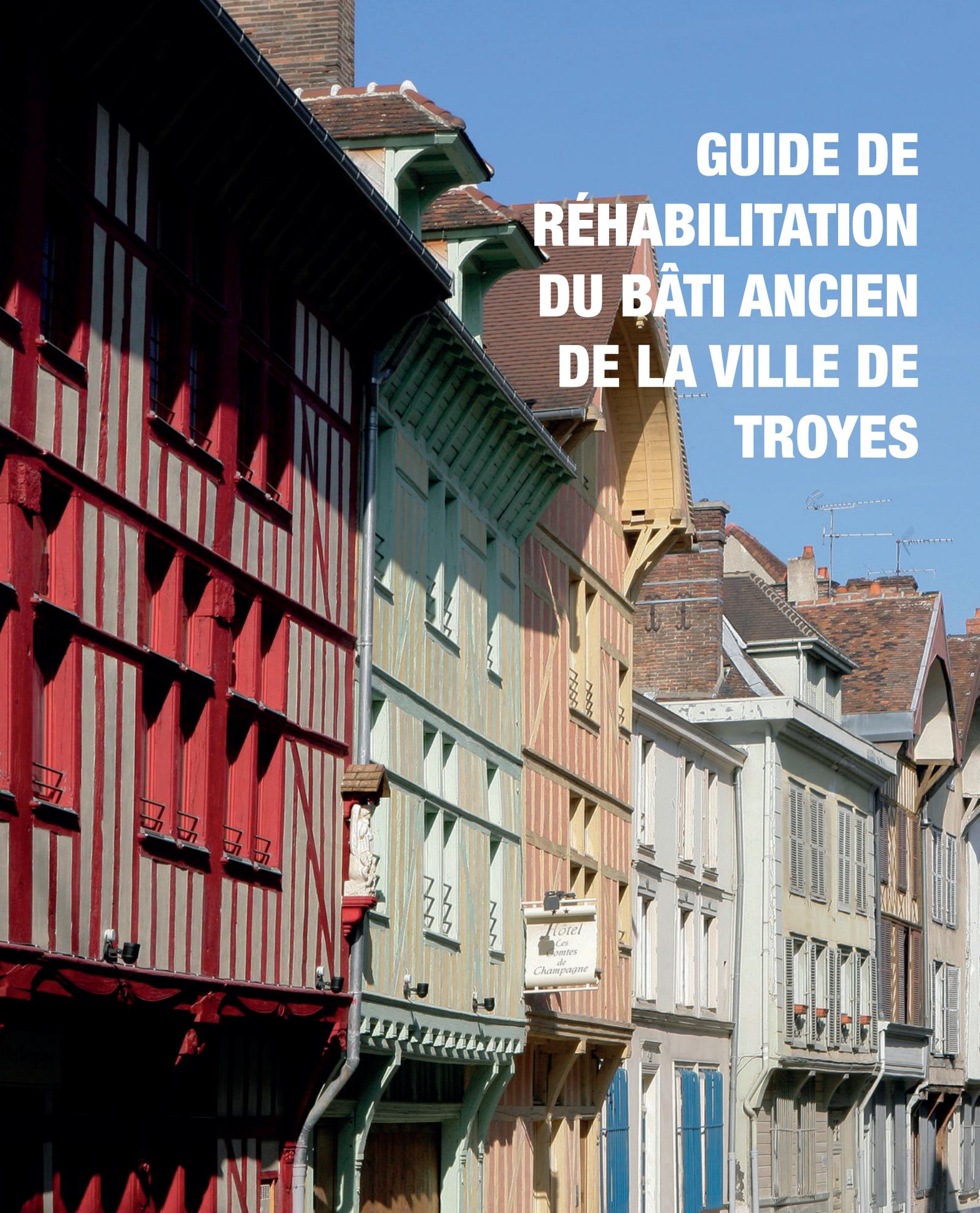


GUIDE DE RÉHABILITATION DU BÂTI ANCIEN DE LA VILLE DE TROYES

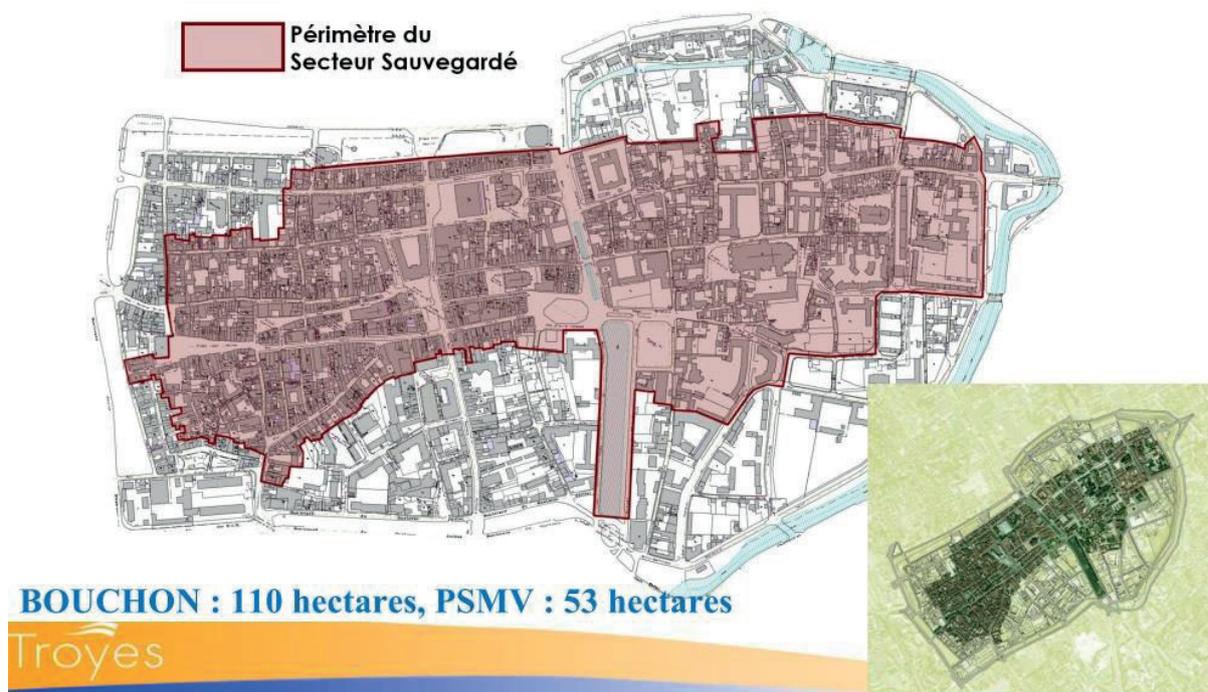


GUIDE DE RÉHABILITATION DU BÂTI ANCIEN DE LA VILLE DE TROYES

1. INTRODUCTION - GÉNÉRALITÉS



Afin d'embellir la cité et d'apporter un conseil à la rénovation thermique du patrimoine sauvegardé, la Ville de Troyes, parallèlement au lancement d'une quatrième OPAH-RU (Opération Programmée pour l'Amélioration de l'Habitat – Rénovation Urbaine 2012-2017), souhaite établir un guide permettant à l'ensemble des propriétaires d'aborder une réhabilitation énergétique suivant les contraintes d'un patrimoine ancien. Malgré les efforts des précédentes OPAH, il resterait plus de 1 200 logements vacants en centre-ville, dont la plupart possédant des pathologies entraînant la dégradation du bâtiment. C'est pourquoi un programme nommé « OPAH-RU du Bouchon de Champagne » a été mis en place le 10 avril 2012 pour une période de cinq ans, concernant là encore le centre historique, répondant à l'ambition et aux exigences du PNRQAD (Programme National de Requalification Anciens Dégradés).



Ce guide concerne l'ensemble du plan du Bouchon troyen, secteur sauvegardé impliquant que toutes réhabilitations soient soumises à l'autorisation des Architectes des Bâtiments de France (ABF), principalement composé de bâtiments à pans de bois, en brique ou en béton.

La réhabilitation thermique des bâtiments existants représente un enjeu majeur pour permettre de limiter les besoins énergétiques dans le but de réduire les charges des ménages et de résoudre les pathologies provoquant une dégradation prématurée du bâtiment. L'objectif pour chaque propriétaire est de concilier à la fois les spécificités constructives du patrimoine architectural et l'amélioration énergétique des bâtiments anciens.

La réhabilitation d'un bâtiment est une opération conséquente qui induit un lourd investissement et doit donc assurer un niveau maximal de performance tout en allongeant la durée de vie du bâtiment. Or les spécificités thermiques et surtout hygrothermiques des bâtiments anciens doivent impérativement être connues afin de réaliser une rénovation pérenne dans le temps.

Les solutions de réhabilitation appliquées pour les bâtiments contemporains ne sont généralement pas adaptées à ces bâtiments anciens et peuvent entraîner des résultats énergétiques insatisfaisants, ainsi que des problèmes d'humidité, aboutissant à la dégradation physique des composants structurels. Une réappropriation du fonctionnement de ce bâti ancien dans son environnement participera à effectuer les choix qui lui permettront de résister encore aux effets du temps et d'inscrire ses nouvelles performances dans la durée. Au-delà des économies d'énergie induites, une bonne isolation apporte un gain de confort et permet d'intégrer de nouvelles considérations tant esthétiques que fonctionnelles, améliorant mécaniquement la valeur patrimoniale du bâtiment.

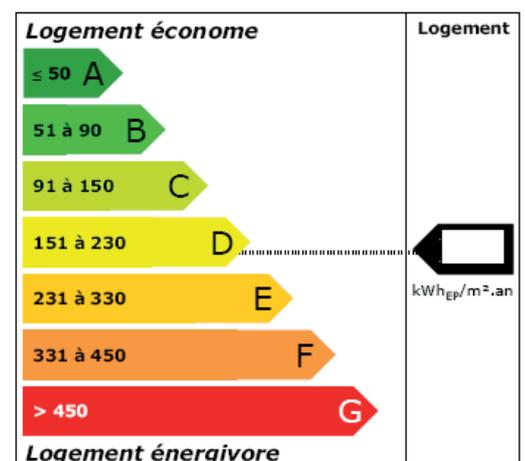
Ce présent guide de préconisations vise à illustrer l'ensemble des travaux réalisables, leurs coûts et les précautions à ne pas négliger pour préserver la qualité patrimoniale du bâti. Il propose des solutions adaptées aux spécificités, aux usages, aux modes constructifs de chaque bâtiment, tout en réduisant significativement la consommation d'énergie et son impact environnemental. L'objectif est alors de former et d'accompagner au mieux les propriétaires dans leur démarche, en leur donnant les compétences et outils pour choisir les solutions adaptées aux caractéristiques de leur bâti et à sa valeur patrimoniale.

Les enjeux de la rénovation énergétique : quels avantages à la réhabilitation de mon logement ?

→ Revalorisation du patrimoine suivant la valeur verte

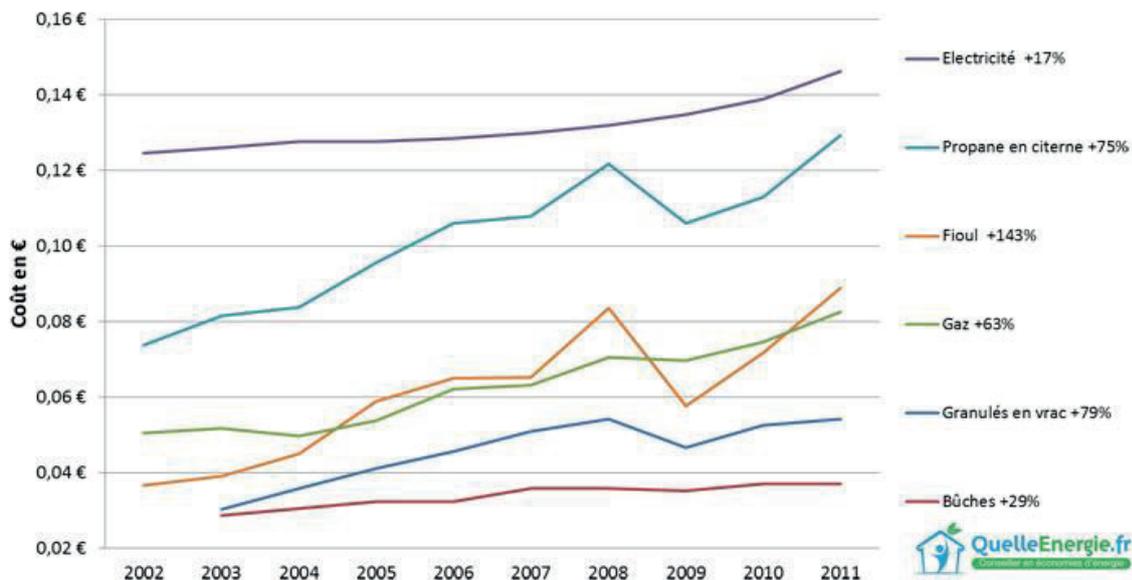
Des études menées par l'association *DINAMIC* en septembre 2013 ont démontré qu'« **il existe un écart de valeur de l'ordre de 5% du prix de vente entre chaque lettre du DPE** ».

Ainsi, le marché de l'immobilier accorde une valeur supérieure aux biens énergétiquement performants, d'où l'intérêt d'une rénovation énergétique d'un bâtiment pour la valorisation du patrimoine.



→ Maîtriser sa consommation énergétique

Le coût de l'énergie étant soumis au marché de l'offre et de la demande, il subit une augmentation durable et risque de s'accroître sur les prochaines décennies. Celui-ci impacte directement les charges locatives et les factures énergétiques de l'occupant. Une réhabilitation globale génère des économies d'énergies et financières qui permettent d'être moins impacté par cette évolution.

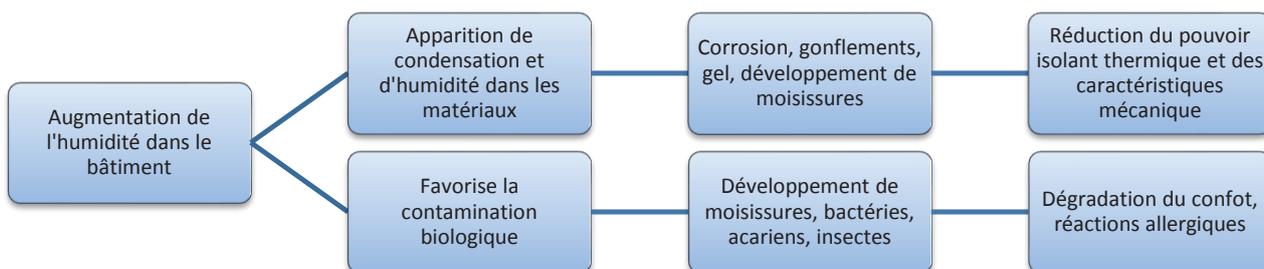


→ Santé et qualité de l'air intérieur

La qualité de l'air dégradée est en grande majorité due à un **système de ventilation défectueux**. En effet, une ventilation insuffisante est l'une des causes de la mauvaise qualité de l'air intérieur, par l'augmentation de la concentration des polluants qu'elle provoque.

Le rôle sanitaire de la ventilation est aussi primordial que la maîtrise de l'énergie.

Les bâtiments anciens ont très souvent un manque de ventilation important pouvant entraîner des pathologies de développement de moisissures dans les parois ou des concentrations de polluants dans les pièces. Un air sans cesse renouvelé à l'intérieur des bâtiments est nécessaire, non pour assurer l'apport d'oxygène indispensable à la vie, mais surtout pour éliminer au fur et à mesure la présence d'humidité et des divers polluants générés dans le bâtiment rendant l'atmosphère malodorante et toxique.



Réaliser une réhabilitation énergétique permet d'améliorer la qualité de l'air intérieur, notamment en favorisant un renouvellement d'air efficace et l'utilisation de matériaux sains et naturels.

Les pollutions aériennes ne connaissent pas de frontières, puisque l'air n'en a pas. En général, l'air intérieur est plus pollué que l'air extérieur (30 à 100 fois plus). Les sources de pollution sont nombreuses et ont un impact important sur la qualité de vie et le confort de l'occupant.

Tableau 1 - Quelques sources de pollution

Air extérieur	Chauffages, transports, industrie	SO ₂ , Nox, CO, hydrocarbures, poussières
	Nature	Bactéries, spores, pollens
Air intérieur	Occupant	Odeurs, CO ₂ , vapeur d'eau, particules, bactéries
	Tabac, feux ouverts	CO, aldéhydes, particules
	Combustion de gaz	CO, CO ₂ , vapeur d'eau, Nox, particules
	Matériaux	Aldéhydes, amiante, solvants, COV
	Produits divers (spray, nettoyage, papier, encre...)	Odeurs, solvants, COV
	Terrain	Radon, méthane

Les risques de cette pollution intérieure sont variables en fonction des polluants concernés et de leur concentration, mais peuvent être sources de problèmes de santé (difficultés respiratoires, allergies, vertiges, troubles visuels et auditifs, cancer...). Pour exemple, **le monoxyde de carbone (CO) est la première cause de mortalité par intoxication en France.**

→ Amélioration du confort de l'occupant

- **Confort thermique** : remédier aux sensations de parois froides, courants d'air, odeurs désagréables, humidité, chaleur en été, etc...
- **Confort acoustique** : la réhabilitation du logement permet l'amélioration de l'isolation acoustique du bâtiment par le changement du vitrage, l'isolation des parois...
- **Confort visuel** : apporter la lumière naturelle suffisante dans tout le logement et choisir un éclairage artificiel adapté. En effet, un éclairage médiocre, des reflets ou des éblouissements, perturbent la vision, augmentent la fatigue visuelle et posturale, influencent les activités humaines et diminuent la sécurité.

→ Diminution des coûts « cachés »

La réhabilitation permet de pallier l'achat de systèmes, tels que l'achat d'appareils individuels (déshumidificateur, chauffage/climatiseur mobile) ou de prestations de réparation, telles que la réfection des peintures détériorées par l'humidité. Ces coûts liés à des sinistres pris en charge entraîneront l'augmentation du coût de l'assurance.

→ **L'environnement protégé**

La rénovation énergétique est clairement orientée vers la protection de l'environnement. Diminution du gaspillage, réduction des consommations d'énergie (notamment fossile), amélioration des performances des bâtiments... L'utilisation de matériaux sains, naturels, à faible énergie grise et de sources d'énergies renouvelables vient compléter une démarche initiale de sobriété. Réhabiliter sa bâtisse est un acte par lequel chacun contribue à la protection de notre planète.

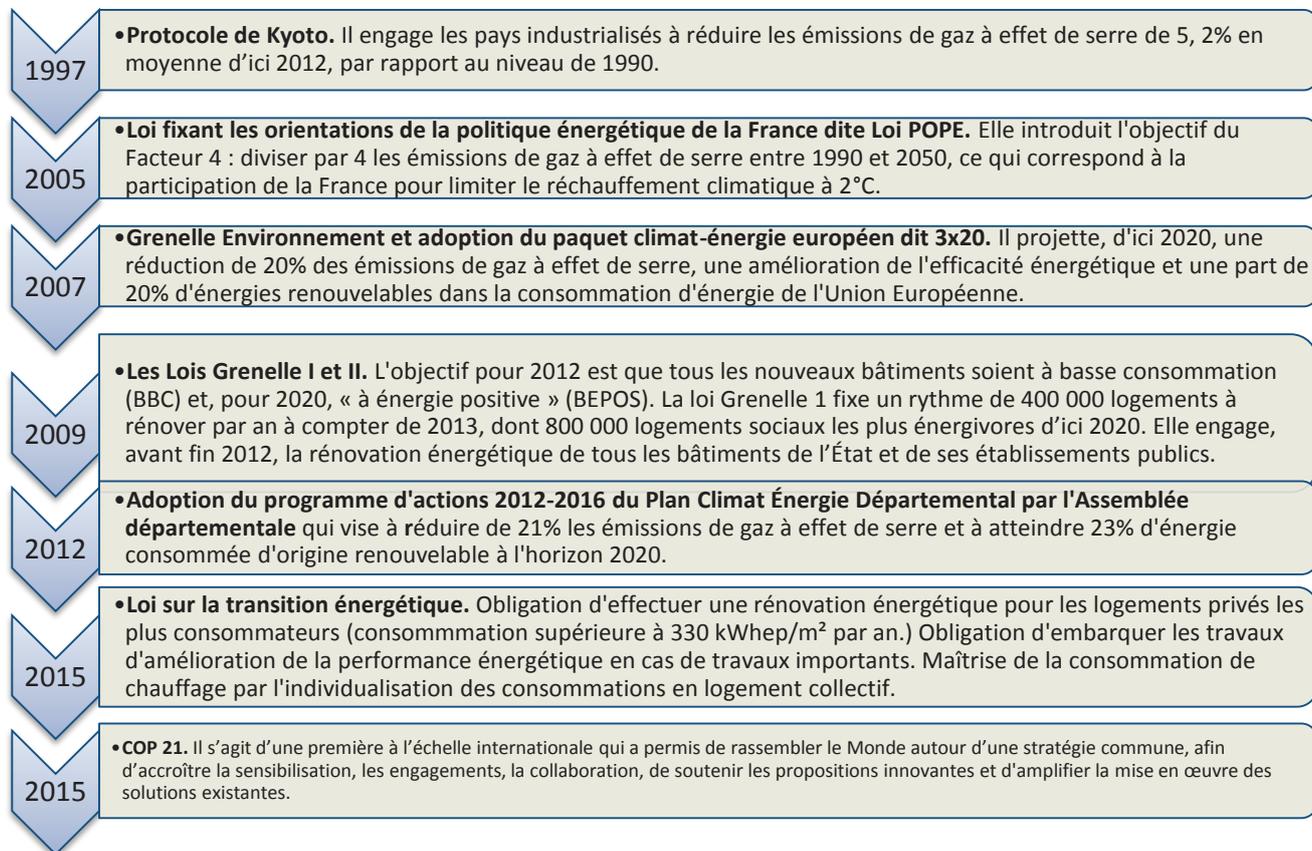
→ **Préservation de la qualité architecturale et patrimoniale des bâtiments.**

La réhabilitation du bâti permet de préserver et perpétuer un patrimoine unique construit depuis le début du XVI^e siècle. Cela valorise le patrimoine à l'échelle du bâtiment, mais également à l'échelle du quartier et plus largement au bouchon troyen. En effet, la politique d'urbanisme, partagée avec les ABF (Architectes des Bâtiments de France), préserve la qualité architecturale du patrimoine grâce à une cohérence esthétique. La réfection des façades permet, dans certains cas, de découvrir une structure plus ancienne – découverte qui pourra orienter le propriétaire à retrouver l'aspect d'origine de la construction.

2. STRATÉGIE DE RÉHABILITATION

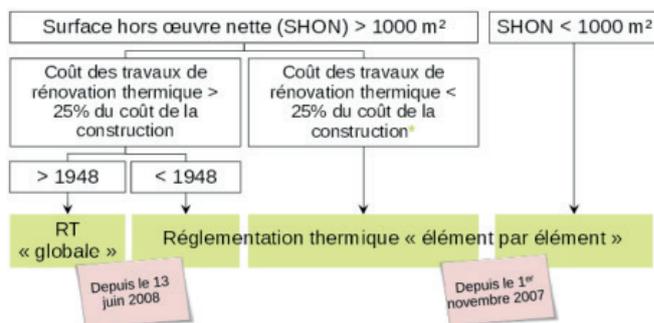
2.1. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Quelques dates clés et objectifs du développement durable sur le plan international, européen et national :



Pour atteindre ces objectifs, une nouvelle réglementation thermique devrait paraître, qui devra tenir compte des spécificités du bâti ancien. En effet, dans certains cas et en raison de configurations particulières, il est difficile d'atteindre les performances souhaitées. En cours depuis 2007, la réglementation actuelle sur le bâti existant est peu exigeante. Elle est applicable à l'occasion de travaux de rénovation, de remplacement ou d'installation dans un bâtiment existant. Ces objectifs généraux sont : améliorer la performance énergétique du bâtiment, limiter l'utilisation de la climatisation, maintenir le niveau de confort d'été, enfin ne pas dégrader le bâti.

Les exigences de performances énergétiques sont différentes selon le coût des travaux, la superficie et la date de construction du bâtiment existant. Suivant les bâtiments il s'agit d'appliquer la règle « élément par élément » ou bien une approche globale pour les bâtiments supérieurs à 1 000 m².



[http://www.rt-batiment.fr/fileadmin/documents/RT_existant/fiches_applications/20150326 FA calcul de la valeur d un batiment RTexistent.pdf](http://www.rt-batiment.fr/fileadmin/documents/RT_existant/fiches_applications/20150326_FA_calcul_de_la_valeur_d_un_batiment_RTexistent.pdf)

Pour les rénovations de bâtiments d'avant 1948, la réglementation définit un objectif de performance « élément par élément », présenté dans les articles 2 à 44 de l'arrêté du 3 mai 2007, relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants.

La Réglementation Thermique (RT) « élément par élément » prend en compte 8 points listés ci-dessous :

- Ventilation
- Parois opaques
- Eau chaude sanitaire
- Parois vitrées
- Refroidissement
- Eclairage
- Chauffage
- Énergie renouvelable

Pour chaque élément susceptible d'être installé ou changé, la RT « élément par élément » donne le critère de performance exigé du produit et ses conditions d'installation. À titre d'exemple, lorsque des fenêtres sont remplacées, les nouvelles fenêtres doivent, sauf cas particulier précisé dans le texte, présenter une performance minimale qui correspond à un double vitrage à isolation renforcée:

$U_w < 2,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Néanmoins, des précautions sont prises quant au respect et à la pérennité du bâti : l'isolation des parois opaques n'est pas exigée pour les matériaux anciens (article 2 – arrêté du 3 mai 2007), en raison d'un

Rappel Historique des RT

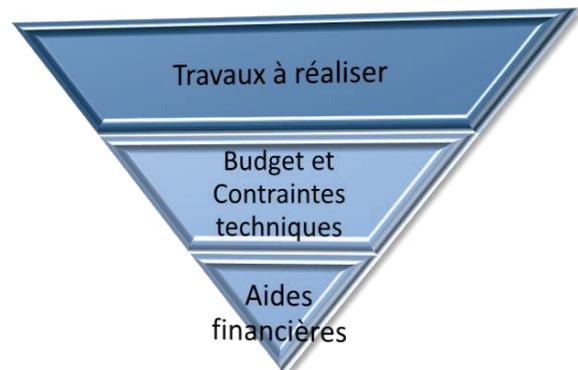
La première réglementation thermique (RT) est parue en 1974 et ne concernait que les bâtiments neufs. De ce fait, un grand nombre de maisons construites avant 1974 présentent des caractéristiques thermiques assez faibles. Des nouvelles mesures ont abouti successivement aux réglementations RT 2000, RT 2005 et enfin RT 2012, pour les bâtiments neufs.

risque d'isolation rapportée non compatible avec le mur d'origine. Pour les monuments historiques ou les bâtiments situés en espace protégé et bénéficiant d'une réglementation spécifique, des dispositions particulières existent, sur lesquelles il convient de se renseigner auprès du Service territorial de l'architecture et du patrimoine.

2.2. MÉTHODOLOGIE ET APPROCHE GLOBALE DE LA RÉNOVATION THERMIQUE DU BÂTI ANCIEN – ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL

En amont de la réalisation des travaux, il est essentiel d'adopter une méthodologie rigoureuse et une approche globale de la rénovation thermique du bâtiment. Une réhabilitation lourde est aussi l'occasion de repenser l'usage du bâtiment et d'y intégrer les modifications qui vont rendre le bâtiment plus adapté à nos modes de vie actuels et futurs. Ces modifications doivent être réalisées tout en préservant la qualité intrinsèque du bâtiment. Par exemple, bien penser en même temps les problématiques de la ventilation, du chauffage, de l'étanchéité, pour respecter la continuité thermique, ne pas détériorer l'isolation, ainsi qu'assurer l'étanchéité à l'air des parois.

Une vision globale, comme le montre le schéma ci-contre, permet d'évaluer les travaux à réaliser, en considérant ces différents aspects : budget, contraintes techniques et aides financières disponibles. Quelles que soient les possibilités financières, il convient d'avoir une approche globale de la réhabilitation, afin d'identifier tous les points à améliorer. Dans le cas où le budget est contraint, la réhabilitation se fera par phasage, priorisant les travaux ayant le plus d'impact sur la performance énergétique et le confort dans le bâtiment.



Certains outils d'aide à la décision, tel qu'un organigramme décisionnel proposé dans ce guide, permettent d'aborder la rénovation de manière globale, afin d'établir un plan pluriannuel d'investissement en fonction des solutions adaptées à la typologie du bâtiment.

Les organigrammes suivants orientent le choix stratégique de la rénovation énergétique suivant différentes motivations et/ou contraintes (pathologies existantes, choix énergétique, choix esthétique, confort...). Ils ont pour objectif de mettre en relation la stratégie de rénovation et les fiches actions associées. Ces dernières sont annexées aux présents guides.

Organigramme décisionnel 1 : Cet organigramme d'approche globale déroule l'ensemble des étapes à réaliser en amont du choix des travaux à effectuer et de proposer un ordre chronologique des travaux à mettre en place, pour éviter tous risques d'accentuation de pathologie. Il ne constitue pas un ordre formel puisque suivant des cas particuliers (la configuration des locaux et le type d'architecture), cet ordre peut changer. La priorité d'intervention dépendra du diagnostic effectué en amont et principalement des contraintes budgétaires.

Organigramme décisionnel 2 : Afin d'illustrer une stratégie de rénovation des parois verticales, cet organigramme permet de réaliser soi-même une approche du choix technique d'isolation d'une paroi verticale et de se référer à la fiche action correspondante. Il n'est pas exhaustif et d'autres critères peuvent venir étayer un choix technique.

SOMMAIRES DES FICHES ANNEXÉES

MURS PANS DE BOIS / TORCHIS

Fiche n°1 : Isolation répartie

Fiche n°2 : Isolation intérieure

Fiche n°3 : Combles aménagés

Fiche n°4 : Combles non aménagés

Fiche n°5 : Planchers bas

MAÇONNERIE BÉTON

Fiche n°6 : Isolation extérieure

Fiche n°7 : Isolation intérieure

Fiche n°8 : Combles non aménagés

Fiche n°9 : Planchers bas

Fiche n°10 : Menuiserie

SYSTÈME ÉNERGETIQUE

Fiche n°11 : Chauffage électrique

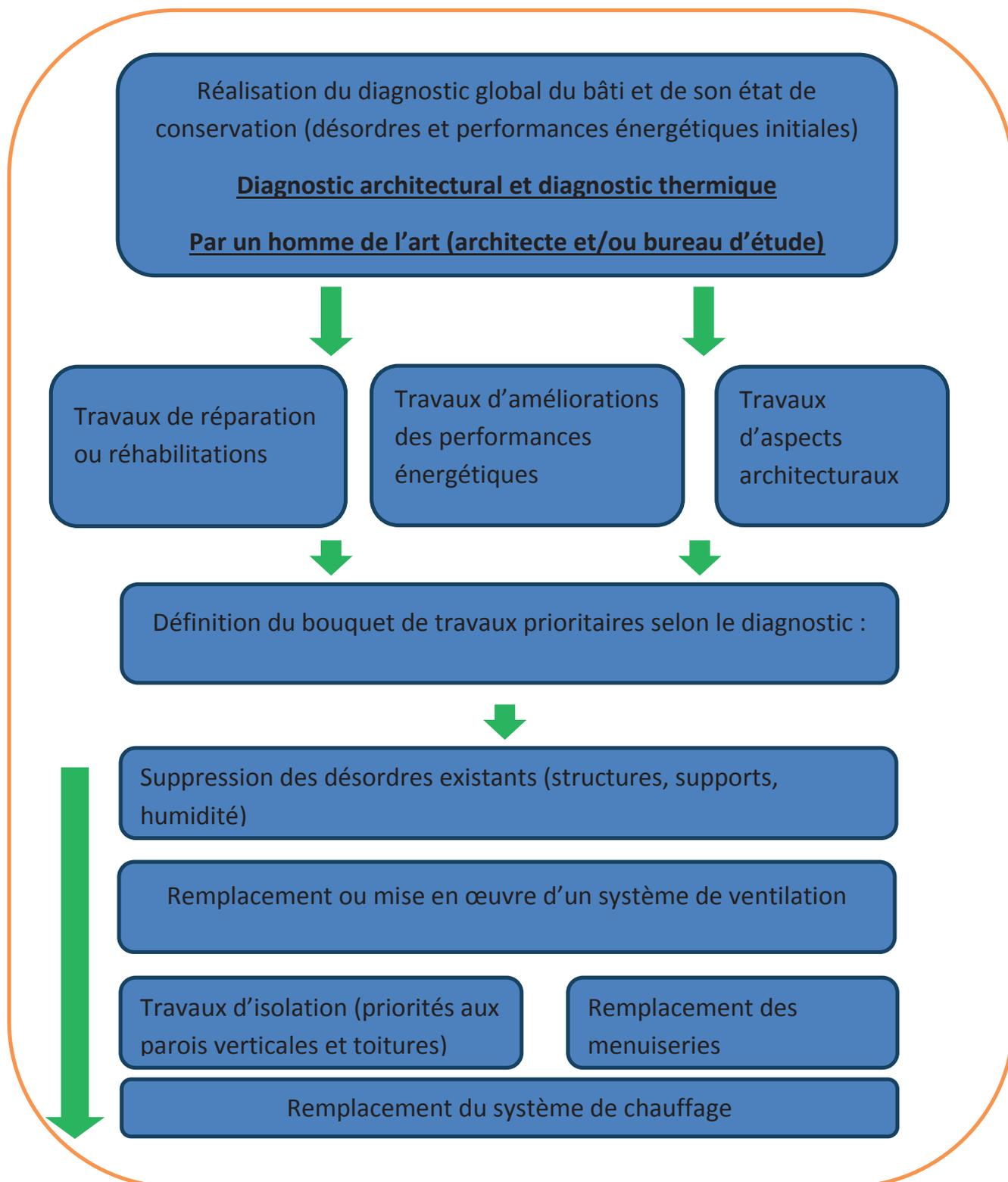
Fiche n°12 : Chauffage hydraulique

Fiche n°13 : Pompe à chaleur

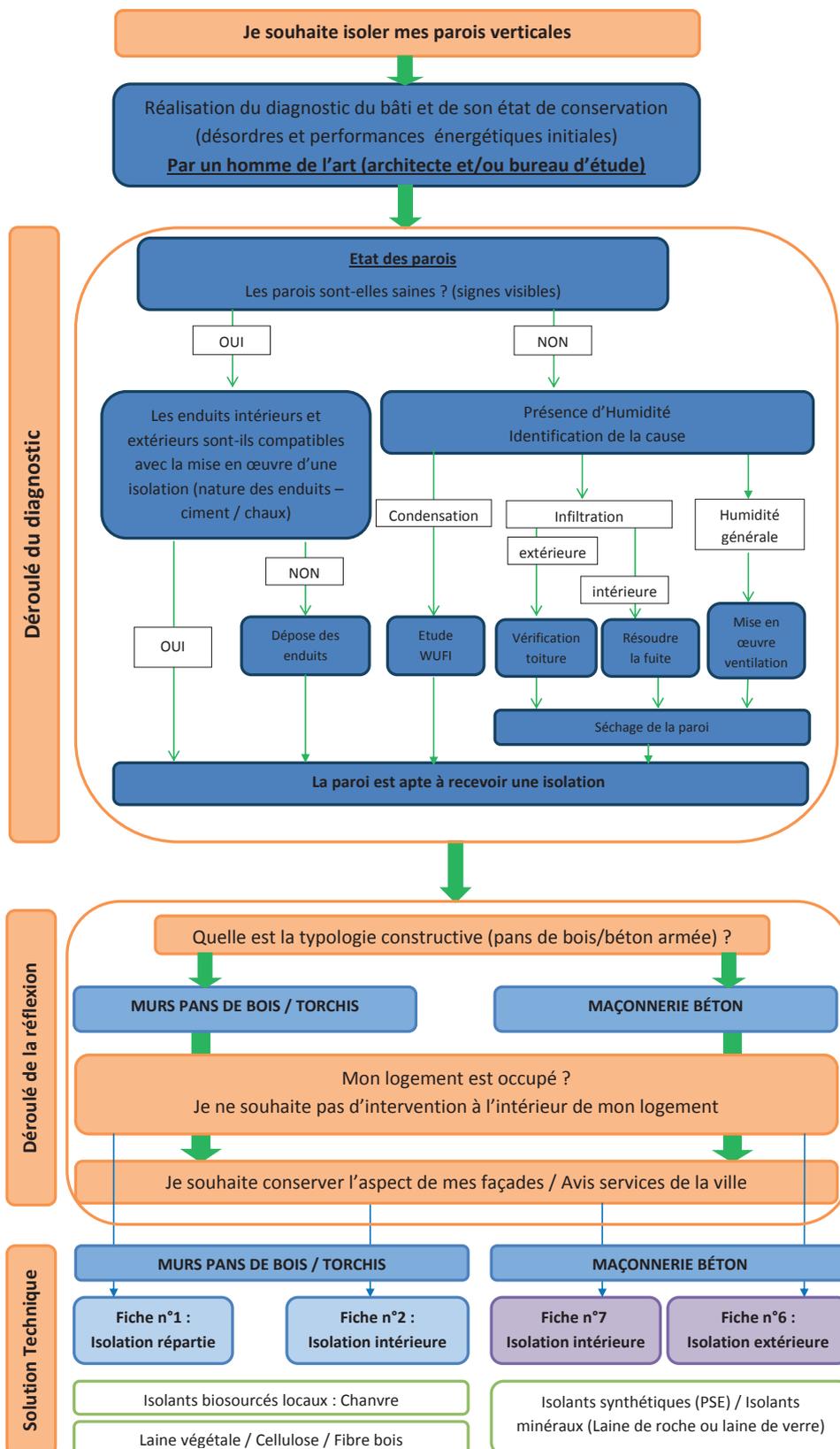
Fiche n°14 : Ventilation

Fiche n°15 : Solaire thermique

GUIDE DE RÉNOVATION DU PATRIMOINE ANCIEN DE LA VILLE DE TROYES - PROPOSITION D'ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL 1 – APPROCHE GLOBALE



GUIDE DE RÉNOVATION DU PATRIMOINE ANCIEN DE LA VILLE DE TROYES -
PROPOSITION D'ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL 2
EXEMPLE DE CONSTATS DU DIAGNOSTIC INITIAL SUR LES PAROIS VERTICALES AVANT CHOIX DE L'ISOLATION



2.3. RÉALISATION DU DIAGNOSTIC INITIAL - PROBLÉMATIQUES DU BÂTI ANCIEN

Un diagnostic initial est une étape clé de la rénovation qui permet d'aborder au mieux les futurs travaux envisagés, en fonction du bâtiment existant.

Il vise à établir un état des lieux du bâtiment pour identifier les axes de progrès et les objectifs à atteindre. Le bâtiment ancien possède une nature complexe et vit une liaison étroite avec son environnement. Ainsi, de nombreux facteurs doivent être pris en compte avant toute décision, pour ne pas réaliser des interventions risquant de lui nuire.

Ce diagnostic initial s'attache tout d'abord à réaliser une étude thermique et architecturale du bâtiment, afin d'aborder les éléments décoratifs du bâtiment, la nature structurelle, d'estimer les consommations énergétiques du bâtiment, de repérer les ponts thermiques ou les fuites de chaleur. Pour cela deux outils sont disponibles :

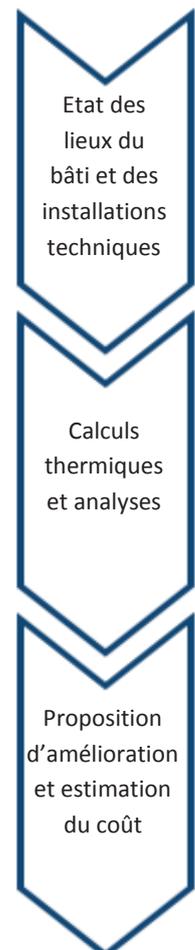
- Le DPE (Diagnostic de Performance Énergétique), qui se calcule d'après les relevés de consommation d'énergie des années précédentes, est donc tributaire des occupants. Il s'agit d'une estimation de la consommation énergétique d'un logement qui s'effectue obligatoirement, lors d'une vente immobilière.
- L'audit énergétique représente, quant à lui, une démarche beaucoup plus fine avec des mesures de déperditions énergétiques et d'identification des zones les moins isolées. Dans ce contexte, le bâtiment est lui-même audité par un bureau d'études thermiques spécialisé.

L'audit énergétique est bien plus qu'un Diagnostic de Performance Énergétique (DPE) : « L'audit énergétique doit permettre, à partir d'une analyse détaillée des données du bâtiment, d'établir une proposition chiffrée et argumentée de programmes d'économie d'énergie » (extrait du cahier des charges de l'ADEME).

Méthode STD (Simulation Thermique Dynamique) : Cette méthode de calcul, plus précise que les suivantes, permet de calculer la température intérieure et la consommation du bâtiment heure par heure, suivant des données météorologiques et des scénarios d'occupation/consigne de température propres à chaque utilisation. La méthode dite « STD » est principalement utilisée lors de surchauffe et sur les bâtiments anciens.

Méthode TH-C-E ex : Méthode dite conventionnelle, elle est obligatoire dans la recherche de subvention. Elle utilise des scénarios d'occupations et de température intérieure conventionnée. Établie par le ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, elle permet de comparer les bâtiments entre eux sur une même base de scénario. Contrairement à la méthode STD ou DJU, les valeurs de consommation peuvent s'écarter facilement de la réalité principalement suivant la consigne de température intérieure.

Méthode DJU (degré jour unifié) : Cette méthode de calcul permet d'établir le calcul des consommations dites « réelles », en fonction des écarts entre les températures moyennes journalières et la température intérieure. Elle est pratiquée couramment par les bureaux d'études thermiques et illustre de manière fiable la rigueur climatique de chaque saison. Elle est utilisée pour comparer les années de consommation entre elles.



C'est une analyse globale qui prend en compte 5 postes : le chauffage, la production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS), le refroidissement (ventilation), l'éclairage et les auxiliaires (consommations domestiques). Un audit énergétique ne prend pas ces postes l'un après l'autre, mais les uns avec les autres en interaction.

Cependant, le diagnostic initial ne se limite pas à un audit énergétique. Il considère l'ensemble des problématiques et pathologies pouvant affecter le bâtiment :

- ❖ La stabilité mécanique : identifier la composition et l'état de conservation des éléments structurels et de remplissage du bâti. Il s'agit d'examiner les parties porteuses de la maison, d'en évaluer la solidité, l'état et d'éventuelles pathologies structurelles.
- ❖ Identifier le cheminement de l'eau sur tous les éléments de façade et de toiture, de manière à prévenir toute infiltration d'eau dans l'enveloppe du bâtiment et notamment dans les parois opaques.
- ❖ L'implantation : identifier les atouts et contraintes de l'implantation du bâtiment. (apports solaires, exposition aux vents et à la pluie, usage, etc.).
- ❖ Confort : notamment le confort d'été qui est évalué par un calcul de simulation thermique dynamique et qui n'est pas considéré dans le calcul réglementaire de l'audit énergétique.
- ❖ Acoustique : repérer les zones les plus sonores.
- ❖ Salubrité : détecter les zones humides, confinées, les moisissures ou la présence d'insectes.
- ❖ Organisation de l'espace : point qui peut être essentiel pour repérer les incohérences ou les améliorations possibles.
- ❖ Esthétique : repérer les éléments architecturaux conduisant aux éléments décoratifs extérieurs et intérieurs donnant le caractère du bâtiment.

2.4. LES FILIÈRES LOCALES (MATÉRIAUX, ÉCO-LABELS, RÉALISATIONS EXEMPLAIRES)

L'enjeu des matériaux de construction est déterminant pour concevoir des bâtiments faiblement consommateurs d'énergie et émetteurs de CO₂. Il faut alors privilégier les matériaux :

- Écologiques, pour réduire les consommations d'énergie et les émissions de polluants, lors de la fabrication/transformation/déconstruction (matériaux biosourcés par exemple)
- Produits localement, pour réduire les émissions liées au transport
- Plus facilement recyclables, afin de mieux gérer les déchets après démolition

Qu'est-ce que la méthode de calcul TH-C-E ex ?

La méthode de calcul TH-C-E ex 2008 a pour objet le calcul réglementaire de la consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment existant pour le chauffage, la ventilation, la climatisation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage ainsi que le calcul réglementaire de la Température Intérieure Conventionnelle (Tic) atteinte en été dans un bâtiment existant. Celui-ci permet d'évaluer la performance initiale du bâtiment, d'orienter les choix de rénovation et d'estimer l'économie d'énergie réalisée grâce aux travaux, par rapport à la situation

Les matériaux biosourcés répondent en grande partie à ces critères puisqu'ils ne nécessitent pas de grandes transformations de la matière première, favorisent les circuits courts et sont biodégradables de par leur composition (biomasse animale ou végétale).

Aujourd'hui, les matériaux biosourcés se développent pour toutes les applications : structure, isolant et revêtement. Les règles de mise en œuvre sont éditées par les experts et les labellisations sont créées pour cadrer l'utilisation des matériaux déjà opérationnels. Tests et contrôles sont en cours pour fixer les matériaux de demain.

On pourra notamment citer :

1) La paille

Utilisée dès le siècle dernier à cause de sa grande disponibilité, la paille est aujourd'hui reprise dans les techniques aussi bien anciennes que nouvelles. Elle se trouve en isolant sous forme d'enduit, de torchis, de petites bottes, ou en structure sous forme de grosses bottes comprimées haute densité. Bien mise en œuvre, la paille se caractérise par une très bonne résistance au feu, aux insectes et à l'eau. Les règles professionnelles, rédigées par le Réseau Français de Construction Paille, fixent l'usage de la paille comme remplissage isolant et support d'enduit.



2) Le bois

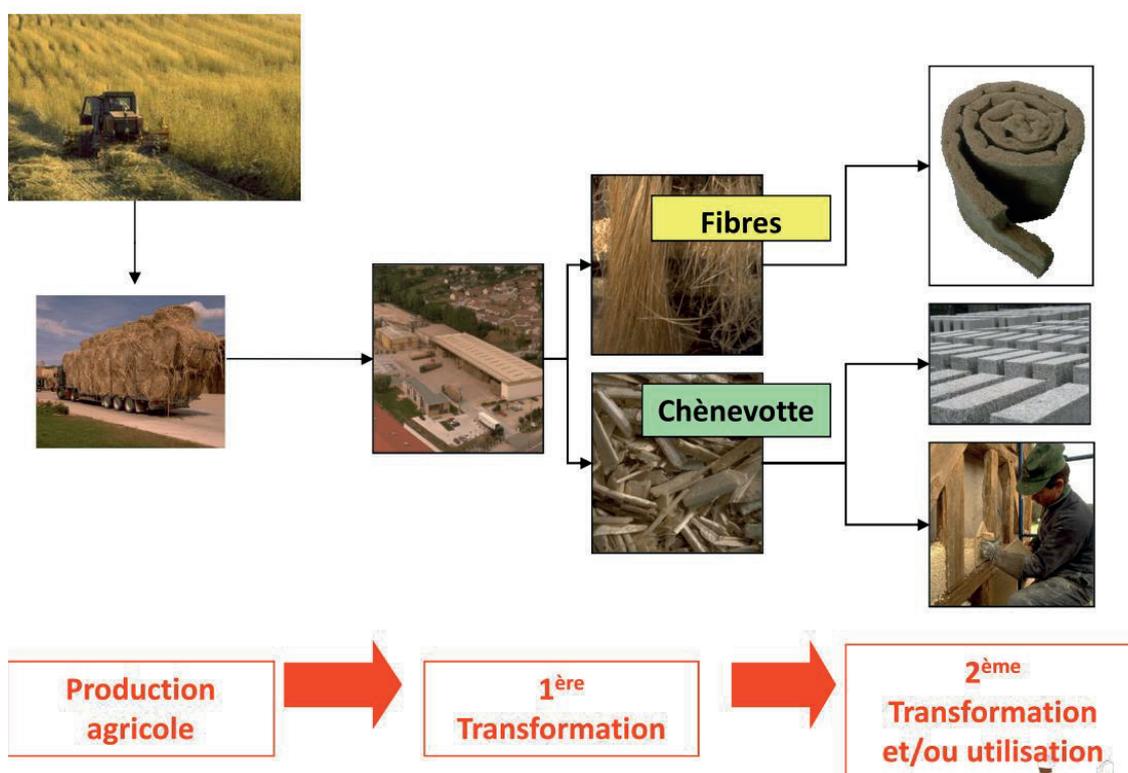
Le bois est le matériau de construction biosourcé le plus connu. Il se décline sous de multiples formes dans les bâtiments. Il constitue la grande majorité de nos charpentes. Il est aussi utilisé dans les parois (en ossature légère, poteaux-poutres, madriers, colombages ou encore panneaux massifs) et les



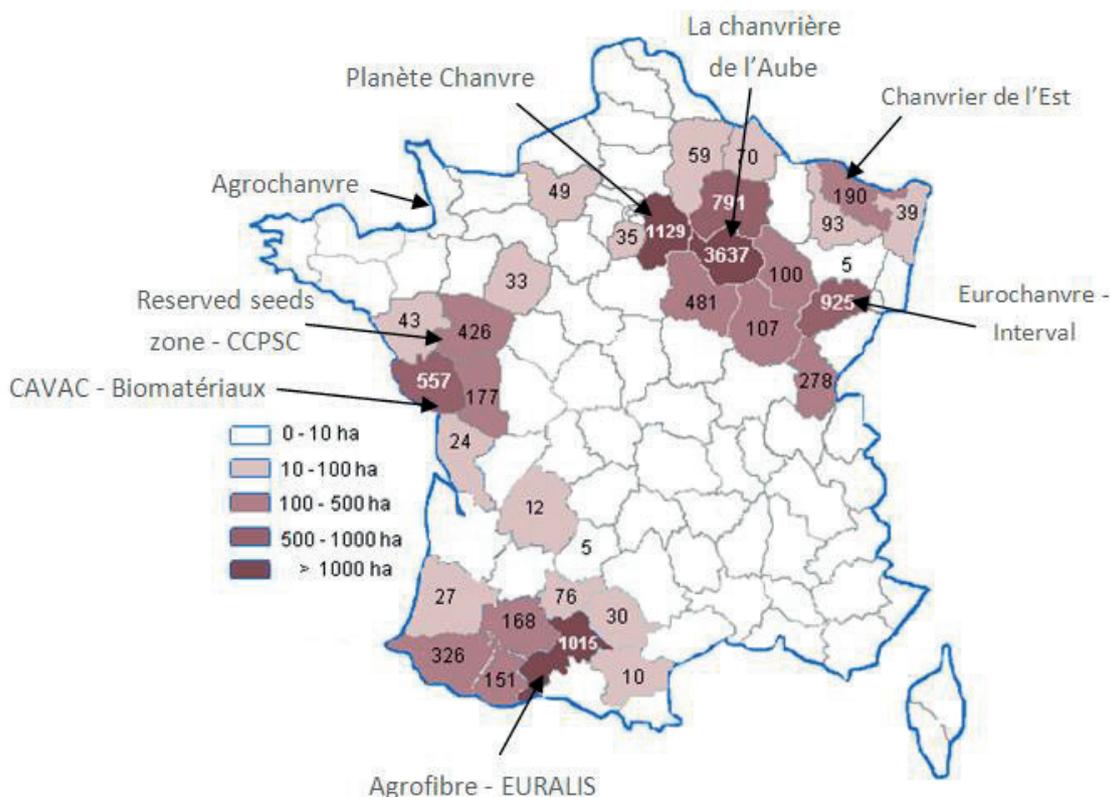
planchers. En revêtement extérieur (en panneaux, lames et bardeaux), il sert à protéger le bâtiment des intempéries. Le bois s'utilise également en isolant sous forme de fibres ou de laines qui présentent de bonnes qualités d'isolation et laissent circuler la vapeur d'eau, permettant ainsi de réguler l'hygrométrie intérieure des bâtiments. La Champagne-Ardenne dispose d'un gisement de bois disponible conséquent.

3) Le chanvre

Le marché de la construction chanvre est encore un marché en émergence, mais il se place en 1^{ère} position quant au développement des marchés des matériaux biosourcés et est aujourd'hui reconnu comme une des « filières industrielles stratégiques de l'Économie Verte ». La France est le 2^e pays producteur de chanvre dans le monde après la Chine et le 1^{er} en Europe. Dans le secteur du bâtiment, les fibres de chanvre sont employées pour la réalisation de laine d'isolation et de la chènevotte (tige) ; elles intègrent les bétons et enduits de chanvre, dont elles sont le granulat.



En France, sur 31 000 T de chènevotte produites par an (en 2013), 4700 T de chènevotte sont destinées au bâtiment, correspondant à un taux de pénétration du marché de 15 %.



Surface de Chanvre en France en 2012

Le béton de chanvre reste actuellement 15 à 20% plus cher que le parpaing et son prix est équivalent à celui du béton cellulaire ou de la brique mono mur. Il y a encore aujourd'hui une méconnaissance des qualités techniques de ces matériaux et de leur mise en œuvre par la profession ; leur prescription reste trop marginale auprès des clients. Pourtant, nombreux sont les atouts d'un chantier chanvre : la performance hygrothermique, la capacité de stockage du carbone de ses matériaux, le retour sur investissement en terme d'économie d'énergie (coût global). À l'usage, une construction en chanvre permettrait une économie d'énergie de 14%, d'où l'importance de la notion de parler de coût global.

La Champagne-Ardenne dispose de nombreux atouts pour le développement de la construction en Chanvre. En effet, la région regroupe toute une chaîne de valeur d'acteurs de la filière Construction Chanvre :

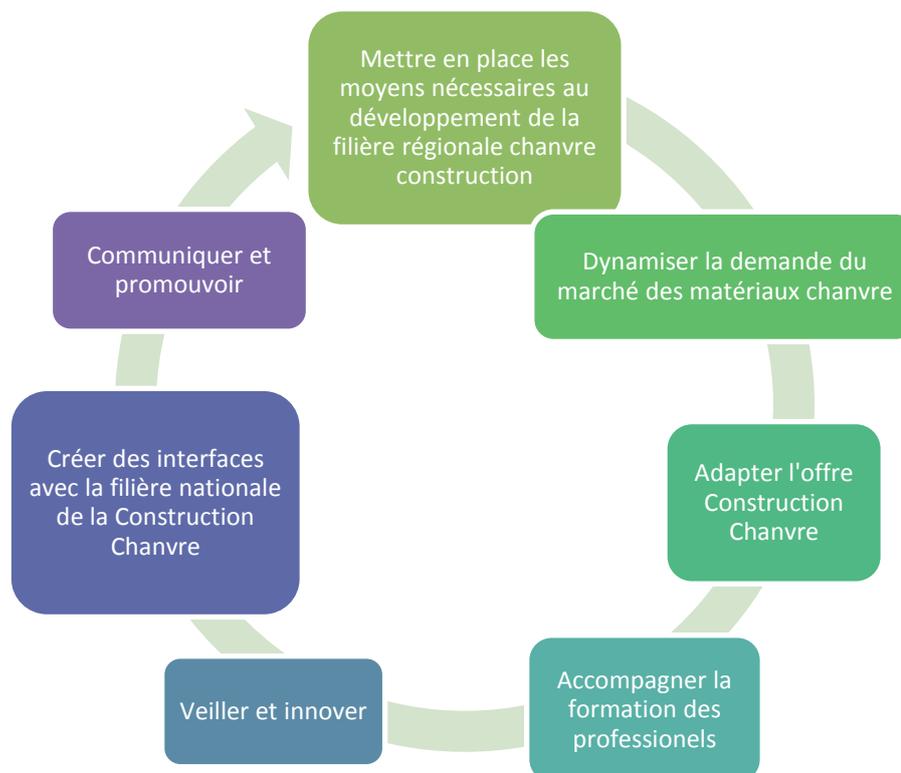
- Un producteur-transformateur de chanvre (La Chanvrière de l'Aube) qui représente 5000 hectares de surfaces cultivées par 300 producteurs-agriculteurs, soit près de 40 000 tonnes de paille de chanvre produites. LCDA représente 50% des surfaces cultivées en France soit environ 40% de la production Européenne,
- Des professionnels du bâtiment utilisant le chanvre,
- Des centres de recherche et de développement travaillant sur cette fibre (FRD - Fibre Recherche Développement, CRDA - Centre de Recherche et Développement Arago, les pôles universitaires : INRA, URCA, UTT),
- Des organismes de promotion et de développement des agro-matériaux (Pôle de Compétitivité Industrie & Agro-Ressources, ARCAD),
- Un territoire porteur d'un plan d'action de soutien et de valorisation de la filière chanvre (le Grand Troyes, Communauté d'Agglomération Troyenne dans le cadre de son plan agro-matériaux).

En novembre 2013, les acteurs de la filière chanvre en Champagne-Ardenne se sont réunis pour la constitution du **Collectif 3CA (Collectif Chanvre en Champagne-Ardenne)**. Cette association a pour objectif de créer un réseau de synergies et de compétences préfigurant une organisation régionale de la Construction Chanvre en Champagne-Ardenne, dont l'objet sera de développer la filière complète de la Construction Chanvre dans sa dimension opérationnelle sur le territoire.

Les premières pistes de travail ont notamment portées sur :

- L'information, la sensibilisation des maîtres d'ouvrages et des professionnels,
- L'accompagnement de la qualification des entreprises dans la mise en œuvre des matériaux chanvre,
- La sécurisation du cadre juridique des maîtres d'ouvrages, quant à l'usage du chanvre dans la construction et la rénovation du bâti et ce, afin d'intégrer l'utilisation du chanvre, notamment dans le cadre de la commande publique,
- La réalisation de projets exemplaires qui serviront de vitrine au territoire,
- L'accompagnement de programmes de recherche pour optimiser la performance des agro matériaux dans le bâtiment,
- Le développement d'une filière locale de « Construction Chanvre » structurée et fédérée, productrice de richesses et créatrice d'emploi.

À ce jour, le collectif 3CA a établi 7 axes de développement et d'action :



Pour plus d'informations, vous pouvez consulter le site internet du collectif 3CA :

<http://www.collectif3ca.fr/>

2.5. RÉNOVATION ET AIDES FINANCIÈRES - SUBVENTIONS

Nous présentons ici les aides financières à la rénovation énergétique du bâti existant valable au 1^{er} janvier 2016, allouées par l'Etat et la collectivité locale et présentant des critères d'éligibilité techniques spécifiques à chaque équipement et matériau. Les aides étant constamment réactualisées, il est important de se rapprocher des services institutionnels, afin d'avoir un état des aides au moment des travaux (ADEME, service urbanisme...).

Pour plus d'informations sur les aides financières destinées aux propriétaires, consultez le site <http://www.renovation-info-service.gouv.fr/>. La présentation de ces aides s'applique au Bouchon troyen et aux patrimoines anciens à proximité du Bouchon.

L'éco-prêt à taux zéro

L'éco-prêt à taux zéro (à ne pas confondre avec le prêt à taux zéro pour l'acquisition PTZ+) a été mis en place en 2009. Il permet de financer les travaux d'économie d'énergie et les éventuels frais induits par ces travaux, afin de rendre le logement plus économe en énergie, plus confortable et moins émetteur de gaz à effet de serre.

Accessible à tous les propriétaires, qu'ils occupent leur logement ou qu'ils le mettent en location, l'éco-prêt à taux zéro permet de bénéficier d'un prêt d'un montant maximal de 30 000 € pour réaliser des travaux d'éco-rénovation. Un éco-prêt copropriété, réservé aux syndicats de copropriétaires, est aussi disponible. Son montant maximum est de 10 000 € par logement (jusqu'à 30 000 € si le syndicat de copropriétaires décide de réaliser 3 actions de travaux).

Pour bénéficier de l'éco-prêt à taux zéro, le particulier peut :

- soit constituer un « bouquet de travaux » : la combinaison d'au moins deux catégories de travaux éligibles parmi une liste de catégories.
- soit permettre d'atteindre une « performance énergétique globale » minimale du logement, calculée par un bureau d'études thermiques.

Dans le cas du bâti ancien, l'éco-prêt à taux zéro peut être octroyé uniquement s'il y a réalisation d'un bouquet de travaux.

Pour bénéficier de ce prêt, depuis le 1^{er} septembre 2014, vous devez recourir à des professionnels RGE (Reconnu Garant de l'Environnement). Pour trouver les entreprises RGE près de chez vous, nous vous invitons à consulter l'annuaire des professionnels RGE.

Le Crédit d'Impôt pour la Transition Énergétique (CITE)

L'article 3 de la loi de finances pour 2015 a mis en place le crédit d'impôt pour la transition énergétique au 1^{er} septembre 2014, en remplacement du CIDD. Accessible aux propriétaires occupants et locataires, le crédit d'impôt pour la transition énergétique vous permet de déduire de vos impôts 30 %¹ des dépenses d'équipements et/ou de main-d'œuvre pour certains travaux de rénovation énergétique¹ (montant de dépenses éligibles, plafonné à 8 000 euros par personne et majoré de 400 euros supplémentaires par personne à charge). Ces équipements et matériaux doivent satisfaire à des critères de performance.

¹ Selon les dispositions inscrites dans la loi de finances 2015

Depuis le 1^{er} janvier 2015, pour bénéficier de cette aide, vous devrez faire appel à des professionnels qualifiés RGE (Reconnu Garant de l'Environnement). Pour trouver des professionnels RGE près de chez vous, nous vous invitons à consulter l'annuaire des professionnels RGE. Vous pouvez également consulter le guide pratique : choisir un professionnel compétent.

Certificat d'Économie d'Énergie (CEE)

Le dispositif de Certificat d'Économie d'Énergie repose sur l'obligation de réalisation d'économie d'énergie imposée par les pouvoirs publics aux vendeurs d'énergie, appelés les « obligés ». Ceux-ci sont incités à promouvoir activement l'efficacité énergétique auprès de leurs clients : ménages, collectivités territoriales ou professionnels. En cas de non-respect de leurs obligations, les obligés sont tenus de verser une pénalité de deux centimes d'euros par kWh cumac² manquant.

Les certificats sont obtenus à la suite d'actions entreprises par les obligés ou par l'achat à d'autres acteurs ayant mené des opérations d'économies d'énergie. Ces actions sont définies par arrêté et présentées sous forme de fiches : elles fixent, pour les opérations les plus fréquentes, les montants forfaitaires d'économies d'énergie en kWh cumac. Les secteurs concernés par les CEE sont les suivants : le bâtiment résidentiel, le bâtiment tertiaire, l'industrie, le transport et l'agriculture.

Dans le secteur du bâtiment résidentiel, les opérations valorisables au titre du dispositif des CEE visent l'isolation de l'enveloppe (6 fiches pour la France métropolitaine), les systèmes de chauffage, de climatisation, de production d'ECS, de ventilation (57 fiches), l'éclairage et l'électroménager (7 fiches) et les services (2 fiches).

Les subventions de la Ville de Troyes

Des subventions sont octroyées par la Ville de Troyes pour les immeubles situés dans le Bouchon de Champagne et présentant un intérêt architectural. Cependant, seuls sont subventionnés les travaux extérieurs visibles du domaine public (et les travaux sur cour, à titre exceptionnel).

À noter, les caractéristiques suivantes :

- Le montant de la subvention porte sur des travaux éligibles et sur le montant hors taxe
- Le pourcentage de l'aide varie entre 10 et 40 % du montant des travaux éligibles selon l'intérêt patrimonial du bien

Les modalités d'octroi de la subvention municipale sont les suivantes :

- Constitution de dossier de demande de subvention, à transmettre au service Secteur Sauvegardé, après accord sur les travaux.
- Passage du dossier en commission et au Conseil Municipal pour le vote.

² Le terme « cumac » correspond à la contraction de « cumulé » et « actualisé ». En outre, les économies d'énergie réalisées au cours de chaque année suivant la première sont actualisées en divisant par 1,04 les économies de l'année précédente (taux d'actualisation de 4 %).

- Versement de la subvention sur présentation des factures et après accord du Secteur Sauvegardé et de l'ABF.

Les subventions de l'OPAH-RU

Des aides financières et un accompagnement technique gratuit sont proposés aux propriétaires, occupants ou bailleurs, qui souhaitent rénover leurs logements en centre ancien.

Aides financières apportées aux propriétaires bailleurs (PB)

	Type de projets	Plafond des travaux subventionnables par l'Anah (montant HT/m ²) dans la limite de 80m ² par logement	%		Conditions à respecter
			Subvention maxi		
Anah	Travaux lourds pour réhabiliter un logement indigne ou très dégradé	1 000 €	35%	28 000 €	Conventionnement des logements obligatoire pendant 9 ans (loyer plafonné et conditions de ressources pour les locataires) loyer conventionné social LCS ou loyer intermédiaire LI Etiquette maximum énergétique D et émission de gaz à effet de serre E, Abbattement sur les revenus fonciers de 60% si LCL ou 30% si LI
	Travaux d'amélioration pour réhabiliter un logement dégradé, à la suite d'une procédure RSD ou d'un contrôle de décence	750 €	25%	15 000 €	
	Transformation d'usage dont le projet répond aux enjeux du plan départemental de l'habitat	750 €	25%	15 000 €	
	Travaux d'amélioration des performances thermiques gain minimum de 35%	750 €	25%	15 000 €	
	Si gain > à 35%	prime FART (Habiter Mieux)	2 000 €	35%	
	Travaux d'amélioration pour la sécurité et la salubrité de l'habitat	750 €	21 000 €	35%	
	Travaux d'amélioration pour l'autonomie à la personne	750 €	21 000 €	35%	
	Type de projets	Plafond de travaux ou de subvention	% ou prime		Bénéficiaires
FCI	ACTION 1: Travaux d'intérêt architectural relatifs à la restauration des façades, des toitures, des menuiseries et des cours intérieures	plafond: travaux subventionnables suivant l'intérêt patrimonial de l'immeuble	10 à 40 %		Tous les propriétaires
	ACTION 2: Travaux d'intérêt architectural relatifs à la restauration intérieure des immeubles	subvention maxi 9750 €	10%		Propriétaires bénéficiant d'une subvention Anah
	ACTION 3: Propriétaire en copropriété qui engage des travaux de restauration des façades, des toitures, des menuiseries et des cours intérieures	subvention maxi 10 000 €	15%		Propriétaires hors Anah
	ACTION 4: Promouvoir la conservation ou la création de grands logements (>80m ²)	prime forfaitaire	1 500 €		Propriétaires bailleurs bénéficiant d'une subvention Anah
	ACTION 5: Promouvoir les travaux de rénovation thermique (gain>25%)	prime forfaitaire	2 100 €		Propriétaires bénéficiant d'une subvention Anah ou de l'action 1

Aides financières apportées aux propriétaires occupants (PO)

	Type de projets	Plafonds des travaux subventionnables par l'Anah (montant HT)	Plafonds Anah		Hors plafond Anah
			Ménage aux ressources modeste (POM)	Ménage aux ressources très modeste (POTM)	Ménage > plafond modeste
Anah	Travaux lourds pour réhabiliter un logement indigne ou très dégradé	50 000 €	50%	50%	/
		si gain>25%prime FART (Habiter Mieux)	3 500 €	3 500 €	/
	Travaux d'amélioration pour la sécurité et la salubrité de l'habitat	20 000 €	50%	50%	/
		si gain>25%prime FART (Habiter Mieux)	3 500 €	3 500 €	/
	Travaux pour la perte d'autonomie	20 000 €	35%	35%	/
			7 000 €	7 000 €	/
	Travaux d'amélioration énergétique, gain>25%	20 000 €	35%	35%	/
			7 000 €	10 000 €	/
Autres travaux d'amélioration, uniquement travaux d'assainissement, ou en copropriété ou dégradation moyenne	20 000 €	prime FART (Habiter Mieux)	3 500 €	3 500 €	/
			20%	35%	/
		4 000 €	7 000 €	/	
	Type de projets	Plafond de travaux ou de subvention	% ou prime		
FCI	ACTION 1: Travaux d'intérêt architectural relatifs à la restauration des façades, des toitures, des menuiseries et des cours intérieures	plafond: travaux subventionnables suivant l'intérêt patrimonial de l'immeuble	10 à 40 %		
	ACTION 2: Travaux d'intérêt architectural relatifs à la restauration intérieure des immeubles	subvention maxi 9750 €	10%	/	
	ACTION 3: Propriétaire en copropriété qui engage des travaux de restauration des façades, des toitures, des menuiseries et des cours intérieures	subvention maxi 10 000 €	/	15%	
	ACTION 5: Promouvoir les travaux de rénovation thermique (gain>25%)	prime forfaitaire	500 €	2 100 €	

2.6. EXEMPLES DE RÉALISATION avant/après



La troisième OPAH-RU, qui s'est déroulée de 2004 à 2009, a permis la remise en état de logement sur le marché, la réhabilitation de 344 logements et la rénovation de façades dans l'esprit du secteur sauvegardé.



3. SPÉCIFICITÉS DES TECHNIQUES CONSTRUCTIVES

Les bâtiments modernes sont généralement conçus dans le but d'assurer l'étanchéité à l'air, à l'eau, et sont ventilés de manière artificielle.

À l'inverse, les bâtiments anciens ont été conçus davantage comme un système ouvert, tirant parti des caractéristiques climatiques de leur site d'implantation pour gérer l'air, la température et l'humidité intérieure.

Des différences fondamentales sont ainsi constatées dans les modes constructifs, notamment par l'inertie généralement lourde et la microporosité des matériaux de gros œuvre utilisés.

L'isolation des murs ne constitue donc pas systématiquement une solution évidente. Elle doit donc être pratiquée avec des traitements permettant de conserver les propriétés d'inertie et de perméabilité à la vapeur d'eau.

Concernant le comportement hygrothermique, la différence majeure provient du fait que le bâti contemporain s'isole des apports d'eau, alors que le bâti ancien contient de l'eau. Il convient de maintenir cet équilibre hygrothermique dans le patrimoine ancien.

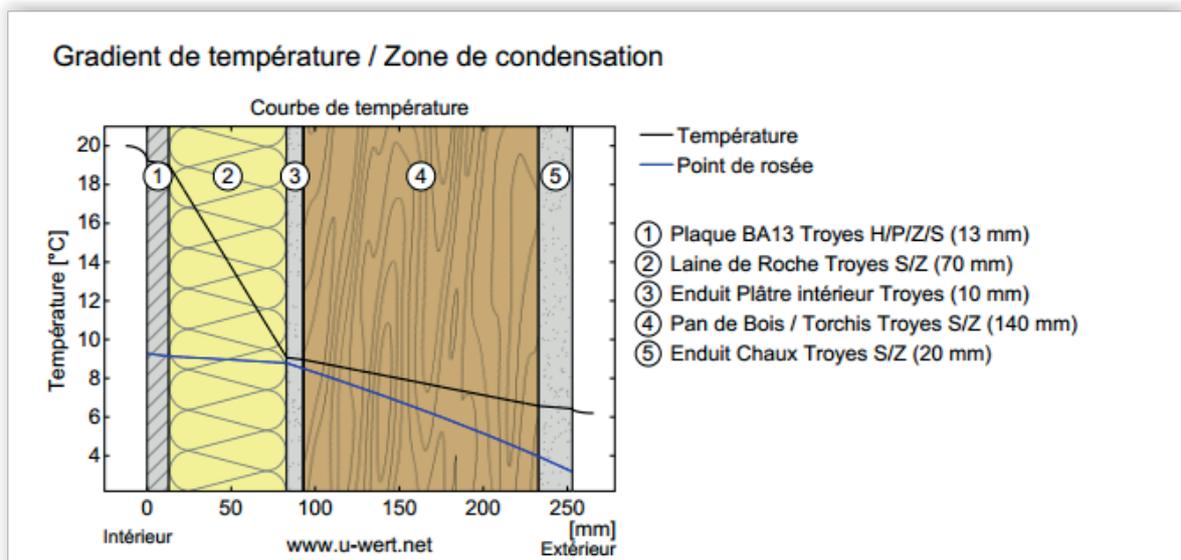
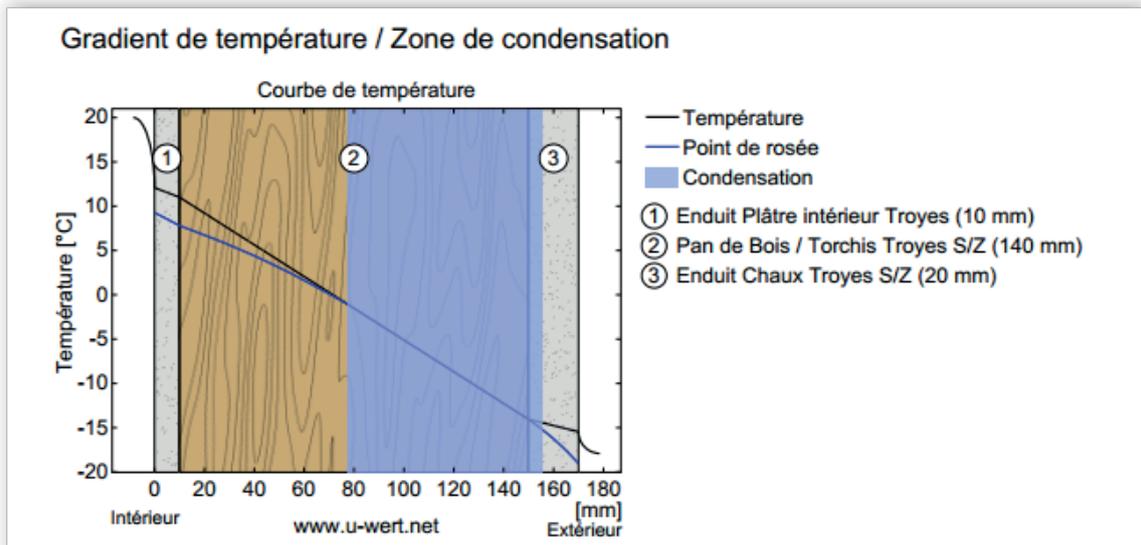
La gestion de l'humidité dans le bâti ancien est donc un axe fondamental. En effet, contrairement aux constructions nouvelles, où la stratégie adoptée est de se couper de tout risque d'humidité (matériaux étanches), les matériaux utilisés dans le bâti ancien sont généralement poreux et laissent migrer l'humidité.

Il est nécessaire de tenir compte de cette particularité, lors de toute intervention et de maintenir les capacités du mur à réguler et évacuer l'humidité qu'il contient, de manière naturelle (par évaporation principalement), tout en limitant les apports d'humidité (limiter les remontées capillaires, s'assurer du bon état des enduits, éviter les risques de condensation...).

	isolant	conductivité thermique en W/m.K	densité en kg/m ³	capacité thermique en J/kg.K	résistance à la diffusion de vapeur d'eau	énergie grise en kWh/kg
		λ	ρ	C_p	μ	
matériaux biosourcés	ouate de cellulose	0,037-0,042	30 à 70	2 000	2	1-2
	fibres de bois denses	0,038 - 0,049	110-240	2 000-2 100	3-5	1-3
	laines biosourcées	0,032 - 0,047	20-80	1 350-1 800	1-3	5-10
	béton de chanvre	0,06-0,15	200-800	1 350-1 800	5-8	1,8
	botte de paille	0,052-0,080	80-120	1 550	1-2	0,1
	liège expansé	0,037-0,044	65-180	1 600-1 900	5-30	2-7
matériaux minéraux	laines minérales nues	0,030-0,045	10-150	800-1 000	1-2	7-10
	verre cellulaire panneau	0,041	115	1 000	infini	2-5
	verre cellulaire granulat	0,075-0,12	170-250	1 000	4	2-5
	perlite - vermiculite - argile expansée	0,05-0,12	90-700	900-1 000	3-5	-
lux synthéti	polystyrène expansé	0,032-0,038	10-30	1 200-1 400	20-100	30-35
	polystyrène extrudé	0,028-0,040	15-30	1 000	80-200	30-85

polyuréthane	0,022-0,028	30-40	1 000	80-200	25-35
---------------------	-------------	-------	-------	--------	-------

Exemple de simulation sous le logiciel WUFI pour la vérification de la non condensation à l'intérieur des parois.



3.1. Pathologie générale liée à l'humidité

3.1.1. Dégradation mécanique de la structure

L'eau agit par voie chimique en participant à des réactions de dégradation des matériaux initiaux. Les risques pour la solidité de la structure sont très importants. Une destruction du mur existant est possible, en particulier quand il est constitué en partie de terre (mur en terre crue, torchis, joints en terre).

De plus, lors des périodes hivernales, l'eau présente dans le mur peut geler et causer des fissurations et des décollements d'enduit.

3.1.2. Détérioration des enduits et parements

L'eau agit par voie physique en transportant les matériaux désagrégés. Les effets les plus spectaculaires sont dus aux remontées par capillarité ; elles transportent avec elles des sels qu'elles déposent sur les parements lors de l'évaporation des eaux. Les sels attaquent alors les parements.

On constate la détérioration rapide des enduits en plâtre, des boiseries, des tentures et papiers peints, ainsi que des peintures, sur toute la hauteur des parties concernées.

3.1.3. Développement des bactéries et moisissures

L'eau agit indirectement en étant le vecteur de multiples bactéries et insectes qui participent, comme prédateurs, à la destruction des matériaux. La présence prolongée d'humidité à l'intérieur des parois et des pièces amène le développement de différents organismes qui provoquent des taches noires sur les murs et des allergies diverses chez les occupants.

Les éléments en bois, menuiseries et poutres, sont soumis à un risque de pourriture important aux endroits où l'humidité est quasi stagnante.

3.1.4. Identifier ces pathologies

Un certain nombre d'observations peuvent permettre de déceler l'origine des problèmes rencontrés. Vous trouverez ci-dessous quelques exemples :

Phénomènes observés	Pathologie associée
Condensation sur les murs	Mauvaise aération, mauvaise isolation (pas de frein vapeur, non respect d'une succession de matériaux laissant passer de plus en plus la vapeur d'eau)
Humidité relative élevée	Mauvaise aération, remontées capillaires, mauvais usage appareil domestique
Dégradation dans les angles	Condensation, humidité accidentelle
Sol transpirant	Condensation ou remontées capillaires
Taches sur la façade extérieure	Remontées capillaires, condensation, pluie battante, gestion eau pluviale défectueuse
Efflorescence aux étages	Pluie battante, humidité accidentelle

3.2. L'humidité, principale source de désordres dans le bâti ancien

3.2.1. Les sources d'humidité

Les facteurs responsables de l'humidité sont nombreux et variés. Les principales causes sont :

- les apports dus à l'activité humaine,
- les apports dus aux intempéries,
- les remontées d'humidité par capillarité,
- la condensation de l'eau à l'intérieur ou sur le mur,
- l'imperméabilisation des murs.

Nous présentons ci-dessous les principales sources de désordres constatés et les solutions pouvant être apportées.

L'humidité produite par l'activité humaine

L'homme produit de la vapeur d'eau par sa respiration et sa transpiration. Mais la part la plus importante de l'humidité ambiante est produite par les différents équipements que nous utilisons au quotidien.

Les principaux lieux émetteurs sont la salle de bain et la cuisine, où l'on utilise d'importantes quantités d'eau chaude, ce qui libère de la vapeur d'eau. Il est nécessaire de mettre en place un renouvellement d'air efficace et adapté à ces locaux dans le but de réduire les effets de ces pics d'humidité.

Les infiltrations dues aux intempéries

Les causes de la mauvaise protection contre les intempéries peuvent être :

- une mauvaise étanchéité du parement (enduit défectueux, mauvaise étanchéité au droit des joints de menuiseries...)
- un égouttage défectueux de la toiture (gouttière qui fuit, débord de toit insuffisant, rejaillissement en pied de mur...)

L'humidité due aux remontées capillaires

Le phénomène des remontées capillaires est engendré par l'humidité provenant du sol, qui en remontant dans les murs, les humidifie de leur base jusqu'à une hauteur variable. Les remontées capillaires peuvent également apparaître au niveau de la dalle. Les murs transformés en "éponge" absorbent l'eau souterraine ou l'humidité du sol.

Ce phénomène est relativement facile à diagnostiquer, il se caractérise par des tâches d'humidité en pied de mur.

La condensation au sein du mur

Le phénomène de condensation correspond au passage de la vapeur d'eau de l'état gazeux à l'état liquide. Cette condensation apparaît lorsque la vapeur d'eau est refroidie et atteint une température inférieure à son point de rosée. Dans les maisons, le phénomène le plus visible est la condensation superficielle au niveau des points froids, les fenêtres par exemple.

Mais il existe une condensation beaucoup moins visible, la condensation à l'intérieur du mur. Les différences de climat, entre l'intérieur et l'extérieur, entraînent des transferts de vapeur à travers l'enveloppe des bâtiments.

En hiver, ces transferts se font globalement de l'intérieur (plus chaud et plus humide) vers l'extérieur. L'air chargé de vapeur d'eau se déplace dans les parois par diffusion, au sein des matériaux. Si en un point de la paroi, la température de rosée est atteinte, l'air va se condenser et charger le mur en humidité.

Certains cas d'isolation par l'intérieur provoquent de la condensation interne, lorsque le flux de vapeur d'eau rencontre la paroi froide du mur.

Cette condensation est d'autant plus dangereuse qu'elle est difficile à détecter. **Lors d'une rénovation thermique, il s'agit de vérifier que la mise en œuvre de l'isolation ne causera pas de condensation interne.**

La présence d'un pont thermique peut aussi provoquer la condensation de la vapeur d'eau au niveau des points froids. Ce problème est particulièrement grave pour les liaisons des poutres bois qui risquent de pourrir.

Les défauts d'étanchéité à l'air de l'enveloppe engendrent des transferts de vapeur d'eau par convection. L'air qui transite emporte avec lui une grande quantité de vapeur. Des condensations internes sont alors possibles, si en un point de la paroi, cet air atteint la température de rosée. Les dégâts probables sont d'autant plus importants que la quantité de vapeur d'eau est concentrée en des points particuliers comme les ponts thermiques.

Les bâtis anciens ont la particularité d'être perméables à la vapeur d'eau. Leurs murs sont homogènes et la vapeur d'eau circule librement dans le mur. Les excès d'humidité peuvent être évacués par les parois intérieures ou extérieures.

L'imperméabilisation par l'intérieur ou par l'extérieur

La conséquence de l'imperméabilisation d'un mur est la création d'une barrière contre l'humidité.

La vapeur est bloquée par ces matériaux et se condense, engendrant la présence d'eau liquide à l'intérieur du mur.

Le cas le plus souvent rencontré est celui lié à la mise en œuvre d'un enduit ciment sur les façades, mais il peut aussi s'agir de revêtements plastifiés (peintures, crépi...) ou encore de vernis sur les pans de bois.

Ces différents matériaux ont souvent été mis en œuvre dans le cadre de travaux de modernisation du bâti ancien. Les conséquences sont la création d'une barrière vis-à-vis de l'humidité qui se déplace de l'intérieur vers l'extérieur.

La vapeur vient se stocker à proximité de ces matériaux et condense, engendrant la présence d'eau liquide sur la surface interne. Cette eau peut geler en période hivernale et provoquer des décollements d'enduits ou des revêtements. Une fragilisation du mur existant peut être constatée en particulier quand il est constitué en partie de terre (mur en terre crue, torchis, ...) jusqu'à l'écartement par le gel.

Différents facteurs pouvant amplifier les pathologies liées à l'humidité

Différents facteurs peuvent aggraver les pathologies dues à l'humidité mentionnées précédemment :

- un chauffage insuffisant dans les pièces principales ou ponctuellement interrompu
- l'absence d'une ventilation suffisante
- l'obstruction volontaire ou non (encrassement) des orifices d'entrée ou d'extraction d'air, l'arrêt volontaire ou non (panne) de la VMC (ventilation mécanique contrôlée)
- le branchement d'une hotte aspirante sur une extraction modifiant la circulation de l'air
- la mise en œuvre, dans le cadre d'une rénovation, d'un revêtement d'imperméabilité de façade
- le remplacement de menuiseries extérieures, sans mise en place d'un système de ventilation
- la mise en place d'un pare-vapeur sur un mur encore humide, empêchant ainsi toute évacuation des excès de vapeur d'eau
- la mauvaise mise en place d'un pare-vapeur, empêchant ainsi toute évacuation des excès de vapeur d'eau vers l'intérieur, conséquences encore plus lourde si le mur est humide
- la modification de l'environnement ou disparition de la végétation

3.3. MAÇONNERIE BÉTON

3.3.1. Caractéristiques du système constructif maçonnerie béton

Origine et intérêt

Le béton possède une grande résistance à la compression et une résistance moindre à la traction.

Dans les structures en béton se développe un ensemble de contraintes générées par les diverses actions auxquelles elles sont soumises. La résistance à la compression du béton leur permet d'équilibrer correctement les contraintes de compression.

En revanche, du fait de la relative faiblesse de sa résistance à la traction, il n'en est pas de même pour les contraintes de traction. C'est pourquoi, on dispose, dans les parties tendues d'une pièce en béton, des armatures (barres ou treillis soudés) en acier (matériau qui présente une bonne résistance à la traction).

Chaque constituant joue ainsi son rôle au mieux de ses performances : le béton travaille en compression et l'acier en traction. Ce matériau est appelé béton armé.

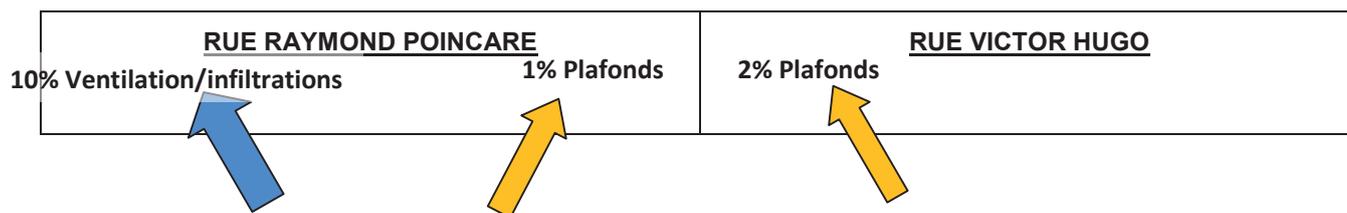
L'idée d'associer au béton des armatures d'acier disposées dans les parties tendues revient à J. Lambot (1848) et à J. Monier (1849), qui déposa un brevet pour des caisses horticoles en ciment armé. Les premières applications du béton armé dans des constructions sont dues à E. Coignet, puis à F. Hennebique, qui a réalisé le premier immeuble entièrement en béton armé en 1900.

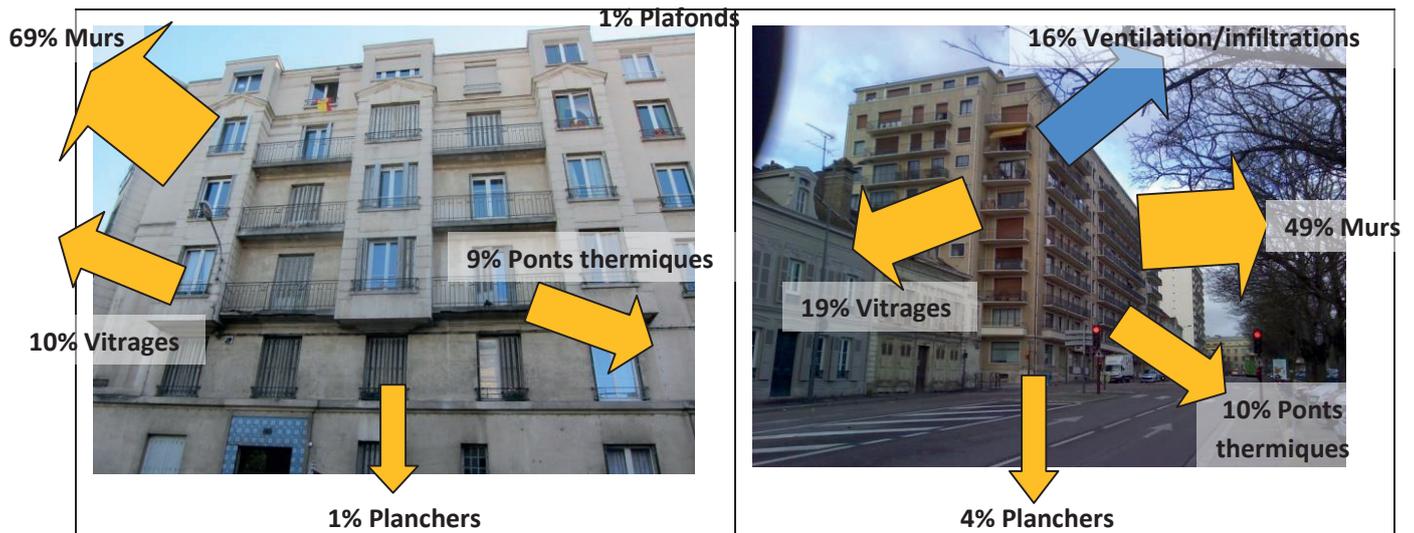
Le recours au béton comme matériau de construction et de structure a été réalisé massivement à partir des années 1920, ainsi on peut considérer les bâtiments étudiés dans le cadre de cette étude, comme du bâti conventionnel et non du bâti ancien.

Sur ces bâtiments, le concept d'isolation n'existe quasiment pas, de même que la prise en compte du climat.

Exemple de répartition des déperditions sur un immeuble mitoyen :

La première question qu'il convient de se poser est de savoir d'où viennent les pertes de chaleur dans votre logement. Bien connaître les points faibles de son logement, c'est aussi savoir quel serait le meilleur investissement dans des travaux. Les principales déperditions thermiques s'effectuent à travers les parois. Ci-dessous un état des lieux de l'existant pour un immeuble mitoyen en maçonnerie béton avec ventilation naturelle et une mauvaise étanchéité à l'air :





Caractéristiques hygrothermiques des bâtiments et structures en béton armé

- Ponts thermiques

Comme rappelé précédemment, les ponts thermiques de liaison et ponts thermiques linéiques, associés à l'utilisation de béton armé, sont par nature plus élevés que les ponts thermiques associés à la mise en œuvre d'ossature bois, en raison du caractère peu conducteur du bois.

- Inertie et déphasage

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à stocker de la chaleur ou de la fraîcheur dans ses murs et ses planchers.

Le béton qui présente une capacité thermique et une conductivité thermique importantes a une diffusivité du même ordre de grandeur que les autres matériaux de construction.

Le béton utilisé comme élément de structure possède généralement des épaisseurs comprises entre 15 et 30 cm. Aussi, la variation de température sur l'une des faces des parois met longtemps à être ressentie sur l'autre face.

Contrairement au bois qui ne possède pas d'inertie thermique, le béton de par les épaisseurs mises en œuvre sur les parois verticales et horizontales, possède une inertie thermique forte.

- Perméabilité à la vapeur d'eau

La perméabilité à la vapeur d'eau consiste en la possibilité qu'a cette dernière de traverser un matériau solide, liquide ou gazeux.

Chaque matériau est caractérisé par un facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

- Perméabilité à l'air

Le béton confère généralement une meilleure étanchéité à l'air du bâti, que dans le cas des filières sèches (ossatures bois, métallique, ou systèmes de montages d'éléments industrialisés).

Cet atout se traduit par des débits d'infiltration d'air parasites plus faibles, d'où une meilleure maîtrise des débits de renouvellement d'air.

3.3.2. PATHOLOGIES COURANTES

Les pathologies suivantes ont été observées :

- Des taches sur les façades extérieures et zone de détérioration des enduits sur les façades, dues principalement au ruissellement de l'eau sur la façade.



- Une dégradation de la structure sur les balcons par infiltration de l'eau dans le béton. Le phénomène de gel-dégel crée une dégradation accentuée du béton et développe une oxydation des aciers.



Ces observations laissent supposer qu'une condensation ou des remontées capillaires ont lieu à l'intérieur des parois considérées.

3.4. LE PAN DE BOIS À COLOMBAGE

3.4.1. Caractéristiques du système constructif « pan de bois »

Origine et intérêt patrimonial

Les maisons à pans de bois sont très anciennes, puisqu'on en retrouve des exemples dans l'Antiquité. L'ossature bois et le remplissage constituent le système constructif couramment appelé le colombage.

Les origines de l'utilisation du bois dans la construction de l'habitat en Champagne remontent à l'Âge du bronze (1800 à 1000 av. J.C.). A Troyes, les plus vieilles maisons à pans de bois datent de la fin du XV^e siècle et les autres du XVI^e siècle.

Troyes possède une des plus grandes concentrations de maisons à pans de bois du XVI^e siècle. Le cœur de la ville, appelé le *Bouchon de Champagne* (du fait de sa forme), fait partie des secteurs sauvegardés en raison de sa richesse et de son intérêt architectural.

Dès le Moyen Âge, Troyes est le centre d'une grande activité commerciale et devient également un centre de vie culturelle intense. Ces maisons à pans de bois sont le reflet de ce que devait être une ville florissante du XVI^e siècle et de la fin du Moyen Âge.

La structure du mur à pans de bois

La construction à pans de bois est un assemblage de poteaux et poutres, disposés à intervalles plus ou moins régulier. Les pièces maîtresses (poteaux et sablières) délimitent les principaux panneaux du colombage, entre lesquels vient s'inscrire l'ossature secondaire, composée de colombes et d'écharpes. Ces bâtiments sont constitués d'une ossature bois et d'un matériau de remplissage. L'épaisseur du mur correspond généralement à l'épaisseur des montants de bois plus l'épaisseur de l'enduit éventuel. L'épaisseur des colombages et des montants bois est très variable.

Il existe différentes sortes de remplissage d'origine : le torchis, la brique ou la pierre.

Il existe deux grands types de techniques : colombes couvertes et colombes découvertes :

- Le pan de bois à colombes couvertes : les bois sont couverts par le torchis sur la face extérieure ou sur les deux faces du mur, suivant l'épaisseur de ceux-ci, ne laissant de visible que le dessin de l'ossature principale.
- Le pan de bois à colombes découvertes : les bois sont laissés apparents sur la totalité des faces extérieures, le torchis ne les recouvre qu'à l'intérieur. Le pan de bois est parfois aussi visible à l'intérieur.

La protection des façades

Le bois craint l'humidité et le torchis se dégrade vite sous l'effet de la pluie et du gel. Pour protéger les façades exposées et permettre aux matériaux de respirer, on a recours à plusieurs types de protections des façades qui doivent laisser circuler la vapeur d'eau sous peine d'occasionner des pathologies.

On peut retrouver différentes protections de façades sur un même bâtiment, en fonction de l'exposition de la paroi :

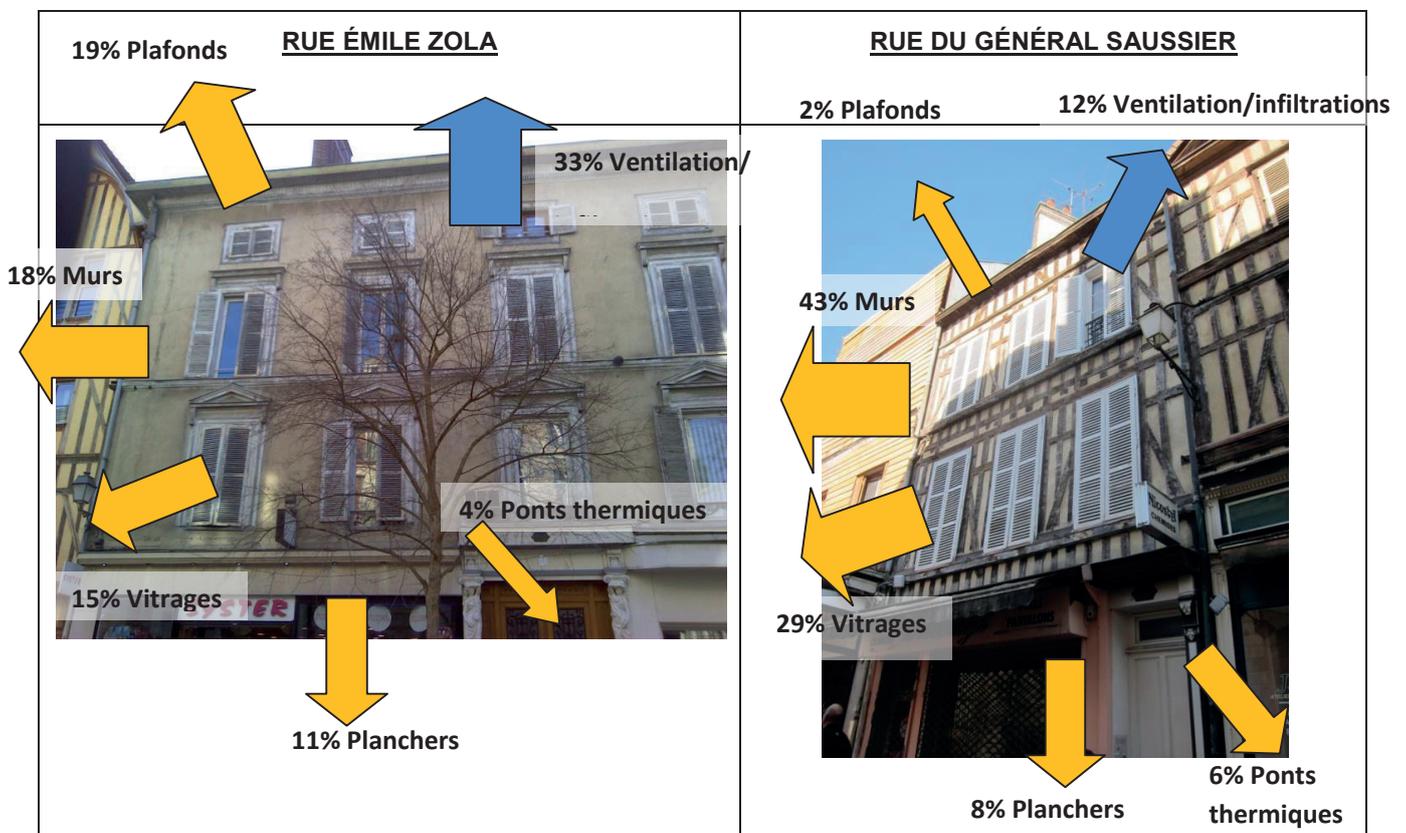
- les débords de toiture,
- l'enduit à la chaux,
- le badigeon à la chaux,
- l'essentage : technique qui consiste à recouvrir les parois extérieures d'une maison avec des matériaux de couverture, par exemple des ardoises ou des tavillons (petites planches de châtaignier d'environ 30 cm de long et amincis vers l'extrémité). Ce système d'accroche laisse circuler l'air sans que la pluie ne s'infilte,
- le bardage : réalisé à partir de planches de châtaignier posées à l'horizontale avec un recouvrement pour faciliter l'écoulement de l'eau.

La chaux est l'irremplaçable alliée du pan de bois. Elle lui fait bénéficier de ses qualités inégalées : naturellement poreuse, la chaux est régulatrice de l'humidité des parois et des variations hygrométriques des bois des colombages, fongicide, elle interdit le développement des champignons.

Il peut se révéler néfaste de laisser apparente la structure à pans de bois, si cette structure n'y était pas destinée. Si les bois restent apparents à l'extérieur, le remplissage doit être d'assez bonne qualité pour assurer le rôle de pare-pluie.

Exemple de répartition des déperditions sur un immeuble mitoyen :

État des lieux de l'existant pour un immeuble mitoyen à pans de bois à colombage avec ventilation naturelle et une mauvaise étanchéité à l'air :



Caractéristiques hygrothermiques des maisons à pans de bois

- Perméabilité à l'air

Les murs à pans de bois non entretenus ont l'inconvénient d'avoir une mauvaise étanchéité à l'air.

Les deux causes de ces défauts d'étanchéité à l'air sont les suivantes :

- les ruptures de liaisons entre l'ossature et le remplissage. Il faut s'assurer du bon état du remplissage, de sa mise en place et qu'il n'y ait pas de carence de matériaux
- les enduits mal entretenus. En effet, même en bon état, le torchis n'est pas étanche à l'air. Ce sont les enduits intérieurs ou extérieurs qui assurent cette étanchéité. Ces enduits doivent être étanches à l'air et perméables à la vapeur d'eau

- Perméabilité à la vapeur d'eau

Les éléments qui constituent le pan de bois sont perméables à la vapeur d'eau. Ce sont de bons régulateurs hygroscopiques.

Ces murs sont perspirants, l'excès d'humidité peut s'évacuer naturellement, par l'intérieur ou l'extérieur. Il est important de préserver cette qualité lors de la réhabilitation thermique.

- Inertie et déphasage

Le bois est un matériau ne possédant que peu d'inertie. L'inertie d'une paroi pan de bois dépend ainsi fortement de la nature et de la qualité du remplissage utilisé. Ainsi, le torchis lourd possède une masse volumique de $1\,400\text{ kg/m}^3$, favorisant fortement l'inertie et le torchis allégé présente une masse volumique de 400 kg/m^3 , présentant une faible inertie et favorisant l'isolation.

- Ponts thermiques

Les valeurs de ponts thermiques sont relativement faibles dans ce type d'habitat. Les jonctions plancher bas/intermédiaire-mur et plafond-mur sont faites par des liaisons bois et le bois est peu conducteur.

3.4.2. PATHOLOGIES COURANTES

- Les taches sur les façades extérieures et les zones de détérioration des enduits sur les façades ombragées, sont dues principalement au ruissellement de l'eau sur la façade et au manque d'évaporation de l'humidité de celles-ci.



- Fissuration entre l'enduit et les parties bois



3.5. REMÉDIER AUX PROBLÈMES ET DÉSORDRES LIÉS À L'HUMIDITÉ

Infiltrations liées aux intempéries

Les différents cas constatés sont les suivants :

- Une mauvaise gestion des eaux pluviales : le mauvais état des gouttières apporte beaucoup d'humidité en pied de mur et sur les façades. Il est nécessaire de les entretenir régulièrement.
- L'exposition des façades : mettre en œuvre une protection pour les façades les plus exposées : enduits, débord de toit plus important ou encore un bardage extérieur, sous réserve qu'ils ne dénaturent pas l'architecture du bâtiment.
- Des ruissellements : une gouttière qui dirigerait l'eau à bonne distance du pied du mur peut être suffisante. En l'absence de gouttière, la construction d'un drain est fortement conseillée.

Humidité liée aux remontées capillaires

Dans la plupart des cas, il faudra veiller à conserver une humidité minimum, en raison de la nature du mur ancien. L'assèchement trop important du mur risque de fragiliser les parties en terre, les liens et notamment les joints.

La mise en œuvre d'un drain peut répondre à différents objectifs, tels que l'évacuation du surplus d'eau en cas de forte pluie et/ou le drainage d'un sol humide.

Humidité liée à la condensation dans les parois

Pour les problèmes de condensation dans le mur suite à des travaux l'ayant rendu étanche à la vapeur d'eau, il faudra, dans la plupart des cas, enlever le matériau imperméable et le remplacer par un enduit perspirant ou un matériau d'isolation capillaire.

La ventilation joue un rôle important pour éviter un surplus d'humidité dans l'air et des risques de condensation dans les pièces humides.

Lors d'une isolation par l'intérieur, il faut veiller à ne pas créer de points froids, risques de condensation.

Table des illustrations

Guide :

Page 1 : Illustrations tirées du site de la Ville de Troyes

Page 3 : Photos issues du reportage photo réalisé par le groupement

Page 4 : Étiquette énergétique issue du diagnostic technique

Page 4 : Graphique de l'évolution du coût des énergies tirées du site quellenergie.fr

Page 7 : Réglementation thermique applicable aux bâtiments : www.developpement-durable.gouv.fr

Page 15-18 : Photo des matériaux et carte de France transmise par le collectif3CA <http://www.collectif3ca.fr/>

Page 34 : Tableau des aides communales : site de la Ville de Troyes

Page 35 : Photos issues de la bibliothèque de la Ville ou réalisées par le groupement

Page 42-44 / 46 – 47 : Photos issues du reportage photo réalisé par le groupement

Fiches actions :

Fiche 1 : Illustration et photo réalisées par le groupement

Fiche 2 : Illustration et photo réalisées par le groupement, inspirées du guide *Réhabiliter le bâti picard en pan de bois*

Fiche 3 : Illustration et photo réalisées par le groupement

Fiche 4 : Illustration et photo réalisées par le groupement, inspirées du guide *Réhabiliter le bâti picard en pan de bois*

Fiche 5 : Illustration et photo réalisées par le groupement, inspirées du guide *Réhabiliter le bâti picard en pan de bois*

Fiche 6 : Illustration et photo réalisées par le groupement

Fiche 7 : Illustration et photo réalisées par le groupement

Fiche 8 : Illustration et photo réalisées par le groupement

Fiche 9 : Illustration et photo réalisées par le groupement

Fiche 10 : Illustration et photo réalisées par le groupement

Fiche 11 : Illustration et photo réalisées par le groupement

Fiche 12 : Illustration issue de site de fabricant

Fiche 13 : Illustration issue de site de fabricant

Fiche 14 : Illustration issue de site de fabricant

Fiche 15 : Illustration issue du site *Actu-Environnement.com*

FICHES ACTIONS

SPÉCIFICITÉS DE LA RÉNOVATION SUR PAN DE BOIS – TORCHIS

RÉHABILITATION THERMIQUE DES PAROIS VERTICALES

FICHE 1 : ISOLATION DES MURS ANCIENS DÉGRADÉS (ISOLATION THERMIQUE RÉPARTIE)

FICHE 2 : ISOLATION DES MURS ANCIENS EN BON ÉTAT (ISOLATION PAR L'INTERIEUR)

RÉHABILITATION THERMIQUE DE LA TOITURE OU DES COMBLES

FICHE 3 : ISOLATION DES COMBLES AMÉNAGÉS PAR L'INTERIEUR

FICHE 4 : ISOLATION DES COMBLES NON AMÉNAGÉS

FICHE 5 : ISOLATION THERMIQUES DES PLANCHERS

SPÉCIFICITÉS DE LA RÉNOVATION SUR MAÇONNERIE BÉTON

RÉHABILITATION THERMIQUE DES PAROIS VERTICALES

FICHE 6 : ISOLATION DES MURS PAR L'EXTERIEUR

FICHE 7 : ISOLATION DES MURS PAR L'INTERIEUR

RÉHABILITATION THERMIQUE DE LA TOITURE OU DES COMBLES

FICHE 8 : ISOLATION DES TOITURES NON AMÉNAGÉS

FICHE 9 : ISOLATION THERMIQUES DES PLANCHERS

SPÉCIFICITÉS COMMUNES DE LA RÉNOVATION

FICHE 10 : MENUISERIES

FICHE 11 : CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE

FICHE 12 : CHAUFFAGE HYDRAULIQUE

FICHE 13 : POMPE À CHALEUR

FICHE 14 : VENTILATION

FICHE 15 : SOLAIRE THERMIQUE

Auteur :**Transenergie** : Baptiste Fajeau**Soft Energy** : Yann Truc**Perspective Patrimoine** : Jérôme Francou**Nous remercions l'ensemble des acteurs et partenaires ayant permis la réalisation de ce guide :**

- ARCAD (Agence Régionale de la Construction et de l'Aménagement Durable)
- Grand Troyes
- DDT (Direction Départementale des Territoires) de l'Aube
- Direction de l'urbanisme et du développement urbain et Direction de la communication de la ville de Troyes
- Architecte des Bâtiments de France
- CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement)