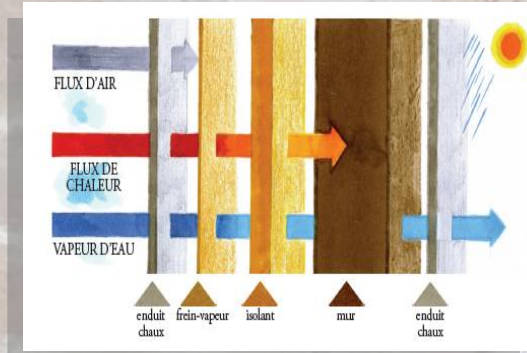
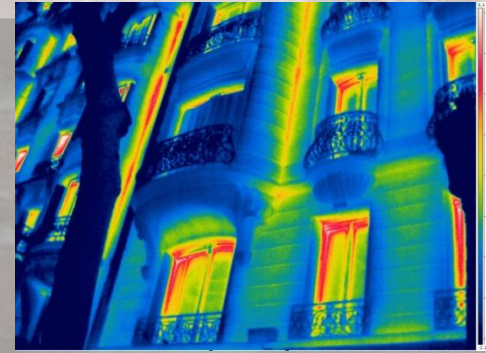
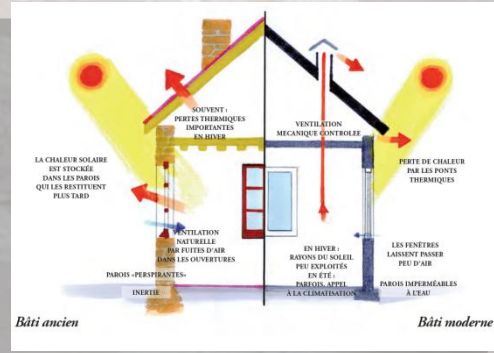




Présentation des résultats de l'étude HYGROBA pour la brique

Objectifs de l'étude HYGROBA

Etude d'impact hygrothermique de différentes solutions d'isolation pour les parois traditionnelles

Publication des cahiers techniques avec des recommandations (et précautions) pour l'isolation thermique des parois traditionnelles



Le projet HYGROBA

Étapes de l'étude (2010-2012):

- recherche bibliographique
- essais en laboratoire
- protocole de modélisation
- simulations hygrothermiques
- analyse des résultats
- rédaction des cahiers

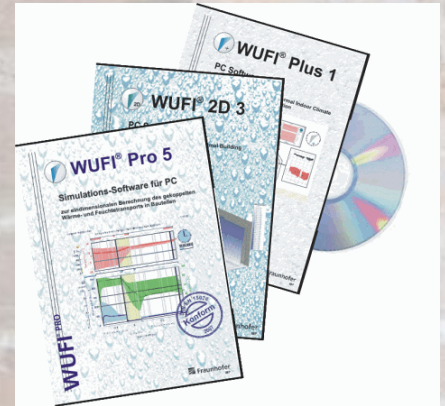


Maîtrise d'ouvrage : DGALN (MEDDE)

Partenaires : CETE-Est, LRA/ENSA, MPF
LMDC/INSA

Le protocole de simulation

Logiciel utilisé : WUFI 2D
(IBF Fraunhofer)



Propriétés hygrothermiques des matériaux :

- issues de la bibliographie et de la bibliothèque des matériaux de WUFI 2D (MASEA)
- validées par mesures en laboratoire (LMDC)

Échantillons apportés par MPF



Le protocole de simulation

4 types de parois anciennes

- La terre crue (pisé)
- La pierre (dure)
- La brique pleine (de terre cuite)
- Le pan de bois (rempli de torchis)



Propriétés de la brique pleine

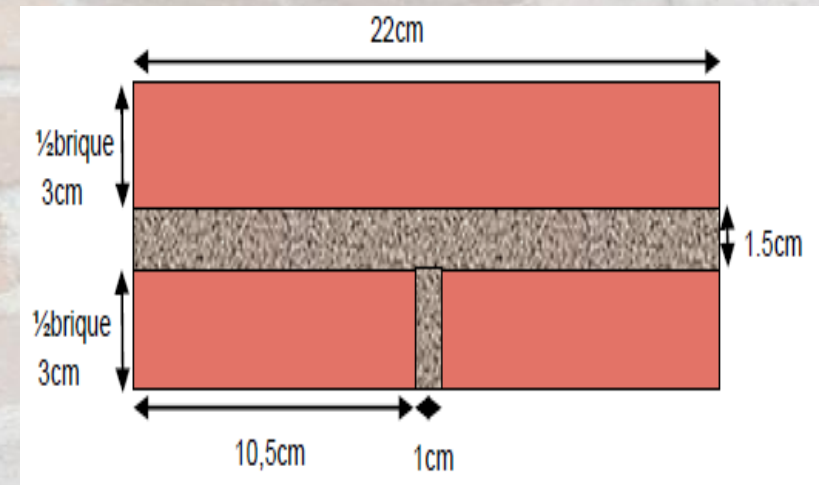
La brique pleine retenue :

22x10,5x6 cm, correspond plus à la brique 'littorale' qu'à la brique méridionale

Perméable à la vapeur d'eau ($\mu=15$)

Forte capillarité grâce à sa porosité ($A=0,36$)

Faiblement hygroscopique ($W_{80}=5$)

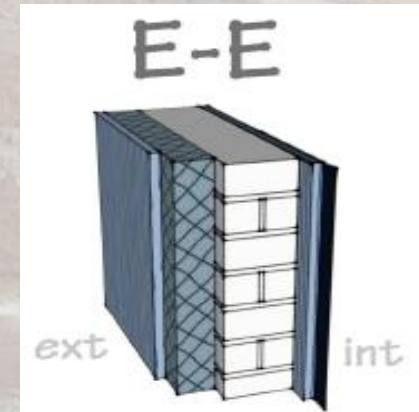


Modélisé dans Wufi 2D

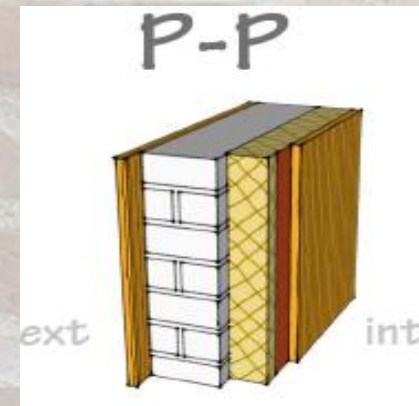
Solutions d'isolation

Configurations ITE et ITI :

« perméable à l'humidité »
comprenant un isolant naturel
(fibre de bois, ouate de cellulose)



« étanche à l'humidité »
comprenant un isolant conventionnel
(polystyrène expansé, laine de roche)

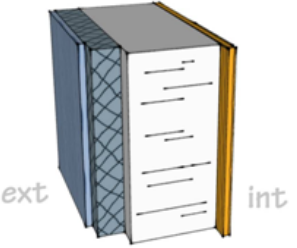


Revêtements

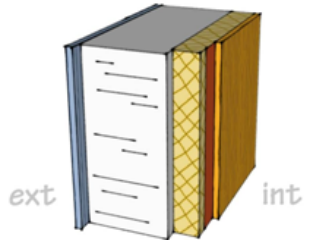
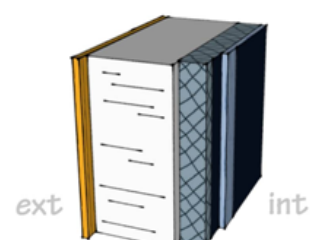
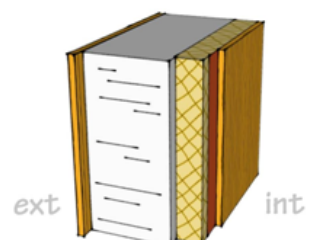
« perméable à l'humidité » *enduit chaux, plâtre*
« étanche à l'humidité » *enduit ciment*

Membranes : pare-vapeur classique ($S_d=20$)
pare-vapeur hygro-variable

Isolation par l'extérieur

E-E 	Configuration type	Extérieur « Etanche »		Paroi ancienne	Intérieur « Etanche »
	Matériaux retenus (*)	Enduit organique	Polystyrène		Plaque de plâtre et papier peint vinyle
	Epaisseur (mm)	10	120		13
	Hygroscopicité	Moyenne	Faible		Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Elevée	Moyenne		Moyenne
	Capillarité	Faible	Faible		Moyenne
E-P 	Configuration type	Extérieur « Etanche »		Paroi ancienne	Intérieur « Perméable »
	Matériaux retenus (*)	Enduit organique	Polystyrène		Enduit chaux
	Epaisseur (mm)	10	120		20
	Hygroscopicité	Moyenne	Faible		Elevée
	Résistance à la diffusion de vapeur	Elevée	Moyenne		Faible
	Capillarité	Faible	Faible		Moyenne
P-E 	Configuration type	Extérieur « Perméable »		Paroi ancienne	Intérieur « Etanche »
	Matériaux retenus (*)	Enduit chaux	Fibre de bois		Plaque de plâtre et papier peint vinyle
	Epaisseur (mm)	10	120		13
	Hygroscopicité	Elevée	Elevée		Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Faible	Faible		Moyenne
	Capillarité	Moyenne	Faible		Moyenne
P-P 	Configuration type	Extérieur « Perméable »		Paroi ancienne	Intérieur « Perméable »
	Matériaux retenus (*)	Enduit chaux	Fibre de bois		Enduit chaux
	Epaisseur (mm)	10	120		20
	Hygroscopicité	Elevée	Elevée		Elevée
	Résistance à la diffusion de vapeur	Faible	Faible		Faible
	Capillarité	Moyenne	Faible		Moyenne

Isolation par l'intérieur

E-E  ext int	Configuration type	Extérieur « Etanche »	Paroi ancienne	Intérieur « Etanche »		
	Matériaux retenus (*)	Enduit ciment		Laine de roche	Frein-vapeur	Plaque de plâtre et papier peint vinyle
	Epaisseur (mm)	20		120	1	13
	Hygroscopicité	Elevée		Faible	-	Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Moyenne		Faible	Elevée	Moyenne
	Capillarité	Faible		Faible	-	Moyenne
E-P  ext int	Configuration type	Extérieur « Etanche »	Paroi ancienne	Intérieur « Perméable »		
	Matériaux retenus (*)	Enduit ciment		Ouate de cellulose	Frein-vapeur hygro-variable	Plaque de plâtre
	Epaisseur (mm)	20		120	1	13
	Hygroscopicité	Elevée		Moyenne	-	Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Moyenne		Faible	Moyenne à Elevée	Faible
	Capillarité	Faible		Elevée	-	Elevée
P-E  ext int	Configuration type	Extérieur « Perméable »	Paroi ancienne	Intérieur « Etanche »		
	Matériaux retenus (*)	Enduit chaux		Laine de roche	Frein-vapeur	Plaque de plâtre et papier peint vinyle
	Epaisseur (mm)	20		120	1	13
	Hygroscopicité	Elevée		Faible	-	Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Faible		Faible	Elevée	Moyenne
	Capillarité	Moyenne		Faible	-	Moyenne
P-P  ext int	Configuration type	Extérieur « Perméable »	Paroi ancienne	Intérieur « Perméable »		
	Matériaux retenus (*)	Enduit chaux		Ouate de cellulose	Frein-vapeur hygro-variable	Plaque de plâtre
	Epaisseur (mm)	20		120	1	13
	Hygroscopicité	Elevée		Moyenne	-	Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Faible		Faible	Moyenne à Elevée	Faible
	Capillarité	Moyenne		Elevée	-	Elevée

Propriétés hygrothermiques

	μ [-]	e [m]	Sd [m]	W_{s0} [kg/m ³]	A [kg/m ² .s ^{0,5}]	Conductivité thermique [W/mK]	Masse volumique [kg/m ³]	Chaleur spécifique [J/kg.K]
Matériaux anciens								
Pisé	10	0,5	5	20	0,62	0,59	1620	830
Brique de terre cuite	15	0,22	3,3	5	0,36	0,60	1800	850
Mortier chaux	15	0,42	6,3	7	0,15	0,70	1785	850
Torchis	12	0,12	1,5	18	0,18	0,37	1442	1000
Bois	140	0,04	5,6	115	0,0007	0,13	685	1500
Pierre calcaire dure	140	0,42	58,8	3	0,00	2,25	2440	850
Isolants et revêtements								
Enduit ciment	85	0,02	1,7	35	0,0076	1,2	2000	850
Enduit chaux	7	0,02	0,14	30	0,0470	0,7	1600	850
Plaque de plâtre	8	0,02	0,166	6	0,2870	0,2	850	850
Enduit organique	1118	0,02	22,36	5	0,0013	0,700	1645	10000
Polystyrène expansé	50	0,12	6	0	0	0,040	30	1500
Laine de roche	1	0,12	0,132	0	0	0,032	46	850
Fibre de bois	3	0,12	0,4	17	0,0033	0,044	168	2100
Ouate de cellulose	2	0,12	0,216	6	0,3000	0,034	50	2000
Papier peint vinyle	11970	0,0002	2,4	0	0	112	829	2300

Les conditions climatiques

Climat extérieur considéré :

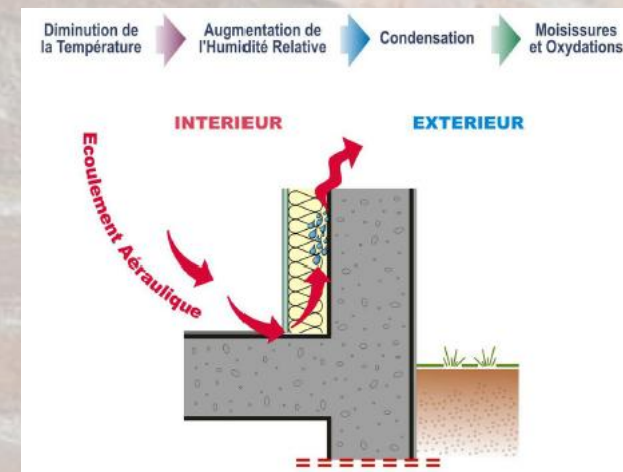
- Nancy climat moyennement froid et humide
(820mm de pluie et 1725h d'ensoleillement en 2012)
- Parois exposée nord

Climat intérieur considéré :

- Pièce humide (salle de bain)

Introduction d'une source additionnelle d'humidité

En isolation par l'intérieur la membrane gérant l'apport de vapeur présente très souvent des **défauts d'étanchéité**



Pour simuler ces défauts de mise en oeuvre une source additionnelle d'humidité est introduite

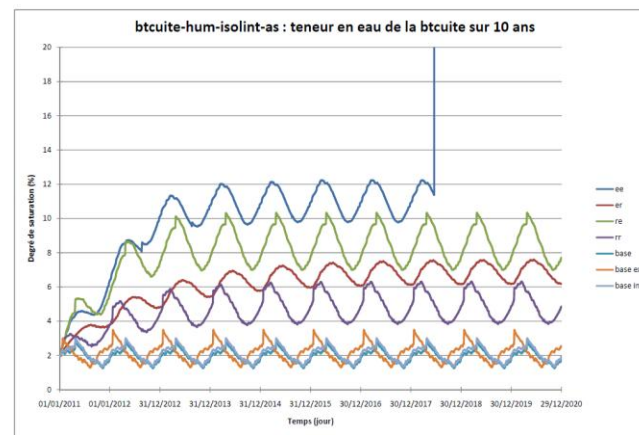
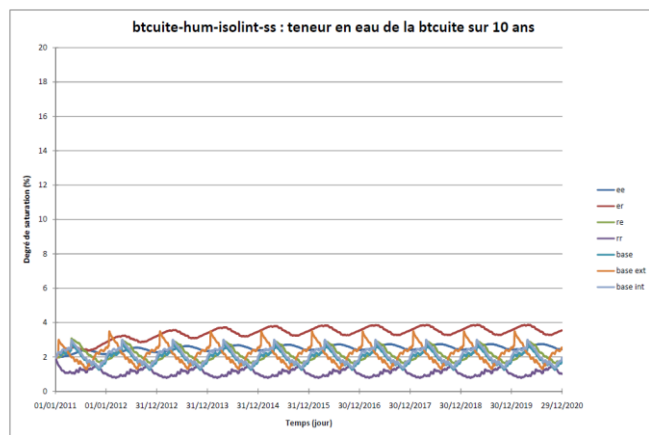
En ITE la même source est intégrée entre l'isolant et le mur ancien pour simuler les **remontées capillaires**, par exemple



Les sorties analysées

Simulations sur une période de 10 ans :

- La teneur en eau dans le matériau ancien **sans** source additionnelle d'humidité
- La teneur en eau dans le matériau ancien **avec** source additionnelle d'humidité
- L'humidité relative (RH) à l'interface entre le matériau ancien et l'isolant



Les critères d'analyse

- la quantité d'eau dans le mur **sans** source additionnelle d'humidité

Quantité d'eau faible (Peu d'accumulation et stabilisation)	Quantité d'eau moyenne	Quantité d'eau élevée (Accumulation d'eau importante ou stabilisation insuffisante)

- capacité de séchage du mur **avec** source additionnelle d'humidité

Capacité de séchage élevée (Peu d'accumulation et stabilisation)	Capacité de séchage moyenne	Capacité de séchage faible (Accumulation d'eau importante ou stabilisation insuffisante)

- le risque de condensation interne

Risque de condensation faible (HR constamment inférieur à 85%)	Risque de condensation modéré (HR atteignant des valeurs comprises entre 85% et 95%)	Risque de condensation important (HR atteignant des valeurs supérieures à 95%)

Les critères d'analyse

Comparaison à une référence pour chaque configuration étudiée :

- quantité d'eau
 - capacité de séchage
 - condensation(risque)
 - inertie thermique
 - résistance thermique
- } comparé à la configuration de base
- } $\geq 95 \% HR$
- } note sur 20 (norme ISO)
- } $R = 2,8 \text{ m}^2\text{K/W}$

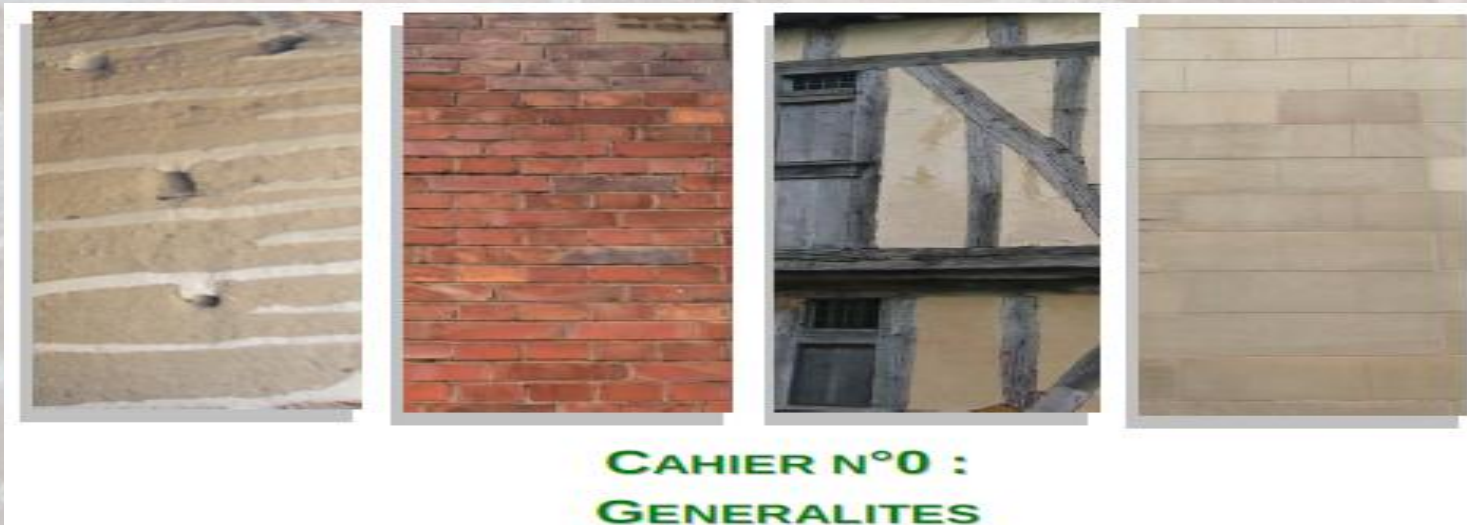
Le cas de base (sans isolation) :

Murs en brique de terre cuite		Quantité d'eau	Capacité de séchage	Condensation	Inertie thermique	Résistance thermique
Base						

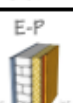
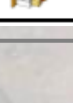
Les cahiers de synthèse

Cahiers divisés en trois parties :

- les caractéristiques principales du matériau (répartition géographique, fabrication et mise en œuvre, pathologies)
- l'analyse des résultats au cas par cas
- tableau de synthèse selon les critères



Tableaux de synthèse : la brique

Murs en brique de terre cuite		Quantité d'eau	Capacité de séchage	Condensation	Inertie thermique	Résistance thermique
Base	Base 				● ● ●	
	E-E 				● ● ●	
Isolation par l'extérieur	E-P 				● ● ●	
	P-E 				● ● ●	
	P-P 				● ● ●	
	E-E 				○ ○ ○	
Isolation par l'intérieur	E-P 				○ ○ ○	
	P-E 				○ ○ ○	
	P-P 				○ ○ ○	
	E-E 				○ ○ ○	

Les conclusions

Cas de la brique de terre cuite :

- ITE - solutions 'perméables' à privilégier ce qui permet l'assèchement du mur en cas de sources additionnelles
- ITI – configuration 'perméable' de deux cotés (PP) à privilégier, ce qui permet l'assèchement du mur en cas de sources additionnelles
- Eviter l'enduit ciment
- Mur humide et froid : risque de gel



Source Isolín (2010)

Conclusions générales

- L'ITE est préférable à l'ITI, du point de vue thermique comme **hygrique** (et réduit les ponts thermiques)
- L'ITI induit des risques plus importants que l'ITE, surtout quand il y a des défauts d'étanchéité à l'air (mise en œuvre)
- Les solutions 'perméables' sont les plus favorables, que ce soit en ITE ou en ITI
- L'ITE peut ne pas être envisageable pour des raisons patrimoniales (façades notamment)

Conclusions générales

- Un pare-vapeur mal posé et/ou des remontées capillaires peuvent induire des risques importants, surtout pour les configurations ITI « étanches »
- En cas de doute optez pour une amélioration thermique (enduit isolant) ou une correction thermique pour éviter les parois froides (revêtement à basse effusivité)
- L'isolation thermique des parois traditionnelles c'est du cas par cas, i.e. mur par mur

Les limites de l'étude

Une étude de modélisation repose sur la capacité du logiciel à simuler les transferts hygrothermiques :

- manque de données fiables sur les matériaux anciens, due a leur grande hétérogénéité
- manque de critères d'analyse
- pas de corrélation directe entre les teneurs en eau et l'apparition des pathologies
- difficile d'évaluer les défauts (mise en œuvre)
- resultats à vérifier avec des études de cas et du *monitoring* in situ (projet Humibatex)

HYGROBA II

Ajouter des configurations à tester :

Multipor - blocs de béton cellulaire expansé
($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$)



Tester la ‘correction thermique’
diminuer “l’effet parois froide” par des enduits isolants (chaux chanvre)

Modéliser les ponts thermiques
(solives, planchers, murs de refend)