BATAN

Modélisation du comportement thermique du bâtiment ancien avant 1948

Rapport de Synthèse
Février 2011

DGUHC – Convention n Y07.45-0003597
ADEME – Convention n 0704C0056

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère du logement et de la ville

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ENTPE

UNIVERSITÉ DE LYON

cnrs

CETE de l'Ouest
Centre d'Études techniques de l'Équipement

CETE de l'Est
centre d'Études techniques de l'Équipement

maisons paysannes de france

INSA
STRASBOURG

1 INTRODUCTION

1.1 Objectifs globaux

Le projet BATAN s'inscrit dans le prolongement de l'étude « Connaissance des bâtiments anciens et économies d'énergie », réalisée entre 2005 et 2007. Les enseignements de cette étude concernaient essentiellement deux points :

- Le comportement thermique du bâti ancien est très dépendant de l'environnement local. Les propriétés hygrothermiques particulières des systèmes constructifs, la présence d'espaces tampons et la forte inertie de l'enveloppe sont autant de caractéristiques propres au bâti ancien.
- Les modèles de calcul existants, notamment réglementaires, sont inadaptés à la complexité du comportement thermique du bâti ancien. Une divergence importante a été constatée entre les consommations réelles de bâtiments anciens et les consommations simulées.

Trois phénomènes caractérisant le comportement spécifique du bâti ancien antérieur à 1948, posent des problèmes dans les modélisations actuelles :

- Influence de l'environnement local : sensibilité particulière au climat local, microclimats urbains, intégration bioclimatique du bâtiment dans son environnement.
- Transferts de chaleur, de masse et d'humidité au sein de l'enveloppe : propriétés particulières de parois perméables dans le bâti ancien, phénomènes d'inertie et de perméabilité à l'air et à l'eau.
- Rôle des occupants : scénarii d'occupation inadaptés (température intérieure, taux d'occupation, etc.).

Partant des enseignements de cette précédente étude, les principaux objectifs du projet BATAN sont :

1. Etudier les phénomènes physiques qui caractérisent le comportement thermique du bâti ancien.
2. Elaborer un nouveau modèle de calcul permettant d'évaluer le comportement thermique du bâti ancien.

L'innovation du projet consiste donc à élaborer des outils de calcul adaptés, selon une approche systémique.

1.2 Méthodologie générale

1.2.1 Organisation du projet

Le projet s'organise autour d'objectifs traités en 4 tâches principales. Ces tâches sont présentées avec la figure 1.1.

Le soutien financier du projet est assuré par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) et l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Les équipes participantes au projet sont mentionnées dans le tableau 1.1.

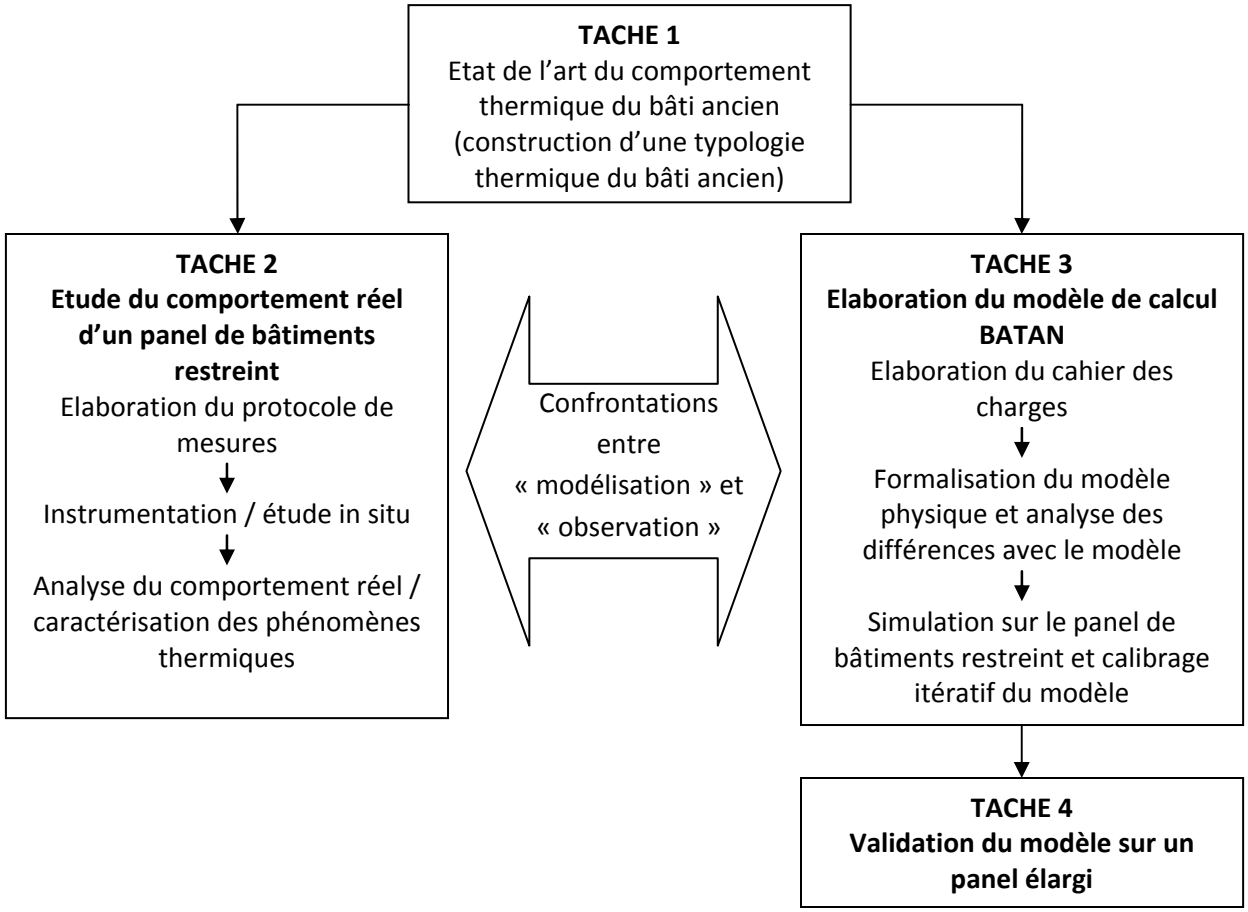


Figure 1.1 : Déroulement des principales tâches

CETE de l'Est 11, rue Jean Mentelin 67000 Strasbourg	Louis Bourru Julien Burgholzer	Responsable scientifique de la tâche 1
CETE de l'Ouest MAN, Rue Viviani, BP 46223 44262 Nantes Cedex2	Julien Berger Julien Bertron Sihem Tasca-Guernouti	Responsable scientifique de la tâche 2
Laboratoire des Sciences de l'Habitat ENTPE – Université de Lyon DGCB FRE CNRS 3237 Rue Maurice Audin 69120 Vaulx en Velin	Richard Cantin Gérard Guarracino Andrea Kindinis Bassam Moujalled	Responsable scientifique de la tâche 3 Coordination générale
INSA de Strasbourg 24, Bd de la Victoire 67084 Strasbourg	Bernard Flament Florentine Janvier	Responsable scientifique de la tâche 4
Maisons Paysannes de France 8, passage des Deux Sœurs 75009 Paris	Michel Fontaine Tony Marchal	Partenaire

Tableau 1.1 : Equipes ayant participé au projet BATAN

1.2.2 Objectifs de la tâche 1

La tâche 1 a pour but de définir « l'objet » de la modélisation, c'est à dire le comportement thermique bâti ancien. Sur la base de l'étude « Connaissance des bâtiments anciens et économies d'énergie » (analyse du comportement réel d'un panel de 10 bâtiments anciens), réalisée entre 2005 et 2007, et d'une étude bibliographique, il s'agit de créer une typologie des bâtiments anciens. Cette typologie est élaborée selon une approche thermique des modes constructifs et architecturaux afin de permettre :

- d'identifier, en première approche, les données d'entrée et les paramètres du modèle.
- de définir un panel restreint de bâtiments représentatifs à instrumenter et qui seront supports du développement du modèle.

Ainsi, un panel restreint de bâtiments anciens est sélectionné et instrumenté par la tâche 2, permettant l'élaboration du modèle BATAN par la tâche 3. Un panel élargi est identifié pour conduire les tests de la tâche 4.

Le responsable de la tâche 1 est le CETE de l'Est.

1.2.3 Objectifs de la tâche 2

La tâche 2 a pour but d'étudier le comportement réel du panel restreint de bâtiments défini suite à l'étude typologique. Cette étude « in situ » doit permettre l'analyse des phénomènes spécifiques du bâti ancien et leurs interactions selon :

- l'influence de l'environnement local : caractérisation des influences du site et du climat local
- les transferts de chaleur, de masse et d'humidité au sein de l'enveloppe : caractérisation des phénomènes hygrothermiques de l'enveloppe
- le rôle des occupants : scénarii d'occupation, taux d'occupation, mode d'occupation, ambiances thermiques

Ces phénomènes sont étudiés en distinguant le comportement saisonnier. Cette étude « in situ » alimente directement l'élaboration du modèle de calcul (tâche 3).

Le responsable de la tâche 2 est le CETE de l'Ouest.

1.2.4 Objectifs de la tâche 3

La tâche 3 a pour but de produire un modèle numérique permettant d'évaluer le comportement thermique de bâtiments anciens.

Ce modèle doit:

- Etre adapté au comportement thermique spécifique du bâti ancien
- intégrer les entrées de l'étude typologique (tâche 1)
- converger vers le comportement réel étudié (tâche 2).

Le modèle doit permettre de déterminer les besoins de chauffage (période hivernale) et l'inconfort thermique (période estivale).

Le responsable de la tâche 3 est le LASH DGCB CNRS, ENTPE, Université de Lyon.

1.2.5 Objectifs de la tâche 4

Le but de la tâche 4 est de tester la validité du modèle, défini à partir du panel restreint, sur un panel élargi défini par la tâche 1.

Le responsable de la tâche 4 est l'INSA de Strasbourg.

2 RESULTATS

2.1 État de l'art

La tâche 1 a permis de

- Dresser un état de l'art des connaissances du comportement thermique du bâti ancien. Il est constitué de fiches synoptiques des principales études recensées sur cette thématique, présentant les principaux enseignements, et d'une liste de références bibliographiques.
- Constituer des grandes familles thermiques au sein du parc bâti ancien français. Cette typologie devait être fidèle à la réalité observable et permettre d'aboutir à un panel restreint d'environ 15 bâtiments instrumentés dans la tâche 2. La constitution du panel restreint a défini, tout au long de notre démarche, le niveau de détail nécessaire pour discerner les types thermiques entre eux.

Pour constituer les catégories d'implantation du bâti ancien, une analyse thermique de la morphologie des îlots anciens a été effectuée. Cette analyse s'est appuyée sur 3 critères principaux : la mitoyenneté, la densité et le potentiel d'ensoleillement, lié à la forme de l'îlot. Grâce à ces critères, 4 catégories d'implantation ont été définies pour classer l'ensemble des bâtiments anciens :

- 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.

Pour constituer les catégories de matériaux, une analyse de leurs propriétés thermiques et hygrométriques a été réalisée. Cette analyse est fondée sur les paramètres suivants :

- diffusivité thermique
- effusivité thermique
- déphasage thermique
- résistance thermique
- résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

Des regroupements de matériaux aux propriétés similaires ont alors été effectués, selon 4 catégories :

- Catégorie 1 : les roches denses (voire très denses) : granit, basalte, grès quartzeux, calcaire extra-dur

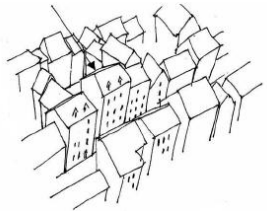
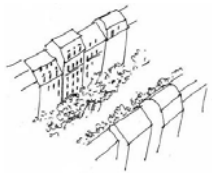
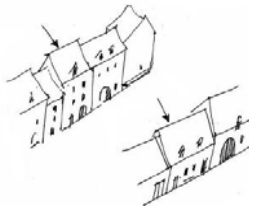
- Catégorie 2 : les matériaux de densité moyenne : calcaire tendre et briques de terre cuite pleines
- Catégorie 3 : les terres crues et roches extra tendres : pisé, adobes, bauge, calcaire extra-tendre (tuffeau)
- Catégorie 4 : les matériaux de faible densité : pierre poreuse naturelle, meulière, bois et torchis.

Pour constituer les catégories de modes constructifs, une analyse a été effectuée sous l'angle de l'inertie, propriété fondamentale du bâti ancien et qui permet de rendre compte, quantitativement, des modes d'assemblage des parois.

À partir des règles Th-I et de la norme NF EN ISO 13786, 3 catégories de modes constructifs ont pu ainsi être définies :

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

Le tableau 1.2 présente la typologie thermique retenue pour identifier le panel restreint et le panel élargi de bâtiments anciens. Les cases colorées renseignent les principaux types thermiques selon lesquels le bâti ancien peut être classé.

Implantation		I/ îlots fermés de centre ancien								II/ haussmannien				II/ îlots fermés bas ou maisons alignées								IV/ maisons isolées ou dispersées							
																													
Mode constructif		A et B				C				A				A et B				C				A et B				C			
Matériaux	1																												
	2																												
	3																												
	4																												

Matériaux: 4 catégories thermiques

1. **Les roches très denses :** granit, 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.
4. **Les matériaux de faible densité:** pierre poreuse naturelle, et bois et sans doute torchis.

Modes constructifs: 3 catégories thermiques

Catégories		Classe d'inertie quotidienne	Classe d'inertie séquentielle	Murs	Plancher bas	Plancher haut
A	Très lourd	Très lourde	Lourde	Pierre/Brique/Terre crue	Pierre/Bois hourdis	Bois
B	Lourd	Lourde	Moyenne	Pierre/Brique/Terre crue	Bois	Bois
C	Moyen	Moyenne	Légère	Torchis	Tous types	Tous types

Tableau 2.1 : Typologie thermique pour le projet BATAN

2.2 Mesures expérimentales

La tâche 2 a permis de mener une campagne de mesures sur un panel de 14 bâtiments occupés (21 logements).

Un protocole de mesure et de recueil de données non mesurées a été rédigé. Chaque logement instrumenté a bénéficié, en plus du guide d'instrumentation, d'un diagnostic approfondi. Les occupants ont répondu à un questionnaire pour mieux appréhender leur comportement. Les différents scénarios (occupation, ventilation) déduits de ces questionnaires ont servi à alimenter la modélisation. Ces questionnaires, quand ils étaient bien remplis, ont été d'une grande utilité également pour comprendre certains comportements révélés par les relevés de mesures.

Une méthode expérimentale d'identification des propriétés physiques des parois anciennes étudiées a été développée. Les résultats ont été utilisés pour l'élaboration des modèles BATAN pour l'hiver (tâche 3).

L'exploitation des données mesurées a permis de constater que pour les spécimens étudiés :

- La moyenne des consommations annuelles des bâtiments résidentiels suivis (collectifs et maisons individuelles) est de 157,60 kWhep/m² (tableaux 1.3 et 1.4)
- Les murs sont le premier poste de déperditions thermiques (53%) suivi par les fenêtres (20%).

Pour mieux comprendre le comportement thermique et hydrique du panel de logements instrumentés, plusieurs analyses ont été réalisées:

- À l'échelle de la paroi pour mettre en évidence les mécanismes de transferts de chaleur et de masse à travers l'enveloppe des bâtiments anciens.
- À l'échelle du bâtiment pour mettre en évidence l'interaction du bâtiment avec son environnement

Compte tenu du contexte du suivi (conditions climatiques, occupation…), il a été difficile, à l'échelle de la paroi de mettre en évidence l'impact qu'ont les échanges de masse sur les échanges thermiques. Néanmoins, nous avons pu observer une corrélation entre la conductivité thermique et l'humidité spécifique plus ou moins forte selon le caractère hygroscopique de la paroi. Nous avons ainsi mis en évidence trois types de parois dans notre panel : à forte hygroscopie (matériau 1), à faible hygroscopie (matériau 4) et à hygroscopie moyenne (matériaux 2 et 3).
De la même manière, l'inertie des parois anciennes a été mise en évidence grâce à la détermination du déphasage (inertie par transmission) et de l'effusivité thermique (inertie par absorption).
Trois types de paroi ont classées: à forte effusivité (matériau 1), à faible effusivité (matériau 4) et à effusivité moyenne (matériaux 2 et 3). Le déphasage a été déterminé mais toutes les parois étudiées présentaient, a minima un déphasage de 2 heures. Globalement, le fonctionnement constaté des ces parois est qu'en hiver elles stockent la chaleur pour la restituer quand le chauffage est éteint ou en mi-saison après l'arrêt du chauffage. En été, elles stoppent le front de chaleur pour le restituer avec une amplitude moindre, ceci couplé

à la ventilation nocturne pratiquée pour l'ensemble du panel permet de garder le logement frais même avec des températures extérieures élevées.

A l'échelle du bâtiment, l'analyse des corrélations entre les conditions thermiques et hydrique extérieure et intérieure a permis de montrer et de confirmer le fort lien qui existe entre le bâti ancien et son environnement. Ainsi, le caractère « perspirant » des parois, leur propriété d'inertie, les défauts de perméabilité et l'ouverture des fenêtres permettent au système « bâtiment » d'échanger de l'air et de l'humidité avec son environnement extérieur et de réguler ses conditions hygrothermiques en fonction de celles à l'extérieur.

Pour le panel de bâtiments instrumentés, la perméabilité à l'air a un fort impact sur les besoins de chauffage surtout pour les catégories 3 et 4 selon la typologie BATAN (maisons en bandes et maisons isolées). Il n'a pas été possible de dégager une tendance par type de paroi (matériau).

Toutes les propriétés mises en évidence font du bâti ancien un système vivant tentant de trouver un équilibre entre ses environnements extérieur et intérieur. Ce dernier dépend du mode d'occupation. L'occupant joue ainsi un rôle important dans la gestion énergétique de son logement. D'après les questionnaires, 86% des occupants du panel restreint trouvent leur logement confortable en été contre 47% en hiver. Nous ne disposons pas d'assez d'éléments pour comprendre le nombre important d'insatisfaits en hiver.

Les tableaux 1.3 et 1.4 présentent les caractéristiques des bâtiments anciens du panel restreint.

Batiment											
Désignation	1_1	1_2	2_1	3_1	3_2	4_1	4_2	5_1	5_2	6_1	7_1
Typologie	I B 1		I A 2	I C 4		I C 4		II A 1		II A 2	III B 1
Matériaux	Calcaire		Calcaire	Torchis		Colombage rempli de briques		Calcaire extra-dur		Brique de terre cuite	Pierre granit
Occupation	Permanente	Permanente	Permanente	-	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente
Source d'énergie pour le chauffage	Chaudière gaz individuelle production	Pompe à chaleur air/air	Chaudière gaz murale	-	Pas de chauffage	Radiateurs électriques	Radiateurs électriques	Convecteurs électriques	Chaudière individuelle gaz mixte	Chaudière murale mixte	Chaudière mixte fioul
Consommations réelles kWh/m²/an (chauffage+ECS)	85	-	209	-	63*	-	-	63	219	275**	63
GES (kgeq CO2/m²/an	20	-	49	-	15	-	-	5	51	64	19
Etiquette DPE	B	-	D	-	B	-	-	B	D	E	-
Etiquette GES	C	-	E	-	C	-	-	B	E	F	-
I4 (m 3/m².h)	3.37	2.8	2	3.5	1.9	2.6	2.2	0.83	1.7	1.2	-

** ECS seulement; ** Consommation poêle à bois non prises en compte; ***Chauffe eau solaire (4m²)+utilisation cheminée; ****Occupation irrégulière, Tconsigne=17°C*

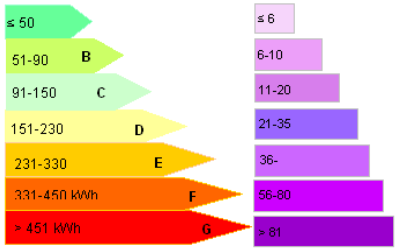


Tableau 2.2 : Caractéristiques des bâtiments du panel restreint (1 à 7)

Batiment								
Désignation	8_1	8_2	9_1	10_1	11_1	12_1	13_1	14_1
Typologie	III A 2		III A 2	III A	IV A 1	IV B 2	IV B 3	IV C 4
Matériaux	Calcaire tendre		Brique cuite	Pisé terre crue	Calcaire	Pisé terre crue	Brique terre crue	Pisé terre crue
Occupation	Permanente	Journée	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente
Source d'énergie pour le chauffage	Chaudière gaz individuelle	Convecteurs électriques	Chaudière gaz mixte	Chaudière bois mixte	Convecteurs électriques	Chaudière fioul mixte	Chaudière gaz mixte (ECS Solaire)	Chaudière gaz
Consommations réelles kWh/m²/an (chauffage+ECS)	258	-	213	128	-	-	30***	49****
GES (kgeq CO2/m²/an	59	-	50	2	-	-	7	10
Etiquette DPE	E	-	D	C	-	-	A	A
Etiquette GES	F	-	E	A	-	-	B	C
I4 (m 3/m².h)	3	5.6	0.77	-	3.4	2.6	1.1	4

** ECS seulement; ** Consommation poêle à bois non prises en compte; ***Chauffe eau solaire (4m²)+utilisation cheminée; ****Occupation irrégulière, Tconsigne=17°C*

Tableau 2.3 : Caractéristiques des bâtiments du panel restreint (8 à 14)

2.3 Modèles BATAN

2.3.1 Elaboration des modèles thermo aérauliques

Un cahier des charges a été élaboré en partenariat avec la maîtrise d'ouvrage afin de préciser le contenu de la tâche 3. Il précise que les modèles BATAN doivent fournir pour les bâtiments du panel restreint:

- En hiver, le besoin de chauffage pour caractériser la performance thermique, en kWh/m².an
- En été, le nombre d'heures d'inconfort, température supérieure à 27°C.

Pour atteindre ces objectifs, des modèles thermo-aérauliques ont été élaborés à partir des environnements TRNSYS-COMIS (Figure 2.1), puis ont été calés avec les données fournies par les tâches 1 et 2. La construction de ces modèles a nécessité l'assemblage de plusieurs sous-programmes permettant de définir les données climatiques, les masques solaires, les parois, et les transferts thermiques et aérauliques dans les bâtiments.

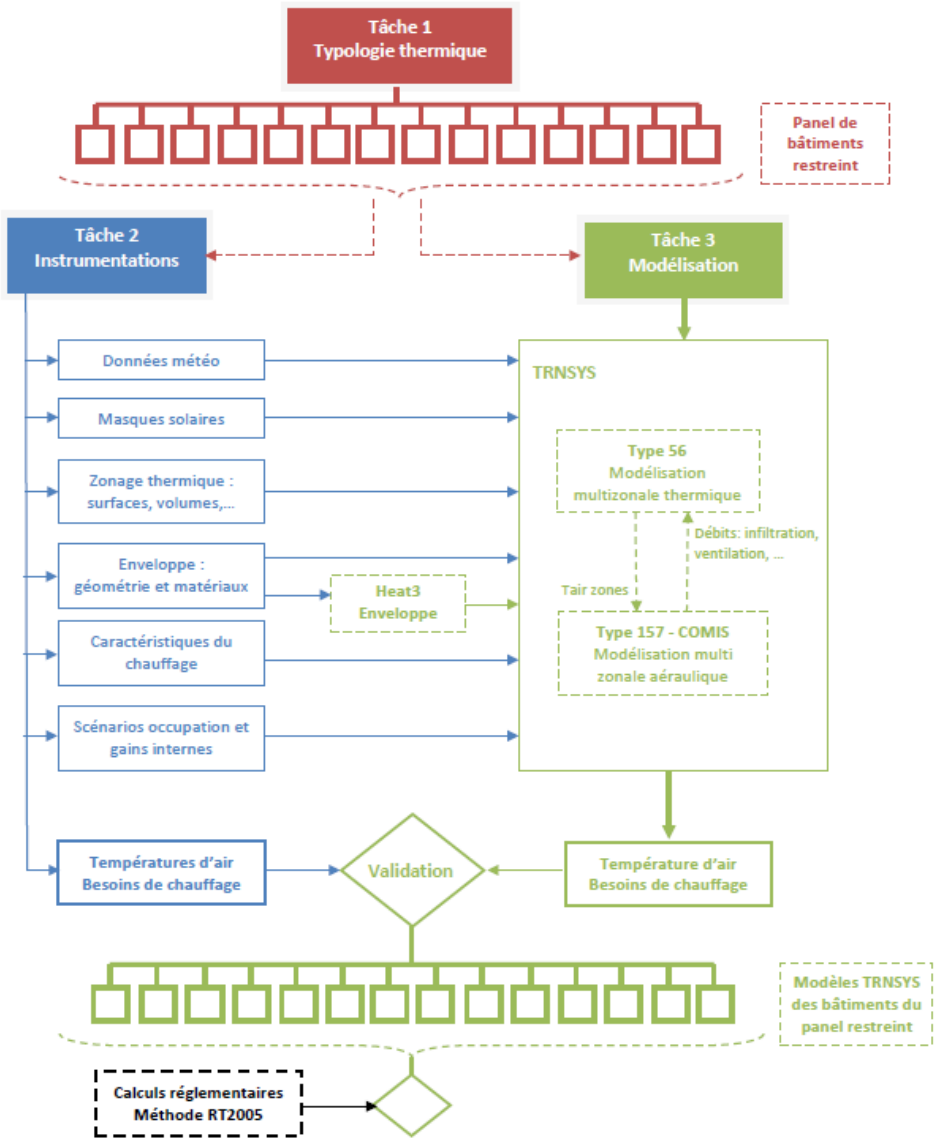


Figure 2.1. Elaboration des modèles TRNSYS-COMIS pour le panel restreint

Ce travail a été complété par la modélisation des transferts thermiques dans les systèmes constructifs complexes rencontrés dans le panel restreint. Le logiciel HEAT 3 a été utilisé pour modéliser les phénomènes de conduction thermique tridimensionnelle, aussi bien en régime transitoire qu'en régime permanent. Il a permis d'évaluer la résistance surfacique, l'inertie des parois hétérogènes, et la résistance linéique de ponts thermiques spécifiques au bâti ancien (Figure 2.2).

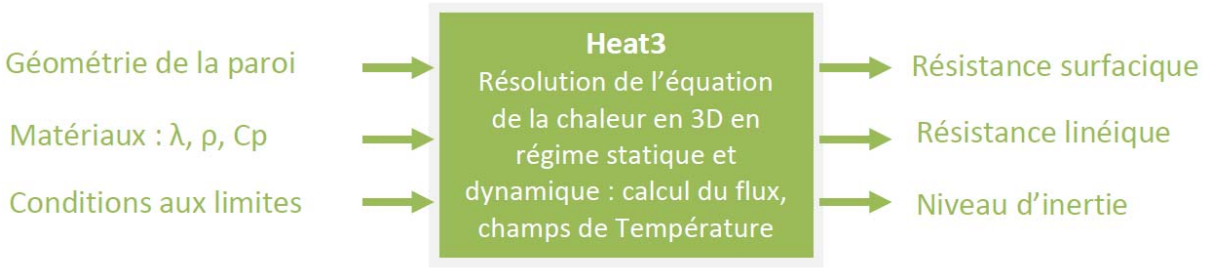


Figure 2.2 : Principe de modélisation thermique avec HEAT 3

Ainsi, 34 modèles thermo-aérauliques ont été élaboré (17 pour l'hiver et 17 pour l'été), et optimisés en intégrant les données recueillies in situ. Le calage des modèles a été obtenu avec une précision comprise entre 4,8 et 13,9%.
Plusieurs bâtiments du panel restreint ont également été modélisés avec le logiciel CLIMAWIN pour évaluer le calcul de la réglementation thermique 2005 conformément au cahier des charges de la tâche 3. L'application de la RT 2005 à ces bâtiments anciens du panel restreint a confirmé la difficulté à évaluer les performances réelles (Cep parfois trop élevée et Tic toujours trop élevée).

2.3.2 Elaboration des modèles Batan

Pour passer des modèles thermo aérauliques aux modèles BATAN, la méthode des plans d'expériences numériques a été choisie (Figure 2.3).

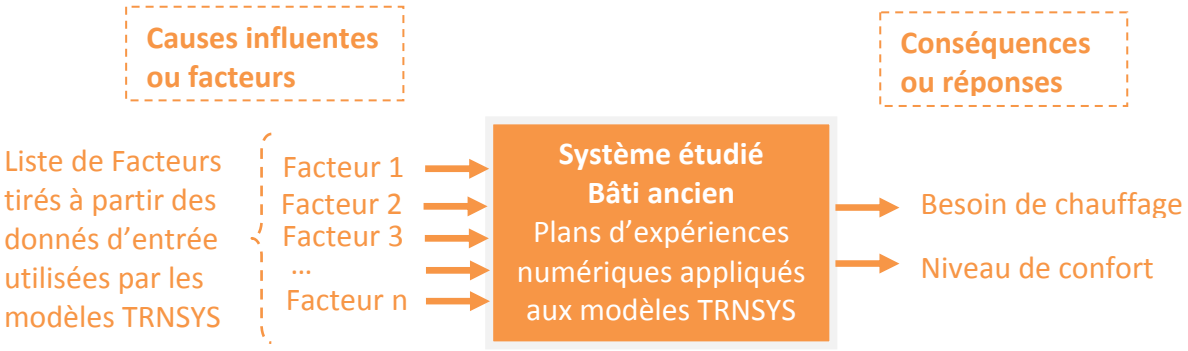


Figure 2.3. Modélisation par les plans d'expériences numériques

La fonction mathématique retenue pour relier la réponse aux facteurs (ou causes influentes) est le développement limité de la série de Taylor Mac Laurin. Ainsi, un modèle BATAN prend alors la forme d'un modèle polynômial de degré plus ou moins élevé. La modélisation a

montré que l'ordre deux était suffisant pour considérer les effets croisés (interactions) des facteurs. Les modèles élaborés avec la méthode des plans d'expériences ont la forme suivante :

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^{i=12} a_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^{i=12} \sum_{j=1}^{j=12} b_{ij} \cdot X_i \cdot X_j$$

Avec Y la réponse représentant le besoin de chauffage en kWh/m².an
X_i est défini à partir du niveau attribué au facteur i lors de l'expérience. Sa valeur comprise entre -1 et 1 est déduite de la plage bornée par le niveau minimum et le niveau maximum.
a_0 et a_i sont les coefficients de premier ordre du modèle mathématique. Ils ne sont pas connus et doivent être calculés avec les expériences.
b_{ij} sont les coefficients correspond aux effets croisés des facteurs i et j.
La valeur 12 correspond au nombre de facteurs pour une maison individuelle (11 pour le logement collectif).

Les paramètres considérés dans le plan d'expériences ont été déterminés à partir des travaux des tâches 1 et 2. Selon les typologies de bâtiments, ils sont définis pour les périodes hivernale ou estivale : conductivité et capacité thermique, infiltrations, gains internes, ratio entre surface déperditive et volume chauffé, coefficient de dispersion absolue, surfaces vitrées, température extérieure et intérieure, radiation, étage, ventilation nocturne, facteur d'utilisation.
Ainsi, 24 modèles BATAN ont été élaborés, c'est-à-dire 1 modèle pour l'hiver et 1 modèle pour l'été, pour chacune des 12 typologies de bâtiments anciens du panel restreint.
Une confrontation des résultats obtenus avec les modèles élaborés lors de la tâche 3 est faite pour différents bâtiments du panel.
Le tableau 10.1 fournit un récapitulatif des besoins énergétiques mesurés et calculés avec les modèles TRNSYS-COMIS et BATAN. Les besoins pour tous les bâtiments (sauf le cas 3) sont exprimés en kWh/m² pour la période testée. Les résultats du cas 3 (Bayonne) sont exprimés en heures d'inconfort thermique (Température >27°C) sur la période testée.
Les périodes testées ont été déterminées en fonction de la disponibilité et de la qualité des données fournies par la tâche 2 (données climatiques, données du bâtiment, etc.).
La confrontation des résultats montre que les modèles BATAN fournissent des résultats proches des mesures.
Le temps de saisie des données avec les modèles BATAN est d'un ou deux jours, alors qu'il faut compter au moins 3 semaines pour modéliser et caler précisément un logement ancien avec les modèles TRNSYS-COMIS. Il faut également disposer de données recueillies in situ pour le calage des modèles TRNSYS-COMIS.

Les modèles Batan (hiver et été) ont été mis au point à partir de plus de 11 000 expériences, correspondant à autant de configurations possibles de bâtiments anciens. Ces modèles BATAN sont utilisables lorsque les données appartiennent aux plages de variations définies à partir des typologies correspondant au panel restreint de bâtiments anciens issu des tâches 1 et 2.

Panel restreint	Ville	Mesures (kWh/m²)	TRNSYS/COMIS (kWh/m²)	BATAN (kWh/m²)	Période testée
1	Bayonne	23	26	19	24/01-15/03
2	Bollène	92	85	87	4/12-15/03
3	Bayonne	66*	58*	54*	1/06-7/07
4	Bayonne	1.6	1.9	2	28/02-28/04
5	Paris	74	78	75	30/11-15/03
6	Paris	87	91	82	30/11-15/04
7	Pluvigner	395	342	318	22/09-10/06
8	Bar-le-Duc	112	110	114	09/01-10/06
9	Noisiel	68	75.1	73	14/01-4/06
10	Bessenay	104	98	100	3/12-11/04
11	St Julien Crempse	3	4	4	7/1-12/02
12	Saudrupt	62	61	64	8/01-09/04

**Heures d'inconfort*

Tableau 10.1 : Evaluation des résultats des modèles (période testée)

Un outil interactif simplifié a été réalisé sous l'environnement Excel, en lien avec la tâche 1. L'outil permet le calcul des besoins de chauffage et de l'inconfort thermique, et facilite la compréhension des typologies et des grandeurs à considérer pour mieux appréhender le comportement thermique du bâti ancien. Un guide d'utilisation a été rédigé pour accompagner cette version électronique.
Les résultats et les observations faites lors de la tâche 4 ont été intégrés pour améliorer les modèles BATAN.

2.4 Validation des modèles sur un panel élargi

Afin de comparer et d'analyser les résultats des besoins de chauffage fournis par les modèles et les besoins obtenus à partir des consommations réelles, plusieurs tests ont été réalisés :

- Tests sur les plages de variation des caractéristiques thermiques physiquement possibles des matériaux. Pour un matériau donné, le calcul des données d'entrée a été réalisé en utilisant les bornes des plages de valeurs de conductivité et de capacité thermique de la réglementation thermique 2005 ou obtenues lors de la tâche 2.
- Tests avec des données d'entrées « bornées » aux plages de validité des modèles Afin de déterminer la pertinence des résultats obtenus avec des données d'entrées « bornées », un calcul d'incertitude a été réalisé pour chaque bâtiment du panel élargi (panel défini par la tâche 1) et pour chaque donnée d'entrée « bornée ».
- Tests avec une base de calcul des DJ adaptée à la température intérieure des logements.

La méthodologie employée est présentée dans l'organigramme fonctionnel suivant (Figure 2.4).

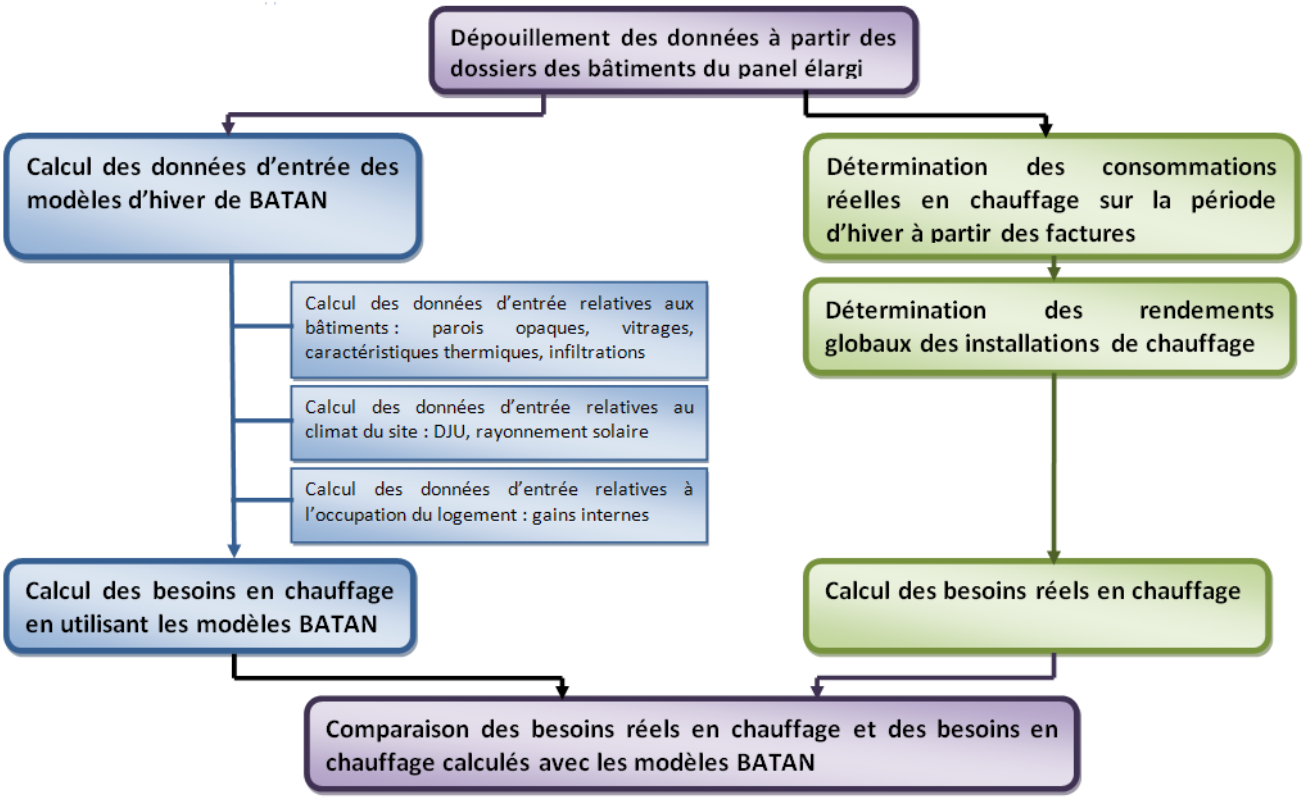


Figure 2.4 : Organigramme mis en place pour conduire les tests

Dix modèles d'hiver ont été testés sur les bâtiments du panel élargi.

Quelques difficultés ont été rencontrées pour effectuer les tests, en raison de l'insuffisance de données recueillies pour les bâtiments du panel élargi, par exemple pour connaître les débits d'infiltrations ou encore pour évaluer au mieux les rendements des installations de chauffage.

Le tableau 2.5 fournit un récapitulatif des résultats obtenus lors de la tâche 4. Les résultats correspondent :

- pour les bâtiments collectifs (1, 3, 4, 5, 6), aux résultats obtenus avec des données d'entrées bornées et le calcul des DJ dans une base adaptée à celle des températures moyennes intérieures.
- pour les maisons individuelles (2, 8, 9, 11, 12), aux résultats obtenus avec des données d'entrées bornées et le calcul des DJ.

Les résultats obtenus par la tâche 4 ont été transmis à la tâche 3 pour affiner les modèles BATAN.

N° du modèle	Typologie	Nombre de bâtiments du panel élargi testé	Ecarts entre les résultats et les mesures	Incertitudes globales liées à l'action de borner les données d'entrées
1	I-B-1	6	2 et 25% soit 1 à 17kWh/m2	• Calculable pour un seul bâtiment • 8 à 10%
2	I-B-2	3	1 et 41% soit 1 à 31 kWh/m2	• Non calculable ➔ les bâtiments correspondent à la typologie mais pas au domaine de validité du polynôme • A noter : les incertitudes calculables des données d'entrées sont très élevées. Les résultats obtenus avec ce polynôme ne semblent pas fiables
3	I-C-4	2	42 et 51% soit 30 à 39kWh/m2	Non calculable ➔ les bâtiments correspondent à la typologie mais pas au domaine de validité du polynôme
4	I-C-4	2	71 à 85% soit 54 à 61 kWh/m2	Non calculable ➔ les bâtiments correspondent à la typologie mais pas au domaine de validité du polynôme
5	II-A-1	3	0 à 57% soit 0 à 31 kWh/m2	≤ 10%
6	II-A-2	1	18 à 33 et % soit 25 à 26kWh/m2	Non calculable ➔ les bâtiments correspondent à la typologie mais pas au domaine de validité du polynôme
8	III-A-2	5	16 et 57% soit 21 à 47kWh/m2	Non calculable ➔ les bâtiments correspondent à la typologie mais pas au domaine de validité du polynôme
9	III-A-2	1	74% soit 54 kWh/m2	Non calculable ➔ les bâtiments correspondent à la typologie mais pas au domaine de validité du polynôme
11	IV-A-1	6	18 et 54% soit 5 à 68 kWh/m2	• Calculable pour certains bâtiments seulement • 3 à 24%
12	IV-B-2	4	8 et 30% soit 15 à 40 kWh/m2	Non calculable ➔ les bâtiments correspondent à la typologie mais pas au domaine de validité du polynôme

Tableau 2.5 : Récapitulatif des résultats des tests avec le panel élargi

3 PERSPECTIVES

Le projet BATAN a permis la production de connaissances utiles à la compréhension du comportement thermique du bâti ancien, et de nouvelles perspectives à ce projet peuvent être proposées.
Afin de représenter plus précisément le parc bâti ancien français, la typologie élaborée dans ce projet BATAN pourrait être ramifiée, avec une approche régionale. D'autres paramètres constructifs, comme l'emplacement des espaces tampons, pourraient être introduits dans l'étude typologique. Un tel travail de ramification peut permettre de développer de nouveaux modèles BATAN et de faire converger leur domaine de validité avec l'ensemble du type considéré.

Les résultats obtenus, notamment en ce qui concernent les transferts dans les parois, demandent à être approfondis notamment en cellules expérimentales et en laboratoire. En effet, le projet BATAN a montré les difficultés à conduire des campagnes de mesures in situ pour caractériser le comportement hygrothermique de l'enveloppe et le couplage avec le comportement complexe du bâtiment. De même, une analyse plus fine des conditions hygrothermiques dans le bâti ancien est nécessaire pour mieux appréhender les situations de confort.

Par une approche systémique, ce projet a permis d'élaborer de nouveaux modèles de comportement thermique de bâtiments anciens. La détermination des besoins de chauffage et de l'inconfort estival est maintenant possible pour des bâtiments répondant aux typologies identifiés dans le projet.

De nouvelles itérations entre l'élaboration de typologies, des campagnes de mesures in situ, la modélisation thermique des bâtiments et les tests sur des bâtiments existants devraient permettre d'étendre les champs d'application des modèles BATAN, ou l'élaboration de nouveaux modèles. Des tests plus nombreux avec un panel plus important de bâtiments anciens seraient à envisager.

Il est également important de noter que les modèles BATAN ne sont pas adaptés à l'étude de bâtiments réhabilités, ou à l'évaluation de solutions de réhabilitation. En effet, le comportement thermique de bâtiments, même partiellement réhabilités, peut être très différent des comportements thermiques de bâtiments anciens pris en considération ici. Cependant, de tels modèles peuvent aussi avoir pour vocation à orienter les évolutions des méthodes réglementaires mais aussi des méthodes d'évaluation simplifiées. En effet, de telles études apparaissent aujourd'hui indispensables afin de réaliser des diagnostics fiables, de permettre la réalisation des calculs réglementaires, et de constituer une aide à la décision pour les acteurs en charge des réhabilitations énergétiques du bâti ancien.

4 LISTE DES DELIVRABLES

Les délivrables du projet BATAN sont :

- Le rapport final de la tâche 1 comprenant:
  - Une typologie thermique du bâti ancien, des fiches synoptiques des principales études recensées sur cette thématique, présentant les principaux enseignements,
  - Une liste de références bibliographiques.
  - L'identification d'un panel restreint de bâtiments anciens
- Le rapport final de la tâche 2 comprenant :
  - Le protocole de mesures
  - Les rapports de relevés des mesures
  - Une analyse du comportement thermique des bâtiments
  - Une analyse transversale : influence de l'environnement, échanges au sein de l'enveloppe, rôle des occupants
- Le rapport final de la tâche 3 comprenant :
  - Le cahier des charges du modèle
  - Les modèles de calcul BATAN
  - Les résultats des simulations
- Le rapport final de la tâche 4 comprenant :
  - Les résultats des tests sur un panel élargi de bâtiments anciens
- Un outil prototype interactif développé à partir des modèles BATAN
- Le rapport de synthèse du projet BATAN