

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE GRENOBLE

BP 2636 - 60, avenue de Constantine - 38036 GRENOBLE Cedex 2

Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement – **Architecture de Terre**
DSA-Terre 2008-2010

L'utilisation du matériau terre pour l'entretien des immeubles à pans de bois de la ville de Rennes



Ministère de la Culture et de la Communication
Direction de l'Architecture et du Patrimoine

Amélie LE PAIH, architecte diplômée d'Etat

Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement – Architecture de Terre
DSA-Terre 2008-2010

Mémoire de DSA

**L'utilisation du matériau terre pour l'entretien des immeubles
à pans de bois de la ville de Rennes**

Amélie LE PAIH, architecte diplômée d'Etat, France

Directeur d'études :

Hubert Guillaud, architecte, CEAA-Terre, directeur scientifique du laboratoire
CRATERRE-ENSAG, professeur à l'ENSAG

Jury :

Personnalités extérieures invitées :

Jean-Marie Chrétien, ingénieur conseil et cogérant du Cabinet Lithek Conseil.
Bruno Roussel, ingénieur conseil et cogérant du Cabinet Lithek Conseil.

Enseignants à l'ENSAG :

Philippe Garnier, architecte, CEAA-Terre, chargé de recherche, CRATERRE-ENSAG,
enseignant associé à l'ENSAG.

Thierry Joffroy, architecte, CEAA-Terre, chercheur à l'ENSAG.

Equipe pédagogique du DSA-Terre :

Bako Rakotomamonjy, architecte, DPEA-Terre, chargée de recherche, CRATERRE-
ENSAG.

Soutenance : Grenoble le 25 Juin 2010

Je tiens à remercier pour leur aide :

Hubert Guillaud, architecte, CEAA-Terre, directeur scientifique du laboratoire CRAterre-ENSAG, professeur à l'ENSAG

Anne Monique Bardagot, ethnologue, enseignante à l'ENSAG

Toute l'équipe du CRAterre-ENSAG

Jean-Marie Chrétien, ingénieur conseil cogérant du cabinet Lithek Conseil

Bruno Roussel, ingénieur conseil cogérant du cabinet Lithek Conseil

Michaël Deslandes, ingénieur conseil cogérant du cabinet Lithek Conseil

Maud Boucault, stagiaire en 2010 au Cabinet Lithek Conseil en Licence professionnelle MIE Maitriser et intégrer les énergies

Toute l'équipe du cabinet Lithek Conseil

Tous les participants du groupe technique centre ancien Rennes (GTCAR)

Philippe Boucault, SDAP 35

Manuel Pereira, SNPR

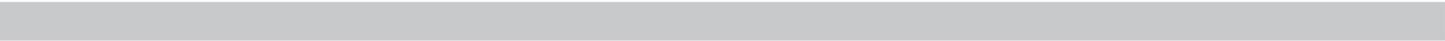
Serge Pellois, entreprise Pellois

Philippe JOSSE, Société Josse

Denis Malléjac, Terre des Faluns et entreprise de maçonnerie Malléjac

Dominique et Juliette Urien, architectes

Jacqueline et Pierre Le Paih



Introduction	6
Problématique	6
Présentation des partenaires	8
1. La culture constructive en pans de bois à Rennes	13
1.1 Présentation générale de la ville	14
1.2 Système constructif	20
1.3 Stage Pratique	22
1.4 Evolution de la culture constructive	24
1.5 Activité de sensibilisation	36
2. Intervenir avec le matériau terre crue sur le bâti ancien en pans de bois	39
2.1 Enjeux locaux	40
2.2 Propriétés des matériaux	46
2.3 Méthodes d'intervention	56
2.4 Normalisation et matériau terre crue	64
2.5 Développement de la production locale	66
2.6 Essais de remplissages terre-chanvre	68
Bibliographie	74
Annexes	77

Problématique

Le sujet de mon travail porte sur l'intérêt de l'utilisation du matériau terre crue lors de l'entretien et la restauration des immeubles en pans de bois du centre ancien de Rennes. Avant tout il est judicieux de s'interroger sur la pertinence de ce parti pris.

Les principaux matériaux utilisés pour la construction des architectures en pans de bois sont :

- le bois de chêne pour la structure et de châtaignier pour les éléments secondaires (lattis, quenouilles),
- les fibres végétales (enduits, quenouilles),
- la pierre pour les soubassements (maçonnerie de schistes) et les couvertures (ardoise),
- la terre crue pour l'enveloppe sous forme de remplissage, d'enduits intérieurs et extérieurs, de hourdis entre solivage.

Les maîtres d'ouvrage les plus aisés se sont détournés du système constructif en pans de bois dès la fin du 17ème siècle. Les constructions en pans de bois ont été dépréciées. Dès lors la construction neuve en pans de bois à Rennes et ses savoir-faire associés ont fortement décliné à partir du 18ème siècle. Peu à peu l'architecture de pierre et plus tard de béton ont remplacé le pan de bois. Par conséquent l'entretien de ce patrimoine bâti est devenu difficile.

La conséquence de cette absence d'entretien a été la détérioration du parc en pans de bois. Ce système constructif est devenu synonyme de vétusté et d'insalubrité. Les immeubles en pans de bois du centre ville ont été divisés en copropriétés et investis par les classes populaires. Dans les décennies 1950-1960 de nombreux quartiers défavorisés situés dans les faubourgs en pans de bois ont tout simplement été détruits lors de grandes opérations de rénovation urbaine.

Le premier programme de ravalement obligatoire des façades dans le centre ancien initié par la Ville de Rennes a lieu dans les années 1980. C'est à partir de cette date que l'entretien de ce patrimoine domestique a débuté. Le succès de cette campagne associé au développement du tourisme historique a permis l'évolution positive du regard porté sur les architectures en pans de bois.

Les immeubles en pans de bois ravalés font réapparaître leurs sculptures, leurs couleurs rénovées, ils sont aujourd'hui un atout pour la ville. L'architecture en pans de bois symbolise aujourd'hui l'ancrage dans une histoire ancienne, témoigne des racines historiques de la ville.

La stimulation de l'entretien se concrétise grâce aux campagnes OPAH (Opération d'Amélioration de l'Habitat) qui se succèdent dans le centre ancien depuis une dizaine d'années. La culture constructive en pans de bois a trouvé un nouveau souffle, soutenue par une politique locale incitative et un travail de sauvegarde et de mise en valeur du patrimoine.

La perte des savoir-faire et l'apparition de nouveaux matériaux industrialisés ont entraîné des difficultés. Toutefois les pratiques d'entretien sont en amélioration constante. Les enduits ciment ont été proscrits pour leurs effets désastreux sur les pans de bois. L'ampleur des pathologies de certains immeubles nécessite d'intervenir sur les structures bois. L'utilisation de matériaux plus adaptés perméables à la vapeur d'eau est aujourd'hui la règle. Actuellement des travaux d'entretien lourds sont nécessaires afin d'intervenir en profondeur sur la structure bois des immeubles.

Pour les diagnostics et un nécessaire traitement des bois, les remplissages en terre, les planchers en quenouilles et les enduits en terre sont très souvent retirés. Une fois la structure en pans de bois réparée, le matériau d'origine est rarement restitué (problème d'approvisionnement en terre, de savoir-faire, de connaissance du matériau...)

Après l'utilisation de briques cuites pour la réparation ponctuelle des remplissages, c'est aujourd'hui la technique dite du chaux-chanvre qui est majoritairement utilisée pour la restitution des remplissages entre les bois. Les doublages en Placo sont très répandus mais les cloisons sèches en Farmacel assurant une meilleure perméabilité à l'air sont de plus en plus utilisées.

Les pratiques d'entretien sont donc en évolution et tendent à s'améliorer avec le temps. Cependant, elles posent encore des problèmes de compatibilité avec les matériaux utilisés.

On observe une influence des standards énergétiques imposés actuellement dans les constructions neuves. Ces standards thermiques prennent principalement en compte la conductivité thermique des matériaux (isolants à base de fibres végétales ou synthétique). On peut s'interroger sur leur pertinence pour juger de la qualité thermique du système constructif en pans de bois hourdé de terre crue dans sa globalité.

Le confort thermique dans ces bâtiments composés de matériaux naturels est complexe.

Les variations de l'humidité et de la température sont régulées par :

- l'inertie thermique de la terre,
- la régulation hygrothermique des fibres et de la terre,
- la résistance thermique du bois,
- l'isolation thermique des fibres naturelles.

La modification de l'écosystème complexe des constructions plusieurs fois centenaires en pans de bois, utilisant au mieux la compatibilité et la complémentarité des matériaux, doit faire l'objet d'une analyse critique. Il ne s'agit pas ici de verser dans le traditionalisme d'une démarche de restauration « tout comme autrefois » mais d'analyser avec lucidité et sans préjugés les pratiques d'entretien actuelles.

Le confort thermique apporté par le matériau terre ne répond pas à la « norme » puisque celle-ci prend principalement en compte le critère λ de conductivité thermique. Pourtant sa capacité de régulation de la température par inertie thermique a été démontrée.

Le matériau terre possède des propriétés détenues par aucun autre liant utilisé actuellement. Sa complémentarité avec le bois et les fibres est très intéressante sur le plan thermique, structurel et esthétique.

De plus le matériau terre répond aux enjeux environnementaux actuels. C'est une ressource renouvelable et locale dont le bilan carbone de son cycle de vie est excellent (peu de transport, pas de transformation par cuisson, facile à recycler). Ce bilan est bien meilleur que les matériaux tels que la chaux ou le ciment. Sans produits chimiques, colle ou solvant, la terre est également non irritante lors de sa mise en œuvre.

Autant de qualités appréciées dans la recherche actuelle d'un habitat sain pour leurs occupants et de techniques respectueuses de la santé des compagnons, artisans et autres personnels des entreprises. De plus le matériau terre s'appuie sur une filière économique locale lors de tout son cycle de vie.

Ces éléments doivent être pris en compte lors du choix d'un matériau subventionné par la collectivité.

Pour toutes ces raisons mon travail de mémoire portera sur une analyse critique de l'utilisation du matériau terre dans l'entretien des immeubles en pans de bois dans le centre ancien de la ville de Rennes.

Présentation des partenaires

J'ai réalisé ce travail de mémoire de DSA Architecture en terre du CRAterre-ENSAG en partenariat avec le Cabinet Lithek Conseil et le groupe technique centre ancien de Rennes (GTCAR). Il me semble important de commencer par présenter ces partenaires et leur rôle.

Lithek Conseil

Lithek Conseil est une entreprise de maîtrise d'œuvre, spécialisée dans la réhabilitation et la rénovation du bâti ancien. Experte en pathologie et en technique de l'enveloppe du bâtiment, elle a étendu ses compétences à tous les corps d'état depuis ses cinq dernières années.

Dans le domaine de la réhabilitation des immeubles à caractère patrimonial, son expertise est reconnue par plusieurs chantiers référence du centre ancien de Rennes. Entreprise dynamique, elle a conçu et réalisé ses nouveaux locaux BBC de 600m² rue de Bray à Cesson-Sévigné en Ille et Vilaine.

Ses domaines de compétences sont les suivants:

- Expertises privées, judiciaires;
- Maîtrise d'œuvre complète en marchés publics et privés;
- Pilotage et coordination pour particuliers, maîtres d'œuvre publics ou privés en équipe avec des Architectes et des Bureaux d'études techniques; Coordination pour la sécurité et protection de la santé (SPS).
- Réalisation de diagnostics visuels, destructifs, OPAH;
- Assistance et conseil auprès des copropriétés.

L'équipe est composée de 5 ingénieurs experts entourés d'un bureau d'étude et d'un pôle administratif. L'équipe se compose au total de 12 personnes.

L'équipe d'ingénieurs conseils est la suivante:

Jean-Marie Chrétien

Ingénieur conseil et cogérant de Lithek Conseil depuis 2003. Titulaire d'un DUT Génie Civil de Rennes. Spécialiste de la maîtrise d'œuvre dans le centre ancien de Rennes.

Professeur vacataire à l'IUT de génie civil de Rennes depuis 2006 et intervenant à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Bretagne depuis 2008.

Michaël Deslandes

Ingénieur conseil et cogérant de Lithek Conseil depuis 2006. Ingénieur ESITC (ESTP Caen). Spécialiste en ravalement technique et en pathologies du béton.

M. Deslandes est professeur vacataire à l'IUT de génie civil de Rennes depuis 2007.

Bruno Roussel

Ingénieur conseil et cogérant de Lithek Conseil depuis 2007. Titulaire d'un BTS Commerce à Quimper.

Chef d'agence SEO à Laval puis responsable technique dans le groupe Bouygues Immobilier, il s'est spécialisé dans la rénovation de l'habitat social.

Joël Allain

Ingénieur-conseil de Lithek Conseil depuis 2005. Titulaire d'un DUT Génie Civil de Rennes.

Spécialiste de l'étanchéité de toiture-terrasse et d'enveloppe du bâtiment.

Jean-Paul Cunault

Ingénieur-conseil de Lithek Conseil depuis 2008. ingénieur ESITP (ESTP Paris). Ingénieur chez Fougerolle Construction (Eiffage) il a ensuite été expert au sein du Cabinet d'expertise en assurance Polyexpert puis coordonnateur technique à l'OPAC d'Ille et Vilaine.
Il s'est spécialisé dans le ravalement technique.

Le bureau d'études se compose des personnes suivantes :

Julien Neveu

Ingénieur titulaire d'un diplôme d'ingénieur de l'IUP de La Rochelle « Technique nouvelle pour la construction et réhabilitation » et d'un DUT Génie Civil de Rennes. Il a rejoint Lithek Conseil en 2008.
Il est spécialiste de l'économie de la construction dans le domaine de la réhabilitation du centre ancien.

Victor Faucheux Leroy

Technicien titulaire d'un DUT Génie Civil de Rennes, il a rejoint Lithek Conseil en 2009.
Il est spécialiste de l'économie de la construction dans le domaine du ravalement technique.

Clément Tarillon

Dessinateur-projeteur titulaire d'un DUT Génie Civil à RENNES, il a rejoint Lithek Conseil en 2009.
Actuellement en formation par alternance « Technicien de bureau d'études – CAO/DAO, spécialité Bâtiment Architecture ».

En juillet 2009, je cherchais à effectuer mon stage de DSA Architecture en terre dans le domaine du patrimoine en pans de bois à Rennes.

J'ai rencontré Jean Marie Chrétien cogérant du Cabinet Lithek Conseil. Nous avons établi une convention de stage tripartite avec le CRATERRE-ENSAG.

Les missions réalisées lors de cette période d'insertion professionnelle ont porté principalement sur le patrimoine en pans de bois : diagnostic d'immeubles, prise de relevé, plans structurels, conception de projet de réhabilitation.

Cette expérience a eu lieu de Septembre à Décembre 2009. J'ai profité des compétences techniques des ingénieurs conseils et du bureau d'étude du Cabinet pour améliorer mes connaissances du bâti ancien. J'ai particulièrement apprécié l'intérêt porté à la transmission du savoir. Le dialogue et l'échange au sein de cette entreprise sont sans doute l'une des clés de sa réussite.

A la suite de ce premier stage, mon projet de mémoire dans le domaine de l'entretien des pans de bois à Rennes a été soutenu par le Cabinet Lithek Conseil.

C'est grâce au support et à l'accueil des collaborateurs du Cabinet Lithek Conseil que j'ai pu rédiger ce mémoire dans le domaine professionnel de la réhabilitation des immeubles en pans de bois.



44 C r Bray 35510 CESSON SÉVIGNÉ
Tél : 02 99 55 13 71 Fax : 02 99 55 85 58
Email : contact@lithek.fr

Présentation des partenaires

Groupe technique centre ancien Rennes (GTCAR)

Le GTCAR est un groupe de travail interdisciplinaire. Il est composé d'acteurs de la réhabilitation du centre ancien de Rennes : entrepreneurs du bâtiment, assureurs, bureaux de contrôle, architectes, maîtres d'œuvre, architectes des bâtiments de France. Ce groupe compte actuellement une vingtaine de participants qui se réunissent tous les deux mois environ.

Il s'est constitué pour surmonter de manière coordonnée les difficultés techniques récurrentes lors de la restauration du patrimoine du centre ancien, particulièrement en pans de bois. Les thèmes abordés au GTCAR sont techniques et réglementaires : améliorer les techniques d'intervention, partager et produire des documents professionnels de référence adaptés.

Le Cabinet Lithek Conseil participe aux travaux de ce groupe en tant que maître d'œuvre-ingénieur conseil. En qualité de stagiaire au Cabinet Lithek Conseil j'ai participé aux sessions du GTCAR entre Septembre 2009 et Avril 2010.

Lors de la réunion de Décembre 2009, j'ai proposé au GTCAR d'orienter mon travail de mémoire vers leur démarche.

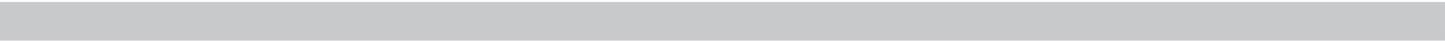
Les premières propositions ont été les suivantes : analyse des techniques de restauration des immeubles en pans de bois à Rennes, de la documentation technique correspondante et proposition de techniques de restauration adaptées au contexte.

J'ai présenté un protocole de travail qui a été validé par les participants du GTCAR. Ces professionnels du centre ancien se sont montrés d'une grande bienveillance à l'égard de mon travail.

L'équipe dynamique et compétente du Cabinet Lithek Conseil a soutenu ma démarche. Afin de réaliser ce mémoire, nous avons signé un nouveau contrat de stage.

Au début de chaque mois j'ai présenté un compte rendu des activités réalisées et des propositions pour le mois suivant. C'est ainsi que deux visites du centre ancien et une activité d'essais de remplissages pour pans de bois ont eu lieu. Ces activités seront détaillées par la suite.





1. La culture constructive en pans de bois à Rennes



Arrière cour Pont aux Foulons

1. La culture constructive en pans de bois à Rennes

1.1 Présentation générale de la ville

Situation géographique

La ville de Rennes est la plus grande ville de la région Bretagne à l'Ouest de la France. Rennes est la seule ville bretonne de plus de 25 000 habitants qui ne soit pas située en bord de mer ou d'estuaire. Elle est plus proche des côtes de la Manche (64 km) que de celles de l'océan Atlantique (90 km). Située au confluent de l'Ille et de la Vilaine, l'altitude de la commune est comprise entre 20 et 74 mètres.

L'aire urbaine de Rennes comprend actuellement 580 000 habitants environ.

Situation Géologique et pédologique

Rennes se trouve au cœur du Massif Armoricaïn. Cet ensemble géologique s'étend sur la Bretagne, le Cotentin et une partie de la Vendée. Ce Massif résulte de trois chaînes de montagnes successives. Bien qu'il atteigne rarement l'altitude de 400 mètres, il doit cependant être classé parmi les massifs montagneux, tant pour la nature de ses sols que de ses paysages.

Le bassin de Rennes est une vaste dépression topographique. Il s'est formé par l'affaissement du Massif armoricaïn réinvesti par la mer au Miocène il y a 23 à 5 millions d'années.

Ce qui explique l'importance des roches sédimentaires comme le schiste. Le schiste est une roche sédimentaire issue d'une argile. Sous l'action conjuguée de la température et de la pression, cette argile a acquis un état régulier en plan parallèle que l'on appelle de la schistosité.

La ville se situe à l'origine sur un promontoire au confluent de l'Ille et de la Vilaine. Jusqu'au 19^{ème} siècle et la canalisation de ces deux rivières, les inondations sont courantes et les terrains marécageux nombreux autour de la ville.

La terre crue des environs de Rennes, issue de la décomposition des roches sédimentaires et les dépôts lacustres se caractérise par sa grande finesse (absence de cailloux et graviers).

Situation Climatique

Rennes se trouve sous un climat océanique relativement doux. Les hauteurs annuelles de précipitations sont inférieures à 700 mm. Les hivers sont humides et doux, les étés relativement secs, modérément chauds et ensoleillés. La région de subit pas de fortes écarts de température ni de températures extrêmes.

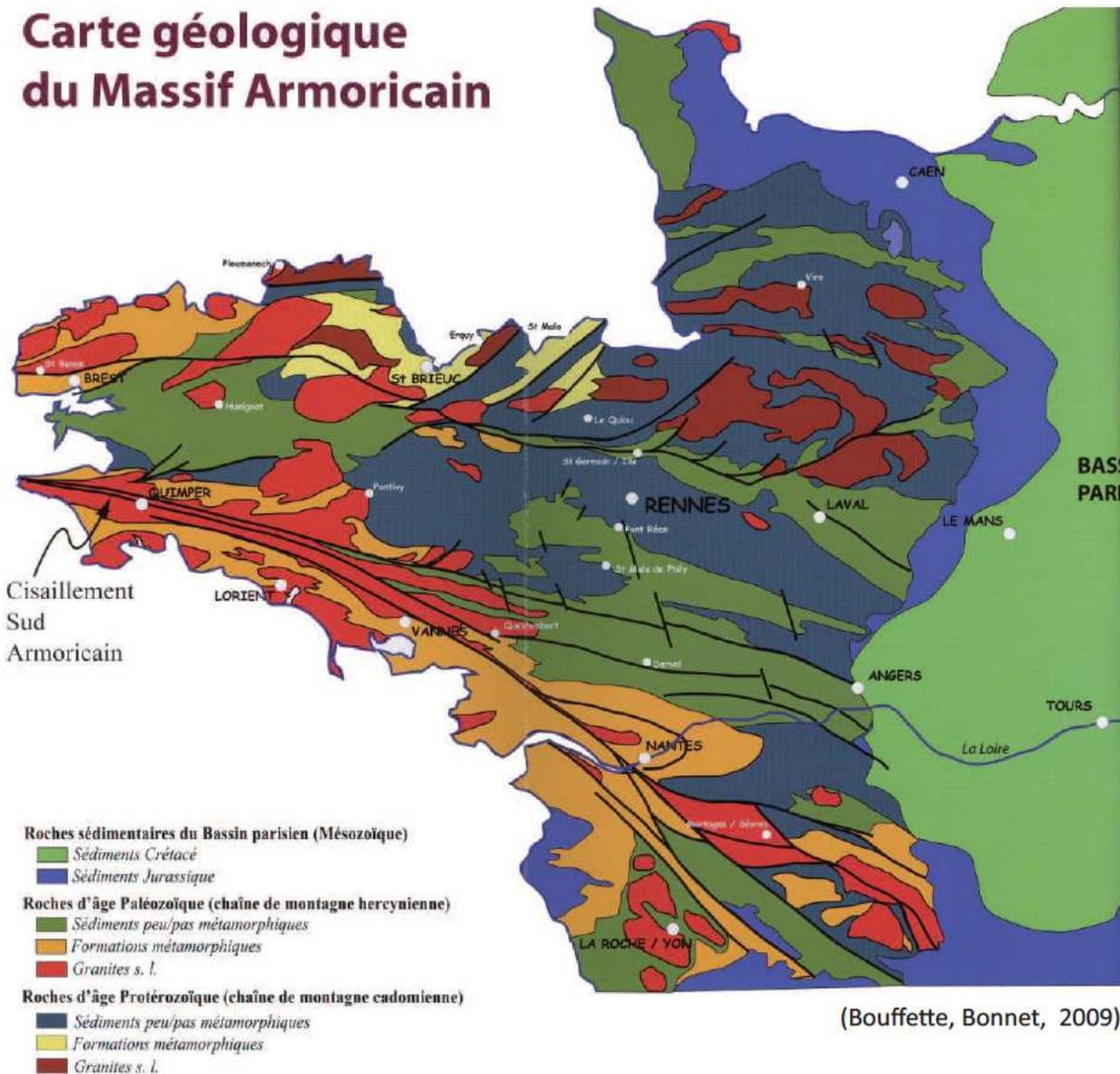
Contexte Historique

La culture constructive urbaine de Rennes s'inscrit dans l'histoire de son époque. Le contexte local a une résonance forte sur l'évolution du bâti. C'est pourquoi il me semble nécessaire de les présenter brièvement.

Les premières traces archéologiques de l'existence d'un établissement humain à Rennes datent du 2^{ème} siècle avant JC.

Condate qui signifie « confluent » est le premier nom de Rennes. C'est la capitale politique et religieuse des gaulois Riedones. Ce sont pourtant les romains qui développent la ville en raison de sa position stratégique. Utilisant les sédiments fluviaux argileux sous forme de briques, les ingénieurs romains bâtissent de grandes fortifications dont les vestiges sont encore visibles (Portes Modelaises, rue du Cartage...).

Carte géologique du Massif Armoricain



1.1 Présentation générale de la ville

1.1 Présentation générale de la ville

A son apogée au 2^{ème} siècle après JC, lors de la période gallo-romaine, la ville est un centre urbain dynamique qui s'étend sur près de 90 ha. Les invasions barbares vont conduire les habitants à ériger des remparts de 1200m de long. Le centre urbain se resserre alors sur une superficie de 9 ha. Jusqu'à 10^{ème} siècle les Normands multiplient les raids. Malgré ses remparts, Rennes est pillée à plusieurs reprises.

A l'époque médiévale, la ville est progressivement intégrée au duché de Bretagne. Son rôle politique et économique croît à l'abri derrière ses remparts. Au 15^{ème} siècle l'enceinte gallo-romaine est consolidée.

La ville de résidence des ducs de Bretagne connaît alors une période de développement démographique. L'augmentation importante de la population provient d'un exode rural associé à une forte immigration normande suite à l'occupation anglaise de début du siècle. Dans la chronique d'Arthur de Richemont, Guillaume Gruel, écuyer d'Arthur III de Bretagne, note « *La ville qui pour lors estoit trop petite pour loger ung tel peuple comme le peuple renays, et estoient les fauxbourcs plus grand troy foiz que la ville* ».

Les faubourgs hors des murs à l'Est et au Sud sont donc si grands que deux enceintes successives sont construites afin d'accompagner l'extension de la ville. La « Nouvelle Ville » est ainsi protégée à l'Est par un mur d'enceinte construit en 1422. Les remparts autour de la ville basse au Sud de la Vilaine sont achevés en 1473. L'intra muros s'étend alors sur 62 ha et compte 13 000 habitants.

Fin 15^{ème} siècle, le roi de France Charles VIII assiège alors Rennes et contraint la duchesse Anne de Bretagne au mariage. L'indépendance bretonne prend fin, l'acte d'union est définitivement signé en 1532.

Le rôle administratif de la ville s'accroît. En 1561, le Parlement de Bretagne est fixé dans la ville.

A l'origine le Parlement de Bretagne n'est qu'une partie de la cour du Duc de Bretagne. Prélats, Barons et officiers du Palais y siègent quand il plaît au Duc. Ils sont peu à peu remplacés par des techniciens du droit dont la charge devient peu à peu héréditaire. Ils sont à l'origine de la noblesse de robe.

Afin d'accueillir les parlementaires, le palais du Parlement est édifié entre 1618 et 1655. La ville se transforme sous l'impulsion des riches familles de parlementaires. De nombreux hôtels particuliers et immeubles de rapport sont édifiés. Cette période est celle de la grande architecture civile en pans de bois à Rennes.

Le Parlement de Bretagne détient un pouvoir important. Il juge en dernier ressort l'appel formé contre diverses juridictions sur un territoire dont la surface est égale à la région Bretagne et au Pays de la Loire réunis. A ce rôle judiciaire s'ajoute des attributions politiques et administratives considérables avec un pouvoir de police illimité et de commandement d'agents exécutifs. Aucun édit royal ne peut être appliqué sans son accord, le Parlement de Bretagne exerce un droit de remontrance s'il estime qu'un texte viole les lois fondamentales du royaume.

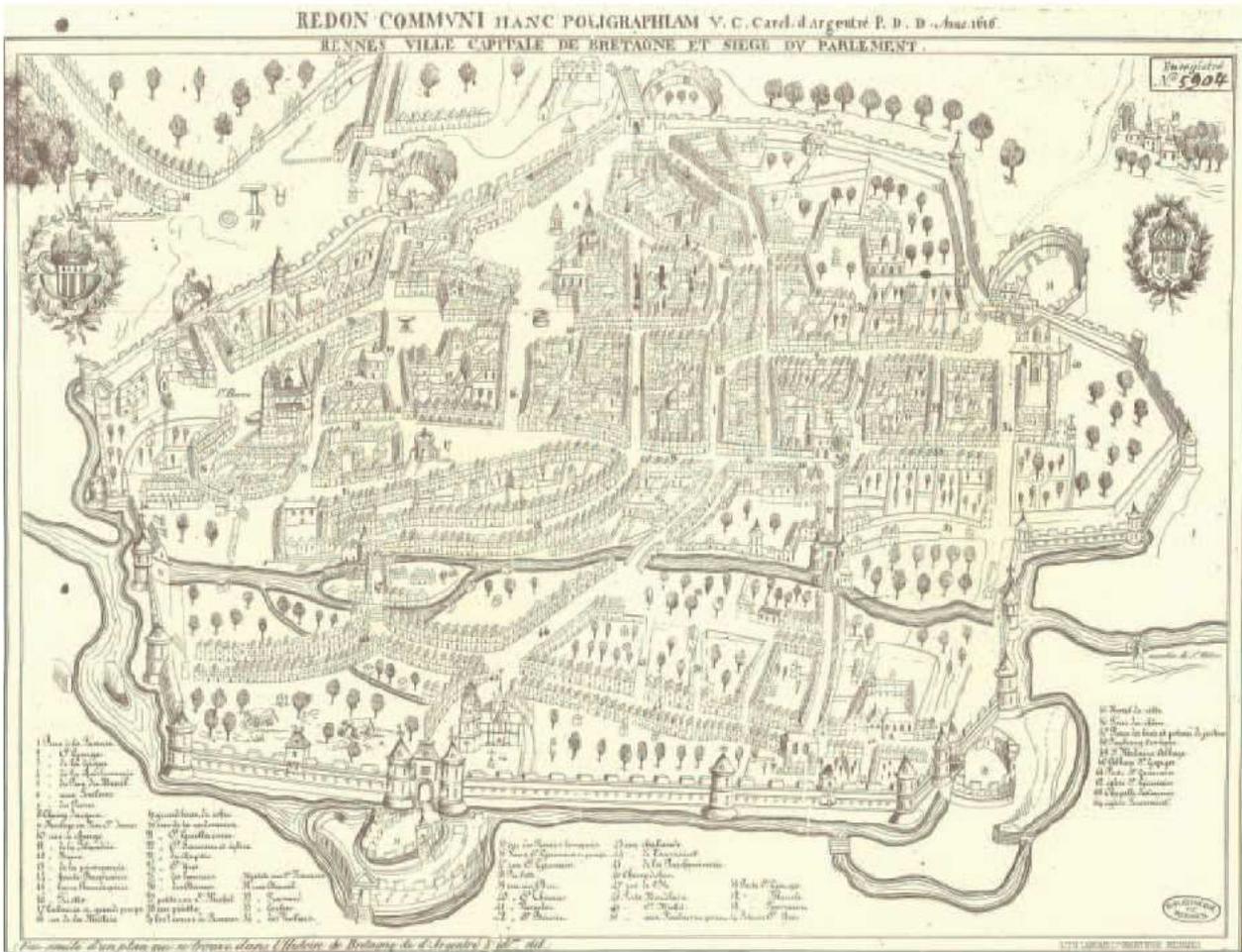
C'est justement ce droit de regard que les parlementaires utiliseront pour signifier au roi Louis XIV leur opposition à la création d'une nouvelle taxe sur les papiers timbrés.

La Révolte du papier timbré est une révolte antifiscale. Elle est déclenchée par une hausse des taxes, dont celle sur le papier timbré, nécessaire pour les actes authentiques.

Cette révolte s'est produite dans l'ouest de la France, d'Avril à Septembre 1675. La révolte a plus d'ampleur en Basse-Bretagne, notamment en prenant un tour antiseigneurial sous le nom spécifique de révolte des Bonnets rouges. La ville de Rennes payera cher la participation de ses parlementaires à la révolte du papier timbré puisque le Parlement de Bretagne est transféré à Vannes le 18 Septembre 1675. La ville de Rennes perd 14 000 habitants. Les grands ateliers de charpentes sont dispersés avec le départ des principaux commanditaires.

En 1690 les parlementaires sont de retour mais leur absence aura marqué un coup d'arrêt à la grande architecture en pans de bois. Aucun nouvel hôtel de ce type ne fut construit même après le retour des parlementaires.

A cette époque la pression foncière est extrêmement forte à l'intérieur des murs de la ville. La densité urbaine est aggravée par la présence de nombreuses activités commerciales et artisanales. La forme urbaine est celle d'une ville médiévale aux rues étroites et tortueuses. Les toits de chaume recouvrent des maisons majoritairement construites en pans de bois à encorbellement. Les stocks de bois pour le chauffage sont conservés dans les habitations.



Plan de "Rennes, ville capitale de Bretagne et siège du Parlement 1616".
 Fac simulé d'un plan qui se trouve dans l'histoire de Bretagne de D'Argentré,
 3ème édition de 1618. Ref : 1Fi42Plan Archives municipales de Rennes

Plan de la vieille ville ou cité, ville neuve, et nouvelle ville de Rennes.
 Copie du plan d'HEVIN fait vers 1663. Ref : 1 Fi 43
 Archives municipales de Rennes



La France
 sous
 Louis XI et
 Charles VIII
 (1461-1498)

- frontière en 1461
- frontière en 1493
- - - - - frontière actuelle
- domaine royal en 1461
- acquisitions de Louis XI
- acquisitions de Louis XI rendues par Charles VIII
- ▨ territoire réuni au royaume par mariage en 1491
- fiefs mouvants de la Couronne

(Solonel, 1998)

1.1 Présentation générale de la ville

Le 23 Décembre 1720, la ville s'embrase.

L'incendie dura 6 jours et détruisit plus de 900 maisons sur une surface de 10 ha. La ville haute est très touchée, la tour de l'Horloge, premier monument civil de la ville, est détruite.

Le traumatisme causé par cet incendie est très important. Les constructions neuves en pans de bois sont interdites et les anciennes doivent être enduites. C'est une forme urbaine et un système constructif qui est stigmatisé.

La ville change alors radicalement de forme.

Pour mener à bien le projet de reconstruction de la ville Isaac Robelin, ingénieur militaire des fortifications de Brest est désigné. Son projet propose une réorganisation complète de la ville au-delà du périmètre détruit : canalisation de la Vilaine, réorganisation du bâti en îlots orthogonaux séparés de larges voiries en partie haut et basse de la Ville, création de deux places et nouvelle écriture architecturale en pierre des bâtiments. Ce projet ambitieux est jugé trop radical et trop coûteux par la noblesse de la ville.

En 1724, c'est l'architecte parisien Jacques Gabriel qui est désigné pour reconstruire la ville. Le plan en damier de Robelin est conservé mais limité à la partie incendiée. Le plan est composé d'îlots carrés de 65 mètres de côté séparés par des voiries de 10 mètres. Les façades des immeubles sont construites en pierre : arc de granit au rez-de-chaussée, tuffeau en entourage de fenêtre, maçonnerie de pierre enduite. Cette écriture architecturale va durablement marquer l'histoire architecturale de la ville.

Au cours du 18ème siècle la ville se développe hors des murs au delà des faubourgs. La vilaine sera finalement canalisée entre 1841 et 1861 permettant l'assainissement des quartiers sud de la ville basse. Les remparts sont détruits, les douves remblayées.

Le 19ème siècle sera marqué par la construction des infrastructures de transport : gare, grands boulevards, tramways et par l'urbanisation vers le Sud.

Au 20ème siècle la ville se dote de nouveaux équipements, l'urbanisation est plus cohérente et s'organise en lotissements et grands ensembles. Le premier plan d'extension, d'aménagement et d'embellissement est conçu en 1925.

Les années d'après guerre sont le moment d'un important développement urbain. Henri Fréville est élu maire en 1953. Il va impulser un tournant dans la politique urbaine.

De vastes opérations d'urbanisation seront réalisées au cours des décennies 1950 et 60.

Deux types d'opérations verront le jour : la création de nouveaux quartiers en périphérie et la rénovation urbaine de quartiers existants. Plusieurs Grands ensembles sont créés : ZUP Maurepas, 4256 logements ; ZUP Villejean, 9000 logements ; ZUP Blosne 12531 logements...

Les quartiers des faubourgs à l'architecture jugée insalubre sont détruits et remplacés par de Grands Ensembles lors de programmes de rénovation urbaine. L'ampleur de ces rénovations urbaines est importante.

D'après Henri Fréville, au sujet de l'opération du Colombier *«la rénovation urbaine était, à la fois une mesure d'assainissement et de modernisation, sa réalisation exigea un plan d'ensemble, d'où l'ampleur du projet initial»*.

Au Colombier, 28 ha correspondant au Champ de Mars, à l'ancienne caserne du Colombier et à l'ancien faubourg de la rue de Nantes sont remplacés par 2 500 logements, 40 000 m² de surfaces commerciales et 42 500 m² de bureaux.

A Bourg l'Evêque, 19ha sur l'ancien faubourg de la rue de Brest, 794 logements et 119 commerces sont remplacés par 2519 logements et un centre commercial.

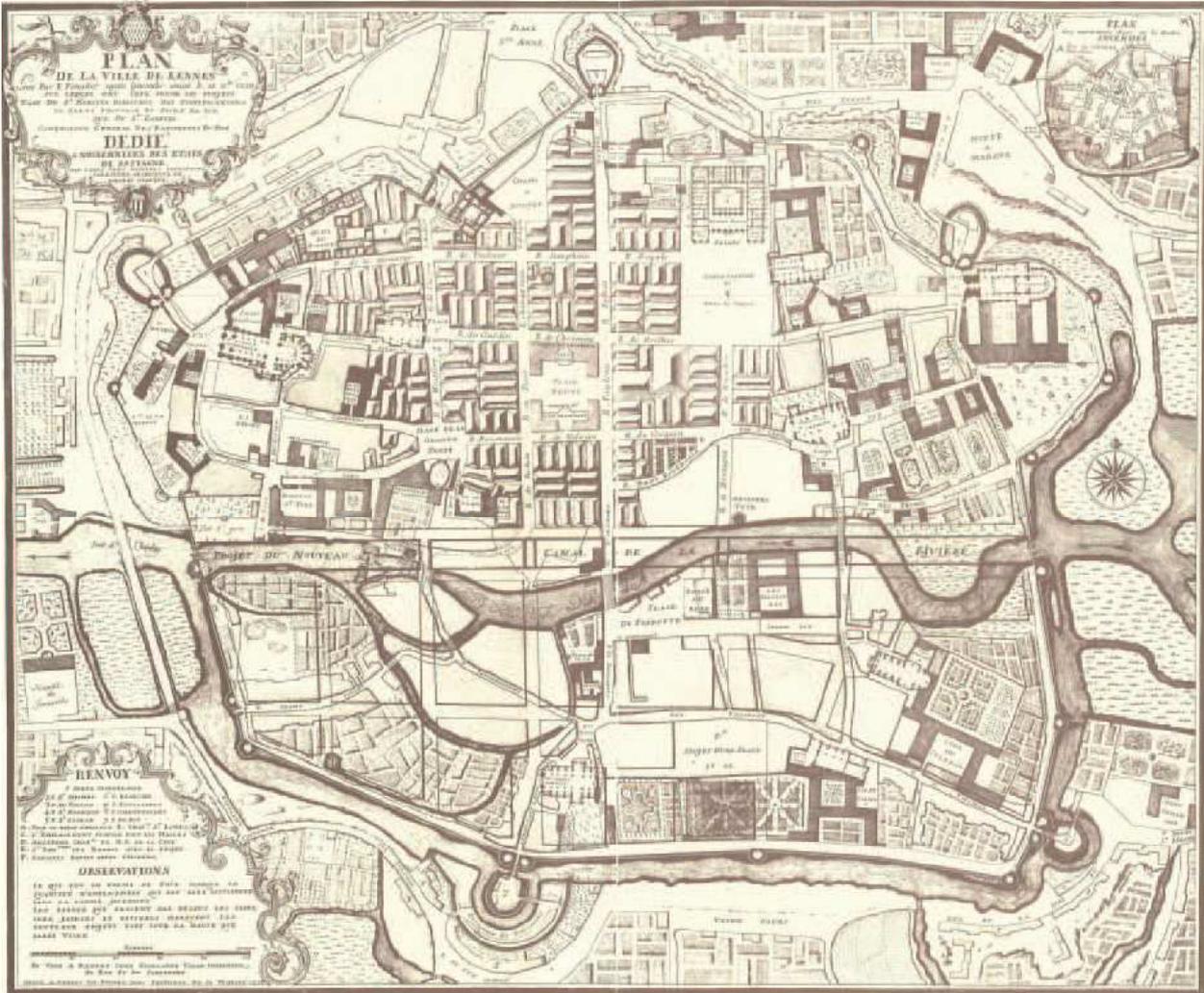
Les faubourgs rue de St Malo, du Bas des Lices ont également subi une rénovation urbaine. A la fin des années 1960, les principaux faubourgs populaires ont été détruits et reconstruits selon les principes de l'architecture moderne.



L'incendie de 1720 vu par Huguet
Archives municipales



Le parlement de Bretagne



Plan de la ville de Rennes par F. Forestier 1725 Porjet de Robelin. Ref 1Fi 44 à 47
Archives municipales de Rennes

La politique de rénovation urbaine a pris fin dans les années 1970.

Actuellement le Projet Urbain s'engage pour la limitation de l'étalement urbain et une gestion économe des espaces. Confronté aux limites de la politique passé des grands ensembles, le Projet Urbain entend renforcer la mixité des fonctions, des populations et des générations au sein de chaque zone d'habitat. Les grands enjeux environnementaux sont aujourd'hui pris en compte et mis en œuvre dans les politiques locales.

"L'utilisation du matériau terre pour l'entretien des immeubles à pans de bois de la ville de Rennes"

1.2 Système constructif

La technique employée ici est celle des pans de bois associés à des remplissages en terre crue. Les planchers sont hourdés de quenouilles.

Les pans de bois

L'expression « pans de bois » semble la plus appropriée pour désigner les constructions aux façades en charpenterie de bois car elle définit clairement la technique et le matériau employés. Elle désigne les architectures dont le point commun est l'utilisation du bois comme matériau de structure.

La structure bois est constituée d'un réseau de pièces de charpentes verticales et horizontales contreventées par des décharges obliques pour former une structure indéformable.

Les maisons à pans de bois édifiées par les charpentiers sont conçues comme des charpentes par travées. Les poteaux et les sablières définissent des panneaux eux-mêmes subdivisés par des bois de sections moindres les colombes.

Des décharges obliques reportent les charges, les surfaces qu'elles définissent sont tramées par les tournisses verticales et les entretoises ou lices horizontales. Dans le cas d'un bâtiment de plusieurs niveaux, les poteaux d'angle et les poteaux principaux portent la sablière haute ou la sablière de chambrée. La sablière basse s'assemble aux poteaux et repose sur un solin, soubassement de pierre qui l'isole de l'humidité du sol. Toutes les pièces majeures s'assemblent à tenons et mortaises, ces assemblages sont chevillés.

Deux variantes de ce système constructif se succèdent à Rennes. La tradition gothique est marquée par le système à bois court et encorbellement sur entretoise. Les encorbellement sur solives et poutres cohabitent. Plus tard, à l'époque classique, les façades plates à poteaux courts sans encorbellement sont la règle. Pour la structure principale c'est le bois de chêne qui est utilisé. Les éléments secondaires (lattis, baguettes de quenouilles) sont en châtaignier.

Les remplissages en terre crue

Certains utilisent le mot de torchis pour parler de ces parties hourdées en terre. Le terme de torchis provient de « torche ». Cette technique consiste à mélanger de la terre argileuse avec de la paille des céréales moissonnées que l'on bourre entre les potelets de l'ossature secondaire des pans de bois. Parfois cette torche est entourée autour d'une petite pièce de bois calée entre l'ossature. On peut toutefois noter que les fibres longues dans les hourdis verticaux sont peu utilisées à Rennes.

La terre crue des remplissages est très fine et contient peu de fibres. Il existe un certain parallèle avec les murs façonnés en bauge très courants dans le bassin rennais.

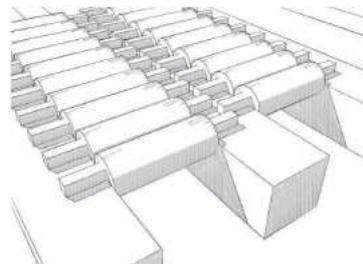
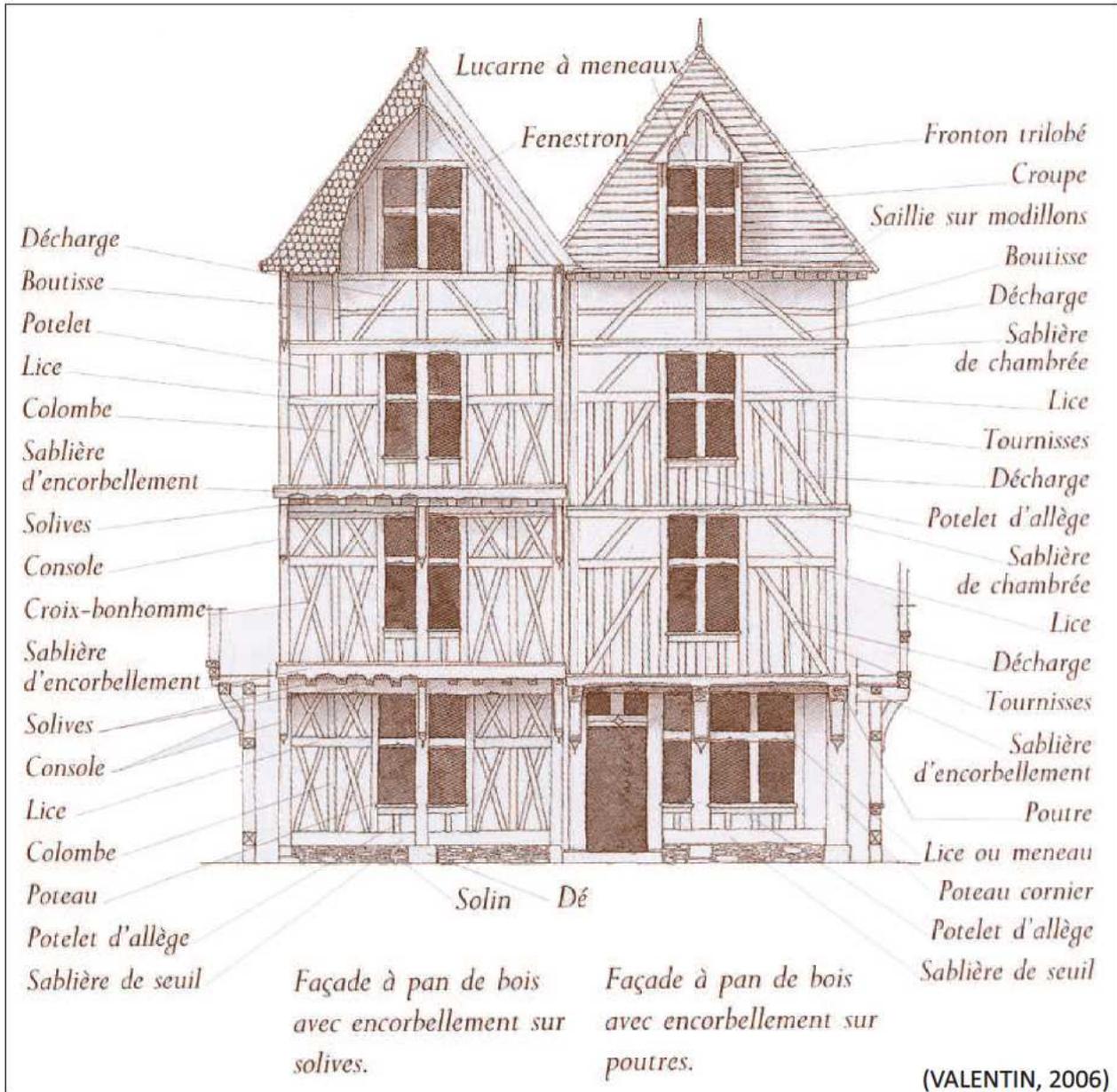
Même si la technique utilisée ici se situe dans le domaine des torchis, le terme de "remplissages en terre" me paraît le plus approprié pour désigner les parties hourdées en terre crue des pans de bois de Rennes.

Les remplissages de terre crue sont coffrés entre des lattis de châtaignier ou accrochés sur un lattis central coïncé entre l'ossature bois principale. Les enduits intérieurs sont réalisés en terre. Les enduits extérieurs en terre sont souvent protégés par un enduit à la chaux ou un badigeon.

Les quenouilles

Les planchers sont constitués de solives en bois entre lesquelles reposent des quenouilles. Elles sont constituées d'une baguette de châtaignier entourée de fibres végétales préalablement trempées dans une barbotine de terre argileuse. Elles forment une fois sèches des fuseaux.

Couramment, ces quenouilles sont recouvertes de terre sèche pulvérulente. A l'origine, les premiers planchers sont en tomettes ou en bois.



1.3 Stage Pratique

En Septembre 2009, j'ai effectué un stage pratique d'une semaine dans l'entreprise de maçonnerie de Mr Malléjac. Ce stage m'a permis d'améliorer mes connaissances du système constructif en pans de bois à Rennes et des savoir-faire traditionnels associés.

La SARL Denis Malléjac est une PME spécialisée dans la maçonnerie de terre crue. Elle intervient dans le Bassin rennais et ses alentours.

L'entreprise a été récompensée par le label « Entreprise du patrimoine vivant », distinction nationale attribuée par le secrétariat chargé de l'artisanat et des PME. C'est la reconnaissance d'un savoir-faire rare reposant sur la maîtrise de techniques traditionnelles liées à un territoire. Cette entreprise œuvre depuis 1994 à la sauvegarde et la mise en valeur du patrimoine en terre crue. Le savoir-faire de M. Malléjac et ses collaborateurs est d'une très grande qualité. C'est pourquoi il est amené à diriger des stages de formation aux techniques traditionnelles de construction en terre.

Les domaines d'intervention sont les immeubles à pans de bois et remplissages terre, les constructions en bauge, en pierre, la mise en œuvre de la terre dans des constructions contemporaines.

Les techniques traditionnelles maîtrisées sont les suivantes : enduits en terre, torchis, planchers à quenouilles, bauge, production de matériau terre crue.

Dimensionnements

Les dimensions des sections les plus utilisées sont données dans plusieurs manuels, datant pour la plupart du 19^{ème} siècle.

Nous citerons celle répertoriées par le Colonel EMY dans son traité de 1837 sur l'Art de la charpenterie, pour un pan de bois de quatre niveaux et d'une hauteur d'étage comprise entre 3,25 et 4 m.

1°) Pan de bois extérieur

Épaisseur	22 à 24 cm
Poteaux et cornières et poteaux de fond	24 à 27 cm
Sablières hautes et basses	22 à 24 cm
Poteaux	19 à 22 cm
Poteaux de remplage	16 à 22 cm
Écartement des poteaux de remplage	27 à 32 cm
Guettes ou décharges	16 à 22 cm
Tournisses et potelets	14 à 22 cm

2°) Pan de bois intérieur

Épaisseur	16 cm
Grosseur des poteaux	
- portant planchers	14 à 16 cm
- ne portant pas planchers	11 à 14 cm

(BRANDOIS, et BABICS, 2006)

Ossature bois en
chêne

Reprise des
remplissages



Préparation du
support sur lattes
de châtaignier



Pose d'un nouvel
enduit en terre



Couche de
support pour
un enduit de
protection à la
chaux



1.3 Stage pratique

1.4 Evolution de la culture constructive

Qu'est ce qu'une culture constructive?

La culture constructive est la réponse intellectuelle d'une société à un contexte complexe afin de s'approprier l'espace. Elle permet l'adéquation d'un groupe culturel avec son environnement. En évolution continue, elle s'enrichit sans cesse de nouveaux savoir-faire.

Introduction

Je tiens tout d'abord à expliquer la méthode de travail suivie pour l'analyse de la culture constructive en pans de bois à Rennes.

Pour commencer, j'ai visité un grand nombre de chantiers de restauration et d'entretien du centre ancien grâce à la bienveillance des participants du GTCAR. Un travail de recensement des principales pathologies a été réalisé d'après ces visites. J'ai aussi effectué des relevés photographiques et réalisé des schémas en 3 dimensions de certains éléments représentatifs de ces architectures.

Ensuite, j'ai complété mes précédentes recherches bibliographiques. C'est avec grand plaisir que j'ai découvert la très grande qualité du travail de Daniel Leloup dans les ouvrages *Maisons à Colombages de France* et *Maisons à pans-de-bois de Bretagne*. Ces deux livres sont les ouvrages de référence en ce qui concerne la construction en pans de bois en France.

J'ai ensuite confronté l'analyse de ces ouvrages avec des recherches aux archives municipales de Rennes, à la DRAC Bretagne, au SDAP 35, au service de ressource de l'inventaire du patrimoine de la région Bretagne et à la bibliothèque des Champs libres.

Les cartes et photographies anciennes m'ont permis d'affiner ma compréhension de l'évolution du bâti.

Par la suite, les visites du centre ancien avec les professionnels du GTCAR et particulièrement M. Boucault du SDAP 35, m'ont permis de compléter mes analyses.

Des fiches ont été réalisées à l'attention des professionnels du GTCAR et présentent une synthèse de mes travaux de recherche.

La culture constructive en terre crue

« Depuis près de 10 000 ans que les hommes bâtissent des villes, la terre a été et demeure, à travers les traditions historiques et populaires, l'un des principaux matériaux de construction utilisés sur notre planète. C'est ainsi que plus d'un tiers des habitants du globe vit aujourd'hui dans des habitations en terre. » (HOUBEN, GUILLAUD, 1989)

La terre crue est sans doute le matériau de construction le plus vieux du monde, dont les archéologues ont retrouvé des vestiges très anciens.

En effet, le développement de ce type de construction date du mésolithique, au moment des premières domestications d'animaux, c'est-à-dire entre 10 000 à 5000 ans avant JC, dans des régions fertiles propices à l'installation des premières communautés de chasseurs collecteurs.

Plus tard des groupes de populations se sont sédentarisés dans des régions fertiles de terres alluviales et argileuses. Cette terre mêlée avec la paille des céréales a tout naturellement été le premier matériau de construction durable et solide. Ce fut le matériau de la révolution agricole du Néolithique.

1.4 Evolution de la culture constructive

Les traces de l'utilisation de la terre crue pour la construction ont logiquement été retrouvées dans les zones d'implantation des premiers foyers de civilisation tels que la Mésopotamie, l'Égypte, l'Inde, la Chine, la Mésopotamie, l'Amérique. Les premières cités de l'Histoire (4000 ans avant notre ère) furent construites en terre crue. Les modes constructifs se sont développés indépendamment puis répandus au gré des migrations et des conquêtes. Les techniques et les savoir faire associés à ce matériau n'ont cessé de se perfectionner.

Comme l'écrit Vitruve, « *Les murs du temple de Jupiter et des chapelles de celui d'Hercule [...] ainsi que le palais du puissant roi Mausole à Halicarnasse sont bâtis en brique de terre crue* ». Il témoigne aussi de la grande utilité de la brique crue : en dressant des adobes au mortier de terre, les bâtisseurs ont ainsi pu s'affranchir de structures monolithiques rigides.

Depuis Hérodote « Père de l'Histoire », de nombreux auteurs gréco-romains ont fait l'éloge de la terre crue. En France, l'ouvrage de Charles Etienne et Jean Liébaut, *La Maison rustique* (1564) vantera la bauge, le pisé et les enduits en terre.

François Cointeraux (1740-1830), cet ardent vulgarisateur, mit en avant les qualités du matériau terre, économique, incombustible, sain et durable. Il publie en 1790 ses cahiers d'école d'architecture rurale. Ils décrivent la technique du pisé en termes accessibles à tous, proposant des « leçons par lesquelles on apprendra soi-même à bâtir solidement des maisons de plusieurs étages avec la terre seule ».

Ses écrits ont été traduits en plusieurs langues et diffusés vers l'Allemagne, le Danemark, les Amériques et même jusqu'en Australie. Ils posent les fondements de la construction moderne en terre.

La construction en terre a perduré jusqu'à la seconde guerre mondiale dans beaucoup de pays d'Europe. L'industrialisation et la standardisation de la construction marque un abandon de ces cultures constructives. C'est le cas dans le Bassin rennais dont les constructions traditionnelles en bauge les plus récentes datent du milieu du 20^{ème} siècle.

Les années 1970 sont le moment d'une prise de conscience du danger de la dégradation de l'environnement planétaire et de l'épuisement des ressources. Ce changement de mentalité va entraîner la redécouverte de la terre.

Aujourd'hui, la terre crue demeure l'un des principaux matériaux de construction utilisés sur notre planète. L'imaginaire collectif associe encore souvent l'architecture de terre à une forme de construction désuète et rurale. Pourtant les cultures constructives déclinées à travers le monde présentent des savoir-faire très élaborés. En Europe, l'habitat rural et urbain décline une grande richesse et diversité. De nombreux modes constructifs sont utilisés : torchis associé aux pans de bois, bauge, brique de terre crue moulée ou adobe, pisé.

Au début des années 1980, en France, l'ANAH estime que le patrimoine bâti en terre représente 15% de l'ensemble du patrimoine architectural national. Il s'agit de plus de 2 400 000 logements.

La culture constructive en pans de bois à Rennes

La culture constructive en pans de bois est ancrée dans les traditions du nord de la France : bretonnes, normandes, picardes, champenoise, vosgienne et alsacienne.

Comment expliquer la relation entre un système constructif et ses territoires ?

Tout d'abord, cette relation s'établit sous l'influence historique, économique et culturelle. Ensuite on observe, en général, une relation entre les grands types de paysages ruraux et les grandes familles de culture constructive. Nous pouvons distinguer d'une part les pays de bocages et de forêts pour les architectures en pans de bois et d'autre part les pays d'openfield pour l'architecture en adobe et pisé.

Enfin, la relation s'établit entre la podologie et la typologie constructive. (La pédologie est la science qui étudie les caractères physiques, chimiques et biologiques des sols). L'architecture en torchis correspond plus aux sols riches, argileux et silteux qui nécessite l'ajout de fibres pour leur utilisation.

C'est le cas des sols du bassin rennais. Les terres graveleuses se prêtent mieux à l'architecture de pisé.

A Rennes, la plus ancienne maison en pans de bois datée avec certitude a été construite en 1435 (3 rue du Chapitre). La qualité de ce système constructif laisse penser qu'il est maîtrisé depuis plus longtemps mais nous n'en avons pas trace.

Jusqu'au 17ème siècle, la culture constructive en pans de bois est très répandue dans tous les centres urbains bretons. Les pans de bois sont peu à peu supplantés par les modèles en pierre au cours du 18ème siècle pour disparaître au 19ème.

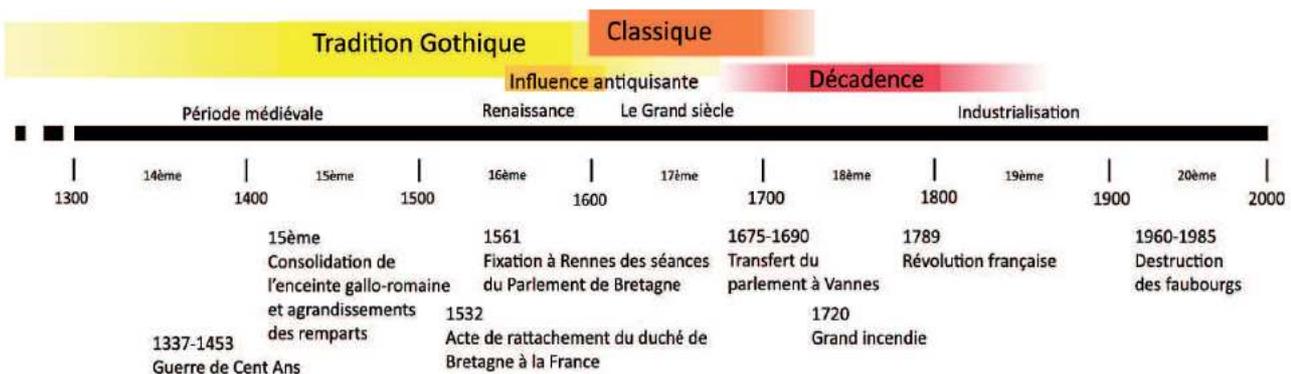
On évalue que moins de 5% de l'habitat en pans de bois existant à la veille de la Révolution subsiste encore aujourd'hui dans les villes bretonnes.

A Rennes, l'incendie de 1720 et les grandes « rénovations urbaines » des décennies 1950 et 1960 ont détruit directement la majorité des bâtiments de ce type. Jusque dans les années 1980, ce patrimoine est dévalorisé. Il est négligé et mal entretenu ce qui lui donne une image de vétusté et d'insalubrité qui n'a pas facilité sa transmission.

Contrairement à l'association répandue des pans de bois avec l'époque médiévale, 90% des immeubles en pans de bois à Rennes datent de l'époque Classique. Les remarquables maisons de rapport et hôtels particuliers sont les exemples de la vivacité de la grande architecture civile en pans de bois à cette époque.

Pourtant la culture constructive en pans de bois a connu des évolutions dont nous conservons des exemples remarquables. Avec 286 maisons recensées et un grand nombre d'éléments en pans de bois intégrés aux constructions en pierre, Rennes est la ville de Bretagne où il subsiste le plus grand nombre d'exemples de ce système constructif.

Evolution de la culture constructive à Rennes



"L'utilisation du matériau terre pour l'entretien des immeubles à pans de bois de la ville de Rennes"

1.4 Evolution de la culture constructive

Influence gothique

Contexte

L'activité commerciale prédomine à toute préoccupation fonctionnelle. Les acheteurs restent à l'extérieur, les étals se trouvent devant les maisons. L'encorbellement permet d'abriter les activités commerciales et de répondre à une pression foncière forte. L'utilisation des fontaines publiques est la règle.

Typologie

Le parcellaire linéaire et les îlots profonds datent du Haut Moyen Age. Les façades ne sont pas alignées. Les pignons forment couramment une façade étroite sur la rue. Le compromis entre le mur gouttereau et le pignon sur rue est une caractéristique rennaise.

Le plan à deux pièces, une sur rue, une sur cour, séparées par un escalier à vis est le plus usuel. Les étages sont desservis par des escaliers à vis et des couloirs ou des coursives extérieures. Les ouvertures sans châssis vitrés sont fermées par des volets qui conditionnent la largeur des baies entre 60 et 65cm. Les combles ne sont pas aménagés, les sous sols se généralisent.

Le **système constructif** est à bois court et encorbellement sur entretoise en général. Le savoir-faire est maîtrisé. La technicité sans variante montre qu'il est élaboré depuis longtemps. Ce modèle constructif perdure jusqu'au 17ème siècle.

Matériaux

Les remplissages sont en terre crue sur lattis de châtaignier. L'approvisionnement est de qualité jusqu'à la fin de la période médiévale, les sections de chêne sont importantes. Les couvertures en fibres végétales sont très courantes.

Décors sculptés

Pendant la période médiévale les décors sculptés sont d'une grande richesse. Le thème religieux est dominant, on observe aussi des figures grotesques, des décors sur le thème de la fête.

Influence Renaissance

Contexte

Fin 15ème, l'art italien est utilisé par la grande noblesse seigneuriale et cléricale pour ses commandes prestigieuses en Bretagne. Pourtant la petite noblesse bretonne continue d'utiliser les influences gothiques pour l'architecture civile. Cette période coïncide avec le rattachement du Duché de Bretagne au Royaume de France. L'origine française de ces décors n'a pas séduit une partie de la population attachée à l'indépendance bretonne. L'influence de la Renaissance sur les immeubles urbains de Rennes a été tardive.

Typologie

On assiste à la remise en cause du plan médiéval à deux pièces. Les façades s'élargissent sur la rue. L'exigence de confort et de lumière entraîne de meilleures conditions d'habitabilité : grandes fenêtres, diminution des encorbellements.

Le **système constructif** est à bois court et encorbellement sur entretoise. Le savoir-faire est maîtrisé et élaboré.

Matériaux

Les remplissages sont en terre crue entre lattis de châtaignier, les enduits intérieurs en terre. La section et la qualité des bois sont en baisse.

Décors sculptés



Décors sculptés rue St Michel

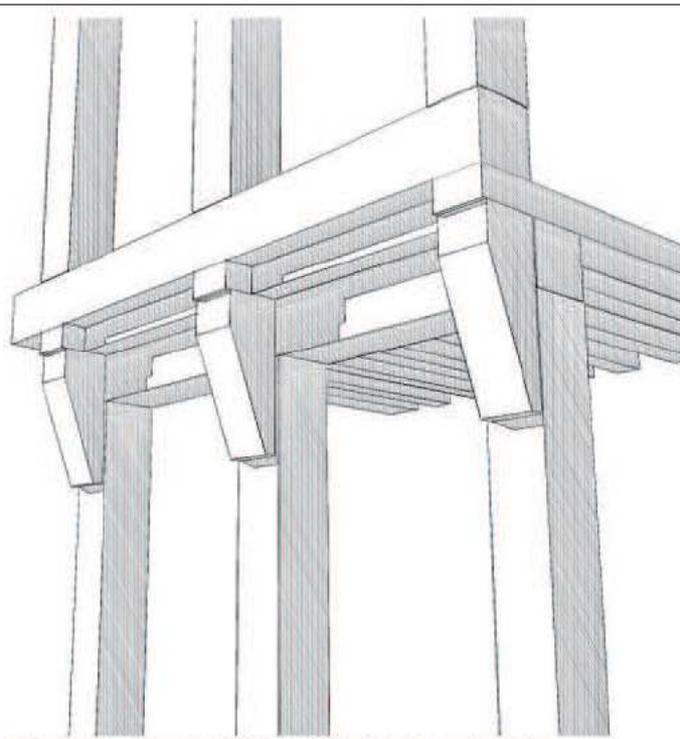


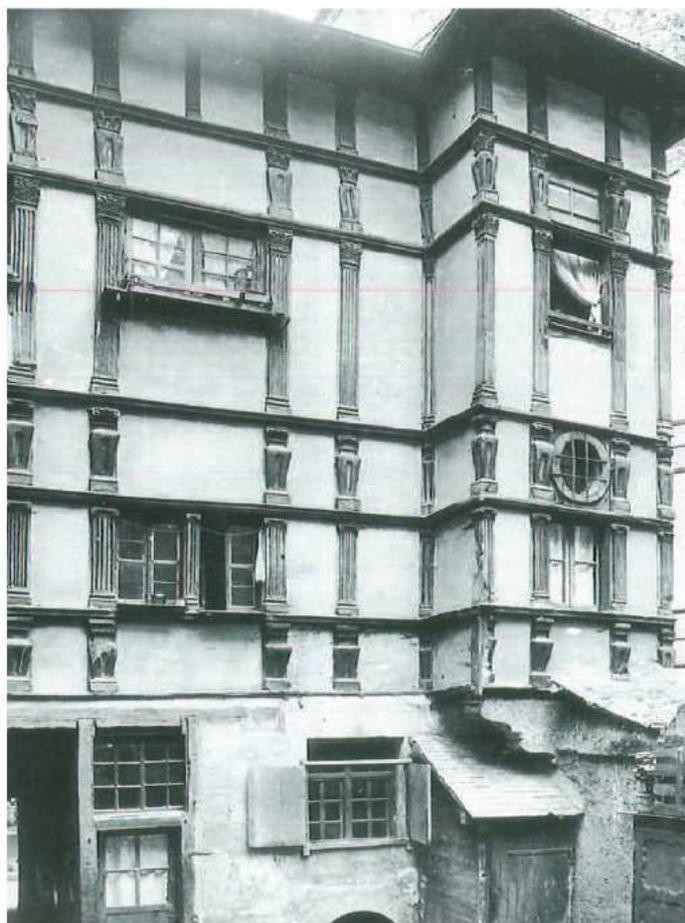
Schéma d'encorbellement sur entretoise

Influence gothique

Influence Renaissance



Façade arrière 3 rue St Georges



1.4 Evolution de la culture constructive

1.4 Evolution de la culture constructive

Ils présentent une interprétation des styles renaissance: pilastres, colonnes, ornements style gréco-romain, motifs géométriques. Ces motifs cohabitent avec des animaux exotiques, des chimères de la tradition gothique. Disparition de la thématique religieuse.

Période Classique

Contexte

La construction d'immeubles de rapport destinés à héberger les parlementaires entraîne un nouvel essor de l'architecture en pans de bois. Mais les terrains disponibles sont rares ce qui n'incite pas à la créativité architecturale. Certaines grandes familles font construire leur hôtel hors des murs (exemple Place des Lices).

Typologie

L'hôtel urbain marque un progrès important dans la circulation verticale. Les éclairages sont abondants (grandes fenêtres verticales). Ce plan est d'une grande lisibilité. On aménage les combles (couvertures en bresis).

Dans les faubourgs, l'escalier à vis de tradition gothique est encore employé avec un couloir d'accès latéral souvent formé par des coursives. Les immeubles plus élaborés destinés aux parlementaires se distinguent par la qualité de leurs escaliers. Les escaliers suspendus rampes sur rampes sont très innovants. De nombreux propriétaires d'immeubles anciens installent ce nouveau système.

Le **système constructif** est à bois court, façades plates sans encorbellement. Les rez de chaussée sont construits en pierre en façade et les étages en pans de bois.

Matériaux

La pierre est utilisée au rez de chaussée. La qualité des bois utilisés diminue. Les remplissages sont en terre crue. Les planchers en quenouilles sont courants. Les enduits intérieurs en terre montrent la maîtrise parfaite du matériau. La coloration des remplissages extérieurs semble avoir eu un grand succès au 17ème siècle.

Décors

Les décors sculptés en bois de style renaissance perdurent un peu. Les façades plates sont animées simplement par le jeu géométriques des pans de bois (losanges, brins de fougères) Les lucarnes coiffées de toits à l'impériale apportent un certain renouveau décoratif. Les enduits extérieurs masquant les bois commencent à être mis en œuvre.

Décadence

Contexte

En 1675, suite à la révolte du Papier timbré, le parlement de Bretagne est déplacé à Vannes. Le départ des principaux commanditaires sonne le glas des grands programmes en pans de bois. Les ateliers de charpentes et d'escalieristes sont dispersés. Entre le retour des parlementaires en 1690 et l'incendie de 1720, aucun nouvel hôtel en pans de bois n'est construit. Les nouveaux modèles parisiens en pierre sont plébiscités. L'utilisation du pan de bois pour l'architecture dite «noble» est totalement abandonnée dès la fin du 17ème siècle.

L'incendie de 1720 détruit près de 900 maisons en pans de bois.

La construction en bois est déconsidérée et interdite. Les constructions en pans de bois sont mal entretenues. La perte des ateliers de charpentes et de leurs savoir-faire pose problème lors des rénovations. L'image d'une architecture vétuste et insalubre se forme au 20ème siècle. Entre 1960 et 1985 la destruction des faubourgs est systématique à Rennes, on estime que plus de la moitié des maisons en pans de bois a disparu à cette époque.



Période Classique, 1 rue de la Visitation



**Période de
décadence**,
rue de Bertrand

1.4 Evolution de la culture constructive

"L'utilisation du matériau terre pour l'entretien des immeubles à pans de bois de la ville de Rennes"

1.4 Evolution de la culture constructive

Toutefois, il ne faudra pas lire l'analyse des grandes étapes de la culture constructive en pans de bois à Rennes comme une volonté de classification de chaque bâtiment mais comme un outil de lecture d'une architecture sans cesse en évolution. En Bretagne, depuis la révolution moins de 5% des constructions en pans de bois ont survécu.

Typologie

La ville adopte les rez-de-chaussée en granit, les étages en tuffeau et les toitures en ardoise. Pour des raisons économiques, la construction en pans de bois perdure (murs de refend, façade arrière, habitat économique dans les faubourgs) mais elle est systématiquement enduite.

Le **système constructif** est à bois court, les façades plates sans encorbellement sont toujours enduites. Baisse de qualité des structures et du savoir-faire.

Matériaux

La raréfaction des belles pièces de bois entraîne l'utilisation de bois de réemploi. Le bois devient un matériau secondaire.

Décors

Aucun décor sculpté. La structure en bois n'est pas destinée à être vue.

Destruction et Abandon 18ème -19ème

Les mesures obligatoires de prévention contre les incendies entraînent l'obligation d'enduire les façades. L'interdiction de la construction en pans de bois existe déjà au 17ème siècle. Mais ce n'est qu'à partir du 18ème siècle qu'apparaissent des politiques coercitives à l'encontre de ces constructions.

Après le grand incendie de 1720 à Rennes, les façades des nouveaux bâtiments doivent être construites en pierre. Mais pour des raisons pratiques et économiques, l'application de ce règlement reste partielle. Les coursives, escaliers et murs de refend sont reconstruits en pans de bois. La résistance de la construction en bois est de courte durée. L'application des règlements se montera de moins en moins laxiste.

Pourtant c'est à la même époque que la technique des pans de bois est apportée en Amérique du Nord par les colons européens. Ils s'inspirent des systèmes architecturaux de leurs pays d'origine et de la charpente navale. Après la guerre de Sécession la technique de l'ossature légère s'impose. Elle est aujourd'hui très utilisée dans le monde (Amérique du Nord, Japon, Suède...). Cette technique constituée de pièces de bois de faible section avec niveau indépendant les unes par-dessus les autres permet de limiter les coûts.

En Europe, dès le début du 18ème siècle, la dévalorisation de l'architecture en pans de bois entraîne son abandon par les couches les plus aisées de la Société. Seuls les propriétaires les moins fortunés continuent à y vivre. Sans confort et souvent sans entretien, ces immeubles n'accueillent bientôt plus que les populations défavorisées. Les hôtels particuliers sont séparés en appartements et studios dont l'entretien en copropriété s'avère difficile.

Les conditions sanitaires sont déplorable. Les logements ne disposent pas de l'eau courante et les latrines des époques précédentes continuent d'être utilisées. Les réseaux d'assainissement font défaut. Les égouts à ciel ouvert de ces quartiers devenus défavorisés sont cause de problème de salubrité publique. Jusqu'au début du 20ème siècle les problèmes d'assainissement ne sont pas résolus dans les villes moyennes telles que Rennes.

La maison dite de « Cadet Roussel » ou « Château Branlant » sur les bords de l'Ille dans le quartier de St Martin en est un exemple.

La conception de la façade arrière avec sa coursive et ses balustres tournés n'a rien à envier à certains hôtels particuliers. Pourtant dans le contexte de ce quartier populaire au bord de l'Ille, lieu de travail des blanchisseuses, l'ensemble renvoie à une image de vétusté et d'insalubrité.



(Maison de "Cadet Roussel" sur les bords de l'Ille, LELOUP : 2007)

1.4 Evolution de la culture constructive

Cependant au 19^{ème} siècle tous ne partagent pas cette vision négative des cœurs de ville et des faubourgs marqués par l'architecture en pans de bois.

Les auteurs romantiques apprécient le charme de ces quartiers. En 1847 au cours de son voyage en Bretagne avec Flaubert, Maxime de Camp s'attarde à Morlaix et décrit la beauté des architectures vernaculaires en pans de bois.

L'appréciation des romantiques ne suffira cependant pas à la défaire son image négative. Dès le début de la révolution industrielle, les grandes villes mettent en œuvre des politiques de démolition des îlots bâtis en pans de bois.

L'exemple haussmannien à Paris (1853) sert de référence aux programmes de « modernisation urbaine ». Les raisons politiques l'emportent sur toutes autres. Les couches populaires sont délocalisées hors des centres villes, de larges rues sont tracées pour désenclaver ces quartiers et mater les insurrections. Les villes médiévales s'ouvrent alors sur l'extérieur par de larges voiries. Les « grands monuments » sont mis en valeur par la création de larges places et donc la démolition des constructions attenantes.

A cette époque, les plans d'urbanisme des grandes villes ne prennent jamais en compte la valeur patrimoniale de l'architecture civile en pans de bois. Dans certaines agglomérations, ce n'est que le coût exorbitant de tels plans d'urbanisme qui freinent les ardeurs destructrices.

Dans le cas de la ville de Rennes, une réorganisation urbaine a déjà eu lieu lors de la reconstruction de la ville après l'incendie de 1720. Les destructions programmées par le plan d'urbanisme seront plus tardives et se concentreront pendant les décennies 1950 et 1960.

Au 20^{ème} siècle, les villes de la côte bretonne ont beaucoup souffert des destructions dû aux bombardements de la fin de la seconde guerre mondiale. Les villes de Lorient, Brest et St Malo et leur architecture en pans de bois sont détruites en grande partie.

Le néo pans de bois

Dans les zones rurales, en Alsace, Normandie et Pays Basque la culture constructive en pans de bois ne connaît pas d'évolution structurelle mais perdure.

Au 19^{ème} siècle la chaumière normande est à l'origine d'un nouveau modèle d'architecture : le néo pans de bois.

Les créateurs de ce concept retiennent l'aspect rustique fruste et épuré. S'inscrivant entre « l'éclectisme pittoresque » et « le régionalisme raisonné », ce nouveau concept est d'abord lié à l'habitat de loisir et plus particulièrement balnéaire.

Le pans de bois est alors considéré comme un élément de décor et non de support. En conséquence, il est rapidement imité en brique enduite ou en béton peint.

Les architectures néo pans de bois présentent de belles réussites sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique. Exemples bretons : l'hôtel Ar Vro à St Cast, le golf club de la Baule.

Dans le centre urbain de Rennes, aucun exemple de villas ou chalets néo pans de bois n'est remarquable. On peut uniquement noter la proximité de celles-ci sur les côtes de la Manche à Dinard, St Malo, St Cast...

Protection

Au 19^{ème} siècle l'architecture domestique n'attire pas l'attention. A Rennes par exemple, aucun édifice en pans de bois ne sera classé au 19^{ème} siècle. Les grands hôtels particuliers du 26 et 28 Place des Lices ne seront partiellement protégés que dans les années 1960.



26-28 Place des Lices, photographie années 60, DRAC Bretagne



26-28 Place des Lices, 2010

Le premier Plan de Sauvegarde et de mise en valeur de Rennes date de 1985. Le secteur concerné s'étend sur 33 ha de la ville haute. Cet outil a été modifié 4 fois depuis sa création.

A Rennes, la destruction du patrimoine en pans de bois cessera dans les années 1970, plusieurs raisons expliquent ce changement.

Tout d'abord l'abandon des grands programmes de rénovation urbaine et de désenclavement du centre ville. Ensuite, la reconquête des quartiers anciens par les piétons et surtout le développement du tourisme historique dans le centre ancien a favorisé les politiques d'entretien et de restauration du patrimoine en pans de bois.

Dans les années 1980 la ville lance un programme de rénovation des façades. La dépose systématique des enduits sur les immeubles en pans de bois a sans doute été excessive. Comme nous l'avons vu les façades construites à partir du 17^{ème} siècle sont enduites et les bois qui les composent ne sont alors par fait pour être vus (réemploi, mauvaise qualité...).

En 1997 une première OPAH (Opération d'amélioration de l'Habitat) suivie d'une seconde en cours.

"L'utilisation du matériau terre pour l'entretien des immeubles à pans de bois de la ville de Rennes"

1.5 Activité de sensibilisation

Visites commentées avec le groupe technique centre ancien de Rennes (GTACR)

Le GTCAR s'attache à résoudre les problèmes techniques rencontrés sur les chantiers. Mais l'amélioration des pratiques passe par la compréhension du bâti ancien dans son ensemble.

D'après ce constat, j'ai organisé des visites du centre ancien avec pour objectif le partage d'une vision d'ensemble des grandes étapes de la culture constructive locale. Cette activité a eu pour objectif d'améliorer la lecture de l'architecture en pans de bois des professionnels du patrimoine.

Trois visites se sont déroulées en Mars et Avril 2010. Au total 26 professionnels appartenant au GTCAR et au Cabinet Lithek Conseil ont participé à cette activité. Les fiches associées ont été diffusées à tous les partenaires.

Le GTCAR est composé de professionnels habitués aux chantiers complexes du centre ancien. J'ai choisi de leur présenter des immeubles en bon état général. Les visites se sont déroulées suivant un itinéraire jalonné d'exemples représentatifs de la culture constructive en pans de bois. Nous avons cheminé depuis le cœur de la première enceinte médiévale au 3 rue du Chapitre jusqu'à la place des Lices et les anciens faubourgs. Certaines constructions présentaient des interventions récentes de réhabilitation parfois réalisées par les participants. Ils ont pu les commenter et prendre du recul sur leurs projets passés.

J'ai organisé la visite et établi l'itinéraire. Chaque immeuble a été présenté brièvement : grande étape de référence, contexte historique des immeubles, particularités.

Puis j'ai incité le dialogue et échanges entre participants. L'animation de ces visites a aussi été assurée par Mr Boucault en sa qualité de technicien chargé de la protection du patrimoine au SDAP35.

Visite avec le Cabinet Lithek Conseil

La visite organisée pour le Cabinet Lithek Conseil s'est déroulée différemment.

Les objectifs étaient les suivants :

- Echanger les expériences des collaborateurs autour de chantiers références pour le Cabinet Lithek Conseil.
- Matérialiser l'aboutissement du travail d'équipe du Cabinet Lithek Conseil.
- Améliorer ses connaissances de la culture constructive du centre ancien.

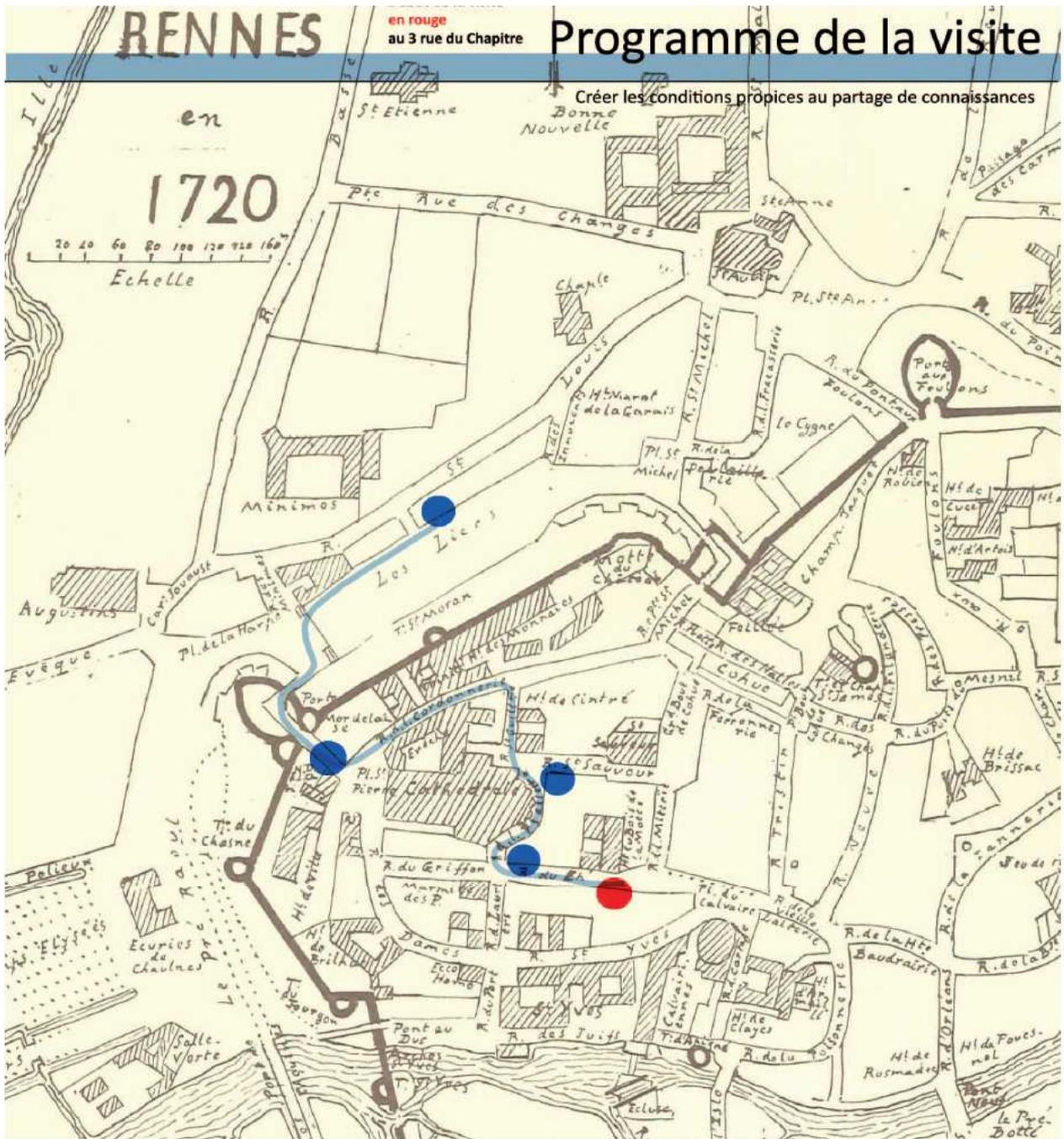
Nous avons visité plusieurs chantiers en cours ou récemment réceptionnés. L'accent a été mis sur le partage des techniques de réhabilitation par la visite de chantiers en cours. Cet itinéraire a été ponctué de présentations d'immeubles représentatifs.

Résultats obtenus et perspectives

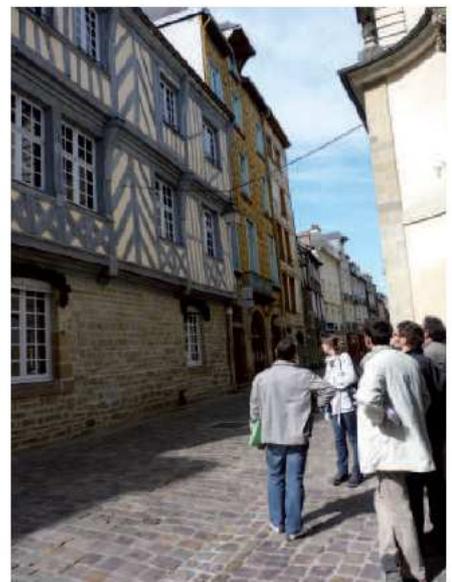
En terme quantitatif les résultats sont positifs puisque 74% des participants du GTCAR et la totalité des collaborateurs du Cabinet Lithek Conseil ont participé à cette activité de visite du centre ancien.

L'impact sur la qualité des interventions est difficile à mesurer. Le résultat escompté est une meilleure compréhension du patrimoine. Le but ambitieux est d'améliorer le dialogue entre les entrepreneurs, les architectes et les architectes des bâtiments de France autour de la valeur patrimoniale d'un bâtiment en travaux. Par exemple pour répondre à la question de la restitution ou non d'un enduit sur un immeuble en pans de bois.

Il serait intéressant de proposer d'autres activités de sensibilisation et de les étendre aux artisans, chefs d'équipe et compagnons.



Invitation pour les participants du GTCAR



1.5 Activité de sensibilisation

"L'utilisation du matériau terre pour l'entretien des immeubles à pans de bois de la ville de Rennes"



2. Intervenir avec le matériau terre crue sur le bâti ancien en pans de bois



2. Intervenir avec le matériau terre crue

Requalification du centre ancien

L'action de la Ville de Rennes dans le centre ancien a débuté dans la première moitié des années 1980 par une campagne de ravalement obligatoire. Grâce à ce projet plus de 1200 façades ont fait l'objet d'un entretien. Cette action a permis de revaloriser les constructions du centre ancien.

De 1997 à 2002 une première OPAH a été menée. Une soixantaine de cages d'escalier dégradées ont ainsi été remises en état.

Créées en 1977, les opérations programmées d'amélioration de l'habitat (OPAH) constituent un outil d'intervention publique. Elles sont mises en place sur les territoires conjuguant des difficultés liées à l'habitat privé.

Les OPAH sont créées par une collectivité territoriale en partenariat avec l'Agence nationale de l'habitat (ANAH). Ces programmes sont ensuite animés par un acteur local comme le PACT Arim à Rennes. La force de ce dispositif réside dans le partenariat entre les collectivités territoriales et l'ANAH. L'ambition de ces programmes est l'amélioration des conditions de l'habitat pour l'ensemble des citoyens.

A Rennes, la seconde OPAH en cours, a été lancée en 2007 avec pour objectif la rénovation de 75 immeubles et 220 logements. Cette OPAH n'est pas terminée, avec une vingtaine de projets réceptionnés à ce jour.

Ces toutes dernières années, la ville de Rennes, avec l'appui des services de l'Etat, a décidé de lancer une réflexion « *vers une importante requalification du centre ancien* ». L'objectif est de proposer des logements de qualité et d'améliorer la sécurité des bâtiments anciens. Pour atteindre ces objectifs, des mesures sont mises en place ; incitatives (aides financières) et coercitives (arrêtés de péril, d'insalubrité, opération de restauration immobilière). Ce programme d'action utilise l'OPAH pour organiser la réhabilitation des logements privés.

En 2008 le compositeur urbain Pascal Tattier, à la demande de la Ville de Rennes, réalise une étude portant sur l'amélioration du bâti du centre ancien de Rennes. Cette étude recense 1500 immeubles concernés par des travaux d'entretien dont 300 « présentent des problèmes sérieux de structure et d'hygiène qui nécessitent une intervention lourde ».

Ce rapport pointe également du doigt les limites des outils actuels :

- disproportion entre l'état réel du bâti, le niveau d'urgence de l'intervention et le dispositif d'aide (OPAH Copropriété),
- risque financier et juridique du péril et de l'insalubrité,
- sous-dimension du dispositif d'animation au regard des besoins et de l'étendue du périmètre à traiter.

Ce rapport présente des propositions afin de d'améliorer les interventions publiques dans le centre ancien :

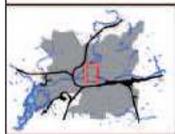
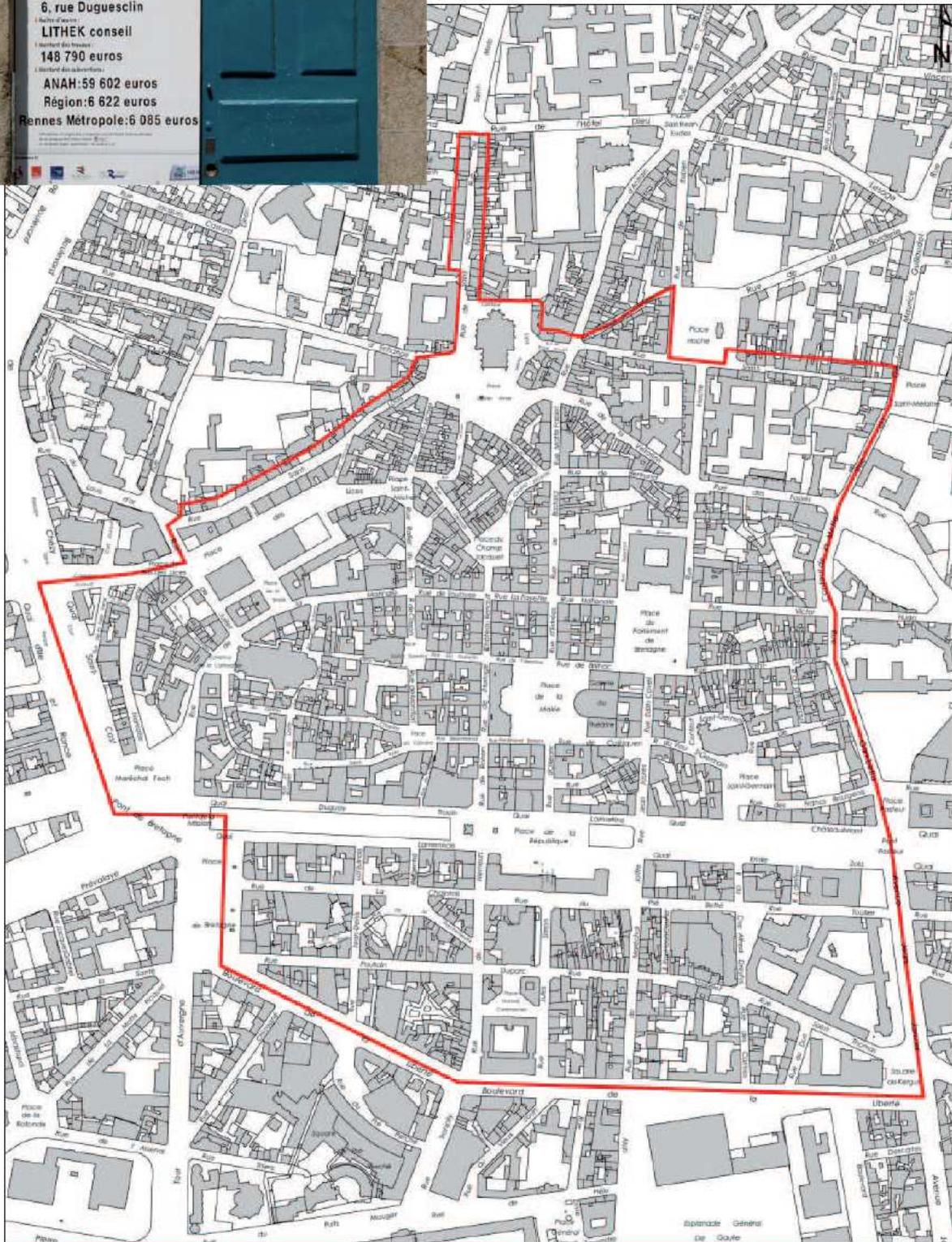
- compléter la boîte à outils (élargir les champs d'actions),
- maîtriser les coûts des travaux,
- animer et coordonner les actions, porter le projet dans le temps.

Afin de coordonner l'action de la Ville de Rennes, une équipe nommée « mission centre ancien » est créée en 2009. Son travail s'inscrit sur une longue période vu l'ampleur de la tâche. L'action se porte sur les immeubles anciens dont tout ou partie sont construits en pans de bois. Ce système constructif est particulièrement sujet au manque d'entretien et donc à la vétusté.

La politique engagée de la ville s'accompagne d'une volonté de maîtrise des coûts.

Dans son rapport Mr Tattier suggère de nombreuses propositions afin de maîtriser les coûts des travaux dont l'une d'elle est la réflexion sur les alternatives du « tout comme autrefois ».

D'après la « mission centre ancien », si les coûts des travaux sont trop élevés, les réhabilitations modernes, voire la destruction d'immeubles les plus dégradés, seraient alors préférées aux rénovations partielles ou totales.



Echelle 1:4 000
 Edition DAU-DS
 Réalisation DAU-DS
 Date 5 décembre 2006
 Source Ville de Rennes

**OPAH sur les immeubles et les logements
 du centre historique de Rennes 2007-2012**

Périmètre d'intervention



2.1 Enjeux locaux

De manière paradoxale, les documents présentant cette action de requalification ne traitent pas de la valeur patrimoniale.

Dans le rapport Tattier, il convient au contraire de limiter les prescriptions du plan de sauvegarde et de mise en valeur (PSMV) strictement au secteur sauvegardé. Le travail de la mission centre ancien se focalise sur une approche très technique. La protection et la mise en valeur du patrimoine semble laissée aux seuls architectes des bâtiments de France.

Les actions menées tentent de proposer une réponse technique à l'entretien des pans de bois tout en continuant de le dévaloriser. Ce système constructif est présenté comme coûteux et passéiste.

Protection du patrimoine

La valeur patrimoniale de l'architecture civile en pans de bois va s'imposer très lentement. La notion de protection du patrimoine prend forme en 1847 à la création de la commission des monuments historiques par Prosper Mérimée. Mais ce sont d'abord les « grands monuments » qui seront classés.

La loi de 1913 sur les monuments historiques permet de protéger les édifices privés avec l'accord ou non de leur propriétaire. Les destructions de la guerre 14-18 et la nécessité de conserver les édifices épargnés vont changer les mentalités. La commission des monuments historiques va commencer à partir de cette époque à protéger l'architecture civile en pans de bois.

La guerre 39-45 provoque un second sursaut. Le besoin de symbole identitaire est fort après le conflit. La reconstruction de la ville de St Malo en est un exemple.

En 1962 André Malraux ministre de la Culture va créer un outil de protection du patrimoine urbain. La loi du 4 Août 1962 instaure les secteurs sauvegardés. Ce sont des zones urbaines soumises à des règles particulières en raison de leur « *caractère historique, esthétique ou de nature à justifier la conservation, la restauration et la mise en valeur de tout ou partie d'un ensemble d'immeubles bâtis ou non* » (extrait du Code de l'urbanisme art. L 313-1).

Cette loi a deux principaux objectifs : éviter la disparition ou l'atteinte irréversible aux quartiers historiques et assurer une meilleure qualité de vie aux occupants.

Il existe 5 secteurs sauvegardés en Bretagne : Dinan, Tréguier, Vitré, Vannes et Rennes. On peut noter que ces 5 villes présentent un riche patrimoine en pans de bois.

Le secteur sauvegardé est soumis à des règles assurant la protection patrimoniale de ces zones. Ces contraintes sont associées à des avantages fiscaux pour les propriétaires qui entreprennent des travaux.

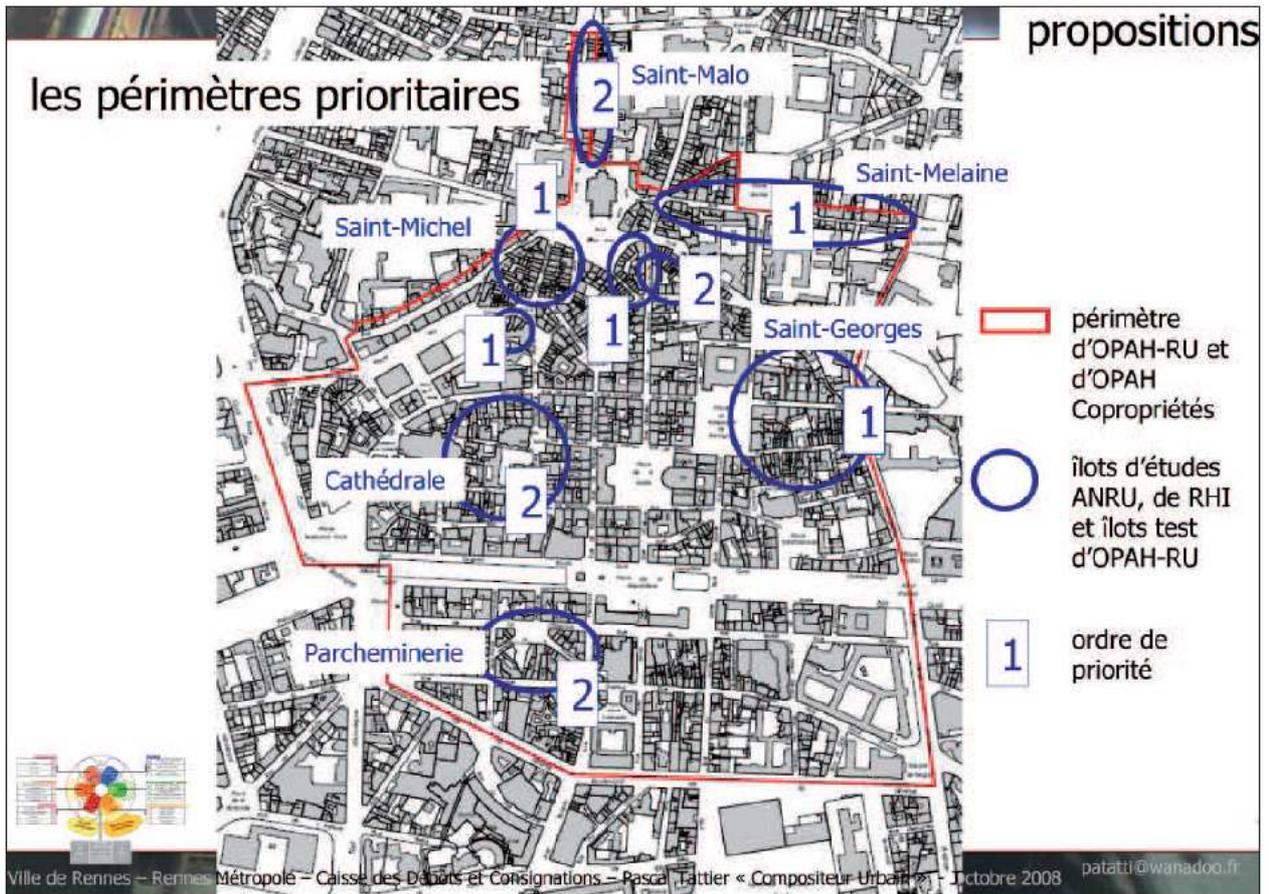
Le PSMV est le document qui remplace le plan local d'urbanisme (PLU) dans le périmètre des secteurs sauvegardés. Il est validé par l'Etat qui confie aux architectes des bâtiments de France la gestion des secteurs sauvegardés. Tous les projets dans ce secteur sont soumis à avis conforme des architectes des bâtiments de France.

Cet avis est entre autres, subordonné à l'utilisation de techniques et de matériaux adaptés au contexte patrimoniale. C'est un contrôle esthétique, technique, structurel. La conservation du patrimoine s'intéresse aussi au maintien de savoir-faire local associé au bâti ancien.

Les architectes des bâtiments de France sont sensibles à l'amélioration des pratiques de restauration et l'utilisation de matériaux adaptés.

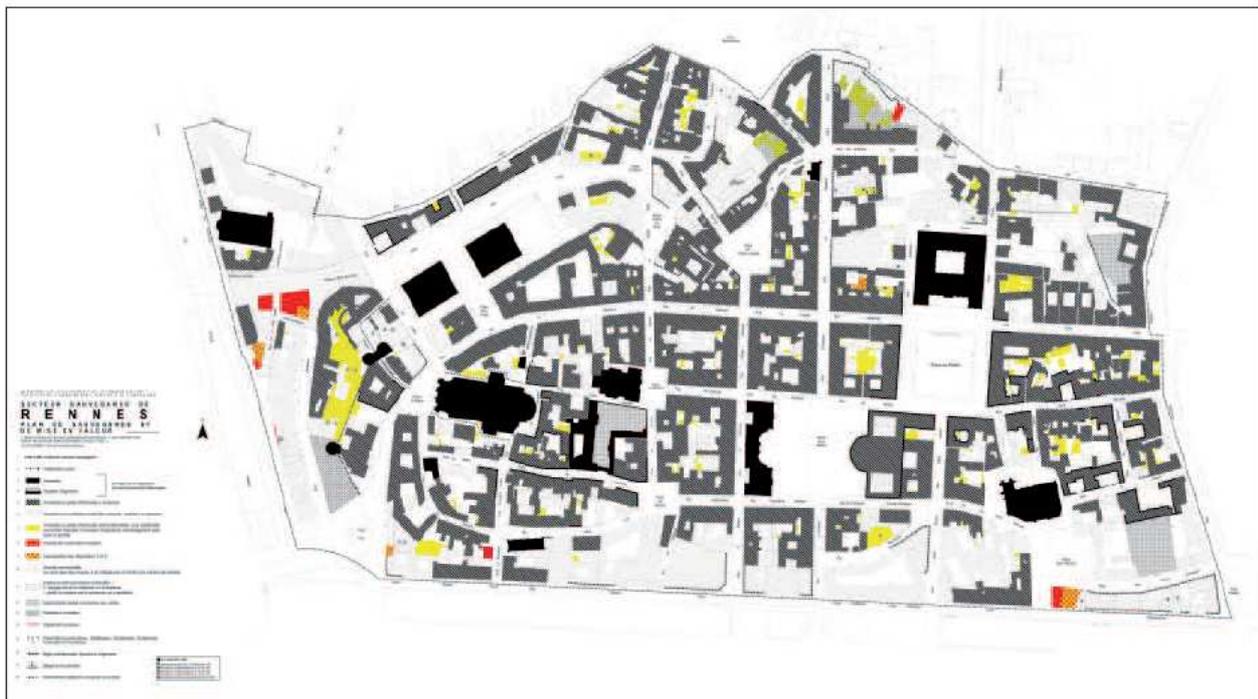
Le secteur sauvegardé se situe dans l'ancienne ville haute, il comprend également les faubourgs St Michel et la Place des Lices. Il n'intègre pas les faubourgs rue de St Malo, rue St Melaine et la ville basse composés tout autant en pans de bois.

Depuis sa création en 1985, le PSMV a été modifié 4 fois. La dernière modification date de 2007. Ces évolutions successives ont permis d'améliorer les interventions patrimoniales dans le centre ancien.



Extrait du rapport Tattier

Plan de sauvegarde et de mise en valeur de Rennes



2.1 Enjeux locaux

Sensibilisation du grand public

Dans le Pays de Rennes, en 2001, a eu lieu une exposition itinérante traitant des constructions de terre en Ille et Vilaine à l'Écomusée du Pays de Rennes. Cette exposition avait pour but de promouvoir la sauvegarde des constructions en terre. L'objectif était d'inciter les acteurs privés et publics à prendre en compte sa spécificité lors de travaux de rénovation. Elle a remporté un vif succès et permis la publication d'un livre sur ce thème.

Jusqu'au 31 décembre 2010, le Centre d'information sur l'urbanisme de Rennes accueille l'exposition « Centre ancien, nouvel avenir ». Le but est de mettre en valeur la richesse architecturale et patrimoniale du centre-ville tout en l'appréciant en fonction des projets urbanistiques d'aujourd'hui et de demain.

Le visiteur de l'exposition est ainsi invité à découvrir les pathologies du bâti du centre à partir de photos et d'une vidéo, ainsi que son évolution depuis le 18ème siècle à partir de cinq maquettes virtuelles de Rennes en 3D projetées sur grand écran.

Par cette vertu pédagogique de découverte et d'enseignement, l'exposition vise également à intervenir préventivement sur le bâti dégradé et à inciter les copropriétaires du centre-ville à engager les démarches.

Politiques environnementales

Depuis 1981, la ville de Rennes a engagé différentes actions visant à la maîtrise des consommations d'Énergie. Le Plan Climat Énergie adopté en 2004 et en cours d'actualisation fixe des objectifs quantifiés. Il établit un cadre de référence de la politique énergétique locale opérationnel et pragmatique. Ce plan s'attache à réduire les émissions de gaz à effets de serre et les consommations d'énergie, à développer les énergies renouvelables et à favoriser les partenariats avec les acteurs de terrain.

Afin de mettre en place ces politiques environnementales, la Ville de Rennes travaille en collaboration avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise des énergies (ADEME). Il s'agit d'un organisme public d'aide à la mise en œuvre de politique publique dans le domaine de l'environnement : gestion des déchets, préservations des sols, efficacité énergétique, énergies renouvelable, qualité de l'air, lutte contre le bruit.

De plus, la municipalité apporte son soutien aux associations de protection de l'environnement via la Maison de la consommation et de l'environnement. Dans le cadre de la « Charte pour l'environnement » elle a confié à trois associations le soin de mener des actions ciblées.

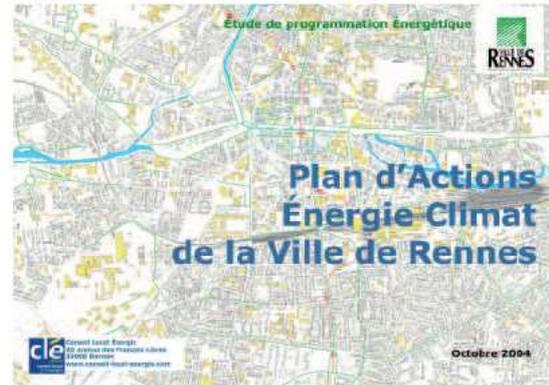
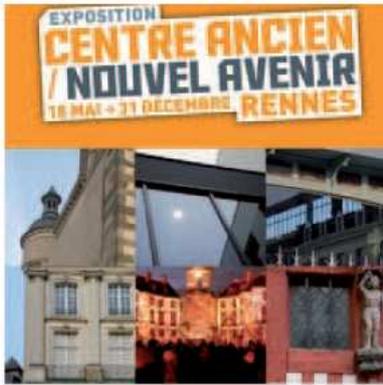
La Ville de Rennes adhère depuis 2006 au Réseau Grand Ouest qui milite pour l'introduction de critères environnementaux dans la commande publique. La politique d'achat respectueuse de l'environnement se concrétise par exemple par l'utilisation de papier 100% recyclé, l'utilisation d'essences de bois locales pour la construction, l'emploi limité des produits phytosanitaires et chimiques pour l'entretien des espaces verts...

Dans le domaine de l'habitat, des objectifs ambitieux ont été fixés dans l'amélioration des logements, des bâtiments municipaux et tertiaires existants et à venir.

La ville de Rennes a engagé la démarche « Rennes BBC pour tous en 2012 » qui vise la généralisation de ce standard pour toutes les constructions neuves. Pour cela l'Agence d'urbanisme et de développement intercommunale de l'agglomération rennaise (AUDIAR) propose de nouvelles méthodes de travail et organise des ateliers dits de conception intégrée. 6 ateliers ont été organisés entre janvier et juin 2010 à l'attention des professionnels.

Actuellement à l'échelle du bassin d'emploi de Rennes, des actions sont mises en place afin d'anticiper les besoins de recrutement des « emplois verts » dans le secteur du bâtiment. « *La politique de lutte contre l'effet de serre engagée par la France produira des effets quantitatifs et qualitatifs sur l'emploi* » (Extrait de la plaquette de présentation du dossier "emplois verts").

Ce projet a pour but d'identifier ces emplois, d'anticiper les besoins de recrutement en préparant les futurs salariés. Il est piloté par la Maison de l'Emploi et assisté par l'ADEME.



A l'échelle locale, il existe donc une volonté forte de mise en œuvre de politiques publiques répondant aux grands enjeux environnementaux. Ces actions dans le domaine de l'habitat porte principalement sur l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments et la formation des professionnels.

Paradoxalement les politiques de requalification du centre ancien ne comportent pas encore de volet environnemental.

La culture constructive en pans de bois hourdés de terre est peu exploitée pour son intérêt environnemental. Nous verrons pas la suite qu'elle s'inscrit pourtant dans le domaine des architectures durables et économe en énergie.

Intégration d'un volet environnemental lors des interventions sur le patrimoine

L'Agence nationale l'habitat (ANAH) est un établissement public crée en 1971. Elle a pour mission de mettre en œuvre la politique nationale de développement, réhabilitation et amélioration du parc de logements privés existants. Elle accorde des subventions aux propriétaires.

L'ANAH se positionne comme un partenaire des collectivités locales dans le cadre de dispositifs programmés (OPAH, plan de sauvegarde...). Son budget annuel est de 500 millions d'euros. En 2008, ces aides ont bénéficié à 110 000 logements. Elles ont généré un volume total de travaux de 2.3 milliards d'euros correspondant à 42 000 emplois de petites entreprises du bâtiment.

Les collectivités qui assurent la maîtrise d'ouvrage d'opérations programmés d'amélioration de l'habitat (OPAH) sont aidées par l'ANAH. En matière de développement durable et de maîtrise de l'énergie, l'ANAH propose des guides méthodologiques « habitat durable » à l'attention des collectivités pour les opérations programmées.

Depuis 2003, cette agence a soutenu l'insertion de volets énergétiques dans les OPAH. Dans ce cas, les aides accordées sont graduées en fonction de la qualité énergétique des réalisations.

A plus long terme, les objectifs fixés sont de diviser par 4 les consommations et émissions de gaz à effet de serre des logements. Elle estime ce coût de 15 000 à 30 000 euros par logement.

Les OPAH répondent très bien aux attentes environnementales puisqu'elle offrent aux ménages des conseils techniques, administratifs et financiers pour y parvenir. On pourrait même imaginer que les OPAH deviennent l'outil des collectivités locales de développement durable des villes. Refaire la ville sur elle-même, développer la mixité sociale, économiser l'espace et favoriser le patrimoine sont des objectifs que pourraient inclure les futurs OPAH.

La politique environnementale de la ville de Rennes et celle de requalification du centre ancien se rencontreront sans doute très prochainement. Dans cette perspective, l'amélioration des pratiques d'intervention doit anticiper ces problématiques.

La réutilisation du matériau terre s'inscrit parfaitement dans une démarche de développement durable de la ville. De plus le matériau possède des qualités thermiques à valoriser.

"L'utilisation du matériau terre pour l'entretien des immeubles à pans de bois de la ville de Rennes"

2.2 Propriétés des matériaux

Pour l'activité GTCAR d'essais de remplissages terre/chanvre, j'ai produit des fiches de présentation du matériau terre crue. Ces fiches présentent les principales caractéristiques et spécificités du matériau. J'ai complété ici ce travail en m'intéressant aux bois et fibres.

Propriétés de la terre crue

Provenance : le sol

La terre crue utilisée pour la construction est la terre minérale dépourvue de matière organique (humus, racine...). La terre provient de la dégradation de la roche mère en profondeur.

La formulation et l'évolution du sol s'opèrent selon trois processus :

- Altération chimique des minéraux de la roche mère par les facteurs climatiques
- Altération par les matières organiques. L'humus a des propriétés différentes selon la nature du climat, de la roche mère et de la végétation. Il participe avec les agents climatiques à altérer les minéraux du sol.
- Migration verticale des éléments solubles. Sous climat pluvieux, les éléments solubles migrent vers le bas par lessivage. Sous climat sec à forte évaporation, les éléments solubles migrent vers la surface. Ces déplacements en fonction du climat créent dans le sol des couches plus ou moins distinctes.

Le bois s'altère, le métal rouille, le ciment et la pierre sont attaqués chimiquement. La terre est différente c'est un matériau provenant de « roche pourrie », qui ne pourra pas s'altérer davantage. Même le feu la renforce pour former de la terre cuite. Correctement protégée par l'eau, la durabilité de la terre est exceptionnelle.

Composition : la terre un béton d'argile

Le matériau terre est constitué de trois types de composants : l'air, l'eau et les grains.

La répartition variable entre ces trois constituants détermine l'état de la terre : liquide, visqueux, plastique, solide.

La terre crue est un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (cailloux, sables, silts) agglomérés par un liant : l'argile. La terre crue fait donc partie de la famille des bétons.

Les grains sont classifiés en fonction de leur taille de 20cm à 2 μ m de diamètre : cailloux, graviers, sables, silts. Ce sont essentiellement des fragments de roches plus de forme sphéroïdale. Seuls la taille distingue les cailloux, des sables ou des silts.

Les argiles sont différentes. Ce sont des microparticules à faciès lamellaire (des grains plats inférieurs à 2 μ m). Les argiles sont si petites qu'elles sont invisibles à l'œil nu. Ce sont des phyllosilicates hydratés du grec phullon qui signifie « qui a l'aspect d'une feuille ». La spécificité de taille et de forme des argiles, les différencie des autres constituants de la terre.

La taille et la proportion des grains varient beaucoup d'une zone géologique à l'autre. Le matériau terre est donc différent selon les endroits : variation de couleur, d'aspect, de la taille des grains...

L'argile, le liant de la terre crue

L'argile enrobe et lie les granulats entre eux. En regardant de plus près, l'argile est constituée de grains plats et fins comme des feuillets.

A cette échelle nanométrique, l'eau agit comme une colle. C'est l'eau qui va faire tenir les feuillets d'argile entre eux grâce à la force capillaire. Comme les feuilles de papiers collent entre elles quand on les mouille, les feuillets d'argile collent entre eux grâce à la fine pellicule d'eau qui les recouvre.

Feuillets d'argile vue au microscope électronique

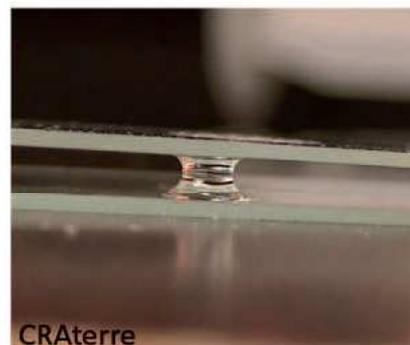


CRAterre

La force de capillaire

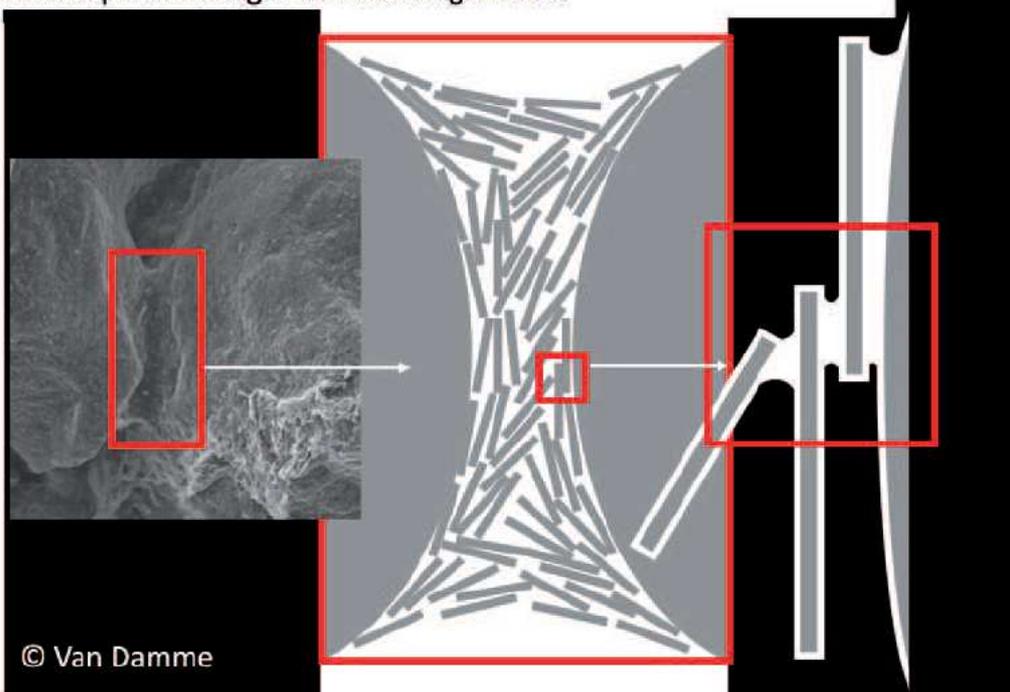


CRAterre



CRAterre

Pont capillaire d'argile entre deux granulats



© Van Damme

2.2 Propriétés des matériaux

La structure feuilletée des argiles et leur petite taille permet à l'eau de former des ponts capillaires solides, car la force capillaire est d'autant plus forte que les feuillets sont petits et plats. Les argiles se présentent sous des formes très diverses.

Il existe donc entre les feuillets d'argile une quantité d'eau qui ne s'évapore pas à température ambiante.

Un mur en terre n'est donc jamais tout à fait sec, une quantité d'eau reste toujours emprisonnée entre les feuillets d'argiles. Même dans le désert les murs en terre contiennent encore suffisamment d'eau pour faire tenir l'argile.

Propriété hygrothermique

Hygrothermie : caractérise le taux d'humidité dans l'air ambiant d'un local.

La terre, même d'aspect sec, contient une quantité d'eau sous forme liquide. Cette quantité d'eau varie, elle est en équilibre avec la vapeur d'eau de l'air.

La nanostructure du matériau permet à l'eau qu'il contient de s'évaporer et de se condenser à température ambiante. L'évaporation/condensation de l'eau dans le matériau terre permet d'atténuer les variations de température et d'humidité.

La surface des parois en terre doit être perméable à la vapeur d'eau. L'eau de pluie qui frappe la surface des murs pourra ensuite s'évaporer sans problème. C'est la présence d'eau en excès à l'intérieur des murs qui provoque des pathologies.

La terre : un matériau à forte inertie thermique

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à emmagasiner puis, à restituer la chaleur de manière diffuse. Quand l'inertie d'un bâtiment est forte, il se réchauffe et se refroidit lentement. L'inertie thermique est liée à la diffusivité d'un matériau.

Selon la manière dont elle est mise en œuvre, la terre peut avoir une très bonne inertie thermique.

Résistance mécanique

On admet que la terre est un matériau lourd peu résistant à la compression. Quand elle n'est pas stabilisée, la terre peut être considéré comme un béton maigre.

Pour les bâtiments de plein pied ou en R+1 on admet que la descente des charges est de 1 à 2 bars soit 0.1 à 0.2 Mpa. On peut donc se poser la question de l'utilité de résistance de 10 Mpa ou plus dans les constructions courantes.

En admettant un coefficient de sécurité, les résistances suffisantes courantes se situent aux alentours de 2 Mpa. Ce sont les valeurs approximatives des matériaux en terre crue non stabilisés.

(1 bar = 0.1Mpa)

Résistance au feu

L'emploi de la terre crue est courant pour construire des fours, des cheminées. C'est un matériau qui résiste très bien au feu et a même tendance à se renforcer avec la chaleur.



CRAterre

Architecture en bauge - Bretagne



CRAterre

Architecture en Pisé de Martin RAUCH en Suisse



CRAterre

Shibam au Yémen, «Gratte-ciel» en terre crue inscrit au Patrimoine Mondial de l'UNESCO

2.2 Propriétés des matériaux

Propriétés du bois

Les premières traces de l'utilisation du bois dans la construction date de la Préhistoire. L'époque romaine marque un grand développement des techniques en Europe : tenons et mortaises chevillées, fermes de toit triangulées. Mais c'est avec le système constructif en pans de bois que la technique atteint un niveau de perfectionnement qui continue à faire référence. Ce matériau léger et résistant est utilisé de manière ingénieuse afin de tirer le meilleur de ses capacités.

Provenance

La forêt couvre actuellement 3.9 milliards d'hectares soit 30% de la surface productive de la planète. En France la surface boisée est de 25%. Un défrichage important a eu lieu en France du Moyen Age jusqu'au début du 20ème siècle. Ensuite, une phase de plantation intensive a eu lieu en Europe et notamment en France.

L'un des défis d'une économie durable est, entre autre, l'utilisation de matériaux renouvelables et économes en énergie. Aujourd'hui, en organisant une gestion durable des forêts, la sylviculture française s'inscrit dans une démarche de développement durable.

Composition

Le bois est un organisme naturel d'une grande diversité d'essences. Il existe plus de 30 000 essences recensées dont 1500 à 2000 utilisées pour la construction et 500 commercialisées à un niveau mondial. La forêt européenne est moins diverse avec 25 essences et 15 utilisées pour la construction. A Rennes, Les essences utilisées dans les pans de bois sont le chêne pour la structure et le châtaignier pour les lattis de coffrage des remplissages. La construction utilise principalement le bois du tronc. Il est composé du duramen, de l'aubier et du bois parfait. Les bois d'aubier assurent le transport de l'eau et la circulation des substances nutritives.

C'est le processus bio énergétique de la photosynthèse qui permet au bois de synthétiser de la matière organique en exploitant la lumière du soleil. On pourrait dire que le bois est de l'énergie solaire accumulée. Cette photosynthèse fixe le carbone par assimilation de CO₂. Ce carbone représente environ 50% de la masse du bois. Le bois fixe donc ce gaz à effet de serre et contribue à préserver la stabilité climatique.

Les caractéristiques du bois résultent de sa structure cellulaire. La plupart des cellules du bois sont longilignes, c'est pourquoi on parle également de fibres. Le corps du bois se compose de millions de cellules associées à des cavités cellulaires appelées des pores. On peut le décrire comme un assemblage de tubes disposés dans la direction longitudinale.

Les résineux, plus anciens dans l'histoire de l'évolution, présentent une structure simple Elle se compose principalement d'un type de cellules « multifonction » qui assurent le transport de l'eau, des substances nutritives et la résistance mécanique.

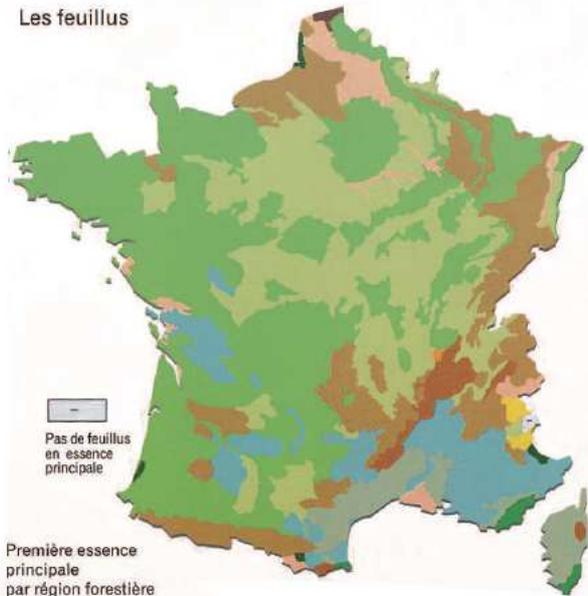
Le bois de feuillus, comme le chêne et le châtaignier, sont plus récents dans l'Histoire de l'évolution. Ils possèdent des cellules spécialisées formant des vaisseaux. Cette structure alvéolée du bois de feuillus lui confère de bonnes propriétés isolantes.

L'organisation des fibres du bois varie donc en fonction des espèces et des essences. De plus la fibrosité longitudinale du bois entraîne des caractéristiques différentes selon la direction considérée.

Exemple, pour une variation de 1% de l'humidité d'un bois de chêne, le gonflement et le retrait d'un bois de chêne sont :

- De moins de 0.01% longitudinalement
- De 0.18% à 0.22% en direction radiale
- De 0.28% à 0.35% en direction tangentielle

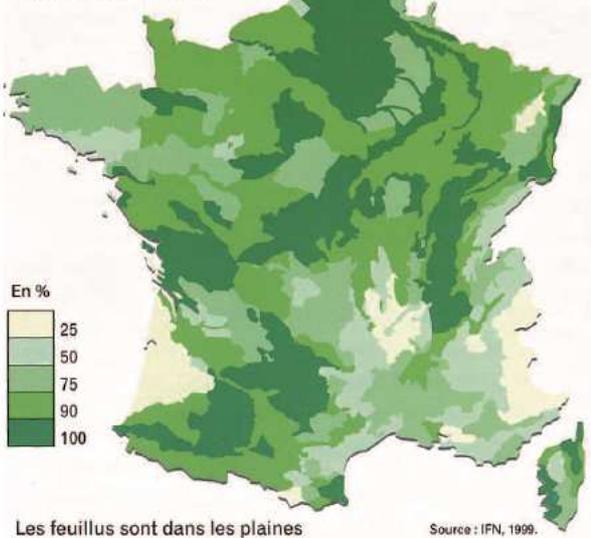
Les feuillus



Première essence principale par région forestière

- Chêne pédonculé
- Chêne rouvre
- Hêtre
- Chêne pubescent
- Châtaignier
- Frêne
- Chêne vert
- Bouleau
- Robinier faux acacia
- Chêne-liège
- Tremble
- Saule

Part des feuillus dans les formations boisées de production



Les feuillus sont dans les plaines

Source : IFN, 1999.

(RAYZAL, 1998)

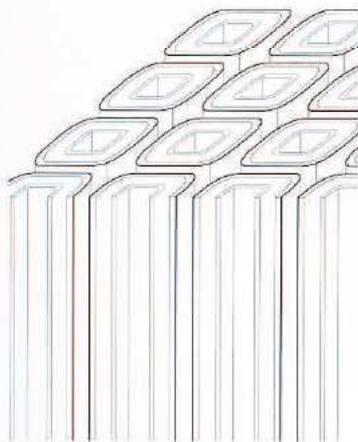


Fig. 6 Coupe longitudinale de la structure d'une paroi cellulaire.

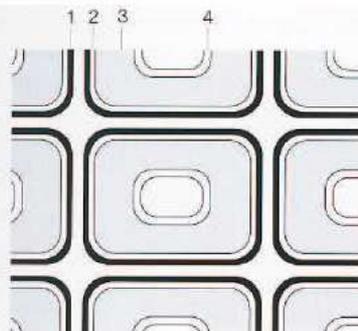


Fig. 5 Coupe transversale des éléments d'une paroi cellulaire.

(Herzog et al.,2007)

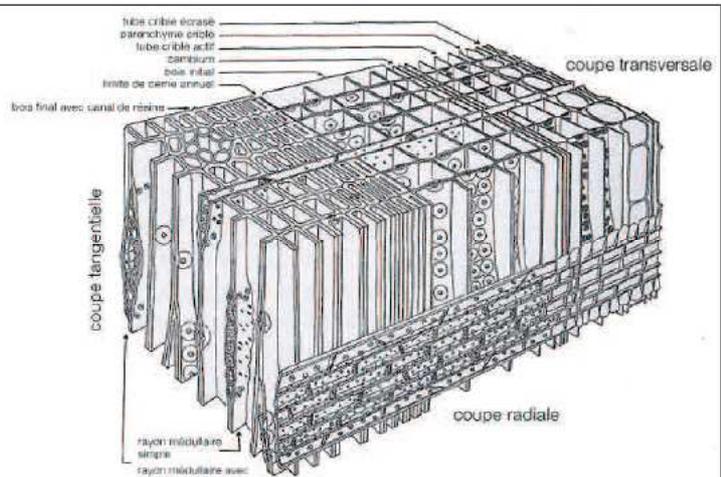


Fig. 3 Bois et écorce interne d'un résineux (mélèze), selon Mägdefrau, 1951.

(Herzog et al.,2007)

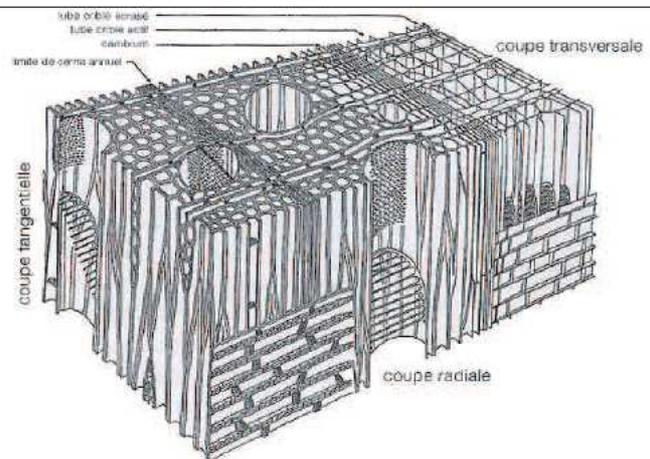


Fig. 2 Bois et écorce interne d'un feuillu (bouleau), selon Mägdefrau, 1951.

2.2 Propriétés des matériaux

Résistance mécanique

En fonction de son squelette cellulaire la quantité de fibres et des pores varie. Or c'est le rapport entre la quantité de paroi cellulaire et le volume total qui détermine la masse volumique. Elle est très importante pour la force de portance du bois et donc sa résistance à la compression et à la traction.

Selon les essences et les conditions de vie individuelles, la masse volumique varie.

Exemples de Rapport pores / volume total :

- Balsa 90% de pores, masse volumique 0.1g/cm^3
- Epicéa 70% de pores, masse volumique 0.45g/cm^3
- Chêne 60% de pores, masse volumique 0.6g/cm^3

L'importante quantité de vide dans le balsa s'associe à une masse volumique peu importante et une faible résistance mécanique. Au contraire, le chêne avec sa grande densité possède des qualités de dureté et de résistance mécanique beaucoup plus importante.

Propriétés hygrométrique et résistance à l'humidité

L'arbre vivant renferme jusqu'à 70% d'eau. Indépendamment de son utilisation le bois est un matériau hygroscopique : il absorbe l'eau et la restitue en fonction de l'hygrométrie ambiante. L'humidité du bois diffère selon son séchage et son environnement.

Exemples de teneur en eau à plus ou moins 3% :

- Frais : 35%
- Mi-sec : 30%
- Sec : 20%

Humidité d'équilibre :

- dans une construction ouverte et exposée aux intempéries : 18%
- dans une construction ouverte mais couverte : 15%
- dans une construction non chauffée et fermée de tous côtés : 12%
- dans une construction chauffée et fermée de tous côtés : 9%

Les variations de teneur en eau ont un impact important sur le retrait et le gonflement radial et tangentiel du bois. Le risque de fente et de torsion diminue beaucoup lorsque le bois mis en œuvre possède une teneur en eau proche de l'humidité d'équilibre de la construction projetée.

De plus, un bois trop humide voit diminuer sa résistance mécanique. Les modules d'élasticité et de cisaillement diminuent avec la hausse de l'humidité.

Les humidités requises devraient être inscrites dans l'appel d'offres lors d'un projet de construction ou de réhabilitation d'une ossature bois.

La résistance aux champignons diminue aussi avec l'augmentation de l'humidité. Mais cette résistance aux attaques parasitaires dépend aussi de la densité du bois. Il existe des bois à la durabilité naturelle. Le chêne avec une masse volumique de 0.65 à 0.76g/m^3 possède un bois parfait très dur non imprégnable et résistant naturellement (Norme EN 350-2).

La valeur limite pour l'humidité du bois est d'environ 20%. Les mesures contre les champignons visent principalement à limiter l'humidité du bois pour des mesures constructives appropriées. On peut utiliser des essences de bois naturellement durables tel que le chêne ou le châtaignier. Dans le cas du bois de chêne, le buchage de l'aubier et le retour à une humidité « normale » permettent d'arrêter les attaques parasitaires.

La protection chimique du bois fait appel à des matières biocides dont l'impact sur la santé présente des interrogations. (voir brochure INRS).

NOM COMMUN	NOM SCIENTIFIQUE	ORIGINE	MASSE VOLUMIQUE (FOURCHETTE ET MOYENNE À 12 % D'HUMIDITÉ)	DURABILITÉ NATURELLE				IMPRÉGNABILITÉ		LARGEUR DE L'AUBIER (indication)
				CHAMPIGNONS	CAPRICORNE	VRILLETES	TERMITES	BOIS PARFAIT	AUBIER	
Douglas	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Amérique du Nord	510-530-550	3	S	S	S	4	3	2 à 5 cm
		Cultivé en Europe	470-510-520	3-4	S	S	S	4	2-3	2 à 5 cm
Épicéa	<i>Picea excelsa</i>	Europe	440-460-470	4	SH	SH	S	3-4	3v	non distinct
Pin maritime	<i>Pinus pinaster</i>	Europe du Sud et du Sud-ouest	530-540-550	3-4	S	S	S	4	1	supérieure à 10 cm
Pin sylvestre	<i>Pinus sylvestris</i>	Europe	500-520-540	3-4	S	S	S	3-4	1	2 à 10 cm
Sapin	<i>Abies pectinata</i>	Europe, Amérique du Nord	440-460-480	4	SH	SH	S	2-3	2v	non distinct
Châtaignier	<i>Castanea sativa</i>	Europe	540-590-650	2		S	M	4	2	2 à 5 cm
Chêne	<i>Quercus pedunculata et Quercus sessiflora</i>	Europe	670-710-760	2		S	M	4	1	2 à 5 cm

(RAYZAL, 1998)

Durabilité naturelle

- Champignons (durabilité du bois parfait) : 1 = Très durable, 2 = Durable, 3 = Moyennement durable, 4 = Faiblement durable, 5 = Non durable

- Capricorne et vrillettes : S = Aubier sensible, SH = Bois parfait sensible (essences à aubier non distinct)

- Termites (durabilité du bois parfait) : D = Durable, M = Moyennement durable, S = Sensible

Imprégnabilité : 1 = Imprégnable, 2 = Moyennement imprégnable, 3 = Peu imprégnable, 4 = Non imprégnable

La lettre « v » qui suit le chiffre signifie que l'imprégnabilité est variable.

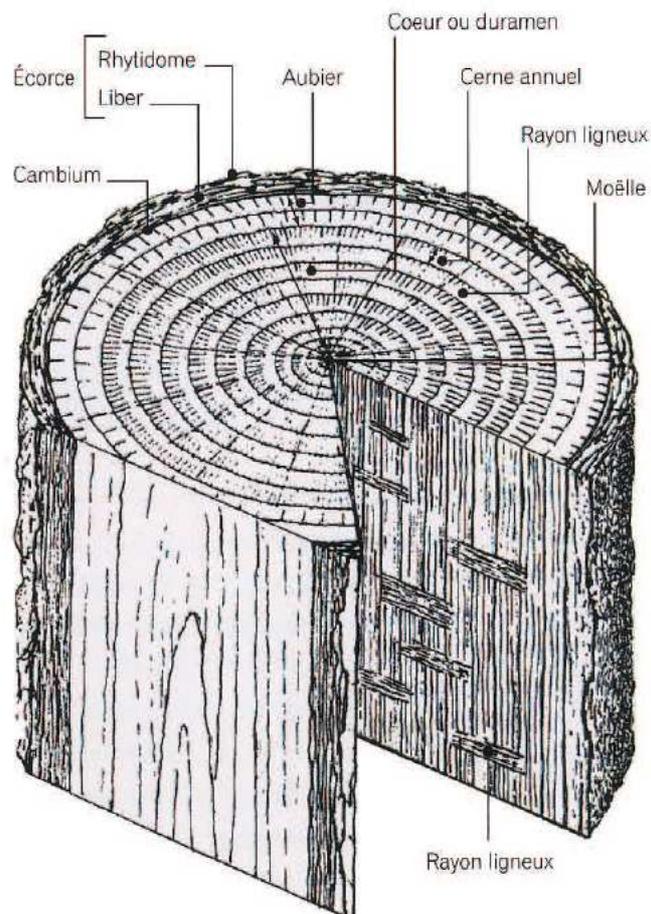
Tableau 2.3 : Extrait de la norme EN 350-2 « Guide de la durabilité naturelle du bois et de l'imprégnabilité d'essences de bois choisies pour leur importance en Europe »

Résistance au feu

Le bois est un matériau de construction inflammable propice à la propagation du feu. Pourtant bien utilisé et associé à des matériaux résistant au feu et des conceptions coupe-feu, les constructions en bois ne sont pas plus impliquées que les autres dans ces sinistres. C'est surtout la charge d'incendie (meublement inflammable, dossiers, combustibles) qui détermine la vitesse de propagation d'un incendie. L'évolution des flammes dépend ensuite de la présence ou non de coupe-feu.

Bien que le bois brûle, il présente un comportement favorable au feu. Le charbon de bois formé pendant la combustion assure une couche d'isolation naturelle qui protège le bois intact contre une augmentation de la température.

La conception des bâtiments doit permettre de limiter ces risques. Concernant les structures, il est possible d'augmenter sensiblement leur section ou de les protéger. Des habillages en plâtre permettent d'atteindre des résistances au feu suffisantes.



(RAYZAL, 1998)

Coupe d'un tronc de chêne

2.2 Propriétés des matériaux

"L'utilisation du matériau terre pour l'entretien des immeubles à pans de bois de la ville de Rennes"

2.2 Propriétés des matériaux

Propriétés des fibres végétales

Les fibres naturelles sont utilisées traditionnellement dans le torchis, les enduits en terre et les quenouilles des immeubles à pans de bois. La diversité du type de fibres est très grande : paille d'espèces différentes, bruyère. Nous traiterons ici des propriétés des fibres de chanvre, utilisées actuellement dans la construction.

Les premières recherches en laboratoire ont été effectuées en 1997. Les publications antérieures à cette date sur l'utilisation des végétaux en construction (en dehors du bois) sont rares sinon inexistantes. L'association CenC (Construire en Chanvre) promeut ce matériau de manière active. Les recherches de Mr ARNAUD à l'ENTPE ont permis de mieux comprendre les propriétés du matériau.

En 2009 les règles professionnelles d'exécution d'ouvrages en béton et mortier de chanvre ont été éditées par la fédération française du bâtiment.

Provenance

Le chanvre est une plante cultivée depuis longtemps sur le sol français. En 1870 plus de 178 000 hectares de chanvre sont cultivés, répartis sur tout le territoire.

Son déclin date du 20ème siècle avec la fin de la marine à voile, la concurrence du coton et la prohibition en Europe. La France n'interdit pas cette culture mais il n'en reste que quelques dizaines d'hectares dans les années 1960. C'est l'industrie du papier haut de gamme qui maintiendra et relancera l'activité.

La France est le premier producteur de chanvre en Europe avec 8000 à 10 000 hectares cultivés. Les fibres de cette plante sont aujourd'hui utilisées pour produire la pâte à papier, sous forme de chènevotte comme matériaux de construction ou de litière pour les animaux. Elle est aussi utilisée pour produire du textile, des équipements automobiles, des cosmétiques...

La production agricole du chanvre est simple. C'est une plante rustique qui pousse sur de très larges zones, sans pesticides ni irrigation. Elle nécessite peu d'amendement chimique. Sa culture requiert peu d'intrants. Pour autant la production végétale est très importante avec jusqu'à 12 tonnes par hectare. (un hectare = 100mx100m soit 10 000m²).

Tout comme le bois, le chanvre transforme le CO₂ en matière organique. En fixant ce gaz à effet de serre, il contribue à préserver la stabilité climatique.

Composition

Le chanvre est un matériau très poreux. La porosité est due à son organisation à l'échelle microscopique. Les pores du chanvre sont très petits : de 10 à 60 µm.

Résistance mécanique

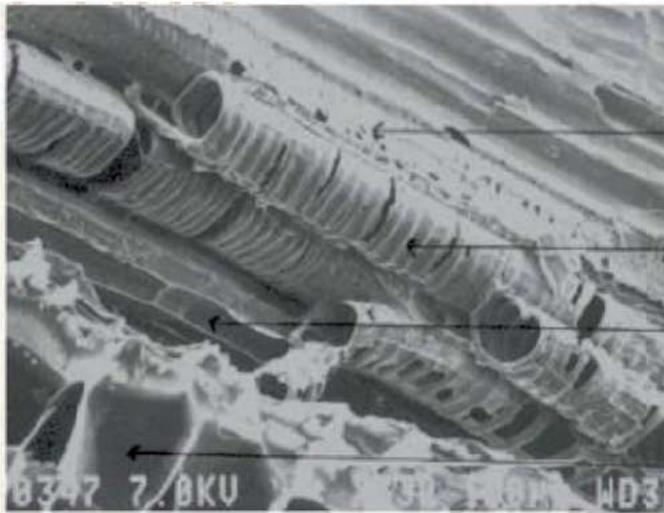
Le chanvre est un matériau déformable. Sa teneur en air est de plus de 70%. Le taux de compression de chènevotte utilisée pour la construction est de plus de 60% à sec. Le matériau n'effectue pas de rupture fragile, il se déforme.

Propriété hygrométrique et résistance à l'humidité

Sa saturation à l'eau liquide est rapide et totale (moins de 10min). Le chanvre absorbe rapidement l'eau liquide et peut la restituer par évaporation. Comme le bois, c'est un matériau sensible à l'excès d'humidité.

Résistance au feu

Les fibres de chanvre doivent être associées à un matériau résistant au feu. L'utilisation du chanvre dans la construction doit être soumise à des règles constructives adéquates.



(Structure microscopique L.Arnaud 2010)



chènevotte pour la construction

Composition chimique	
Eau	9-13 %
Matière sèche	85-90 %
Cellulose brute	52 % sur MS
Lignine	18 % sur MS
Hemicellulose	9 % sur MS
<i>Minéraux</i>	
Ca	1 % sur MS
Mg	0,03 % sur MS
P	9 mg/100g
K	0,4 à 1 % sur MS
Azote total	496 g/kg MS
Carbone total	87
C/N	2,00%
<i>Cendres</i>	
Propriétés physique	
Masse volumique	100 à 130 kg/m ³ fct humidité ambiante
Pouvoir absorbant	198,00%
Pouvoir absorbant des éléments minéraux	24 meq pour 100 g de produit brut
Pouvoir calorifique	3804 cal/g
Ces données sont fournies à titre indicatif, certaines valeurs pouvant varier en fonction des années, des variétés, des lieux de récolte, etc.	

Caractéristiques de la chènevotte (© PSPc - CW)

Complémentarité des matériaux

Renforcement structurel

La stabilisation par armature à l'aide de fibres est très employée.

Les intérêts du mélange de fibres dans la terre sont nombreux :

- Empêcher la fissuration au séchage en répartissant les tensions
- Accélérer le séchage par drainage vers l'extérieur grâce aux réseaux poreux des fibres
- Alléger le matériau
- Diminuer la conductivité thermique
- Augmenter la résistance à la traction

Associé à l'ossature souple des pans de bois, le comportement ductile de la terre mélangé aux fibres est très intéressant.

Protection au feu

Le matériau terre est minéral et non inflammable. Il doit être considéré comme un matériau de la classe M0. Sa bonne tenue au feu est utilisée traditionnellement pour protéger les structures en bois. Le doublage par des enduits en terre permet de protéger efficacement les bois. Ses propriétés sont comparables à celui du plâtre. L'utilisation des enduits en terre comme coupe-feu n'a pas encore fait l'objet d'une réglementation.

"L'utilisation du matériau terre pour l'entretien des immeubles à pans de bois de la ville de Rennes"

Recensement des principales pathologies

Ce recensement a été effectué grâce à la bienveillance des participants du GTCAR et l'appui du Cabinet Lithek Conseil. Ils m'ont ouvert un grand nombre d'immeubles en cours de travaux. Le but de ces visites a été d'établir une vue d'ensemble sur les principales pathologies. Ce travail pourrait permettre d'améliorer les diagnostics avant travaux.

Le bois et la terre ont la capacité d'absorber l'eau et de la restituer par évaporation. C'est une qualité d'un point de vue thermique. Avec de bons soubassements et une bonne couverture, ces matériaux résistent très bien à l'humidité ambiante et aux précipitations.

Mais l'augmentation de l'humidité au dessus des valeurs optimales provoque une diminution de la résistance mécanique, de la cohésion, de la résistance aux parasites et des variations de volume par retrait et gonflement. La maîtrise de la teneur en eau de la terre et du bois est donc fondamentale. En cas d'excès, l'humidité peut être la cause de problèmes structurels graves.

Défauts de conception et d'exécution

En règle générale, les bâtiments qui nous sont parvenus sont plutôt bien conçus et présentent un système constructif abouti.

Défauts des matériaux

Lors de la conception

A partir de la fin du 17^{ème} siècle, le système constructif en pans de bois est réservé aux classes populaires et employé « à l'économie ». Il en résulte parfois sur les bâtiments du 18^{ème} une baisse de la qualité des matériaux mis en œuvre : pièces de bois de réemploi, faible section ou mauvaise qualité du bois.

Dans les remplissages en terre, l'emploi de gravats et déchets peut avoir augmenté la porosité (moins le matériau est dense, plus l'eau a des facilités pour y pénétrer).

Lors de la restauration : entretien inadéquat

L'exécution d'enduits non respirants est inadaptée. L'imperméabilisation des parois provoque une condensation à l'intérieur des murs. A l'extérieur, les enduits en ciments et les vernis provoquent ce type de dégâts.

En intérieur, les parois plastiques dans les cuisines, les revêtements et peintures non respirant, les doublages non ventilés entraînent des pathologies.

Implantation

Dans certains cas les contraintes du moment ont conduit à ériger des bâtiments :

- mal orientés par rapport aux pluies,
- présentant une discontinuité par rapport aux murs voisins,
- avec une toiture complexe.

Ces défauts de conception favorisent le contact entre la construction et l'eau de pluie et donc les risques de pathologies dues à l'humidité.

Défaut de fondation et soubassement

En règle générale les pans de bois s'appuient sur une sablière basse elle-même reposant sur un mur de soubassement en maçonnerie de pierre. Cela suffit souvent pour protéger les bâtiments des remontées ascensionnelles par capillarité.



Dégats des eaux dans une salle de bain 11 Place des Lices



Surcharge de plancher 6 rue St Louis



*A l'emplacement d'une descente EU/EP
6 rue St Yves*

2.3 Méthodes d'intervention

Mais on observe dans certains cas des problèmes liés à l'apport d'humidité excessive depuis ces murs.

Plusieurs causes à ce défaut de conception :

- mur de soubassement de hauteur insuffisante,
- élévation du niveau du sol au fil du temps non prévue,
- soubassements construits sur un sol gorgé d'eau. La ville basse s'est développée sur d'anciens marécages comme le « Pré Pourri », sur d'anciens ruisseaux comme le « Ruisseau de Joculé » et sur l'ancien lit de la Vilaine.

Facteurs anthropiques

Anthropique : relatif à l'activité humaine.

Les pathologies dues à un facteur anthropique sont donc celles résultantes de l'action (ou de l'inaction) humaine.

Le maintien du bâtiment dans des conditions idéales pour sa pérennité nécessite une maintenance régulière. Le facteur anthropique joue un rôle considérable car les matériaux naturels employés, s'ils sont maintenus dans les conditions idéales, sont quasiment imputrescibles.

Affaiblissement des protections du bâtiment

Comme nous l'avons vu les matériaux doivent être protégés d'un excès d'eau. L'eau de pluie est une menace directe.

Plusieurs risques sont à maîtriser :

- Infiltration d'eau de pluie par la couverture et les zingueries,
- Infiltration d'eau par les baies et appuis de fenêtre,
- Réseaux fuyards d'évacuations des eaux.

Modifications inappropriées des structures

Au fil du temps le réaménagement des commerces et des appartements a parfois été réalisé en affaiblissant les structures porteuses.

- Suppression de poteaux et contreventements en bois,
- Suppression des souches de cheminées en rez de chaussée dans les commerces sans reprises des cheminées des étages supérieurs,
- Surcharge des planchers : Chape béton, carrelage, superposition de revêtements de sols.

Sécurité

Lors de leur construction, les réseaux d'eau, d'électricité ou de gaz n'existaient pas. Ils ont été installés de manière anarchique.

Les mesures de prévention contre les incendies et de protection des personnes sont très souvent insuffisantes.

Pathologies Secteur Sauvegardé Rennes – Chantiers et Diagnostics visuels Lithek Conseil

		Pathologies Secteur Sauvegardé Rennes – Chantiers et Diagnostics visuels Lithek Conseil									
		Défaut de protection contre l'eau	Matériaux inappropriés	Modification inappropriées de la structure des bâtiments	Manque de protection des occupants						
Désordres					Réseaux désorganisés et/ou obsolète	Risque pour la sécurité des occupants					
Conséquences		Augmentation de la teneur en eau des bois : pourrissement, attaques parasitaires		Affaiblissement structurel							
Exemples		<ol style="list-style-type: none"> 1. remontées capillaires 2. Infiltration de l'eau de pluie. Défaut de protection 3. Réseaux EU/EP fuyards 4. Condensation, Mauvaise ventilation 5. Diminution de la perméabilité, augmentation du risque parasitaire 6. Suppression d'éléments porteurs 7. Surcharges des planchers 8. Electricité, courtants faibles, réseaux de gaz en plomb 9. Sécurité incendie 10. Autres 									

2.3 Méthodes d'intervention

Déroulement des diagnostics

Diagnostic visuel

L'animation de l'opération d'amélioration de l'habitat (OPAH) par le PACT Arim a permis de mieux organiser la phase de diagnostic. Les copropriétaires souhaitant s'inscrire dans une démarche d'entretien subventionné doivent faire établir par des experts compétents un diagnostic OPAH préalablement.

Le diagnostic OPAH est un cadre établi par les experts du PACT Arim spécifiquement à l'attention des immeubles anciens de Rennes.

Il est documenté par des experts privés : architectes, ingénieurs conseils. Tous les appartements sont visités ainsi que les parties communes des caves au grenier.

Comme nous l'avons vu, les matériaux employés sont sensibles à l'excès d'humidité. Il serait donc intéressant lors de la réalisation de diagnostics, de cibler systématiquement sur les zones à risques : pièces humides, couvertures, réseaux d'eau, parois imperméables, jonction avec les soubassements.

Actuellement ces diagnostics sont principalement portés sur l'analyse technique et la salubrité. Lors du diagnostic visuel il serait très intéressant de situer chaque bâtiment dans la culture constructive de son époque. Il existe de nombreuses ressources documentaires qui pourraient permettre d'enrichir les diagnostics d'un volet patrimonial. Cette connaissance permettrait de faciliter la compréhension structurelle, les modifications subies et de proposer des hypothèses d'interventions s'inscrivant en accord avec la conception originelle.

Cette analyse patrimoniale permettrait également de faciliter le dialogue avec les acteurs de la mise en valeur et de la sauvegarde du patrimoine.

Relevé, plans structurels

Les plans structurels des immeubles en pans de bois sont difficiles à établir car les doublages et enduits empêchent souvent de relever directement la position des structures.

Afin de réaliser ce genre de plans, la connaissance des dimensions courantes et du système constructif doivent être maîtrisés. D'après une analyse précise des parois et un recoupement avec les valeurs habituelles des pans de bois, on peut anticiper le diagnostic destructif.

Il s'agit de faire des déductions pour mieux comprendre les pathologies souvent dues à des atteintes structurelles. Réaliser systématiquement un schéma structurel pourrait permettre de prendre un temps d'avance pour cibler les zones à risque, mettre en sécurité du bâtiment et anticiper la phase travaux. L'intérêt est alors de déduire l'assemblage constructif global.

Diagnostic destructif complet

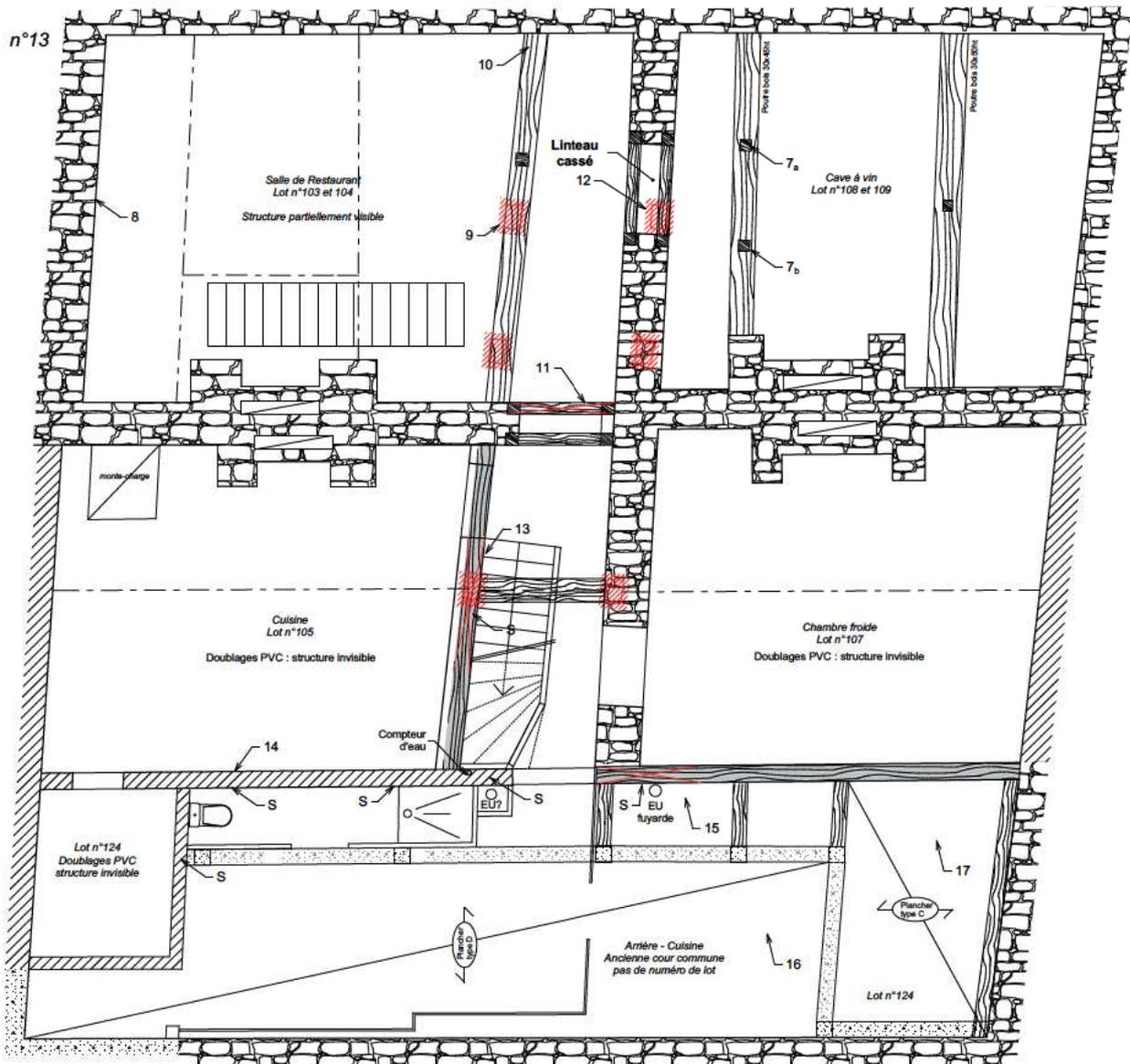
Afin d'évaluer pleinement les pathologies d'un bâtiment, la première phase de travaux porte sur la dépose des doublages et remplissages.

L'ampleur et la diversité des pathologies orientent vers différentes solutions : réparations ponctuelles, restauration, réhabilitation ou reconstruction.

Cette première phase de travaux est l'occasion d'un traitement des bois par injection de produits biocides. L'intervention a pour objet de stopper les attaques parasitaires. Actuellement ce traitement chimique est généralisé à tous les bois dès leur mise à nu.

La sensibilité aux attaques parasitaires d'un bois dépend du type d'essence. Dans le cas de certaines essences par exemple le sapin un traitement préventif par imprégnation peut être réalisé.

Certains bois sont naturellement très durables. C'est le cas du chêne et du châtaigner. Le duramen de ces bois très denses est durable et non imprégnable. Le traitement de bois doit donc être adapté en fonction des essences à traiter. Les essences utilisées dans le système constructif étudié ici, sont le chêne pour la structure principale et le châtaigner pour les lattis.



LEGENDE					
	Poutre en bois		Poutre en béton		Maçonnerie pierre et terre cuite
	Poteau en bois		Zone de descente de charges des poteaux de la cage d'escalier		Maçonnerie béton
	IPN		Attaques parasitaires importantes		Pan de bois
			Sondages destructifs à prévoir		Positions supposées axe des poutres
					Matériau indéterminé
					Plancher type C : Soliveage ancien, remplissage terre
					Plancher type D : panneaux d'agglomérés sur solives sapin 8.5x14ht entraxe 0.4m



ESSENCE	CLASSIFICATION	IMPRÉGNABILITÉ		LARGEUR DE L'AUBIER
		BOIS PARFAIT	AUBIER	
Bouleau	Imprégnable	Imprégnable	Imprégnable	Non distinct
Charme	Imprégnable	Imprégnable	Imprégnable	Non distinct
Châtaignier	Réfractaire	Non imprégnable	Moy. imprégnable	2 à 5 cm
Chêne blanc européen	Imprégnable	Non imprégnable	Imprégnable	2 à 5 cm
Douglas	Réfractaire	Non imprégnable	Peu imprégnable	2 à 5 cm
Épicéa	Réfractaire	Peu imprégnable	Peu imprégnable (variable)	Non distinct

Tableau 2.9 : Imprégnabilité et largeur d'aubier des essences tempérées les plus courantes (norme EN 350-2)

2.3 Méthodes d'intervention

2.3 Méthodes d'intervention

Lors du traitement des pathologies des bois, il convient avant tout autre chose de supprimer la cause de l'excès d'humidité : rétablir la ventilation des caves, déposer les enduits imperméables, supprimer les fuites d'eau... Dans un second temps, il convient de tester les bois et d'évaluer leur état. Ensuite bucher ou supprimer les parties trop atteintes et les renforcer si besoin. Le recours aux traitements chimiques sans l'arrêt de la cause d'un excès d'humidité ne peut suffire pour arrêter les attaques parasitaires.

Le traitement des bois par injection de produit biocide est trop systématique. Quel intérêt peut-il avoir dans le cas d'essence de bois classé comme non imprégnable ?

De plus les produits injectés sont nocifs pour la santé des personnes qui les utilisent et sans doute pour les habitants.

Phase travaux

Les travaux dans le centre ancien sont soumis à beaucoup de contraintes :

- règles strictes de sauvegarde et de mise en valeur du patrimoine,
- politique de requalification du centre ancien menée par la ville de Rennes,
- enjeux actuels d'amélioration des performances thermiques,
- maîtrise des coûts

Ces enjeux parfois antagonistes obligent le maître d'œuvre à faire preuve de créativité et technicité pour se positionner comme force de proposition.

Le degré des pathologies rencontrées et la qualité patrimoniale de l'immeuble entraînent des contraintes supplémentaires spécifiques, à voir au cas par cas. On propose donc une architecture contemporaine contextuelle ou une restauration du bâtiment.

Dans ce genre de contexte, il est plus qu'ailleurs important de concevoir un projet en partenariat avec les copropriétaires, les syndicats, les acteurs de la protection patrimoine, les experts de la Ville.

Limites et proposition des diagnostics actuels

Le remplacement des doublages de protection des structures

Les ravalements obligatoires des années 1980 ont rendu visibles de nombreuses façades en pans de bois. Pourtant dans la majorité des cas, en intérieur comme en extérieur, les doublages et enduits masquent généralement les structures. Ces doublages étaient réalisés en enduit de terre. Ils assurent la protection des structures : prévention incendie, protection contre l'humidité.

Les interventions structurelles actuelles obligent à les déposer. Les équilibres initiaux entre les matériaux sont alors modifiés. Il convient de mener une réflexion sur la capacité de nouveaux matériaux à remplacer de manière équivalente les anciens. Ceux-ci ont-ils les capacités suffisantes pour pérenniser les ouvrages réparés ?

Le processus d'amélioration des pratiques de restauration doit s'attacher à proposer une réparation structurelle des bois sans omettre l'importance des matériaux associés en remplissage et en doublages.

Les enduits et remplissages doivent être : coupe feu, réguler l'hygrothermie, performant thermiquement, assurer la maîtrise des coûts. Dans le contexte actuel, ils doivent également avoir un impact environnemental limité et favoriser l'économie locale.

L'utilisation d'enduits en terre et de remplissage terre/chanvre fait partie de la palette de solutions techniques que devrait avoir à sa disposition les maîtres d'ouvrage.



4 rue St Louis



Derrière les doublages 22
rue St Georges

L'importance du facteur anthropique

L'action humaine a beaucoup d'importance sur la pérennité des bâtiments en pans de bois hourdés de terre crue. Le risque des actions de grandes ampleurs et ponctuelles est de décharger les copropriétaires de leur responsabilité courante.

Les opérations programmées d'amélioration de l'habitat auront un réel impact à long terme seulement si un entretien courant est maintenu pas la suite.

La garantie décennale s'applique dès lors que les travaux sont réalisés par une entreprise et protège le maître d'œuvre contre les vices et malfaçons affectant le sol, le bâtiment, et la non conformité à certaines normes obligatoires. Toute entreprise dont l'objet est la réalisation de tels travaux a pour obligation légale de souscrire une assurance décennale (loi 78.12 du 4 janv. 1978).

L'usure normale des éléments de protection du bâtiment ne résulte pas de malfaçons et doit être comprise comme telle par les copropriétaires. Il ne s'inscrit donc pas dans la garantie décennale.

De nombreuses pathologies résultent d'un manque d'entretien régulier. Il sera judicieux d'intégrer un volet présentant la maintenance courante à réaliser après des travaux lourds. Par exemple on pourrait proposer un carnet d'entretien adapté à chaque bâtiment : débouchage des gouttières et vérification de la couverture, des zingueries et des réseaux d'eau tous les ans, renouvellement de l'enduit tout les 15ans... Ce carnet pourrait être produit en collaboration par les partenaires ayant participé aux travaux : maitre d'œuvre, entreprises de bâtiment, PACT Arim, ANAH, Mission centre ancien, architectes des bâtiments de france ou experts indépendants.

Nous pourrions imaginer que les copropriétaires ayant reçu des subventions s'engageraient ensuite à réaliser cet entretien.

Mise en sécurité
5 rue de Bertrand



Réparation
4 rue St Louis



2.4 Normalisation et matériau terre crue

Règles professionnelles et normalisation : état des lieux

Le manque de documents professionnels de références adaptés à la restauration du bâti ancien est une difficulté importante pour tous les acteurs du bâtiment. En effet, les travaux importants obtiennent un avis favorable des bureaux de contrôle sur la base du respect de documents professionnels. Les assureurs doivent également pouvoir utiliser des documents pour vérifier la qualité des ouvrages. Or les documents existants sont peu nombreux.

Actuellement, les systèmes constructifs non industrialisés (terre crue, pierres sèches et aux mortiers traditionnels, chanvre) ne possèdent pas de documents normatifs de références français. Les documents alternatifs proposés sont peu nombreux.

Lors de la reconstruction suivant la seconde guerre mondiale trois textes officiels sont publiés :

- REEF DTC 2001 Béton de terre et béton de terre stabilisé, 1945
- REEF DTC 2101 Constructions en béton de terre, 1945
- REEF DTC 2102 Bétons de terre stabilisés aux liants hydrauliques, 1945

La production de bloc de terre comprimé a fait l'objet d'une normalisation sous l'impulsion de son utilisation à Mayotte.

Les caractéristiques thermiques de la terre font l'objet d'une publication dans les cahiers du CSTB :

- N°215, Cahier 1682, 1984

Plusieurs ATEX et cahiers des charges à caractère officieux ont été utilisés pour différents projets (Domaine de la Terre à l'Isle d'Abeau, Salvatierra à Rennes...)

Nous pouvons citer les fascicules techniques réalisés par la Mission ingénierie et références techniques de la Sous direction des monuments historiques : *Ouvrages de maçonnerie* et *Ouvrages de charpente bois*.

Ces documents peuvent constituer un document contractuel en complément des pièces à viser au marché dans le CCAP.

Ils sont organisés en trois parties :

- Un fascicule technique contenant les références des documents normatifs applicables aux marchés de travaux de Bâtiment (DTU), Définition des matériaux, description des techniques de mise en œuvre.

Le fascicule technique constitue un document contractuel en complément des pièces à viser au marché dans le CCAP.

- Un CCTP des techniques et matériaux décrits dans la première partie
- Un descriptif du mode de métré correspondant

Un des problèmes majeurs de la construction en terre semble être le manque de critères standardisés pour évaluer les performances du matériau. Pourtant de nombreuses recherches ont eu lieu et permis de caractériser le matériau terre. Des pays ont élaboré des normes, l'Allemagne est l'un des premiers.

Dès 1944, sont publiées les premières normes allemandes DIN sur le matériau terre. Une série couvre les techniques du pisé, de l'adobe, de la terre-paille et du torchis. Elles sont accompagnées de manuels constructifs détaillés et pratiques. Les caractéristiques thermiques sont toujours intégrées aux normes : DIN 4108, 1981.

En France les recherches sur le matériau du laboratoire CRAterre ont détaillé les caractéristiques du matériau terre dans le *Traité de construction en terre* (Houben, Guillaud et al. :1989)

La normalisation de la terre n'apporterait pas de nouvelles informations sur les caractéristiques du matériau. Dans ce cas pourquoi intégrer la terre au système de normalisation française actuel ?

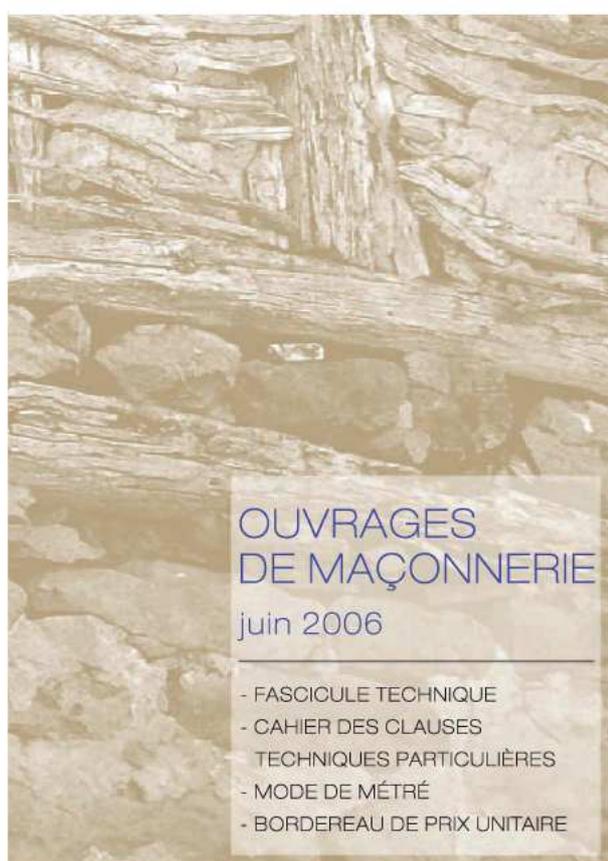
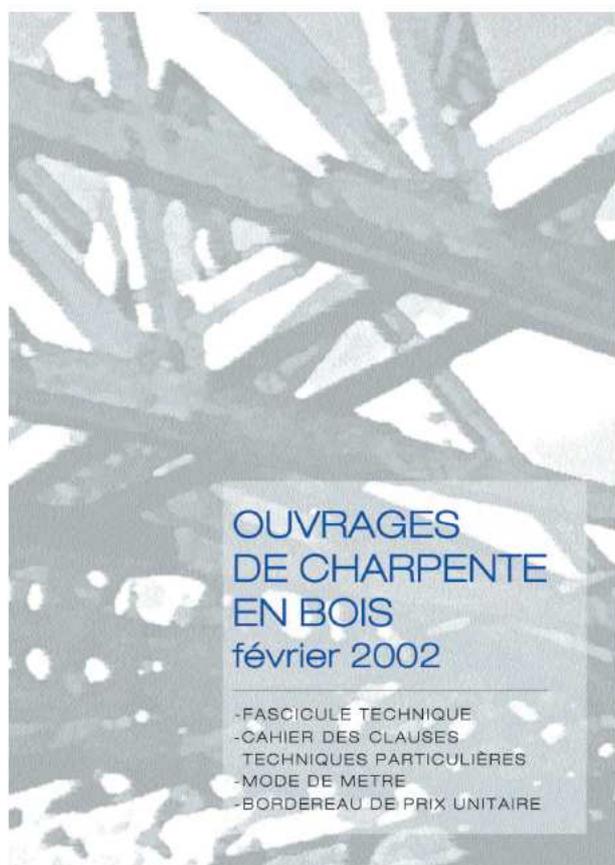
Vincent Rigassi présente une stratégie de normalisation de la construction terre qui me paraît très intéressante et que je vais tenter ici de résumer.

La normalisation des matériaux s'inscrit dans l'histoire de l'architecture moderne. Après la seconde guerre mondiale, les matériaux industrialisés sont plébiscités pour reconstruire à moindre coût et grande échelle. Cette démarche s'inscrit dans des idéologies de « progrès » et « développement » en rupture avec la culture constructive existante.

Car « dans un contexte culturel endogène basé sur l'empirisme et les connaissances partagées, il n'est aucun besoin de se doter de moyens de communication et de transmission des modes constructifs ». La normalisation est au contraire associée à une ambition de production quantitative et de standardisation des connaissances.

Peut-on transposer ces méthodes, moyens et outils au matériau terre ? La norme n'a de sens que dans un contexte industriel. Pour industrialiser ce matériau aussi divers que courant, il faudrait rendre le matériau homogène. Un processus complexe et onéreux à l'encontre d'un développement durable.

Prendre en compte la méthode de transformation et les savoir-faire associés permettrait une production diverse et variée unique à chaque contexte. Il est impossible de retranscrire de la même manière une série d'étapes de transformation de la matière et un processus culturel intégré de réflexions plus larges chronologiquement et spatialement. Dans le cas de matériaux non industrialisés, les documents techniques devraient s'attacher à mesurer les savoir-faire plutôt que les produits finis.



2.5 Développement de la production locale

L'une des raisons de la faible utilisation du matériau terre semble être le manque de production locale de terre prêt à l'emploi à l'usage de la construction. J'ai donc commencé par rechercher des fournisseurs susceptibles de produire un matériau prêt à l'emploi pour faciliter la diffusion du matériau en d'importants volumes pour améliorer la maîtrise des coûts.

Terre des Faluns

C'est l'entreprise de production et distribution de terre crue prête à l'emploi de Mr Malléjac.

Les produits sont préparés pour être mis en œuvre selon les techniques traditionnelles sous forme de torchis, de bauge ou d'enduits. En tant que formateur agréé Mr Malléjac enseigne aux artisans les techniques traditionnelles de mise en œuvre associées à ce matériau.

Afin de préparer sa matière première, il a mis en place un outil mécanisé de production qui lui permet de distribuer sa terre auprès d'artisans de l'Ouest de la France.

La matière première est choisie sur les chantiers après excavation puis mise à sécher aux beaux jours. Après séchage au sol pendant les beaux jours, les agrégats de cette terre très fine sont broyés et conditionnés en big bag. Le savoir faire traditionnel est ici associé à une mécanisation qui permet de proposer un matériau sec à la granulométrie constante. L'impact environnemental de ce matériau produit et mis en œuvre localement est très favorable.

Plusieurs chantiers du centre ancien de Rennes ont été réalisés avec ce matériau, de très bonne qualité et parfaitement adapté aux techniques traditionnelles.

Ce réseau de distribution s'adresse aux artisans spécialisés dans la restauration du patrimoine. Ces spécialistes adaptent la matière première en fonction de son utilisation grâce à leur savoir-faire. Les volumes produits par an sont de l'ordre du double de la quantité utilisée par l'entreprise de maçonnerie Malléjac.

La société JOSSE

Créée en 1976, la société Josse est spécialisée dans la fabrication de carreaux de sol en terre cuite ainsi que de carreaux émaillés pour les murs. Le site d'extraction de la terre se situe aux Rairies (Maine et Loire). La société JOSSE y exploite une carrière de terre argileuse. La terre crue de cette entreprise présente des propriétés favorables à son utilisation sous forme de terre/chanvre.

Une première usine aux Rairies assure la production de tomettes cuites au feu de bois, une seconde à Plancoët est spécialisée dans la fabrication de terres cuites émaillées et peintes à la main.

La société Josse possède une expertise dans l'extraction et la transformation de terre crue sous forme de brique cuite qualité monument historique.

Elle est fortement orientée vers la production et la distribution de matériaux locaux de qualité pour la patrimoine et le contemporain. L'outil de production est bien organisé et de qualité.

Son réseau commercial s'étend sur le Grand Ouest. La fourniture de matériaux naturels de qualité est déjà reconnue par les entreprises du bâtiment dans le Grand Ouest.

J'ai travaillé en partenariat avec cette société pour mettre au point des dosages adaptés à l'utilisation de leur terre argileuse sous forme de remplissage terre-chanvre. Nous avons réalisé des essais, tests ainsi qu'une présentation auprès des professionnels du GTCAR.



Production de terre locale : Terre des Faluns

Production de terre locale : Société Josse
Photographie Marc Josse



2.5 Développement de la production locale

2.6 Essais de remplissages terre-chanvre

Objectifs

Présenter un remplissage en terre crue comme matériau contemporain adapté aux immeubles en pans de bois.

Pour cela, dans un premier temps, il faut déterminer la mise en œuvre du matériau (dosage, teneur en eau, temps...) et évaluer la capacité thermique du remplissage.

Déroulement des essais

Les essais de remplissage en terre crue ont eu lieu dans les ateliers de SNPR à St Jacques de la Lande le 2 Avril 2010. Le support en pans de bois a été fourni par l'entreprise PELLOIS.

Pour réaliser ces remplissages en terre nous avons utilisé la terre argileuse produite par l'entreprise JOSSE.

Préparation d'un mélange pour remplissage terre-chanvre

Composition du mélange : Terre crue 0-4, Sable 0-4, Chanvre (Granulat de chènevotte : Chanvribat)

La terre crue, le sable et le chanvre sont mélangés à sec dans la bétonnière. Lorsque le mélange est homogène on rajoute l'eau. Objectifs : alléger le remplissage, répartir les fissurations, faciliter la mise en œuvre.

La terre crue utilisée provient de la carrière de l'entreprise Josse aux Rairies (49). Elle a été séchée, broyée en 0-4 et conditionnée. La finesse de cette terre lui permet de « fondre » facilement dans la bétonnière.

C'est une terre très fine contenant une quantité importante d'argile. Les analyses réalisées au laboratoire CRAterre à Grenoble nous montrent que cette argile présente un fort pouvoir collant.

Une petite quantité de terre suffit donc à coller entre eux tous les éléments.

Pour éviter les fissurations au séchage, cette terre doit être mélangée à des éléments inertes tels que le chanvre et le sable.

Pose de latis et coffrage

Le système de mise en œuvre choisi est le même que pour les remplissages en chaux/chanvre.

Il s'agit d'un coffrage perdu composé de latis de châtaigner ou d'un coffrage en bois.

L'objectif a été de se rapprocher au maximum des conditions du chantier dans le centre ancien de Rennes.

Remplissage

Le mélange humide provenant de la bétonnière est versé et tassé. La teneur en eau doit être optimale pour assurer une bonne répartition de la matière dans le coffrage.

Décoffrage

Afin de comparer les remplissages chaux/chanvre et terre/chanvre, nous avons décoffré une partie des remplissages.

Le remplissage chaux/chanvre se trouve en gris à droite sur cette photographie.

Au bout de quelques heures seulement dans ce cas, le mélange terre/chanvre a suffisamment de cohésion pour pouvoir être décoffré.

Vous êtes conviés aux

Essais remplissage terre

Matériau terre crue de l'entreprise Josse

le vendredi 2 Avril 2010 à 11h

2 Rue de la Buhotière
à Saint Jacques de la Lande
dans les ateliers SNPR

Remplissage d'une maquette de pans de bois

Présentation des propriétés du matériau terre crue

Nous concluons les essais par un déjeuner

Activité ouverte à tous proposée dans le cadre du Groupe Technique Centre Ancien – Merci de confirmer votre présence – Amélie LE PAIH chez Lithek Conseil au 02 99 55 13 71 ou amelie.lepaih@hotmail.fr



Photographies : Marc Josse

2.6 Essais de remplissages terre-chanvre

2.6 Essais de remplissages terre-chanvre

Conclusion

- Le mélange terre/chanvre présenté est facile à mélanger à la bétonnière avec une cohésion satisfaisante.
- L'argile Josse est fine et très collante. Elle paraît adaptée pour un mélange très fibré type terre/chanvre présenté ici.
- La quantité d'eau doit être maîtrisée parfaitement.
- La mise en œuvre des remplissages en terre présentée est identique à celle du chaux/chanvre.

Le rapport entre la quantité d'argile et la quantité de sable devra être affiné une fois les remplissages secs.

Je suis retournée sur place la semaine suivante. Le dosage a été amélioré en diminuant le volume de sable. Ce mélange est aisé à la bétonnière. Il présente un bon séchage sans moisissures, une bonne cohésion du matériau et un décoffrage immédiat avec une tenue correcte. C'est sur ce dosage que j'ai pris un échantillon 0.11x0.15x0.30 et réalisé des tests. Après séchage complet, la masse volumique est de 930kg/m³.

Ce dernier mélange paraît idéal pour le remplissage entre pans de bois. Il est compact avec une bonne cohésion à sec, idéal pour une accroche d'enduit.

J'ai réalisé tous les tests sans chaux. Pourtant l'utilisation de chaux et le type de chaux à utiliser (aérienne ou hydraulique) reste problématique. L'ajout de moins de 2.5% de chaux en volume pourra permettre une diminution des moisissures et un séchage un peu plus rapide. Dans les conditions favorables (bonne ventilation, beaux jours) l'utilisation de chaux n'est pas justifiée.

Au vu du contexte de la paroi, un enduit en terre fin protégé par un badigeon de chaux pourra permettre de protéger correctement le remplissage des intempéries.

Résultats analyse

Performances thermiques

Pour ce qui est de la partie thermique, j'ai travaillé en collaboration avec Maud Boucault stagiaire au Cabinet Lithek Conseil en Licence professionnelle MIE Maitriser et intégrer les énergies. Nous avons analysé d'un point de vue thermique les essais établis avec le GTACR. Voir Annexes.

Je me suis chargée de fournir les informations relatives au matériau terre. Melle Boucault les a compilés, interprétés et comparés avec d'autres matériaux et parois.

Ce travail traite particulièrement des remplissages terre/chanvre réalisés lors de l'activité.

Résistance à la compression

Dans l'ossature en pans de bois ce sont principalement les parois contreventées en bois qui reprennent les descentes de charges et assurent l'indéformabilité du bâtiment. La résistance des bois de chêne debout est très bonne.

La terre résiste à la compression selon des valeurs que ne prennent pas en compte les modes de calculs actuels et leur important coefficient de sécurité. Pourtant les immeubles en pans de bois ont été construits aux états limites, sans modélisation informatique.

Les essais réalisés de compression des blocs terre-chanvre doivent être approfondis et inclus dans une séquence de tests plus global (résistance à la flexion, hygrothermie, propriétés thermiques).



Photographies : Marc Josse

Perspectives

Développer les savoir-faire

La formulation de produits en terre crue s'appuie sur le savoir-faire des maçons. Afin de mettre en œuvre correctement ces produits, il est primordial de développer les savoir faire associés. La distribution de nouveaux produits doit être associée à une offre de formation adéquate.

Réaliser des tests mécaniques et thermiques

Les essais réalisés de compression des blocs terre-chanvre doivent être approfondis et inclus dans une séquence de tests plus globaux (résistance à la flexion, hygrothermie, propriétés thermiques). On peut toutefois conclure que ce matériau composite réagit à la compression comme le chanvre. Il se déforme et présente une rupture ductile à la compression.

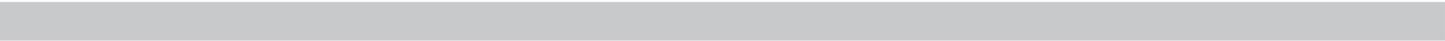
Mr ARNAUD à l'ENTPE a effectué des recherches sur le matériau chaux-chanvre. Ces travaux ont appuyé scientifiquement les données professionnelles d'exécution d'ouvrage en béton et mortier de chanvre. Les règles professionnels pour la mise en oeuvre du chaux-chanvre ont été éditées en 2009 par la fédération française du bâtiment.

Actuellement dans le même laboratoire, des recherches sont menées sur le matériau terre-chanvre. La perspective de l'édition de règles professionnelles de béton de chanvre et liant terre crue semble réaliste à moyen terme. Les valeurs de performances thermiques seront alors approfondis.

Sensibiliser les partenaires publics

L'intérêt de la réutilisation du matériau terre pour l'entretien, au-delà de son aspect technique, propose un intérêt de développement durable et local. L'impact environnemental et l'analyse du cycle de vie des matériaux ne fait pas encore partie des critères d'attribution de subventions.

Il serait judicieux de sensibiliser les partenaires publics à cette approche. Pour cela une étude d'impact reste à réaliser.



Conclusion

Ce mémoire conclut mes deux années d'études du DSA Architecture de terre au CRAterre-ENSAG. Les enseignements pratiques et théoriques associés à une mise en situation professionnelle réussie m'ont permis d'atteindre mes objectifs initiaux.

En tant qu'architecte diplômée d'Etat, cette formation a renforcé mes capacités de compréhension des cultures constructives locales. Dans le cadre de mon mémoire, j'ai focalisé mes recherches sur le système constructif en pans de bois hourdés de terre crue. Ce patrimoine n'est pas figé et l'action humaine a beaucoup d'influence sur sa pérennité. Grâce à la connaissance de ces techniques et de la culture constructive, je peux aujourd'hui me positionner en tant que force de proposition.

De plus ce mémoire s'intègre dans une démarche concrète d'amélioration des pratiques professionnelles et des interventions sur ce type de patrimoine. Au sein du Cabinet Lithek Conseil et en partenariat avec le groupe technique centre ancien de Rennes (GTCAR), j'ai pu ancrer mon travail dans les réalités locales. Dans ce contexte, les attentes des intervenants sont parfois antagonistes. Ce mémoire m'a permis de comprendre les grands enjeux s'appliquant au centre ancien de Rennes.

L'insertion dans le tissu professionnel rennais est une démarche volontariste en concordance avec mon projet professionnel. Elle m'invite à envisager la valorisation de mes compétences en Bretagne, dans le domaine des architectures de terre et de bois, tel que je le souhaitais.

C'est une trajectoire professionnelle que j'entends mener sur la base d'une expérience qui m'a permis de mieux positionner mes compétences d'architectes dans le jeu des acteurs professionnels intervenant sur ce patrimoine, maîtres d'ouvrages publics ou privés, architectes des bâtiments de France, association d'animation des opérations programmées d'amélioration de l'habitat, service technique de la ville, bureaux d'ingénierie (thermique et énergétique, notamment), entreprises et artisans. Avoir suivi le DSA Architecture de terre au CRAterre-ENSAG m'ouvre donc aujourd'hui de nouvelles perspectives.

Il est temps de concevoir des architectures qui économisent les ressources naturelles, soutiennent la diversité culturelle, participent au maintien d'une économie locale et qui soit aussi en mesure de mieux valoriser les savoirs et les savoir-faire du territoire régional, compris ici en tant que véritables ressources.

Mon positionnement personnel se situe dans l'adéquation de ces enjeux avec la requalification et la mise en valeur du patrimoine bâti. La culture constructive locale en pans de bois hourdés de torchis me servira de source d'inspiration. Ses qualités esthétiques, thermiques et écologiques, répondent aux critères contemporains d'une architecture durable.

Ainsi, il m'est désormais possible d'envisager de travailler sur une réinterprétation actualisée de cette ancienne culture constructive pour apporter de nouvelles réponses constructives et architecturales aux problématiques de l'éco-habitat. Ce positionnement personnel me situe clairement au cœur des enjeux actuels de la société, au plan environnemental, social, économique, mais aussi au plan culturel.

Sites internet

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) : www.ademe.fr

Agence nationale de l'habitat (ANAH) : www.anah.fr

Ville de Rennes : www.rennes.fr

Centres de ressource

DRAC Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne

Hotel de Blossac, 6 rue du Chapitre, Rennes

Fonds d'archives concernant tous les édifices inscrits ou classés à l'inventaire des monuments historique. A consulter sur place.

Inventaire général du patrimoine culturel

<http://patrimoine.region-bretagne.fr>

Dossier électronique de l'inventaire générale - Région Bretagne

Fiches d'inventaire de certains immeubles : description, datation

Archives municipales de Rennes

Copie de tous les dossiers de permis de construire déposés à Rennes depuis 1904, Plans anciens de la ville de Rennes.

Ouvrages

ANGER, FONTAINE. *Grains de Bâisseurs, la matière en grains, de la géologie à l'architecture*. Villefontaine: CRATerre éditions, 2005.

ANGER, FONTAINE, et al. *Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture*. Paris: éditions Belin, 2009.

AUBERT, et al. *L'Histoire de Rennes*. Rennes: Editions Apogée et Presse universitaires de Rennes, 2006.

BANEAT. *Le vieux Rennes*. Rennes: Le livre d'histoire, 1999.

BOUFFETTE, et BONNET. *Itinéraires géologiques à Rennes*. Rennes: Editions Apogée, 2009.

BRANDOIS, et BABICS. *Manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie*. Paris: Ministère de la Culture et de la Communication, Direction de l'Architecture et du Patrimoine, Sous direction des monuments historiques des espaces protégés, Mission ingénierie et références techniques, 2006.

CROIX, DENIS, AUBERT, et VEILLARD. *Dictionnaire du patrimoine rennais*. Rennes: Editions Apogée et Presses universitaires de Rennes, 2006.

Archives départementales d'Ille-et-Vilaine, *De bois, de pierre, d'eau et de feu. Quatre siècle d'urbanisme à Rennes 17ème-20ème siècle*. Rennes: Archives départementales, 1995.

DECHIFRE, et LEBRUN. *Rennes de A à Z*. Rennes: Editions Ouest-France, 2002.

DEWULF. *Le torchis, mode d'emploi*. Paris: Editions Eyrolles, 2007.

GUILLAUD, GRAZ, CORREIRA, MECCA, MILETO, et al. *Terra incognita ; découvrir une Europe des architectures de terre*. Argumentum ; Culture Lab Editions, 2009.

—. *Terra incognita ; préserver une Europe des architectures de terre*. Argumentum ; Culture Lab Editions, 2009.

HERZOG, VOLTZ, NATTERER, WINTER, SCHWEITZER. *Construire en bois*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 2007.

HOFFSUMMER. *Les charpentes du XIe au XIXe siècle, typologie et évolution en France du nord et en Belgique*. Paris: Editions du Patrimoine, 2002.

HOUBEN, GUILLAUD. *Traité de construction en terre*. Marseille: éditions Parenthèses, 1989.

LELOUP. *Maisons à colombages de France*. Douarnenez: Chasse-marée, 2007.

—. *Maisons à pans-de-bois de Bretagne*. Rennes: Ouest France, 2002.

RAYZAL. *Guide de préservation du bois*. Paris: Centre technique du bois et de l'ameublement, 1998.

SALAUN. *Rennes, la métamorphose d'une ville*. Rennes: Editions Ouest France, 2005.

SOLODEL. *Grand Atlas d'aujourd'hui*. Paris: Hachette, 1998.

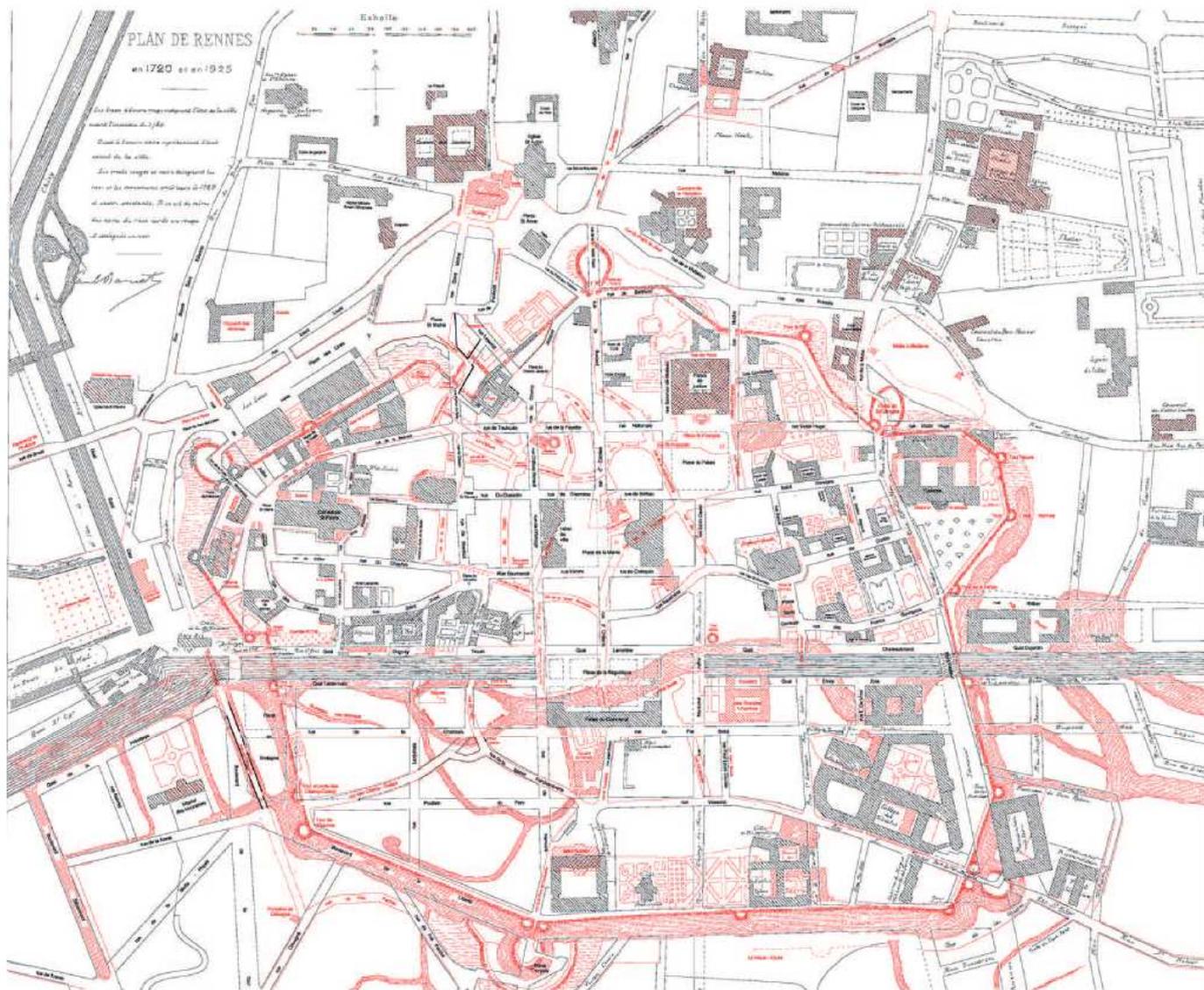
Sous direction des monuments historiques, Mission études et travaux. *Ouvrages de charpente bois*. Paris: Ministère de la Culture et de la Communication, Direction de l'architecture et du Patrimoine, 2002.

Sous direction des monuments historiques, Mission ingénierie et références techniques. *Ouvrages de maçonneries*. Paris: Ministère de la Culture et de la Communication, Direction de l'architecture et du Patrimoine., 2006.

VALENTIN. *Le colombage, mode d'emploi*. Paris: Editions Eyrolles, 2006.

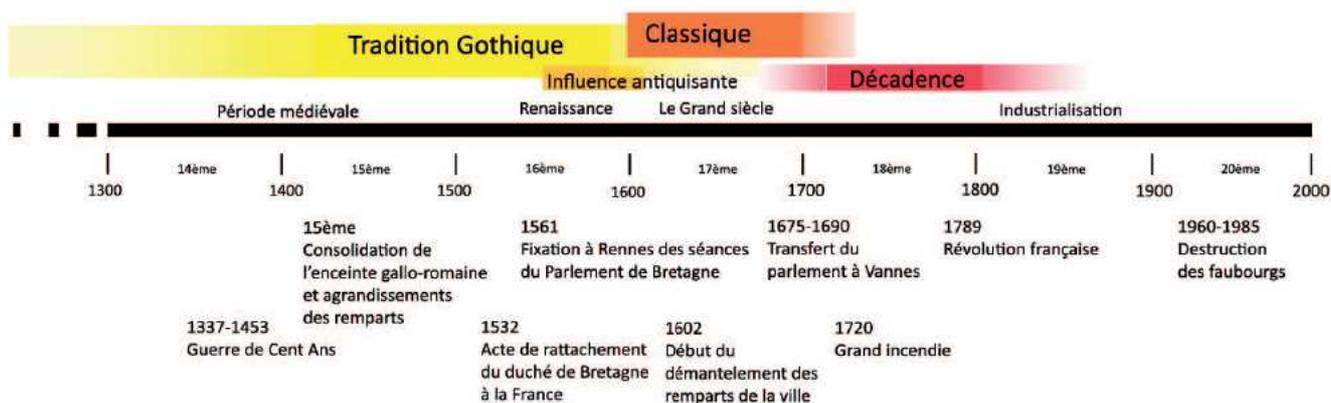
Pour info
 286 maisons et immeubles
 à pans de bois ont été
 recensés à Rennes.

Urbanisme et Chronologie



En rouge la ville en 1720 (avant l'incendie) et noir la ville en 1925

Evolution de la culture constructive
 en pans de bois à Rennes



Pour info

Les constructions de la période médiévale représentent seulement 10% du patrimoine en pans de bois actuel, elles ont souvent été beaucoup modifiées.

Tradition gothique

Au 15ème siècle la construction en pans de bois domine dans toutes les villes de Bretagne



Décors sculptés rue St Michel

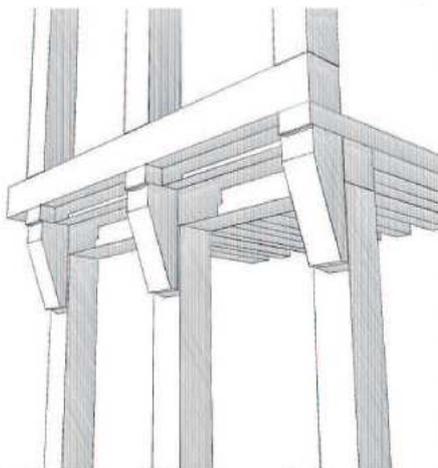


Schéma d'encorbellement sur entretoise

Contexte

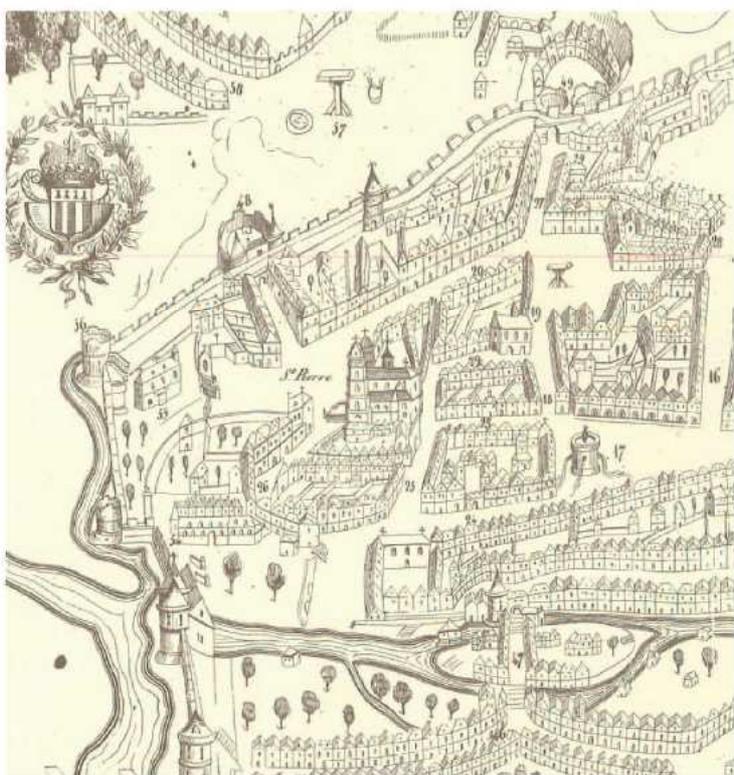
L'activité commerciale prédomine à toute préoccupation fonctionnelle.

Les acheteurs restent à l'extérieur, les étals se trouvent devant les maisons. L'encorbellement permet d'abriter les activités commerciales et de répondre à une pression foncière forte.

L'utilisation des fontaines publiques est la règle.

Typologie

Le parcellaire linéaire et les îlots profonds datent du Haut Moyen Age. Pas d'alignement des façades. Les pignons forment couramment une façade étroite sur la rue. Caractéristique rennaise : compromis entre le mur gouttereau et le pignon sur rue.



Extrait du plan de 1618 «Rennes, ville capitale et siège du parlement»

Le plan à deux pièces, une sur rue, une sur cour, séparées par un escalier à vis est le plus usuel. Les étages sont desservis par des escaliers à vis et des couloirs ou des coursives extérieures.

Absence de châssis vitrés, les ouvertures sont fermées par des volets qui conditionnent la largeur des baies entre 60 et 65cm.

Les combles ne sont pas aménagés, les sous sols se généralisent.

Système constructif

à bois court et encorbellement sur entretoise en général.

Le savoir-faire est maîtrisé : technicité sans variante sans doute élaborée depuis longtemps.

Ce modèle constructif perdure jusqu'au 17ème siècle.

Matériaux

Remplissage en terre crue sur lattis de châtaignier.

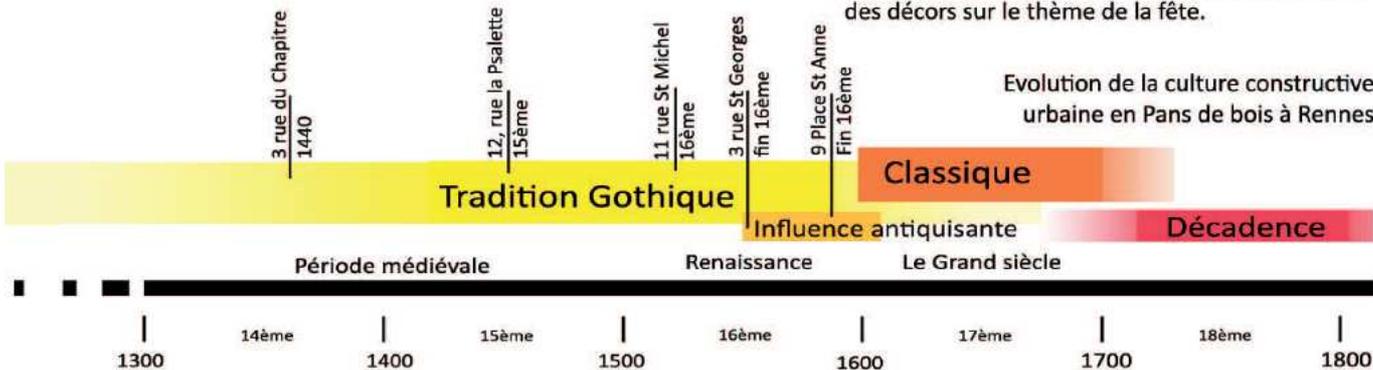
Forte section de chêne, l'approvisionnement est de qualité jusqu'à la fin de la période médiévale.

Les couvertures en fibres végétales sont très courantes.

Décors sculptés

Pendant la période médiévale les décors sculptés sont d'une grande richesse. Le thème religieux est dominant, on observe aussi des figures grotesques, des décors sur le thème de la fête.

Evolution de la culture constructive urbaine en Pans de bois à Rennes



Pour info

le 3 rue St Georges à large façade sur rue et au programme décoratif antiquesant en façade arrière illustre l'habitat renaissance.

Période Renaissance

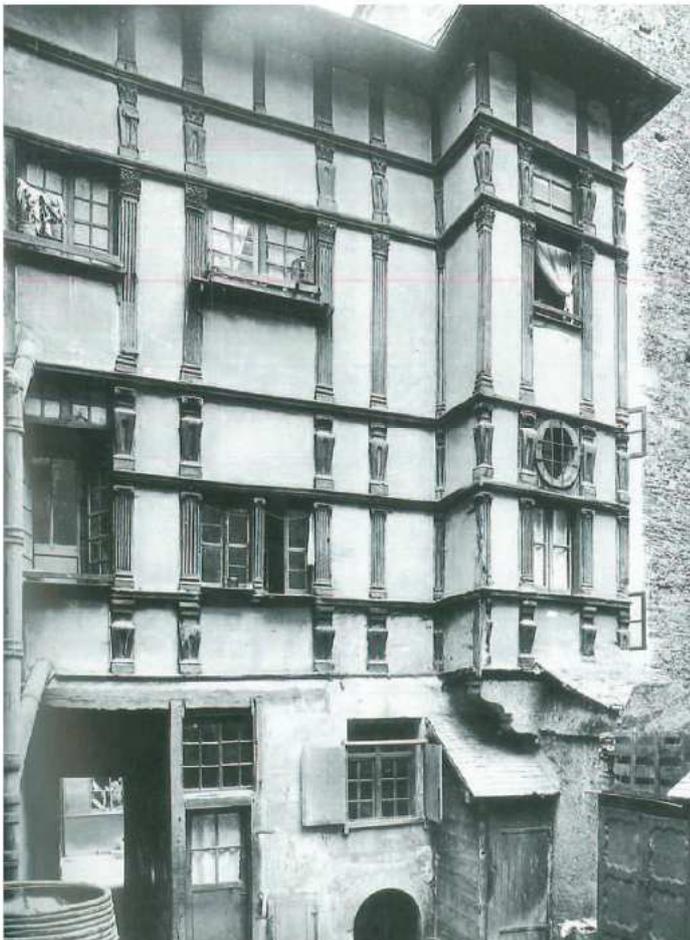
Plus qu'une évolution des décors : un nouveau concept d'habitat



rue des portes mordelaises



Détail de pilastre 3 rue St Georges



Photographie façade arrière 3 rue St Georges

Contexte

Fin 15ème, l'art italien est utilisé par la grande noblesse seigneuriale et cléricale pour ses commandes prestigieuses en Bretagne. Pourtant la petite noblesse bretonne continue d'utiliser les influences gothiques pour l'architecture civile.

Cette période coïncide avec le rattachement du Duché de Bretagne au Royaume de France. L'origine française de ces décors n'a pas séduit une partie de la population attachée à l'indépendance bretonne.

L'influence de la Renaissance sur les immeubles urbains de Rennes a été tardive.

Typologie

Remise en cause du plan médiéval à deux pièces.

Les façades s'élargissent sur la rue.

L'exigence de confort et de lumière entraîne de meilleures conditions d'habitabilité : grandes fenêtres, diminution des encorbellements.

Système constructif

à bois court et encorbellement sur entretoise.

Savoir-faire maîtrisé et élaboré

Matériaux

Remplissage en terre crue entre lattis de châtaigné

Enduits intérieurs en terre

Section et qualité du bois en baisse

Décors sculptés

Interprétation des styles renaissance: pilastres, colonnes, ornements style greco-romain, motifs géométriques. Ces motifs cohabitent avec des animaux exotiques, des chimères de la tradition gothique.

Disparition de la thématique religieuse.

Evolution de la culture constructive urbaine en Pans de bois à Rennes

3 rue du Chapitre
1440

12, rue la Psalette
15ème

11 rue St Michel
16ème

3 rue St Georges
milieu 16ème

9 Place St Anne
Fin 16ème

Tradition Gothique

Classique

Influence antiquesant

Décadence

Période médiévale

Renaissance

Le Grand siècle

1300

14ème

1400

15ème

1500

16ème

1600

17ème

1700

18ème

1800

Pour info

Les immeubles construits rue St Georges sont destinés à héberger les parlementaires. La plupart habite a mi-temps à Rennes.

Période Classique



5 rue du Chapitre

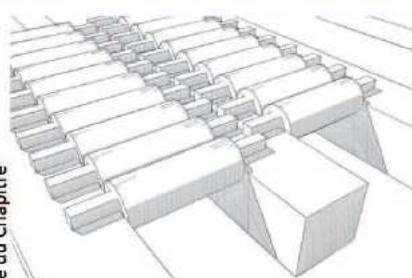


Schéma de plancher à quenouilles

la grande architecture civile en pans de bois à Rennes

Contexte

La construction d'immeubles de rapport destinés à héberger les parlementaires entraîne un nouvel essor de l'architecture en pans de bois.

Les terrains disponibles sont rares ce qui n'incite pas à la créativité architecturale. Certaines grandes familles font construire leur hôtel hors des murs (Place des Lices)

Typologie

L'hôtel urbain : progrès important dans la circulation verticale, éclairage abondant (grandes fenêtres verticales) plan d'une grande lisibilité, aménagement des combles (couvertures en bresis)

Dans les faubourgs, l'escalier à vis de tradition gothique est encore employé avec un couloir d'accès latéral souvent formé par des coursives. Les immeubles plus élaborés destinés aux parlementaires se distinguent par la qualité de leurs escaliers.

Les escaliers suspendus rampes sur rampes sont très innovants.

De nombreux propriétaires d'immeubles anciens installent ce nouveau système.

Système constructif

à bois court, façades plates sans encorbellement. Les rez de chaussée sont construits en pierre en façade et les étages en pans de bois.

Matériaux

La pierre est utilisée au rez de chaussée

La qualité des bois utilisés diminue.

Remplissage en terre crue.

Les enduits intérieurs en terre montrent la maîtrise parfaite du matériau. plancher à quenouilles.

La coloration des remplissages extérieurs semble avoir eu un grand succès au 17ème siècle.

Décors

Les décors sculptés en bois de style renaissance perdurent un peu.

Les façades plates sont animées simplement par le jeu géométrique des pans de bois (losanges, brins de fougères)

Les lucarnes coiffées de toits à l'impériale apportent un certain renouveau décoratif.



1 rue de la Visitation

Evolution de la culture constructive urbaine en pans de bois à Rennes

14 rue St Georges 1599
22 rue St Georges 1618
Place du Champ - Jacquet 1664
28 Place des Lices 1680

Tradition Gothique

Classique

Influence antiquisante

Décadence

Renaissance

Le Grand siècle

Industrialisation

15ème 1500 | 16ème 1600 | 17ème 1700 | 18ème 1800 | 19ème 1900 | 20ème 2000

Pour info

Les immeubles 18ème du quartier de l'hôtel de ville présentent des façades en pierre sur rue et souvent des façades arrière en pans de bois.

Période de décadence

Vers l'abandon et la destruction des pans de bois



rue de Bertrand

Photographie reconstruction type après incendie 1720



Contexte

En 1675 suite à la révolte du Papier timbré, le parlement de Bretagne est déplacé à Vannes.

Le départ des principaux commanditaires sonne le glas des grands programmes en pans de bois. Les ateliers de charpentes et d'escalieristes sont dispersés.

Entre le retour des parlementaires en 1690 et l'incendie de 1720, aucun nouvel hôtel en pans de bois n'est construit.

Les nouveaux modèles parisiens en pierre sont plébiscités. L'utilisation du pans de bois pour l'architecture dite «noble» est totalement abandonnée dès la fin du 17ème siècle.

L'incendie de 1720 détruit près de 900 maisons en pans de bois. La construction en bois est déconsidérée et interdite.

Les constructions en pans de bois sont mal entretenues.

La perte des ateliers de charpentes et de leurs savoir-faire pose problème lors des rénovations.

L'image d'une architecture vétuste et insalubre se forme au 20ème siècle. Entre 1960 et 1985 la destruction des faubourgs est systématique à Rennes, on estime que plus de la moitié des maisons en pans de bois a disparu à cette époque. En Bretagne, depuis la révolution moins de 5% des constructions en pans de bois ont survécu.

Typologie

La ville adopte les rez-de-chaussée en granit, les étages en tuffeau et les toitures en ardoise.

Pour des raisons économiques, la construction en pans de bois perdure (murs de refend, façade arrière, habitat économique dans les faubourgs) mais elle est systématiquement enduite.

Système constructif

à bois court, façades plates sans encorbellement et toujours enduites.

Baisse de qualité des structures et du savoir-faire.

Matériaux

Raréfaction des belles pièces de bois, l'utilisation de bois de réemploi est courante.

Le bois devient un matériau secondaire.

Décor

Aucun décor sculptés. La structure en bois n'est pas destinée à être vue.



14 rue St Georges
1599

22 rue St Georges
1618

Place du Champ
1664 - Jacquet

28 Place des Lices
fin 17ème

2 rue Victor Hugo
milieu 18ème

4 rue d'Estrées
milieu 18ème

6 rue Vau St Germain
fin 18ème

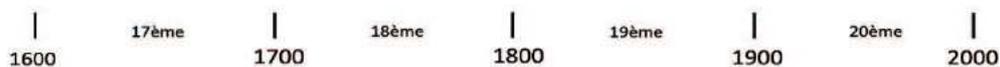
Classique

Décadence

Le Grand siècle

Industrialisation

Evolution de la culture constructive urbaine en Pans de bois à Rennes



Résultats de l'échantillon test

Masse volumique état humide : 1195,089 kg/m³

Masse volumique état sec : 930,62kg/m³

La masse volumique à prendre en compte est celle à l'état sec car elle correspond à la masse volumique du remplissage plusieurs mois après la mise en œuvre.

Premières remarques :

- Masse volumique élevée donc torchis lourd (les torchis légers ont une masse volumique aux alentours de 400 kg/m³)
- L'isolation thermique d'un tel remplissage sera moins performante qu'un torchis léger
- L'inertie sera, au contraire, améliorée

Comparaison des propriétés thermiques de différents matériaux

	Masse volumique ρ (kg/m ³)	Conductivité thermique λ (W/m.K)	Chaleur spécifique c_p (J/kg.K)	Diffusivité thermique (m ² /h)	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ
Echantillon à sec terre-chanvre (essais)	930	0,30	1300	8,93.10 ⁻⁴	8
Terre-chanvre (torchis léger)	400	0,12	1300	8,31.10 ⁻⁴	5
Béton chaux-chanvre	450	0,11	680	1,29.10 ⁻³	8
Béton plein	2150	1,75	1000	2,93.10 ⁻³	105
Laine de verre	15< ρ <25	0.038	1030		1

Analyse rapide des points essentiels :

- La différence de densité entre 2 torchis aura une influence sur la conductivité thermique. Plus le torchis est dense, moins il sera isolant.
- La diffusivité thermique est quasiment la même pour les 2 torchis (pour l'un la masse volumique est + élevée, pour l'autre la conductivité thermique est + faible d'où cette similitude).
- Un béton chaux-chanvre sera plus isolant mais en terme d'inertie, beaucoup moins intéressant (cf valeurs de diffusivité).
- Un béton chaux-chanvre ou un torchis terre-chanvre aura une faible résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

- Le béton plein est un très bon conducteur thermique. Sa diffusivité est élevée ainsi que sa résistance à la diffusion. Contrairement à un mélange terre-paille ou terre-chaivre, il ne pourra pas réguler l'hygrothermie car il est imperméable, et bon conducteur de chaleur donc pas déphasage réduit.

Sources :

Conductivité thermique et résistance à la diffusion pour les torchis :

- *CONLUTO (All) : matériaux de construction en terre crue*

Chaleurs spécifiques :

- *Construire en chanvre, Izuba Equer (module additionnel de Pléiades+COMFIE, logiciel de simulation dynamique d'un bâtiment)*
- *Logiciel COCON (analyse de la qualité environnementale d'un bâtiment)*

Conductivité thermique chaux-chaivre :

- Terrachanvre (construction-rénovation-décoration en chanvre)

Données béton plein :

- *TH-URT 2005*

Masse volumique : Rapport de la masse sur le volume. Elle traduit la densité du matériau ($d = \rho_{\text{matériau}} / \rho_{\text{eau}}$).

Conductivité thermique : Quantité de chaleur transférée au travers du matériau sous un gradient de 1°C. Plus la valeur est faible, plus le matériau est isolant thermiquement.

Chaleur spécifique : Quantité de chaleur nécessaire pour élever d'1°C une masse de 1kg de ce matériau. Plus elle est élevée, plus il peut fournir ou absorber de chaleur sans se réchauffer notablement.

Diffusivité thermique : C'est la capacité d'un matériau à transmettre (rapidement) une variation de température. Plus la valeur de diffusivité thermique est faible plus le front de chaleur mettra du temps à traverser (notion de déphasage).

Résistance à la diffusion de vapeur d'eau : Rapport de la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air sur celle du matériau. Plus elle est élevée, moins la perméance du matériau sera élevée. Cette notion intervient donc dans la capacité du matériau à laisser respirer le bâtiment et éviter la condensation (un pare-vapeur aura un $\mu > 50$).

Comparaison de différents types de parois

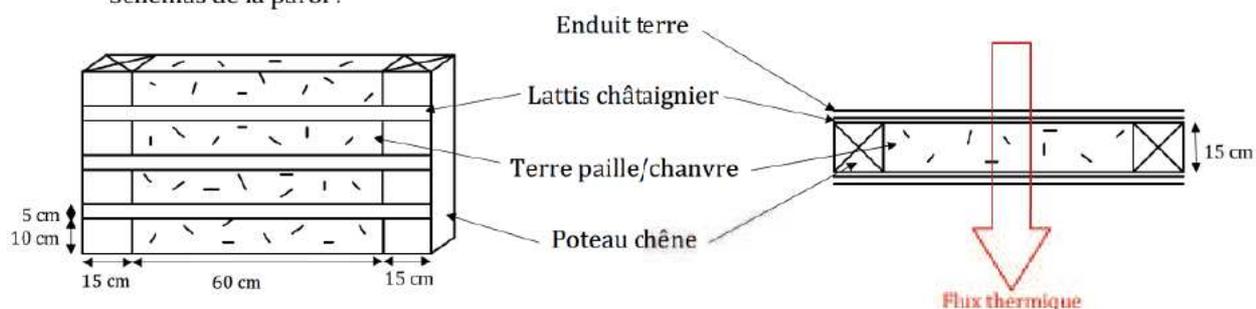
1. Résistance thermique

La résistance thermique d'une paroi traduit sa capacité à s'opposer à un flux de chaleur. Plus elle est élevée meilleure sera l'isolation. Elle est fonction de l'épaisseur de la paroi et de la conductivité thermique des matériaux composant cette paroi.

Pour chaque type de paroi, on considèrera 1 m² de cette paroi, le flux de chaleur étant constant au travers toute la paroi.

Remplissage terre-chanvre tel que celui que l'on a testé :

Schémas de la paroi :



Les bases de départ pour le calcul sont les suivantes :

- $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
- $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
- Le bois (chêne) représente environ 45% de la surface totale de la paroi
- $\lambda_{\text{terre-chanvre}} = 0,30 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$
- $\lambda_{\text{enduit terre}} = 0,26 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$
- $\lambda_{\text{chêne}} = 0,2 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$
- $\lambda_{\text{chataignier}} = 0,175 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$

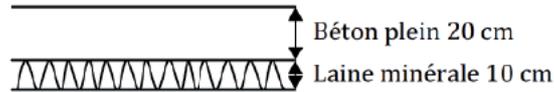
$$R_{\text{éq}} = 0,96 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Remplissage chaux-chanvre sur le même modèle que le remplissage terre-chanvre :

$$R_{\text{éq}} = 1,24 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Mur classique en béton plein et isolant type laine minérale :

Coupe de la paroi :



Les bases de départ :

- $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$
- $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$
- $\lambda_{\text{béton plein}} = 1,75 \text{ W}/\text{m.K}$
- $\lambda_{\text{laine minérale}} = 0,038 \text{ W}/\text{m.K}$

$$R_{\text{éq}} = 2,92 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

⇒ Il en ressort qu'en terme d'isolation thermique, un complexe « béton + laine minérale » est beaucoup plus performant. Les remplissages en terre-chanvre ou chaux-chanvre ne sont pas reconnus pour isoler. Il faudrait une épaisseur trop importante de remplissage pour obtenir les mêmes performances thermiques.

2. Temps de transfert (déphasage)

Le temps de transfert (ou déphasage d'une variation extérieure) d'un complexe isolant est la somme des temps de transfert de chacune de ses couches. C'est une méthode de calcul approchée mais de précision suffisante pour ce comparatif. Ce temps de transfert met seulement en avant l'inertie de la paroi.

$$t = 1,38 \times x_i \times \sqrt{\frac{\rho_i \times c_{p_i}}{\lambda_i}}$$

Avec :

- t : temps de transfert
- x_i : épaisseur de la couche
- ρ_i : masse volumique du matériau
- c_{p_i} : chaleur spécifique du matériau
- λ_i : conductivité thermique du matériau

On obtient :

Terre-chanvre 15 cm	Chaux-chanvre 15 cm	Béton plein 20cm + LV 10 cm
6,9 h	5,75 h	6,79 h

Construction en pans de bois et remplissage terre-paille ou chanvre-chaux : quels atouts thermiques ?

Caractéristiques physiques et propriétés thermiques pour différents matériaux :

	Masse volumique ρ [kg/m ³]	Conductivité thermique λ [W/m.K]	Chaleur spécifique Cp [J/kg.K]	Diffusivité thermique [m ² /h]
Définition	Rapport de la masse sur le volume. Traduit la densité du matériau (référence eau : $\rho=1000\text{kg/m}^3$ à 4°C et à la pression atmosphérique).	Quantité de chaleur transférée par conduction au travers du matériau sous un gradient de température de 1°C. Plus la valeur est faible, plus le matériau est isolant.	Quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré une masse d'un kilo de ce matériau. Plus elle est élevée, plus il peut fournir ou absorber de chaleur.	Vitesse de transmission de la chaleur à travers un matériau. Plus elle est faible, plus le déphasage des apports externes est important.
Chêne	800 ¹	0.2 ¹	2700 ¹	3,33.10 ⁻⁴
Torchis lourd	1400 ²	1.05 ²		
Torchis léger	600 ³	0.17 ³	1249 ³	8,17.10 ⁻⁴
Enduit terre	1450 ⁴	0.635 ⁴	850 ⁴	
Chaux-chanvre	450 ⁵	0.18 ⁵	680 ⁵	2,1.10 ⁻³
Enduit chaux	1600 ⁶	0.7 ⁶	850 ⁶	

Quelques références :	Eau : 1000	Laine minérale : 0.038	Eau : 4185	Brique : 1,8.10 ⁻³
------------------------------	------------	------------------------	------------	-------------------------------

La masse volumique n'est pas une caractéristique thermique propre mais elle aura une influence sur :

Les propriétés isolantes du mur	L'inertie du mur
Masse volumique faible ↓ Conductivité thermique faible ↓ Résistance thermique importante ↓ Meilleure isolation	Masse volumique importante ↓ Diffusivité faible ↓ Inertie forte $D = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$

L'inertie ainsi que la régulation de l'hygrométrie intérieure sont les points forts des murs en terre :

- L'**inertie** va permettre de capter la chaleur fournie pendant la journée (soleil, chauffage...) pour la restituer avec un **déphasage** plus ou moins important le soir et la nuit quand les besoins de chaleur sont le plus important.
- La **régulation de l'hygrométrie** : en effet, la terre, même sèche, contient toujours de l'eau. C'est un matériau à **changements de phase**. Quand la température augmente dans la pièce, l'eau contenue dans la terre prélève de l'énergie à l'air pour s'évaporer et donc **rafraîchit** la pièce. Inversement, quand la température diminue, l'eau se condense et **dégage de la chaleur**.

Sources :

¹ Jean Pierre Oliva, *ecobilan* www.kbob.ch, conseiller et maître d'œuvre en architecture écologique (Terre Vivante)

² Asterre

³ Jean Pierre Oliva, compilation GRECAU Th-U RT 2005 Izuba Equer

⁴ CRAterre *Traité de construction en terre*

⁵ *Construire en chanvre* Izuba Equer

⁶ Wufi *Compilation GRECAU Th-U RT 2005 Izuba Equer*