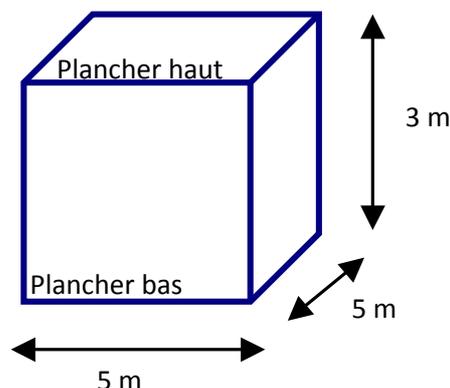
Pour la tâche 1, la rigueur de la norme NF EN ISO 13786 alliée à l'adaptation des règles Th-I 2000 au cas spécifique des bâtiments anciens apparaît comme une échelle appropriée.

Nous parlons ici d'adaptation des règles Th-I, car les parois anciennes dépassent bien souvent les ordres de grandeurs utilisés dans la RT 2000, du fait de leur très forte épaisseur et de leur grande capacité thermique. Démarche d'extrapolation que nous allons présenter maintenant en détails.

¹⁰ DGUHC/CETE de l'Est/DGCB-LASH/MPF, *Connaissance des bâtiments anciens et économies d'énergie*, rapport de synthèse, août 2007, 71p.

3.4.2 Présentation du modèle et des équations utilisées

Pour étudier les différentes combinaisons de parois, nous avons utilisé un modèle simple de pièce de vie de base carrée de 5 m x 5 m et de 3 m de hauteur. L'utilisation de ce module de base permet de simuler aisément des maisons avec ou sans étage.



Module de base pour l'analyse des combinaisons de paroi anciennes

A l'intérieur de ce module, nous avons fait varier les combinaisons des trois types de parois rencontrées dans toute maison : plancher bas, plancher haut et les 4 parois verticales. Les matériaux testés pour chacune de ces parois ont été les suivants :

Parois verticales: 50 cm d'épaisseur sauf bois et torchis : 20 cm	Plancher bas 15 cm d'épaisseur	Plancher haut 15 cm d'épaisseur
Granit	Bois simple	Bois simple
Basalte ou gneiss	Dalles en granit	Bois + hourdis à la terre ou plâtras...
Grès dur	Dalles en calcaire extra-dur	
Calcaire extra-dur	Dalles de terre cuite	
Schiste	Terre crue	
Briques de terre cuite pleines		
Calcaire tendre		
Terre crue		
Calcaire extra-tendre		
Pierre poreuse naturelle		
20 cm de bois et torchis		

Tableau 4 : les différents matériaux testés dans les combinaisons de structures

Deux types d'inertie sont définis dans les règles Th-I : l'inertie quotidienne et l'inertie séquentielle :

- L'inertie quotidienne concerne les phénomènes se déroulant à l'échelle de la journée. Elle permet l'utilisation des apports de chaleur journaliers, qu'ils soient internes, solaires, ou pertes récupérables des systèmes. La période physique utilisée dans les calculs est de 24 h.
- L'inertie séquentielle permet la prise en compte des phénomènes dynamiques lors des longues séquences de chaleur en été ou de froid en hiver. L'onde prise en compte dans les calculs a une période de 12 jours.

Les paramètres utilisés pour les calculs sont les suivants :

- X_i : capacité thermique surfacique quotidienne des parois pour une période donnée (24h dans notre cas d'étude) ($J/m^2.K$)
- X_{is} : capacité thermique surfacique séquentielle des parois pour une période donnée (12 jours dans notre cas d'étude) ($J/m^2.K$)
- A_i : les surfaces de parois (m^2)
- A_{niv} : la surface utile du niveau étudié (m^2)
- C_{ms} : capacité thermique séquentielle de la zone pour un période de 24h (kJ/K)
- C_m : capacité thermique quotidienne de la zone pour un période de 24h (kJ/K)
- A_m : surface d'échange équivalent des parois lourdes avec l'ambiance (m^2)

Pour l'inertie quotidienne, les deux dernières grandeurs se calculent de la manière suivante, selon les règles Th-I (Annexe 1 : « détermination de l'inertie quotidienne par calcul ») :

$$C_m = \sum A_i \cdot X_i + 20 \cdot A_{niv}$$

$$A_m = \frac{\sum (A_i \cdot X_i)^2}{\sum A_i \cdot X_i^2}$$

Le calcul de la capacité thermique surfacique X_i s'effectue pour chaque paroi selon l'annexe A de la norme NF EN ISO 13786. On utilise l'approximation du milieu semi-infini, car, pour les matériaux anciens considérés, on se situe dans le cas où la première couche du composant a une épaisseur supérieure au double de la profondeur de pénétration. C'est à dire que sur 24h, les murs sont tellement épais que l'onde ne parviendra pénétrer qu'à une certaine profondeur qui vaut moins de la moitié du mur.

La profondeur de pénétration périodique de l'onde thermique dans un matériau se note δ et s'exprime en mètres selon la formule suivante :

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda \cdot T}{\pi \cdot \rho \cdot c}}$$

La capacité thermique surfacique quotidienne X_i vaut alors :

$$X_i = \frac{\delta \cdot \rho \cdot c}{\sqrt{2}}$$

Pour l'inertie séquentielle, seul le calcul de la capacité thermique séquentielle C_{ms} de la zone est nécessaire, avec une période de 12 jours cette fois :

$$C_{ms} = \sum A_i \cdot X_{si} + 20 \cdot A_{niv}$$

La capacité thermique surfacique séquentielle X_{si} des parois se calcule en utilisant cette fois la méthode de l'épaisseur efficace : l'onde séquentielle dont la période est de 12 jours va pénétrer plus avant dans la paroi, donc l'épaisseur à considérer dans le calcul est une épaisseur efficace qui vaut la moitié de l'épaisseur e de la paroi, soit 25 cm dans la plupart de nos cas.

La formule de X_{si} est ainsi la suivante :

$$X_i = \frac{\rho \cdot c \cdot e}{2}$$

Abordons à présent les résultats obtenus pour chaque matériau, ainsi que les adaptations des règles Th-I qui ont dûes être opérées pour les adapter au bâti ancien.

3.4.3 Le classement des matériaux par catégories d'inertie

Sur le tableau ci-dessous, nous pouvons constater (colonnes de gauche) que les plages habituelles de valeurs de la RT2000 sont dépassées par les matériaux anciens les plus lourds. En effet, la référence la plus lourde dans les règles Th-I est une paroi de béton dense de 20 cm, dont la capacité X_m vaut 170 kJ/m².K, contre 270 pour le schiste par exemple !

En conséquence, les plages de valeurs RT2000 ont été extrapolées pour le bâti ancien, avec la « création » de la classe très lourde, qui concerne tous les matériaux de la 1^{ère} catégorie de notre typologie matériaux (granit, basalte, grès, calcaire extra-dur...)

MATERIAUX	Capacité thermique surfacique quotidienne kJ/m ² .K	Echelle RT2000	Plages de valeur de Xm kJ/m ² .K	Capacité thermique surfacique quotidienne kJ/m ² .K	Echelle adaptée au bâti ancien	Plages de valeur de Xm kJ/m ² .K
Marbre	367	Très léger	< 60	367	Très léger	< 80
Basalte et gneiss	364	Léger	60 à 80	364	Léger	80 à 100
Granit	316	Moyen	80 à 140	316	Moyen	100 à 140
Grès durs	287	Lourd	> 140	287	Lourd	140 à 200
Calcaire extra dur	287			287	Très lourd	> 200
Ardoise et schiste	270			270		
Béton dense	170			170		
Calcaire tendre	165			165		
Brique terre cuite pleine	148			148		
Calcaire extra-tendre	137			137		
Béton moyen	127			127		
Terre crue	126			126		
pierre poreuse naturelle	110			110		
Bois moyen	38			38		

Tableau 5 : classement indicatif des inerties de matériaux, de la RT2000 à son extrapolation

Ce classement des matériaux de très léger à très lourd n'a toutefois qu'une **valeur indicative**, car c'est la combinaison de ces différents matériaux dans notre module type qui nous intéresse avant tout. Nous avons donc combiné successivement chaque type de parois verticales avec nos différents types de planchers, puis calculé Cm et Am pour ces combinaisons.

Exemple d'une partie des combinaisons testées pour des parois en granit :

- *Parois granit + plancher bas en bois simple+ plancher haut en bois simple*
- *Parois granit + plancher bas en granit+ plancher haut en bois simple*
- *Parois granit + plancher bas en terre cuite+ plancher haut en bois simple*
- *Parois granit + plancher bas en terre crue+ plancher haut en bois simple*
- *Parois granit + plancher bas en bois simple+ plancher haut bois hourdis*

Une fois les valeurs de Cm et Am obtenues pour chaque combinaison, nous avons utilisé le tableau croisé de la RT2000 : Am/Aniv croisé avec Cm/Aniv, avec là encore une extrapolation des classes habituellement utilisées pour pouvoir appliquer le tableau au bâti ancien. (Voir en annexe 2 le tableau RT2000 et le tableau adapté).

Nous allons exposer maintenant les classes d'inertie quotidienne et séquentielle obtenues par ces combinaisons de parois anciennes, puis en tirer une typologie générale des modes constructifs anciens.

3.4.4 Les classes d'inertie quotidiennes obtenues dans le bâti ancien :

Les résultats obtenus en inertie quotidienne en fonction des combinaisons sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Classe d'inertie quotidienne de la construction	Combinaisons possibles		
	Parois	Plancher bas	Plancher haut
Très lourde	Pierre Brique terre cuite Terre crue	Dalles de pierre	Bois
		Bois sur hourdis ou sur voûte en briques	
		Bois sur hourdis ou sur voûte en briques	Bois sur hourdis ou sur voûte en briques
	Bois et torchis	Bois sur hourdis ou sur voûte en briques	Bois sur hourdis ou sur voûte en briques
Lourde	Pierre Brique terre cuite Terre crue	Bois	Bois
	Bois et torchis	Bois sur hourdis ou sur voûte en briques	
Moyenne	Bois et torchis	Dalles de pierre	Bois
		Bois	

Tableau 6 : les différentes classes d'inertie quotidienne obtenues en combinant les parois anciennes

Type de paroi ou plancher	Inertie de la paroi
Pierre Brique terre cuite Terre crue	Très lourde à lourde
Bois sur hourdis ou sur voûte en briques	Moyenne
Bois Bois et torchis	Légère

Tableau 7 : Légende des inerties quotidiennes par type de parois et planchers

D'après ce tableau de synthèse, nous pouvons tirer deux principes quant à l'inertie quotidienne dans les bâtiments anciens :

- Principe des parois très lourdes:

Si les parois sont très lourdes, alors la classe d'inertie du bâtiment sera au moins lourde. (Car la composition des parois met en jeu souvent plus de surface que plancher et plafond réunis), et pour être très lourd, le bâtiment doit en plus avoir un plancher au moins lourd.

- Principe des associations homogènes :

Une trop forte hétérogénéité des inerties de chaque matériau de la structure donne une inertie moins élevée qu'une association de matériaux aux inerties plus homogènes:

Exemple : Léger+Très Lourd+ Léger = inertie moyenne

Alors que Léger+Lourd+ Léger = inertie lourde

Pour les bâtiments qui comprennent en plus des refends, les mêmes principes s'appliquent, tout en sachant que les refends favoriseront très fortement l'inertie, puisqu'ils rajoutent de la surface d'échange et de stockage en conservant la même surface au sol pour la zone. De même, du mobilier lourd peut contribuer à l'inertie globale du bâtiment.

Pour les bâtiments qui comprennent plusieurs niveaux, l'inertie du bâtiment est celle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne. Il correspond en général au niveau sous toiture.

Ainsi, une maison d'un étage dont les parois et le plancher bas sont en pierres verra son inertie passer de la classe très lourde à lourde si son plancher intermédiaire est en bois simple (car l'étage sera seulement de la classe lourde).

Par conséquent, pour l'inertie quotidienne des constructions anciennes, le tableau de synthèse suivant peut être proposé:

Type de bâtiment	Classe d'inertie quotidienne
Maison en pierre ou briques ou terre crue sans étage avec plancher pierre ou hourdis	Très lourde
maison en pierre ou briques avec étage au plancher bois	Lourde
Maison à colombages et plancher hourdis sans étage	Lourde
maison à colombages sans étage sur plancher bois simple ou sur dalle de pierres	Moyenne
maison à colombages avec étage au plancher bois	Moyenne

Tableau 8: les différents cas d'inerties quotidiennes que l'on peut rencontrer dans le bâti ancien

3.4.5 Les classes d'inertie séquentielles obtenues dans le bâti ancien :

Les résultats obtenus en inertie séquentielle en fonction des combinaisons sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Classe d'inertie séquentielle de la construction	Combinaisons possibles		
	Parois	Plancher bas	Plancher haut
Lourde	Pierre Brique terre cuite Terre crue	Dalles de pierre	Bois
		Bois sur hourdis ou sur voûte en briques	
		Bois	
Moyenne	Bois et torchis	Bois sur hourdis ou sur voûte en briques	Bois
Légère	Bois et torchis	Bois	Bois

Tableau 9 : les différentes classes d'inertie séquentielle obtenues en combinant les parois anciennes

Type de paroi ou plancher	Inertie de la paroi
Pierre Brique terre cuite Terre crue	Lourde
Bois sur hourdis ou sur voûte en briques	Moyenne
Bois Bois et torchis	Légère

Tableau 10 : Légende des inerties séquentielles par type de parois et planchers

Si les parois sont lourdes, alors la classe d'inertie du bâtiment sera lourde, quelle que soit la composition des planchers hauts et bas.

Les cloisons intérieures et le mobilier ne contribuent qu'à l'inertie quotidienne (du fait de leur profondeur et de leur localisation) et ne rentrent donc pas en compte dans les calculs séquentiels.

Pour les bâtiments qui comprennent plusieurs niveaux, l'inertie du bâtiment est encore une fois celle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne. Ainsi, une maison d'un étage dont les parois sont en torchis et le plancher bas en bois hourdis verra son inertie passer de la classe moyenne à légère si le plancher de son premier niveau est en bois simple (torchis+bois+bois = léger).

Par conséquent, pour les constructions anciennes, le tableau suivant peut être proposé en inertie séquentielle:

Type de bâtiment	Classe d'inertie séquentielle
Maison en pierre ou briques ou terre crue sans étage	Lourde
Maison en pierre ou briques avec étage au plancher bois	
Maison à colombages et plancher hourdis sans étage	Moyenne
Maison à colombages sur plancher bois simple sans étage	Légère
Maison à colombages avec étage au plancher bois	

Tableau 11 : les différents cas d'inerties séquentielles que l'on peut rencontrer dans le bâti ancien

Afin de ne pas multiplier inutilement le nombre de catégories de modes constructifs, il est opportun de regrouper les classes moyenne et légère du tableau ci-dessus, c'est à dire que l'on crée une classe d'inertie séquentielle légère contenant toutes les maisons à colombages en général.

3.4.6 Les catégories de modes constructifs obtenues

Les 3 catégories de modes constructifs définies dans cette typologie sont les suivantes :

- A : bâtiment à inertie très lourde
- B : bâtiment à inertie lourde
- C : bâtiment à inertie moyenne (bâtiments à colombages)

Le tableau typologique final pour les modes constructifs est présenté en page suivante. Il est obtenu en croisant les tableaux des inerties séquentielle et quotidienne présentés précédemment.

Catégorie		Classe d'inertie quotidienne	Classe d'inertie séquentielle	Murs	Plancher bas	Plancher haut	Type de bâtiment
A	Très lourd	Très lourde	Lourde	Pierre, Brique, Terre crue	Pierre, Hourdis, remplissage	Tous types	Bâtiment sans étage avec plancher bas lourd
							Bâtiment avec étage et plancher courant lourd
							Bâtiment haussmannien au plancher courant lourd
B	Lourd	Lourde	Moyenne	Pierre, Brique, Terre crue	Bois	Bois	Bâtiment avec étage et plancher courant léger (bois)
C	Moyen	Moyenne	Légère	Torchis	Tous types	Tous types	Bâtiment à colombages

Tableau 12 : typologie des 3 grandes classes d'inertie rencontrées dans le bâti ancien

- Ainsi, la plupart des maisons paysannes (sans étage) se retrouvent dans la catégorie A, avec également les immeubles haussmanniens.
- Les maisons bourgeoises, maisons de ville et immeubles dont le plancher intermédiaire est en bois simple se trouvent dans la catégorie intermédiaire B.
- Les maisons en torchis et colombages se situent toutes dans la dernière catégorie, la plus légère du point de vue mode constructif.

3.5 La typologie thermique proposée

Nous avons pu voir en détail, dans les parties précédentes, comment nos trois grands systèmes classants (implantation, enveloppe et modes constructifs) se divisaient en sous-catégories thermiques.

En les combinant et en les croisant avec la réalité construite, nous constatons que ces sous-catégories se recoupent en certains points, plus qu'elles ne se démultiplient. Par exemple, le type d'implantation détermine généralement la nature du mode constructif:

- Les îlots fermés de centre anciens comprennent des bâtiments à étages et en matériaux lourds ou à colombages.
- les îlots haussmanniens comprennent des bâtiments exclusivement à étages et en matériaux lourds.
- Les maisons rurales isolées seront les seuls bâtiments sans étage et présenteront des inerties lourdes à très lourdes.
- Le mode constructif « inertie moyenne » comprendra exclusivement des bâtiments à colombages et torchis.

Le croisement des différentes entrées et des remontées de terrain aboutit à la matrice située sur la page suivante.

La matrice contient 12 cases colorées qui symbolisent les 12 principaux types thermiques selon lesquels nous pouvons classer le bâti ancien.

4 SÉLECTION D'UN PANEL « RESTREINT » DE BÂTIMENTS À INSTRUMENTER

4.1 La démarche de sélection

4.1.1 Les organismes contactés

Nous avons travaillé tout au long de l'année avec Maisons Paysannes de France (MPF) et, ensuite, avec l'Association Nationale des Villes et Pays d'Art et d'Histoire (ANVPAH) afin de trouver des bâtiments volontaires pour intégrer le panel.

4.1.2 Les critères de sélection du panel

Des critères de sélection ont été définis avant le lancement de la recherche du panel restreint de bâtiments. Notamment, concernant des systèmes non abordés dans la typologie mais qu'il faut prendre en compte lors de la sélection du panel si l'on veut réussir l'instrumentation (mode de chauffage, occupation...). Les critères majeurs auxquels nous avons abouti sont les suivants :

- Toutes les cases de la typologie doivent être représentées.
- Les bâtiments à retenir n'ont pas subi de modification importante (pas d'isolation ou d'enduits hydrofuges).
- Les bâtiments à retenir sont occupés de façon permanente (non saisonnière).
- Les bâtiments à retenir de façon préférentielle sont ceux dont les données constructives et techniques disponibles sont précises.

Concernant le mode de chauffage, les possibilités techniques actuelles de suivi des consommations nous ont amené à définir les critères suivants :

- Les bâtiments à retenir prioritairement sont ceux qui disposent déjà de compteurs de consommations par énergie et par usage;
- les bâtiments collectifs à chauffage collectif sans comptage individuel sont à exclure ;
- les maisons à chauffage électrique dont l'installation est trop vétuste sont à exclure (les compteurs que l'on peut poser nécessitent une installation récente) ;
- les maisons chauffées au bois sont à éviter (le suivi de la consommation est plus difficile).

Vinrent ensuite des critères plus secondaires pour le choix du panel, mais permettant de contrôler que l'on restait bien fidèle à la typologie et aux statistiques réelles du parc :

- Que la représentativité géographique soit équilibrée.
- Qu'au sein de chaque catégorie de matériau, la répartition soit équitable.

4.1.3 Les fiches de renseignements demandés

Des fiches de renseignements ont été envoyées aux adhérents de ces deux associations afin de recueillir des informations sur des bâtiments potentiellement instrumentables et volontaires pour le projet BATAN.

Nous avons obtenus des retours d'informations sur 68 bâtiments, dont 53 en milieu plutôt rural.

4.2 Le panel de bâtiments sélectionnés

3 types de bâtiments ont été identifiés dans le panel restreint :

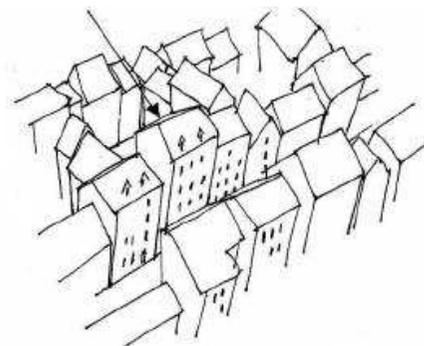
- Les immeubles collectifs (IC): 2 logements instrumentés à chaque fois.
- Les maisons partagées (MP): par exemple, 2 logements accolés. 2 logements instrumentés à chaque fois.
- Les maisons individuelles (MI): 1 seule instrumentation.

Sur les 14 bâtiments du panel final, on dénombre :

- 5 immeubles collectifs (3 en centre ancien et 2 immeubles haussmanniens),
- 2 maisons partagées (une entre 1 logement et un magasin, une sous forme de 2 logements accolés verticalement)
- 7 maisons individuelles.

Présentons maintenant sous forme de fiches synthétiques les 14 bâtiments retenus pour le panel restreint.

Catégorie d'implantation n°1 : Ilots fermés denses, centres anciens



Immeuble ancien en pierre coquillée, Bayonne (64)



Adresse	6 Place Pasteur, 64100, BAYONNE		
Propriétaire ou locataire	Scoffier Emmanuel et Marmouyet Jean-Pierre		
Epoque de construction	XIX ^{ème} siècle		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	I	B	1
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Collectif		
Nombre de niveaux	R+3+combles vides		
Niveaux concernés	1 ^{er} et 2 ^{ème} étage		
Matériaux du mur	Pierre calcaire coquillière d'Angoulême et encadrements en Bidache		
Mode de chauffage	1 électrique (clim air/air) et 1 au gaz		
Production ECS	1 électrique et 1 au gaz		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Sur 2 côtés		

Maison dans le centre ville ancien de Bollene (84)



Adresse	Route de Mondragon 84500 BOLLENE		
Propriétaire ou locataire	Barreau Jean Marc		
Epoque de construction	XVIIIème et XIXème siècle		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	I	B	2
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Individuelle		
Nombre de niveaux Niveaux concernés	R+2		
Matériaux du mur	Calcaire tendre (50 cm)		
Mode de chauffage	Gaz		
Production ECS	Gaz		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Sur 2 côtés		

Immeuble ancien en moellons, torchis et colombages, Bayonne (64)



Adresse	8 rue Marengo 64100 BAYONNE		
Propriétaire ou locataire	Mme Etcheverry et M. Lucugaray		
Epoque de construction	XIXème		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	I	B	4 et 1
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Collectif		
Nombre de niveaux	R+4+grenier habité		
Niveaux concernés	2 ^{ème} et 3 ^{ème} étages		
Matériaux du mur	Colombages bois et torchis (sur rue) Moellon de Bidache (sur cour)		
Mode de chauffage	Convecteurs électriques pour les deux		
Production ECS	électrique		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Sur 2 côtés		

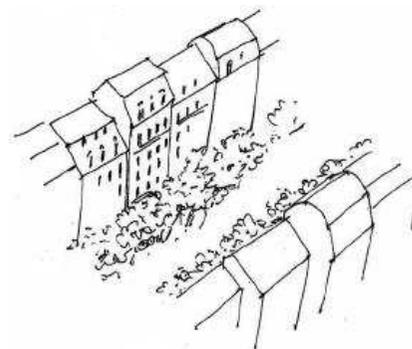
Immeuble ancien en torchis et colombages, Bayonne (64)



Adresse	15 rue Vieille Boucherie, 64100 BAYONNE		
Propriétaire ou locataire	Mme Favier et Mme Dendaletche		
Epoque de construction	XIX ^{ème}		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	I	C	4
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Collectif		
Nombre de niveaux Niveaux concernés	R+5+combles vides 2 ^{ème} et 4 ^{ème} étages		
Matériaux du mur	Colombages remplis de torchis + moellons en soubassement		
Mode de chauffage	Convecteurs électriques		
Production ECS	Gaz		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Sur 2 côtés		

Catégorie d'implantation n°2 :

Ilots haussmanniens, immeubles proches et hauts



Immeuble haussmannien en pierres, Paris (XVIème arrondissement)



Adresse	48 Boulevard Emile Augier 75116 PARIS		
Propriétaire ou locataire	Mme Régnier et M. Maduz		
Epoque de construction	Début XXème		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	II	A	1
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Collectif		
Nombre de niveaux Niveaux concernés	R+5+grenier habité 2 ^{ème} et 5 ^{ème} étages		
Matériaux du mur	Pierre calcaire extra-dure		
Mode de chauffage	1 à l'électricité et 1 au gaz		
Production ECS	1 à l'électricité et 1 au gaz		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Sur 2 côtés		

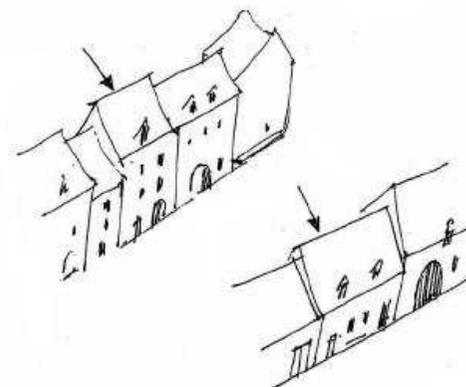
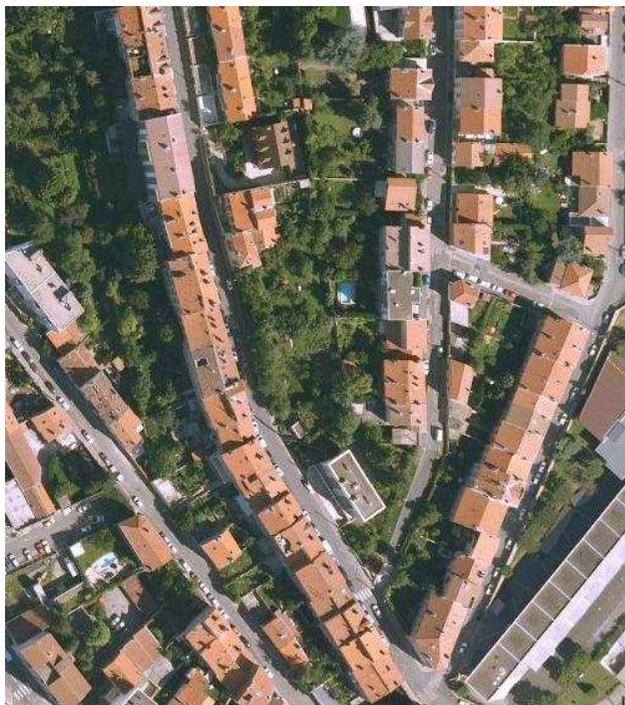
Immeuble haussmannien en briques et pierres, Paris (XIVème arrondissement)



Adresse	34 Rue Bézout 75014 PARIS		
Propriétaire ou locataire	Mme Roger		
Epoque de construction	1918		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	II	A	2
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Collectif		
Nombre de niveaux	R+5+grenier habité		
Niveaux concernés	5 ^{ème} étage		
Matériaux du mur	Briques de terre cuite et calcaire extra-dur		
Mode de chauffage	1 à l'électricité et 1 au gaz		
Production ECS	1 à l'électricité et 1 au gaz		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Sur 2 côtés		

Catégorie d'implantation n°3 :

Ilots fermés bas ou ouverts, ou alignements de bâtiments mitoyens



Maison de ville bretonne en granit, Concarneau (29)



Adresse	9 rue Duguesclin, 29900 CONCARNEAU		
Propriétaire ou locataire	M. et Mme Bonde-Maurage		
Epoque de construction	XVIIIème		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	III	B	1
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Individuel		
Nombre de niveaux	R+1+grenier habité		
Matériaux du mur	Granit		
Mode de chauffage	Tout Bois : poêle bois et cheminée à foyer ouvert		
Production ECS	Chauffe-eau électrique		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Maison très proche sur 1 côté		

Maison de ville en calcaire, Bar-le-Duc (55)



Adresse	27 Rue des Ducs de Bar 55029 BAR-LE-DUC		
Propriétaire ou locataire	Georges Dumenil		
Epoque de construction	XIXème		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	III	B	2
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Partagée horizontalement entre le commerce du RDC et le logement du 1 ^{er} étage		
Nombre de niveaux Niveaux concernés	R+1+combles vides		
Matériaux du mur	Calcaire tendre		
Mode de chauffage	Electrique au RDC et gaz à l'étage		
Production ECS	Electrique partout		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Sur 2 côtés		

Maison partagée en briques, cité Menier, Noisiel (77)



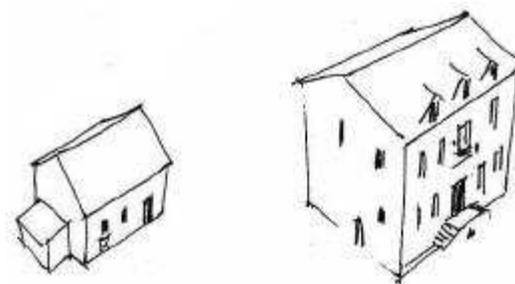
Adresse	39 Rue Albert Menier, 77186 NOISIEL		
Propriétaire ou locataire	M. Garret-Flaudy		
Epoque de construction	XIXème		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	III	A	2
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Maison partagée verticalement entre 2 logements		
Nombre de niveaux Niveaux concernés	R+1+combles		
Matériaux du mur	Briques de terre cuite		
Mode de chauffage	Gaz		
Production ECS	Gaz		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Sur 1 côté		

Maison mitoyenne en pierre et pisé, Bessenay (69)



Adresse	Les Rivières d'en Bas, 69690 BESSENAY		
Propriétaire ou locataire	M. Gavanier		
Epoque de construction	1709-1822		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	III	B	3
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Individuel		
Nombre de niveaux Niveaux concernés	R+1+combles vides		
Matériaux du mur	Pisé et calcaire en soubassements		
Mode de chauffage	Fioul		
Production ECS	Chauffe-eau électrique		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Sur 1 côté		

Catégorie d'implantation n°4 : Maisons ou villas isolées



Maison en calcaire extra-dur, Dordogne (24)



Adresse	Les Jarthes 24140 St JULIEN de CREMPSE		
Propriétaire ou locataire	Jacques LEBEL		
Epoque de construction	XIXème		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	IV	A	1
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Individuel		
Nombre de niveaux Niveaux concernés	R+1		
Matériaux du mur	Calcaire extra-dur		
Mode de chauffage	Electrique par le sol+ convecteurs		
Production ECS	Chauffe-eau électrique		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Aucune		

Grande demeure individuelle, Saudrupt (55)



Adresse	12 Grand Rue 55000 Saudrupt		
Propriétaire ou locataire	Georges DUMENIL		
Epoque de construction	XVIIème		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	IV	B	2
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Individuel		
Nombre de niveaux Niveaux concernés	R+1+combles		
Matériaux du mur	Calcaire tendre		
Mode de chauffage	Fioul		
Production ECS	Fioul		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Aucune		

Maison en briques de terre crue (adobes), Vazerac (82)



Adresse	Le Tucol 82220 VAZERAC		
Propriétaire ou locataire	M. Baffalie		
Epoque de construction	XIXème		
Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
	IV	B	3
Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Individuel		
Nombre de niveaux Niveaux concernés	R+1		
Matériaux du mur	Adobe (terre crue)		
Mode de chauffage	Gaz		
Production ECS	Gaz		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Aucune		

Maison à colombages, Seine-Maritime (76)

Maison à colombages, Seine-Maritime (76)				
	Adresse	76480 St-Pierre de VARENDEVILLE		
	Propriétaire ou locataire	M. Prevost		
	Epoque de construction	XIXème		
	Catégorie de la typologie	Implantation	Mode constructif	Matériau
		IV	C	4
	Type d'habitation (collectif/individuel/partagé)	Individuel		
	Nombre de niveaux Niveaux concernés	R+1		
	Matériaux du mur	Torchis et colombages + clins bois (Ouest)		
	Mode de chauffage	Gaz propane		
	Production ECS	Gaz propane		
Mitoyenneté avec des volumes chauffés	Aucune			

5 BIBLIOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE THERMIQUE

5.1 Partie statistiques: connaissance du parc existant par les chiffres

INSEE, *Enquête logement 2002*.

MM1E-Caractéristiques de l'habitat collectif selon l'époque d'achèvement. Recensement de la population 1999- Exploitation principale.

PRINC1-Caractéristiques des résidences principales selon l'époque d'achèvement. Recensement de la population 1999- Exploitation principale.

INSEE, *recensement 1999, statistiques du logement*.

LOG1-Logements par catégories de logements selon l'époque d'achèvement. Recensement de la population 1999- Exploitation principale.

5.2 Etude des systèmes influençant la thermique des bâtiments

Environnement et implantation (échelle urbaine) :

DDE Somme, service développement des territoires et urbanisme, *Densité urbaine dans la Somme*. Repères, janvier 2007, 4p.

Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France, *Note rapide sur l'occupation des sols*, juin 2005, 6p.

FNAU, Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme, *Habitat-formes urbaines. Densités comparées et tendances d'évolution en France*, octobre 2006, 276p.

CHAUVET J-Y. *La maison Paysanne, histoire, guide de restauration, typologie région par région*, Ed. Aubanel, 2005, 304p.

FREAL Jacques (collaboration de Philippe SERS), *L'architecture paysanne en France: la maison*, Ed. Serg, Paris, 1977, 384p.

Les modes constructifs (échelle du bâtiment) :

BARBEROT E., *Traité des constructions civiles*, Ed. J.C. Godefroy, Paris 1912, 1160 p.

COIGNET Jean., COIGNET Laurent. *La maison ancienne, construction, diagnostic, interventions*, Paris, Eyrolles, 2006, 2e Éd., 170 p.

Réglementation thermique 2000, Règles Th-I, *caractérisation de l'inertie thermique des bâtiments*, version 20004, 17p.

Norme européenne et française NF EN ISO 13786. *Performance thermique des composants de bâtiment _ caractéristiques thermiques dynamiques _ Méthodes de calcul*, Janvier 2000, 17p.

Les matériaux (échelle du détail dans le bâtiment) :

COIGNET Jean., COIGNET Laurent. *La maison ancienne, construction, diagnostic, interventions*, Paris, Eyrolles, 2006, 2e Ed., 170 p.

COIGNET Jean, COIGNET Laurent, *Maçonnerie de pierre*, Ed. Eyrolles, Au pied du mur, 2007

GRAULIERE Pascale, *Typologie des bâtiments d'habitation en France*, rapport de synthèse, 2007, 152 p.

PIGNAL Bruno, *Terre crue, techniques de construction et de restauration*, Paris, Eyrolles 2005, 120 p.

A. El Bakkouri, S. Boussaid, H. Ezbakhe, T. Ajzoul, A. El Bouardi, *Caractérisation granulométrique et thermique du matériau « terre » utilisé en construction dans le nord du Maroc*, Département de Physique, Faculté des Sciences, BP 2121 Tétouan- Maroc, 1999, 4p.

PEIRS Giovanni., *La brique, Fabrication et traditions constructives*, Paris, Eyrolles, 2004, 110 p.

Norme Française NF EN 12524. *Matériaux et produits pour le bâtiment. Propriétés hygrothermiques. Valeurs utiles tabulées*. Septembre 2000, 13p.

Publication du Ministère de la Région Wallonne: *Isolation thermique des logements neufs en région wallonne, caractéristiques hygrothermiques des matériaux*. Edition 88.002 (<http://mrw.wallonie.be/energieplus/CDRom/enveloppe/donnees/Tidoncoefresdiffvap.htm>)

Yves Jannot, *cours de thermique, transfert et métrologie, propriétés physiques de certains corps*, 2005. + Données CSTB: *coefficients K des parois des bâtiments anciens*, Claude Moyé.1980

6 LISTE DES ANNEXES

6.1 Annexe 1 : Bibliographie générale, relative aux techniques de construction anciennes, établie par Maisons Paysannes de France.

6.2 Annexe 2 : Tableau permettant de définir la classe d'inertie thermique d'un bâtiment ancien, à partir des règles Th-I 2000.

6.3 Annexe 3 : Exemple de fiche de renseignements utilisée pour recueillir des informations sur les bâtiments volontaires pour le panel.

Annexe 1

BATAN - Bibliographie relative aux techniques de construction anciennes

établie par Jean-Yves Chauvet, Tony Marchal et Jean-Marie Vincent

MAISONS PAYSANNES DE FRANCE

1 – TECHNIQUES DE CONSTRUCTION ANCIENNES

- 1.1 – Ouvrages généraux
- 1.2 – Matériaux pierreux
- 1.3 – Bois
- 1.4 – Terre crue
- 1.5 – Terre cuite
- 1.6 – Chaux et mortiers
- 1.7 – Plâtre
- 1.8 – Matériaux de couverture
- 1.9 – Protection des façades
- 1.10 - Troglodytique

B – Approches régionales ou micro-régionales

- 2.2 – Matériaux pierreux
- 2.3 – Bois
- 2.4 – Terre crue
- 2.5 – Terre cuite
- 2.6 – Chaux et mortiers
- 2.7 – Plâtre
- 2.8 – Matériaux de couverture
- 2.9 – Protection des façades
- 2.10 – Troglodytique
- 2.11 – Bâti parisien

2. PROCÉDÉS CONSTRUCTIFS ET ARCHITECTURES RURALES RÉGIONALES

- 2.1 – Généralités et typologies

A – Approches nationales ou internationales

3 - INTERVENTIONS SUR LE BÂTI ANCIEN

4 – CONTEXTE CLIMATIQUE ET ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Avertissement :

Cette bibliographie a été établie à partir de celle fournie par Jean-Yves Chauvet, confrontée à celle utilisée par Tony Marchal pour ses cours au CFP/MPF et complétée par des recherches de Jean-Marie Vincent. Elle ne prétend pas à l'exhaustivité et reste ouverte.

Sa présentation a choisi la cohérence entre ces différentes sources. Elle ne correspond donc pas exactement aux normes en vigueur dans les bibliothèques publiques et devra être revue avant toute éventuelle publication.

1 – TECHNIQUES DE CONSTRUCTION ANCIENNES

1.1 – Ouvrages généraux

BARBEROT, E., *Traité des constructions civiles*, J.C. Godefroy, Paris 1912, 1160 p.

BARET Yves. *Restaurer sa maison, guide d'intervention sur le bâti existant*, Paris, Eyrolles, 2006, 144 p., ill., 23x23. (coll. Au pied du mur, dir. Hervé Filippetti)

BERTONCELLO, J.F., FOUIN Julien, *Les matériaux naturels*, Ed. du Rouergue, 2006

COIGNET Jean & Laurent, *La maison ancienne*, Eyrolles Au pied du mur, 2003 152 p.

DEBAUVE A., *Procédés et matériaux de construction – Pierre, Chaux et Mortiers, Maçonneries, Bois, Métaux*, T. 3, 4^e partie, 30 pl., Paris, Vve Ch. Dunod et P. Vicq, 1894

DUVAL Georges, *Restauration et réutilisation des monuments anciens*, Ed. Mardaga, 1990

DOYON Georges, HIJBRECHT Robert, *L'architecture rurale et bourgeoise en France*, Ed. Cl. Massin et Cie, 1942 rééd.1996, 521 p.

FROIDEVAUX Yves-Marie, *Techniques de l'architecture ancienne*, Liège, Ed. Mardaga, 1986, 190 p.

FONTAINE René, *La maison de pays*, Ed. Seghers; 1977

HUBERT (d') E, *Les matériaux de construction. Les pierres, les marbres, les ardoises, le plâtre*, Encyclopédie technologique et commerciale, série I vol 2, Paris, 1903, 96 p.

MAGNIER M.-D., *Nouveau Manuel complet du Chauffournier, Plâtrier, Carrier*, Paris, Manuels-Roret, 1864 (Nouvelle éd. Entièrement refondue), 380 p., 4 pl.

(N.B. Voir les autres « Manuels-Roret » concernant les techniques diverses)

RAPPORT Amos, *Pour une anthropologie de la maison*, Ed. Dunod; 1978

1.2 – Matériaux pierreux

COIGNET Jean., COIGNET Laurent., *Pierre de taille*, Paris, Eyrolles, Au pied du mur, 2003, 168 p.

COIGNET Jean, COIGNET Laurent, *Maçonnerie de pierre*, Ed. Eyrolles, Au pied du mur, 2007

DUPUIS-BALDY Isabelle, « La maçonnerie et la taille du silex », in *Maisons Paysannes de France*, n°104, 2/1992, pp.15-20.

LASSURE Christian, « L'architecture rurale en pierre sèche », in *Maisons Paysannes de France*, n°50, 4/1978, pp/12-16.

PONTVIANNE Chantal, «Les sables et les roches meubles », in *Maisons Paysannes de France*, n°151 1/2004, pp.15-19.

RIGAUX Guy, *La maçonnerie*, Ed. Eyrolles, 1968

1.3 – Bois

Architecture Bois, in AMC, Editions Le Moniteur Architecture, n° hors série, s.d., 146 p., 23x30, ISBN : 2-281-19312-8. (29€)

BARBEROT E., *Traité pratique de charpente*, J.C. Godefroy, Paris, 1911, réimp. 2007, 612 p.

CAMPBELL David, *Le bois dans l'architecture traditionnelle*, Edisud, 2007, 214 p., ill.

[Collectif], *Bois, Architecture bois*, L'Inédite, 2005, 288 p., ill., 24x20

Encyclopédie des métiers – La Charpente, Paris, 3 vol., Librairie du compagnonnage, 1979

EUCHER M., *Manuel des traits de charpente*, Paris, Eyrolles, 1997, 208 p.

GERNER Manfred, *Les assemblages des ossatures et charpentes en bois – Construction, entretien, restauration*, Paris, Eyrolles, 1995, 190 p

GUAZIN-MÜLLER Dominique, *Le bois dans la construction*, Paris, Ed. du Moniteur, 1990, 382 p

« Le bois dans l'architecture », *Actes des colloques de la direction du Patrimoine*, Paris, Die, 1993

NEWMAN Rupert, *La construction à ossature traditionnelle en chêne*, Paris, Eyrolles 2007,

192 p, ill..

STEIN Annick, *La maison de bois*, Edisud, Aix-en-Provence, 1993, 128 p.

VALENTIN Jean-Louis, *Le colombage, mode d'emploi*, Paris, Eyrolles, 2006, 70 p., ill

VOINCHET, Bernard, « L'architecture à pans de bois en France » in *Monumental*, Juin 1994, pp. 60-71

1.4 – Terre crue

DEWULF Michel, *Le torchis, mode d'emploi*, Paris, Eyrolles, 2007, 80 p. ill. (coll. Chantiers pratiques)

PIGNAL Bruno, *Terre crue, techniques de construction et de restauration*, Paris, Eyrolles 2005, 120 p., ill., 23x23. (coll. Au pied du mur dir. Hervé Filippeti)

FLOUTIE Gérard, FORISSIER Pierre, « Le mur en pisé », *Maisons Paysannes de France*, n°146, 4/2002.

GUILLE Jean, « La maison en torchis » (Perthois, Vallage, Der), in *l'Information géographique*, n°12, mai-juin 1951, pp.120-122.

HOUBERT Hugo, GUILLAUD Hubert, *Traité de construction en terre*, Marseille, CREATerre, 2006, 355 p.

JEANNET Jacky, SCARATO Pascal, *Le pisé*, Ed. Créer, Nonette, 1986.

NEGRE Valérie, *Terre crue, terre cuite*, Centre d'Histoire des Techniques, Ed. Ibis presse, 2004, 156 p.

PIGNAL Bruno, *Terre crue*, Ed.Eyrolles, Au pied du mur, 2005, 116 p.

SCARATO Pascal, « Le bâti existant en pisé », in *Maisons Paysannes de France*, n° 74 4/1984, pp.12-15.

1.5 – Terre cuite

BAYARD Aline, Raymond, « La brique, cette mal aimée », in *Maisons Paysannes de France*, n°102, 4/1991, pp.14-18.

PASQUET Lazare, « L'art de bâtir avec le galet et la brique », in *Maisons Paysannes de France*, n°107, 1/1993, pp.14-18

PEIRS Giovanni., *La brique, Fabrication et traditions constructives*, Paris, Eyrolles, 2004, 110 p., ill., 23x23. (coll. Au pied du mur, dir. Hervé Filippetti)

1.6 – Chaux et mortiers

Ecole d'AVIGNON], *Techniques et pratiques de la chaux*, Paris, Eyrolles, 2^e éd. 2003, 226 p., ill., (Coll. Blanche) (36€)

FOIN Julie, *La chaux naturelle. Décorer, restaurer et construire*, Ed. du Rouergue, 2001, 142 p., ill. (15 €).

CHARPENTIER Frédéric, PETIT Patrick, « Ciment romain et ciment naturel », in *Maisons Paysannes de France*, n°142, 4/2001, pp.31-33.

HERVE Alain, MASCOLO Dominique, « Utilisation de la chaux vive éteinte artisanalement », *Maisons Paysannes de France*, n°146, 4/2002, pp.12-13.

JEANNET Jacky, PIGNARD Bruno, SCARATO Pascal, *La chaux. Mise en œuvre, enduits, décors*, Pisé, Terre d'Avenir, 1996, 40 p.

Laboratoire de recherche des Monuments historiques (LRMH), *La chaux et les mortiers, natures, propriétés, traitements*, Paris 1995

RAUCOURT de CHARVILLE, *Traité sur l'art de faire de bons mortiers et d'en bien diriger l'emploi*, Paris, Malher et Cie, 1928 (2^e édit.), 368 p.

1.7 – Plâtre

[Ecole d'AVIGNON], *Techniques et pratiques du plâtre, applications traditionnelles et modernes*, Paris, Eyrolles, 2^e éd. 1998, 184 p. ill. (Coll. Blanche) (30,30€)

BAYARD Raymond, « Le plâtre », in *Maisons Paysannes de France*, 3/1975, pp.10-11

BOURGIN Yves, « Le plâtre gros », in *Maisons Paysannes de France*, n°94, 4/1989, pp.18-23.

CHARPENTIER Frédéric, « Le plâtre, matériau noble », *Maisons Paysannes de France*, n°138, 4/2000, pp.17-32.

FERTA Jean, *Techniques et pratiques du plâtre*, Ed. Eyrolles, 1989, 180 p.

1.8 – Matériaux de couverture

BERRY M., FOURNIER DC, « Les couvertures de laves », in *Revue des Monuments Historiques de la France*, 1959.

CALAME François, « La tuile plate dans les couvertures anciennes », in *Maisons Paysannes de France*, n°100, 2/1991, pp.23-36.

CHAUVET Jean-Yves, *Les toits des pays de France*, Ed. Eyrolles, Paris, 1996.

HOUDART Thierry, *Toits de bois en Europe*, Ed. MFH, 2002

LE PABIC Christophe, *Toits d'ardoise, pose traditionnelle et restauration*, Paris, Eyrolles Au pied du mur, 2004, 152 p., ill., 23x23

LEBOUTEUX Pierre, *Traité de couverture traditionnelle*, Editions VIAL, 2001

JOLY François, « La lauze », in *Maisons Paysannes de France*, n°68, 1/1983, pp.12-17.

LEONET Frédéric, « Couvrir en bardeaux de bois », in *Maisons Paysannes de France*, n°116, 2/1995, pp.19-23.

LE PABIC Christophe, *Toits d'ardoise*, Ed. Eyrolles, 2004, 168 p

MOREAU Pierre, « Toitures végétales », in *Maisons Paysannes de France*, 3/1975, pp.6-9.

MOREAU Pierre, « Les toits de pierre », in *Maisons Paysannes de France*, 4/1975, pp/9-12.

PIERRE Jean, *Les toits de lave*, Clessé, 1988.

PONTVIANNE Chantal, « La couverture en bardeaux de bois », in *Maisons Paysannes de France*, n°101, 3/1991, pp.13-18.

PONTVIANNE Chantal, « Le bardeau de châtaignier », in *Maisons Paysannes de France*, n°103, 1/1992, pp.17-22.

PONTVIANNE Chantal, « La couverture en pierre calcaire », in *Maisons Paysannes de France*, n°106, 4/1992, pp.15-18.

1.9 – Protection des façades

PONTVIANNE Chantal, « Les bardages en ardoise », in *Maisons Paysannes de France*, n°139, 4/2001, pp.23-24.

PONTVIANNE Chantal, « L'enduit de façade », in *Maisons Paysannes de France*, n°143, 1/2002, pp.29-35.

1.10 - Troglodytique

BERTHOLON Patrick, HUET Olivier ; *Habitat creusé, le patrimoine troglodytique et sa restauration*, Paris, Eyrolles, 2005, ill., 23x23. (coll. Au pied du mur, dir. Hervé Filippeti) (38€)

2. PROCÉDÉS CONSTRUCTIFS ET ARCHITECTURES RURALES RÉGIONALES

2.1 – Généralités et typologies

A – Approches nationales ou internationales

BRUHNES Jean, "Les types régionaux de maisons et carte générale des toits", chapitre 14 de *Histoire de la Nation Française*, vol 1, Introduction générale: Géographie humaine de la France, Paris, 1920, pp.411-444. Carte mise à jour par Jean-Bruhnes Delamarre et Pierre Deffontaines

COINTERAUX François, *Ecole d'architecture rurale, ou leçons par lesquelles on apprendra soi-même à bâtir solidement les maisons de plusieurs étages avec de la terre seule, ou autres matériaux les plus communs et du plus vil prix*, Paris, F. Cointeraux, 1790, 52 p.

COLIN-GOGUEL Florence, "Typologies du bâti en milieu rural", in *Monuments Historiques*, n°106, pp.64-69.

CHAUVET Jean-Yves, *La maison paysanne*, Ed.Aubanel, Paris, 2005, 299p.

COLLOMB Gérard, GUIBAL Jean, "Représentations vernaculaires de la maison et reproduction des modèles en architecture rurale", in *Ethnologie Française*, t.XIII, 1983, n°2, pp.171-180.

CUISENIER Jean, "Le corpus de l'architecture rurale française. Esquisse pour une synthèse prochaine", in *Terrain*, n° 9, 1987, pp.92-99.

CUISENIER Jean, "Le corpus d'architecture rurale, logique sociale et composition architecturale", in *Habitat et espace dans le monde rural*, 1988, pp. 41-52.

CUISENIER Jean, *La maison rustique: logique sociale et composition architecturale*, Presses Universitaires de France, Paris, 1991, 380 p.

DEMANGEON Albert, "L'habitation rurale en France, essai de classification des principaux types", in *Annales de géographie*, XXIX, n°161, 1920, 352-375.

DEMANGEON Albert, "De l'influence des régions agraires sur les modes d'habitat dans l'Europe occidentale", in *Congrès international de géographie du Caire*, avril 1925, pp.92-97.

DEMANGEON Albert, "Une carte de l'habitat", in *Annales de géographie*, XLII, n°237, 15 mai 1933, pp.225-232.

DEMANGEON Albert, "Essai de classification des maisons rurales", in *Premier congrès international de Folklore*, Paris, 23-28 août 1937, Tours, Arrault, 1938, pp.44-48.

DEMANGEON Albert, *Problèmes de géographie humaine. Essai d'une classification des maisons rurales*, A.Colin, Paris, 1942, 408p. En particulier: "L'habitat rural, de l'influence des régions agraires sur les modes d'habitat dans l'Europe occidentale", pp.153-205; "Essai de classification des maisons rurales", pp.230-235; "L'habitat rural en France. Essai de classification des types", pp.261-287; "Types de peuplement rural en France", pp.289-310.

FILLIPETTI Hervé, *Maisons paysannes de l'ancienne France*, 2 vol., Ed. Berger-Levrault; 1979-1980

DE FOVILLE A., *Enquête sur les conditions de l'habitat en France, les maisons types*, Paris, Leroux, 1894-1899, 2 vol.

FREAL Jacques (collaboration de Philippe SERS), *L'architecture paysanne en France: la maison*, Ed. Serg, Paris, 1977, 384 p.

LASSURE Christian, "Un absurde critère de sélection en matière de conservation: la "représentativité" des témoins", in *l'Architecture Vernaculaire*, t.14, 1980, p. 2.

LASSURE Christian, "L'intangible trinité: la maison "traditionnelle", la maison "de pays", la maison "paysanne", in *l'Architecture Vernaculaire*, t. VIII, 1984, pp.75-82.

LASSURE Christian, « Partis de plan et classification des maisons rurales de la France », in *L'architecture Vernaculaire*, tome XVII, 1993, pp.5-15

RAULIN Henri, "L'architecture rurale française. Enquêtes Nationales, 1947-1948", in *Etudes rurales*, 1969, 13-14, pp.96-119.

RAULIN Henri, "Le corpus de l'architecture paysanne et de l'habitat rural - complément ethnologique aux études d'architecture", in *Ethnologie française*, n°3 (1-2), pp.14-42.

RIVALS Claude, "La maison rurale. Structures, fonctions, représentation. Hiérarchies architecturales et sociales", in *L'habitat rural, nouveaux modèles, nouveaux usages*, 1985.

RIVIERE Georges-Henri, "Un patrimoine en péril, la maison rurale traditionnelle", in *Arts et traditions populaires*, n°13 (3-4), 1965, pp.238-242.

RIVIERE Georges-Henri, "Le chantier 1425, un tour d'horizon, une gerbe de souvenirs", in *Ethnologie française*, n°1, 1973, pp.9-14.

TROCHET Jean-René, *Les maisons paysannes en France et leur environnement, XVe-XXe siècle*. Ed. Créaphis, 2006, 605 p.

TROCHET Jean-René, REPERANT Dominique, *Maisons Paysannes et petit patrimoine*, Ed. du Chêne, 2006, 269 p.

B – Approches régionales ou micro-régionales

BOITHIAS J-L et MONDIN C, *La maison rurale en Haute et Basse Normandie* (2 fascicules), Ed. Créer; 1978-1979

BOUCHE-FLORIN Luc-Emile, GIRAULT Bruno, *Maisons et gens de Flandre*, Ed Jaher; 1982

BOURGIN Pierre, GARNERET Jean, *La maison du Montagnon*, Le Folklore comtois, 1981

BREUILLE, DUMAS, ONDET, TRAPON, *Maisons paysannes et vie traditionnelle en Haute-Auvergne*, Ed. Créer; 1980

BUCAILLE Richard, LEVI-STRAUSS Laurent, *L'architecture rurale française – Bourgogne*, A. Die, 1999

FISCHER Thierry, FUCHS Christian, *Les maisons d'Alsace*, Ed. Eyrolles,1977

FISCHER Roger, *Les maisons paysannes du Perche*, Ed. Eyrolles, 1994

HOUDART Marie-France, *Pays et paysans du Limousin*, Ed. MFH, 2001

IMBAULT Daniel, *la Champagne, architecture régionale*, Ed. Jaher, 1986, 448 p

LASSURE Christian, "La datation des maisons dans les monographies du Corpus de l'architecture rurale française: l'exemple du volume Provence", in *L'Architecture Vernaculaire*, t.V, 1981, pp.10-11.

LUISSET Bernard, *Architecture rurale en Languedoc-Roussillon*, Ed.Les Provinciades, 1980

- NIASSOT Jean-Luc, *Maisons rurales et vie paysanne en Provence*, Ed. Berger-Levrault ; 1977
- OBEREINER Jean-Luc, *La maison quercynoise*, Ed. Privat, 1994
- PONTVIANNE Chantal, « La Montagne noire », in *Maisons Paysannes de France*, n°139, 1/2001, pp.17-22.
- POITRINEAU Abel, *Auvergne*, Ed. A Die, 1999
- RAYBAUT Paul et PERREARD Michel, *L'architecture rurale française : le Comté de Nice*, Ed. Berger-Levrault; 1982
- ROBERT Maurice, *La maison et le village en Limousin*, Ed. Société d'Ethnologie du Limousin et de la Marche, 1993
- THIEBAUT Pierre, *La maison rurale en Ile-de-France*, Ed. Eyrolles. 2001
- THINLOT Françoise, *Maisons paysannes de Bourgogne*, Ed. Berger-Levrault; 1983
- WEISROCK André, "Observations sur les pierres millésimées des maisons rurales dans le Xaintois et la plaine sous-vosgienne", in *Bull. Soc. lorraine des Etudes locales*, 40, 1971, pp.1-14.

2.2 – Matériaux pierreux

- « Maisons de pierre de la région de Rethondes », in *Maisons Paysannes de France*, 2/1973, p.14
- GUILLEMOT Denise, « La calcaire en Bourgogne du sud », in *Maisons Paysannes de France*, n°111, 1/1994, pp.14-20.
- MOYTIER Jean-Michel, « Cotentin, pays de la pierre », in *Maisons Paysannes de France*, n°128, 2/1998, pp.19-23.
- PONTVIANNE Chantal, « Une roche sédimentaire, le grès de Pontoise », *Maisons Paysannes de France*, n°145 3/2002, pp.25-27.
- PONTVIANNE Chantal, « La meulière de Nogent-le-Rotrou », *Maisons Paysannes de France*, n°62 4/2006, pp.27-33.
- RAT P., Les calcaires de Bourgogne, revue *Lithiques*, n°6, 1989.
- SONNET Jean-Claude, « Silex et polychromie dans l'architecture de Seine-Maritime », in *Maisons Paysannes de France*, n°152 2/2004, pp.18-21.

2.3 - Bois

- CHAUVET Jean-Yves, *L'architecture en pan de bois de Moselle*, Service régional de l'Inventaire de Lorraine, inédit, 1992, 60 p.
- CHAUVET Jean-Yves, *L'architecture vernaculaire à ossature bois du Val et de la Plaine de Saône*, inédit, Maisons Paysannes de Moselle/ Ecomusée de Saône, 1992, 118 p.
- COTTIN Michel, « Vie rurale et constructions en pan de bois du pays d'Auge », in *Histoire et tradition populaire du canton de Saint-Pierre-sur-Dives*, n°19, pp.25-68.

PONTVIANNE Chantal, « Les maisons à empilage du nord-Agenais », in *Maisons Paysannes de France*, n°144, 2/2002, pp.19-22.

RUCHS Maurice, *La maison alsacienne et colombage*,. Ed. Berger-Levrault; 1977

2.4 – Terre crue

BARDEL Philippe MAILLARD Jean-Luc, *Architecture de terre en Ille-et-Vilaine*, Ed. Apogée, 2002

CALAME François, « Retour à la terre en Oise picarde », in *Maisons Paysannes de France*, n° 66, 4/1982, pp.12-15.

DENONAIN Henri, PRIVAL Marc, « Maisons de brique crue en Limagne auvergnate », in *Maisons Paysannes de France*, n°55, 1/1980, pp.10-14

LESEIGNEUR Annie, « L'argile en Haute Normandie », in *Maisons Paysannes de France*, n°123, 1/1997, pp.21-26.

OPEZZO Patrick, «La Manche couleurs terre », *Maisons Paysannes de France*, n°128, 2/1998, pp.24-26.

STUILLERY Michel, « La bauge en Beauce », in *Maisons Paysannes de France*, n° 53 3/1979, pp.21-22

2.5 – Terre cuite

2.6 – Chaux et mortiers

2.7 – Plâtre

CANU D., « L'industrie du plâtre dans le pays d'Aulnay », in *Bulletin de la Société Historique de Raincy et de ses environs*, n°16, 1947, pp.3-12.

CAUE de l'Ain, *L'architecture de terre*, 1983.

CHARPENTIER Frédéric, « Le plâtre dans les maisons paysannes d'Île de France », in *Le Plâtre, l'art et la matière*, actes du colloque de Cergy-Pontoise d'octobre 2000, Paris, GRPA, Ed. Créaphis, 2001, pp.260-267.

GAGNOL Marie-Anne, *Les plâtriers de Berzé-la-Ville*, Les amis du Vieux Berzé, 2002.

2.8 – Matériaux de couverture

CHARCOSSET Catherine, Jean-Yves, « Les lauzes du Tarn », in *Maisons Paysannes de France*, n°78 4/1985, pp.16-19.

DELAROZIERE B., « Laves et lavers de Bourgogne », in revue *Lithiques*, n°6, 1988.

MOITTOIREL-DUFFIS Claude, « L'ardoise en Couserans, en Ariège », *Maisons Paysannes de France*, n°146, 4/2002, pp.14-15.

2.9 – Protection des façades

2.10 – Troglodytique

2.11 – Le bâti parisien

CABESTAN jean-François, *La conquête du Plain-Pied*, Picard, 2004 env.80€

FREDET Jacques, *Les maisons de Paris*, Editions de l'encyclopédie des nuisances, 2003,

3 - INTERVENTIONS SUR LE BÂTI ANCIEN

BARRET Yves, *Restaurer sa maison*, Ed. Eyrolles, 2006

COIGNET Jean., COIGNET Laurent. *La maison ancienne, construction, diagnostic, interventions*, Paris, Eyrolles, 2006, 2^e éd., 70 p., ill., 23x23. (coll. Au pied du mur, dir. Hervé Filippeti)

[Collectif EYROLLES], *Fermes et maisons villageoises, 30 exemples de réhabilitations*, Paris, Eyrolles, 2005, 192 p., ill., 23x23. (coll. Au pied du mur, dir. Hervé Filippeti)

[Collectif EYROLLES], *Les granges, Bien les connaître pour mieux les restaurer*, Paris, Eyrolles, 2004, 178 p., ill.; 23x23 (11 cas exemplaires de réhabilitation dans 6 régions du Centre et de l'Ouest de la France)

[Collectif EYROLLES], *Les granges II, Bien les connaître pour mieux les restaurer*, Paris, Eyrolles, 2006, 174 p., ill., 23x23 (Est de la France)

4 – CONTEXTE CLIMATIQUE ET ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

DAVID Olivier, FABRE Antoine, *Les économies d'énergie dans l'habitat existant*, Ecole des Mines, 2007, 252 p. (19€)

DEOUX Drs. Suzanne et Pierre, *Le guide de l'habitat sain*, Ed. Medieco, 2004

Guide de l'habitat écologique, Ed. du Fraysse, 2004

Guide raisonné de la construction écologique, Ed Batir Sain, 2007

« Isolation thermique de l'habitat ancien », in *Maisons Paysannes de France*, n°129, 3/1998, pp.8-11, tableau de la conductibilité thermique utile de quelques matériaux usuels et spécifiques à l'isolation.

Le grand Atlas de la France rurale, INRA/SCEES, Ed. Jean-Pierre de Monzon, 1981, p. 411, carte des besoins en chauffage.

« Les zones Climatiques », in *Maisons Paysannes de France*, n°158 4/2000, p. 9

MOREAU Pierre, « Les zones climatiques », in *Maisons Paysannes de France*, n°60, 2/1981, pp.16-17.

OLIVA Jean-Pierre, *L'isolation écologique*, Ed. Terre vivante, 2001-2006

OLIVA Jean-Pierre, *La conception bioclimatique*, Ed. Terre vivante, 2006

Annexe 2 : adaptation des règles Th-I au cas des bâtiments anciens (inertie quotidienne calculée par les Cm et Am)

Tableau d'origine des Cm/Aniv pour les inerties quotidiennes (règles Th-I)

	Cm/Aniv (kJ/m ² .K)									
Am/Aniv	80 à 109	110 à 164	165 à 219	220 à 259	260 à 309	310 à 329	330 à 349	350 à 369	370 à 499	500 et plus
1,0 à 1,4	très légère	très légère	très légère	très légère	légère	légère	légère	légère	légère	légère
1,5 à 1,9	très légère	très légère	légère	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
2,0 à 2,4	très légère	légère	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	lourde	lourde	lourde
2,5 à 2,9	très légère	légère	moyenne	moyenne	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde
3,0 à 3,4	très légère	légère	moyenne	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde	très lourde
3,5 à 3,9	très légère	légère	moyenne	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde	très lourde	très lourde
4,0 à 4,4	très légère	légère	moyenne	lourde	lourde	lourde	lourde	très lourde	très lourde	très lourde
4,5 à 4,9	très légère	légère	moyenne	lourde	lourde	lourde	très lourde	très lourde	très lourde	très lourde
5,0 et plus	très légère	légère	moyenne	lourde	lourde	très lourde	très lourde	très lourde	très lourde	très lourde

Tableau extrapolé des Cm/Aniv pour les inerties quotidiennes des bâtiments anciens

	Cm/Aniv (kJ/m².K)									
Am/Aniv	80 à 109	110 à 164	165 à 219	220 à 259	260 à 309	310 à 329	330 à 349	350 à 369	370 à 499	500 et plus
1,0 à 1,4	très légère	très légère	très légère	très légère	légère	légère	légère	légère	légère	légère
1,5 à 1,9	très légère	très légère	légère	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
2,0 à 2,4	très légère	légère	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	lourde	lourde	lourde
2,5 à 2,9	très légère	légère	moyenne	moyenne	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde
3,0 à 3,4	très légère	légère	moyenne	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde
3,5 à 3,9	très légère	légère	moyenne	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde	très lourde
4,0 à 4,4	très légère	légère	moyenne	lourde	lourde	lourde	lourde	lourde	très lourde	très lourde
4,5 à 4,9	très légère	légère	moyenne	lourde	lourde	lourde	lourde	très lourde	très lourde	très lourde
5,0 et plus	très légère	légère	moyenne	lourde	lourde	lourde	très lourde	très lourde	très lourde	très lourde

Annexe 3 : Fiche descriptive du bâtiment (approfondissement pour les bâtiments présélectionnés)

- **Rappel de la localisation** (commune et département) :

La maison est-elle occupée toute l'année (hormis vacances) ? (oui/non) :

Quelle est, environ, la surface habitable du bâtiment (en m²) ?

- **Équipements** (compléter les cases par les informations demandées):

Chauffage	
Mode de production (chaudière, chaudière+cheminée...)	
Énergie (gaz, bois, fioul, électricité,...)	
Mode d'émission (radiateurs, plancher chauffant,...)	
Compteur du chauffage séparé des autres usages, groupé avec l'Eau Chaude Sanitaire ?	
Si immeuble collectif, préciser si compteur existant par logements	

Eau chaude sanitaire	
Mode de production couplé avec chauffage ? (oui / non)	
Énergie (gaz, bois, fioul, électricité,...)	
Compteur séparé, couplé avec le chauffage?	

Ventilation
Type de ventilation (naturelle, VMC, mixte...) ?

- **Mitoyenneté :**

Le Bâtiment est mitoyen avec un bâtiment chauffé sur ...	Cocher la case
...Aucun côté	
...1 côté	
...2 côtés	
...3 côtés	
Le bâtiment est-il mitoyen avec un ou plusieurs volumes non chauffés? (si oui, préciser nombre, nature, position)	

- **Historique des modifications subies par le bâtiment:**

	Préciser si nécessaire
Isolation de la toiture (matériau, épaisseur) ?	
Isolation du plancher bas (matériau, épaisseur) ?	
Changement des fenêtres ou vitrages (nature) ?	
Isolation des murs ou ajout d'enduits ciment ?	
Autres à préciser :	

• **Matériaux:**

Décrire le plancher bas (sol) (matériau, remplissage...)
Décrire le plancher intermédiaire (si étage) (matériau, remplissage...)
Décrire le plancher des combles (matériau, remplissage...)
Décrire la toiture (matériau, pente approximative...)

Murs extérieurs : Entourer le matériau principal et en estimer l'épaisseur	Épaisseur en cm
Granit, basalte, gneiss	
Grès quartzeux (grès dur), calcaire extra dur, ardoise, schiste	
Calcaire tendre, brique de terre cuite pleine	
Terre crue non torchis (Pisé, adobe, bauge), calcaire extra tendre (tuffeau)	
Bois et torchis (colombages), pierre poreuse naturelle	
Autres (préciser):	
Si plusieurs matériaux, décrire leurs nature et agencement	

Fiche envoyée par :

Nom:

Adresse postale :

Courriel:

N° de téléphone :

A retourner au plus vite

- Par courrier à : *Maisons Paysannes de France – Opération BATAN*
8 passage des Deux-Soeurs, 75009 Paris
- Ou par courriel : maisons.paysannes@wanadoo.fr

NB : merci de joindre à cet envoi :

- *Des photos de façades (si non envoyées précédemment)*
- *Un plan schématique orienté de l'implantation du bâtiment dans son environnement (type plan masse ou plan cadastral, cf exemple ci-joint)*
- *Si disponible, un plan intérieur du bâtiment.*