

THÈSE

PRÉSENTÉE À

L'UNIVERSITÉ BORDEAUX I

ÉCOLE DOCTORALE DES SCIENCES PHYSIQUES ET DE L'INGENIEUR

Par

Saed RAJI

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR

Spécialité : SCIENCES DU BOIS

Caractérisation hygro thermique, par une approche multi échelle, de constructions en bois massif en vue d'amélioration énergétique et de valorisation environnementale

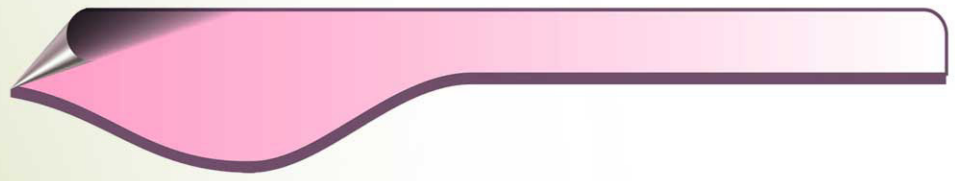
Soutenu le 21 décembre 2006

Après avis de

R. MARCHAL, Professeur, ENSAM Cluny
F. ROUGER, HDR Directeur de CTBA, Bordeaux

Devant la commission d'examen formée de

G. ACHARD, Professeur, Université SavoiePrésident
F. ROUGER, HDR Centre Technique du Bois et de l'AmeublementRapporteur
R. MARCHAL, Professeur, ENSAM Cluny Rapporteur
S. GRELIER, Professeur, Université Bordeaux 1 Examineur
P. LAGIÈRE, Maître de Conférences, Université Bordeaux 1..... Co-directeur thèse
J.-R. PUIGGALI, Professeur, Université Bordeaux 1Directeur thèse



Remerciement



**Caractérisation hygro thermique, par une approche multi
échelle, de constructions en bois massif en vue d'amélioration
énergétique et de valorisation environnementale**

Thèse présentée par

Saed RAJI

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR

DE

L'UNIVERSITE BORDEAUX I

Spécialité : SCIENCES DU BOIS

Soutenu le 21 décembre 2006 devant le jury d'examen

MM. G. ACHARD, Professeur, Université SavoiePrésident
F. ROUGER, HDR Centre Technique du Bois et de l'AmeublementRapporteur
R. MARCHAL, Professeur, ENSAM Cluny Rapporteur
S. GRELIER, Professeur, Université Bordeaux 1 Examineur
P. LAGIÈRE, Maître de Conférences, Université Bordeaux 1..... Co-directeur thèse
J.-R. PUIGGALI, Professeur, Université Bordeaux 1Directeur thèse

Après avis de MM.

R. MARCHAL, Professeur, ENSAM Cluny
F. ROUGER, HDR Directeur de CTBA, Bordeaux

Cette thèse a été effectuée au sein du laboratoire :



Transferts Écoulements Fluides Énergétique UMR 8508
Laboratoire inter établissements CNRS, ENSAM, ENSCP, Université Bordeaux I

Esplanade des Arts et Métiers
33405 Talence Cedex
France



Remerciement

Je voudrais exprimer ici ma gratitude à tous ceux qui, sous une forme ou sous une autre, m'ont aidé tout au long de ce travail, et plus particulièrement :

Messieurs J.R. PUIGGALI et Ph. LAGIERE pour leur encadrement et leurs enseignements précieux, Je veux ici les remercier pour avoir toujours su m'aider, me soutenir, m'orienter, me conseiller et surtout pour avoir su me laisser une grande liberté et beaucoup d'autonomie tout en gardant un œil bienveillant sur moi ;

Messieurs R. MARCHAL de l'ENSAM Cluny et F. ROUGER de CTBA, d'avoir accepté de rapporter cette thèse ;

Messieurs G. ACHARD, et S. GRELIER pour avoir accepté d'être membres du jury ;

Messieurs. Y. JANNOT, W. JOMAA, E. PALOMO, L. MORA, A. OCHSENHOFER et C. DEVEL pour leur considérable collaboration à ce travail ;

Messieurs M. BURLOT du laboratoire LEPTAB et A. LITVAK du CETE Sud-Ouest pour son aide précieuse et efficace lors des essais de perméabilité.

Messieurs F. Baeten, M. Pauly et l'équipe du Confort Bois.

Messieurs A. Pouget, J. Lego FFB, O. Liesniewsky COSTIC....

Les membres du laboratoire TREFLE, qui m'ont aidé à surmonter les difficultés de la langue et à apprécier mon séjour ;

Toutes les personnes (je préfère ne pas citer de noms car la liste est longue) qui ont croisé mon chemin au cours de ces quatre ans en France et dont le souvenir déclenche toujours chez moi un grand sourire aux lèvres ;

Mes Parents pour leur soutien, même à distance ;

Mes enfants, simplement, pour m'avoir toujours soutenu ;

Hayfa, pour son infinie patience et, surtout, pour le bonheur qu'elle a apporté à ma vie.

Hydrothermal characterization, by a multi scale approach, of massive timber constructions for energetic improvement and environmental assessment

Abstract

The development of the wood construction sector is an important stake and an efficient response to a need for reduction of the environmental impacts related to the building sector. Massive timber structures made of piled beams are the only solutions based on "mono material" construction and "dry construction" in this sector. These construction techniques have improved and are largely industrialized today, however an ambiguity remains as for their energetic efficiency as well as for their real thermal qualities in the context of official calculations. The experimental studies contain an in-situ measurement campaign that consists in detailing the thermal and energetic performances of a 20 massive timber constructions sample, in relation with the wooden building sector experts. In second place, starting from these "in-situ" measurements and based on the hydrothermal characteristics of the wood logs determined in laboratory, a model of coupled heat and mass transfer applicable to the walls made of pasted massive beams was developed. At last, numerical simulations were carried out. The obtained results show how to improve the hydrothermal behaviour and energetic performances of this type of construction.

Keywords: Building, Wood, Massive timber constructions, Log, Laminated, Wall, Environment, Physical Property, energy consumption, Improve energy performance.

Caractérisation hygro-thermique, par une approche multi échelle, de constructions en bois massif en vue d'amélioration énergétique et de valorisation environnementale

Résumé

Le développement de la construction bois constitue un enjeu important et une réponse efficace dans une demande de réduction des impacts environnementaux liés au secteur du bâtiment. Les maisons Bois Massif constitués de madriers empilés sont la seule solution de construction « mono matériau » et par filière « sèche » sur le marché. Ces techniques de construction se sont aujourd'hui grandement améliorées et industrialisées mais une ambiguïté demeure toutefois sur l'efficacité énergétique et sur la prise en compte de leurs qualités thermiques réelles dans le contexte de calculs réglementaires. Ce travail a donc consisté en premier lieu et en lien avec les professionnels, à détailler les performances thermique et énergétique d'un échantillon de 20 maisons monitorées. En second lieu, à partir de ces mesures « in-situ » et partant de caractéristiques hygrothermiques des madriers bois déterminées en laboratoire, Un modèle de transfert couplé de masse et de chaleur applicable aux parois formée de madriers bois massif contrecollés a été développé. Enfin, par simulation numérique, on montre comment améliorer le comportement hygro-thermique et les performances énergétiques de ce type de construction.

Mots clés : Construction, Bois, Madrier, Contre-collé, Mur, Environnement, Propriété physique, Consommation d'énergie.





Sommaire

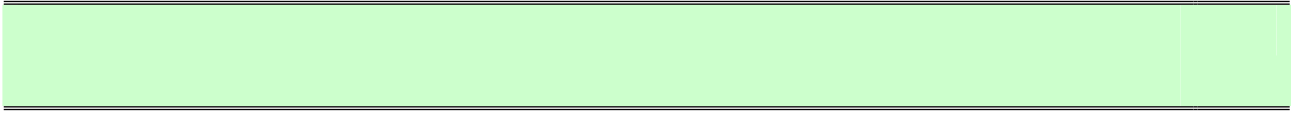
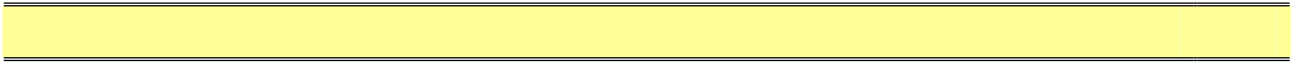
Introduction générale	11
-----------------------------	----

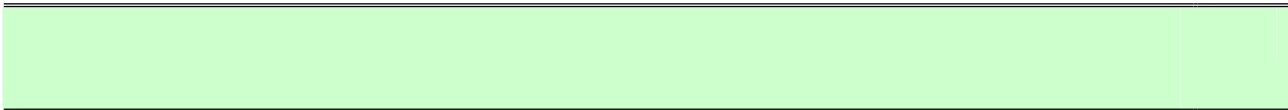
Chapitre 1: Performances énergétiques des constructions en bois massif. Mesures et analyses

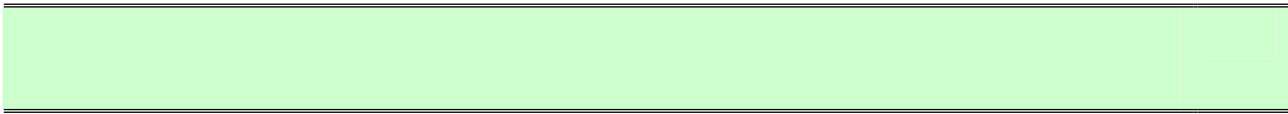
1. Introduction	19
1.1. Evolution des réglementations thermiques	19
1.2. L'habitat bois massif : contraintes réglementaires en France et à l'étranger	20
2. Campagne de mesures sur 20 maisons AFCCBOIS	23
2-1- Choix des maisons bois massif (MEM)	23
2.2. Instrumentation	25
2.3. Installation des capteurs et suivi des relevés	26
3. Etude des consommations pour le chauffage des 20 maisons	27
3.1. Bilan énergétique sur l'usage énergétique	27
3.2. Bilan thermique de calcul	29
3.3. Bilan thermique de mesure	29
3.4. Bilan énergétique de calcul	29
3.5. Bilan énergétique de mesure	31
3.6. Bilan thermique de calcul : calculs et mesures	31

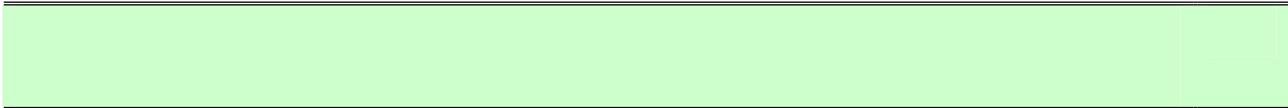


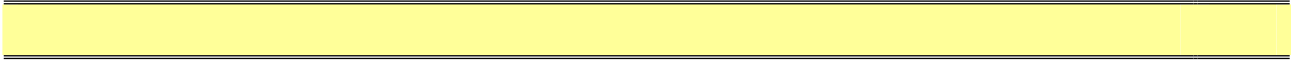
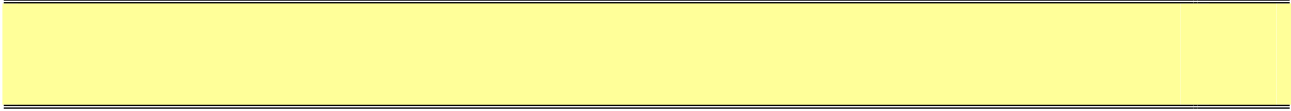






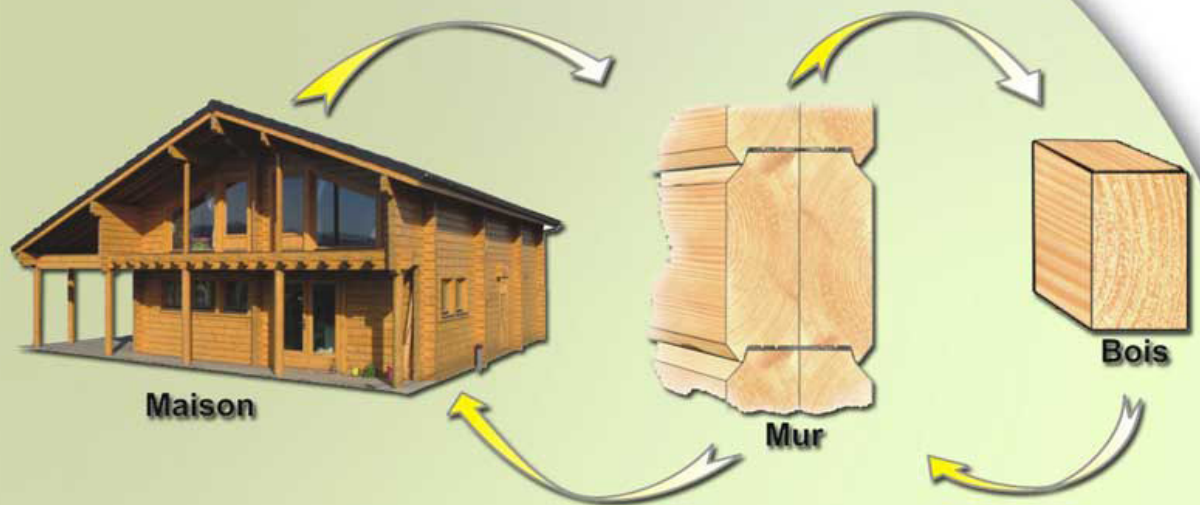






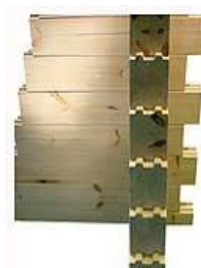
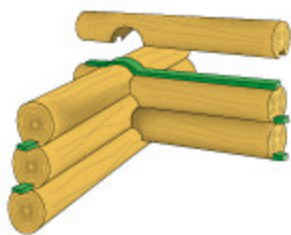


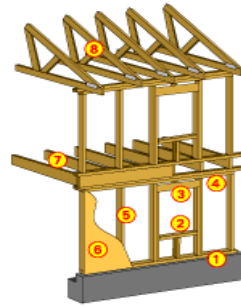
Introduction générale

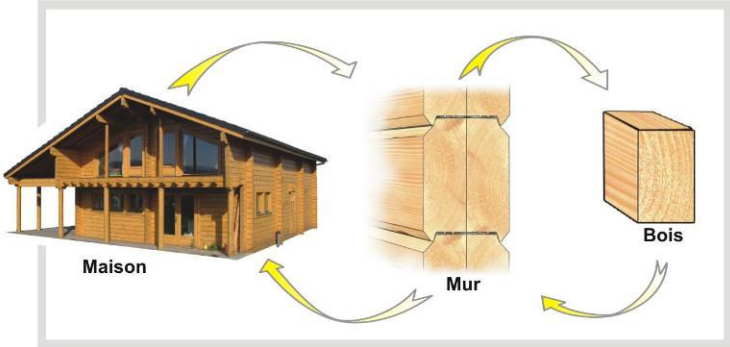














|





Performances énergétiques des constructions en bois massif

Mesures et analyses

1. Introduction	19
1. 1. Evolution des réglementations thermiques	19
1. 2. L'habitat bois massif : contraintes réglementaires en France et à l'étranger	20
2- Campagne de mesures sur 20 maisons AFCOBOIS	23
2-1- Choix des maisons bois massif (MBM)	23
2. 2. Instrumentation	25
2. 3. Installation des capteurs et suivi des relevés	25
3. Etude des consommations pour le chauffage des 20 maisons	27
3. 1. Introduction générale sur l'étude énergétique	27
3. 2. Méthodes et démarches de calcul	29
3. 2. 1. Consommation d'énergie par poste	29
3. 2. 2. Données climatiques pour le chauffage	29
3. 2. 3. Energie primaire et rendement de chauffage	31
3. 2. 4. Besoins annuels pour le chauffage : calculs et mesures	31
3. 2. 5. Calculs réglementaires RT2000 : Coefficients $U_{\text{bat-MBM}}$, $U_{\text{bat-rét}}$ et consommations conventionnelles C_{MBM} , $C_{\text{rét}}$	32
3. 3. Résultats et discussions	34
3. 3. 1. Utilisation du chauffage et comportement des usagers	35
3. 3. 2. Analyse des indices de performances RT2000 « Enveloppe bâti » (PU) et « Consommation » (PC)	35
3. 3. 3. Analyse des consommations pour le chauffage	37
3. 3. 4. Comparaison entre consommations et besoins pour le chauffage	38
3. 3. 5. Analyse des ratios de besoins de chauffage	39
4. Analyse des niveaux de température intérieure et du confort thermique dans les maisons bois massif	40
4. 1. Démarche et critères de calcul du confort dans l'habitat	40
4. 1. 1. Mesures de température et humidité relative dans les MBM	40
4. 1. 2. Critères de confort	41
4. 1. 3. Critère de confort d'été dans la RT2000 : T_{ic}	43
4. 2. Résultats des mesures et discussions	45
4. 2. 1. Analyse des températures et humidités relatives mesurées	45
4. 2. 2. Analyse du confort dans les 20 MBM	46
4. 2. 3. Résultats des calculs de confort d'été	48
5. Conclusions	51

**AFCOBOIS, Association Française des Constructeurs Bois,
FFB, Fédération Française du Bâtiment,**

André POUGET, POUGET CONSULTANTS

Olivier LESNIEWSKI, COSTIC

¹ Thèse soutenue le 21 décembre 2006 pour obtenir le grade de « Docteur » à l'Université Bordeaux 1

² s.raji@trefle.u-bordeaux1.fr
p.lagiere@ecocampus.u-bordeaux1.fr,

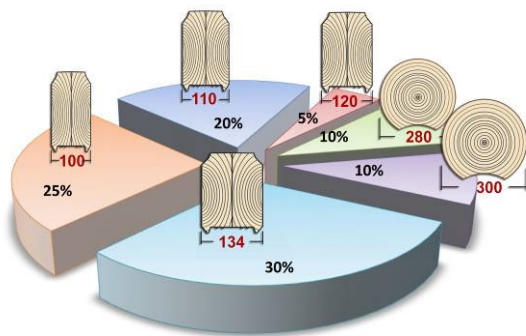
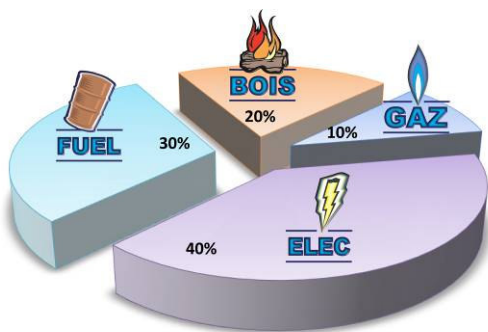
Tel : +33 (05) 56 84 44 76



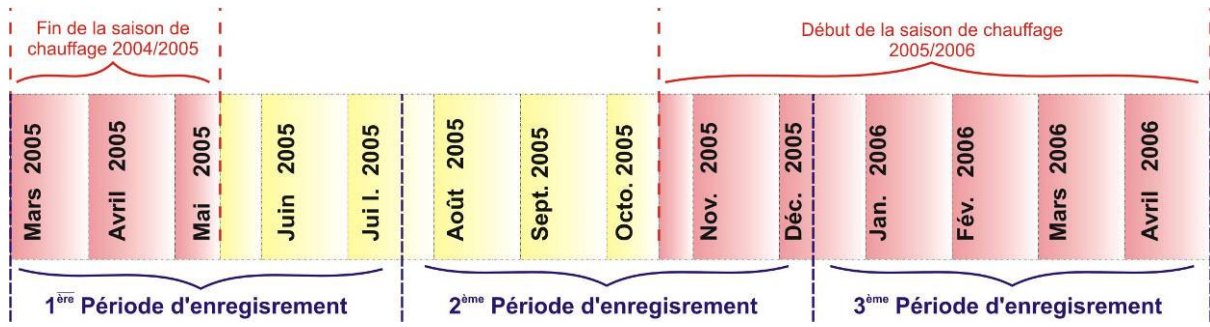


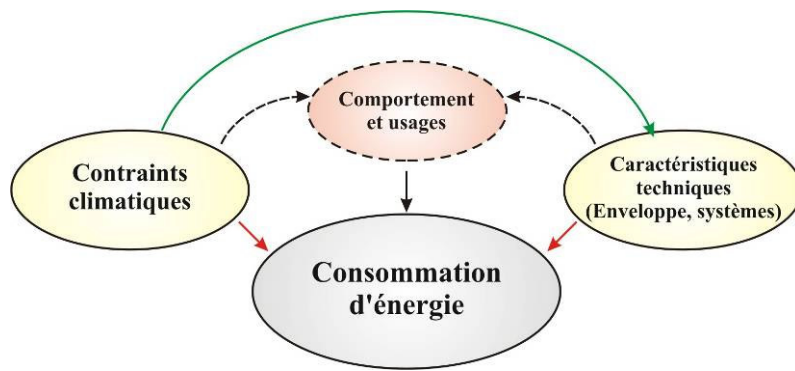


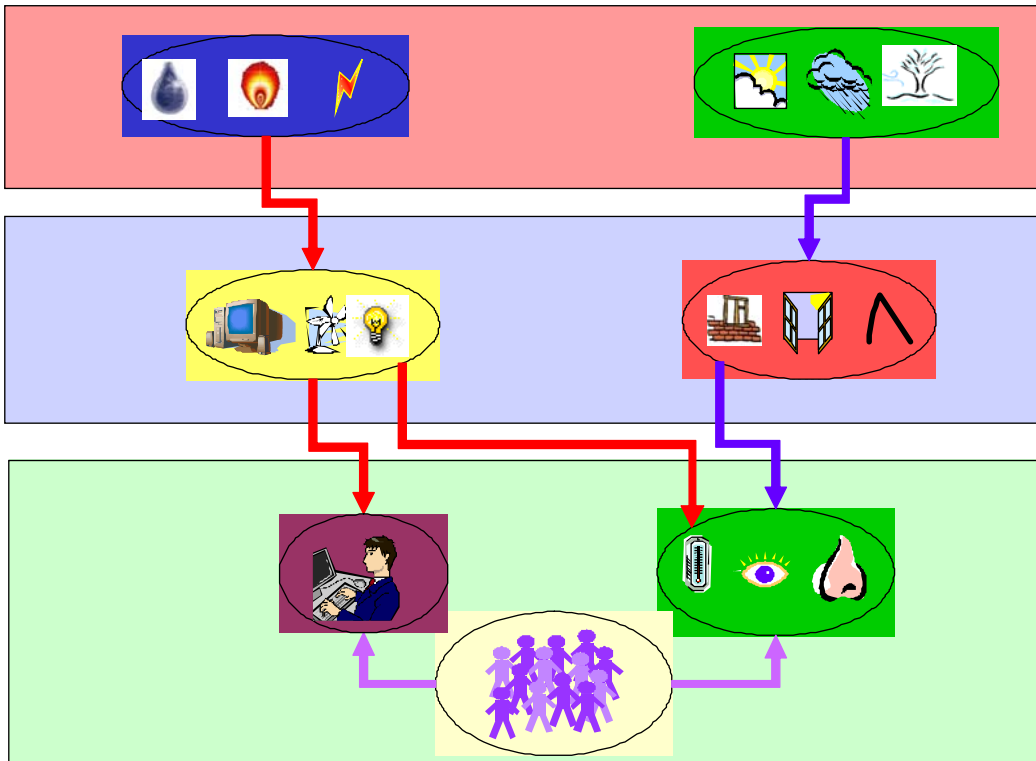


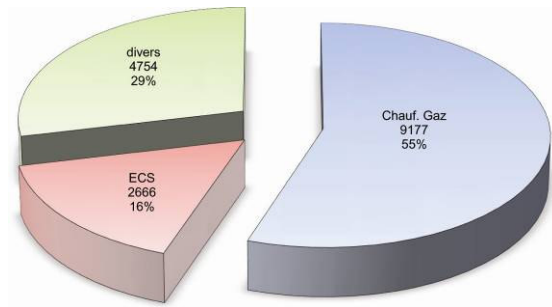




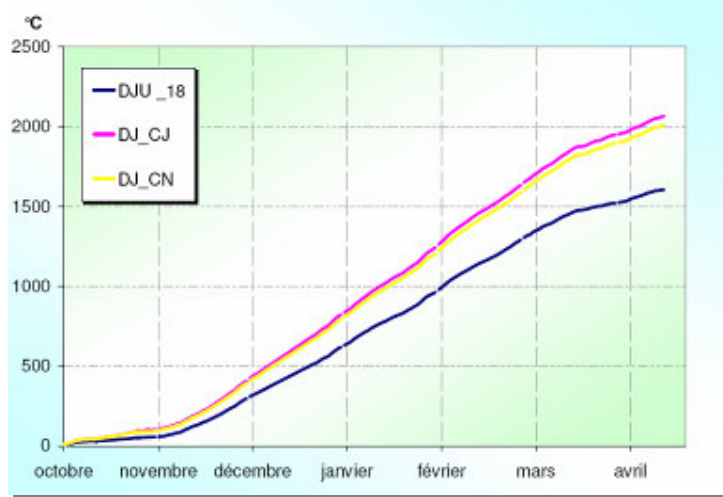














/





/
/

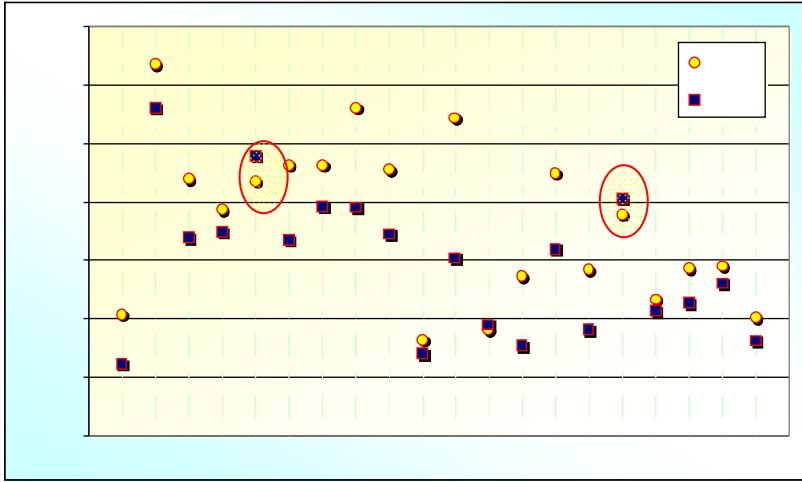


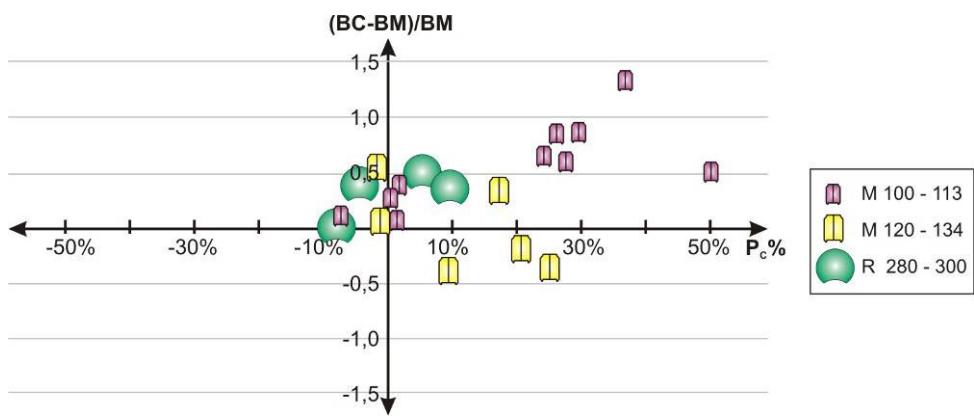
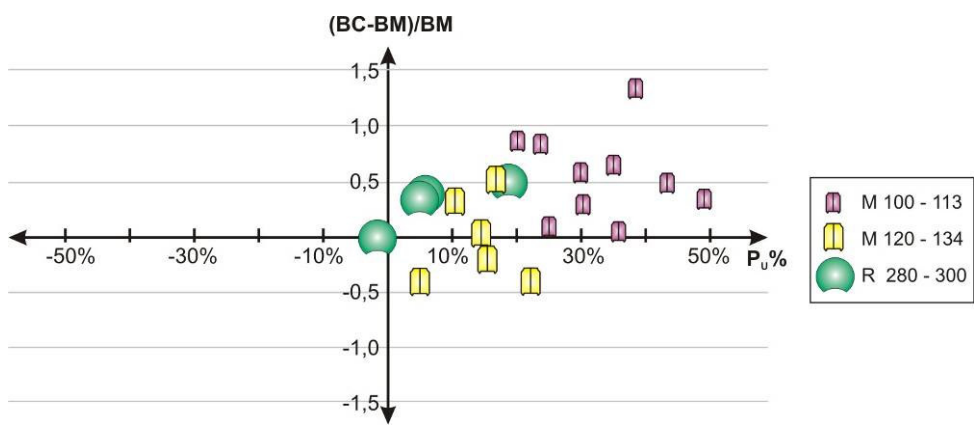


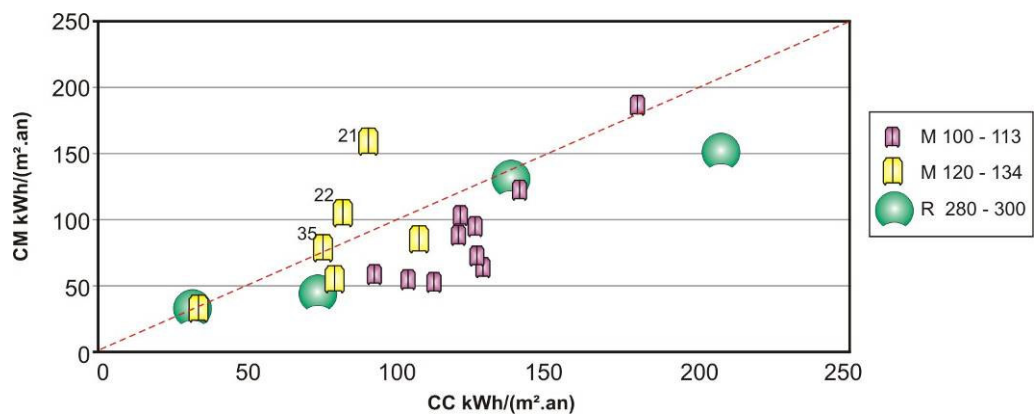
[Yellow Header Row]													
[Yellow Header Row]													
[Green Row 1]													
[Green Row 2]													
[Green Row 3]													
[Green Row 4]													
[Green Row 5]													
[Green Row 6]													
[Green Row 7]													
[Green Row 8]													
[Green Row 9]													
[Green Row 10]													
[Green Row 11]													
[Green Row 12]													
[Green Row 13]													
[Green Row 14]													
[Green Row 15]													
[Green Row 16]													
[Green Row 17]													
[Green Row 18]													
[Green Row 19]													
[Green Row 20]													
[Green Row 21]													
[Green Row 22]													
[Green Row 23]													
[Green Row 24]													
[Green Row 25]													
[Green Row 26]													
[Green Row 27]													
[Green Row 28]													
[Green Row 29]													
[Green Row 30]													
[Green Row 31]													
[Green Row 32]													
[Green Row 33]													
[Green Row 34]													
[Green Row 35]													
[Green Row 36]													
[Green Row 37]													
[Green Row 38]													
[Green Row 39]													
[Green Row 40]													
[Green Row 41]													
[Green Row 42]													
[Green Row 43]													
[Green Row 44]													
[Green Row 45]													
[Green Row 46]													
[Green Row 47]													
[Green Row 48]													
[Green Row 49]													
[Green Row 50]													
[Green Row 51]													
[Green Row 52]													
[Green Row 53]													
[Green Row 54]													
[Green Row 55]													
[Green Row 56]													
[Green Row 57]													
[Green Row 58]													
[Green Row 59]													
[Green Row 60]													
[Green Row 61]													
[Green Row 62]													
[Green Row 63]													
[Green Row 64]													
[Green Row 65]													
[Green Row 66]													
[Green Row 67]													
[Green Row 68]													
[Green Row 69]													
[Green Row 70]													
[Green Row 71]													
[Green Row 72]													
[Green Row 73]													
[Green Row 74]													
[Green Row 75]													
[Green Row 76]													
[Green Row 77]													
[Green Row 78]													
[Green Row 79]													
[Green Row 80]													
[Green Row 81]													
[Green Row 82]													
[Green Row 83]													
[Green Row 84]													
[Green Row 85]													
[Green Row 86]													
[Green Row 87]													
[Green Row 88]													
[Green Row 89]													
[Green Row 90]													
[Green Row 91]													
[Green Row 92]													
[Green Row 93]													
[Green Row 94]													
[Green Row 95]													
[Green Row 96]													
[Green Row 97]													
[Green Row 98]													
[Green Row 99]													
[Green Row 100]													

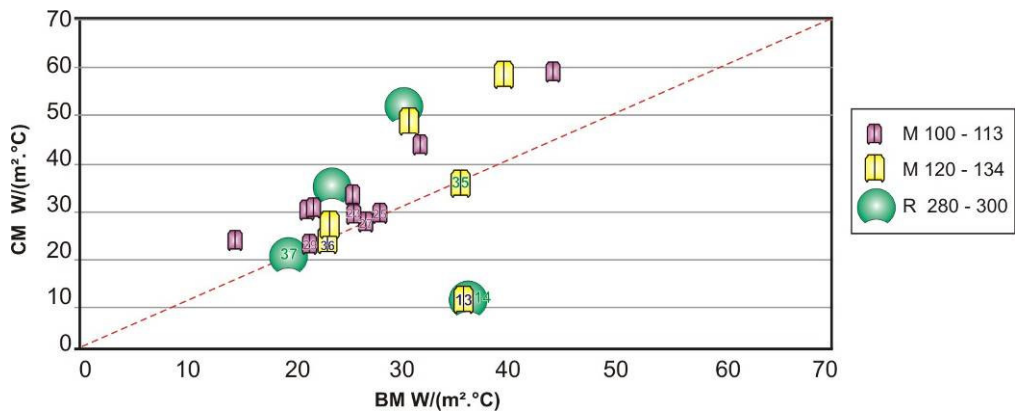
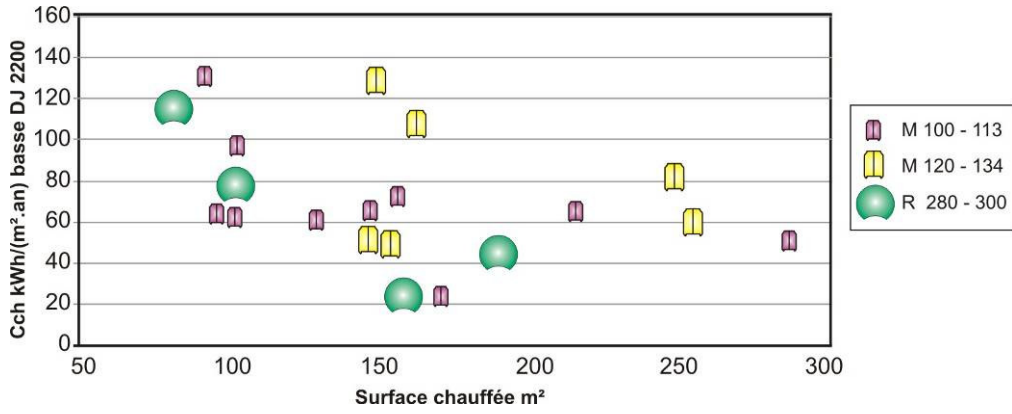
[Horizontal line]

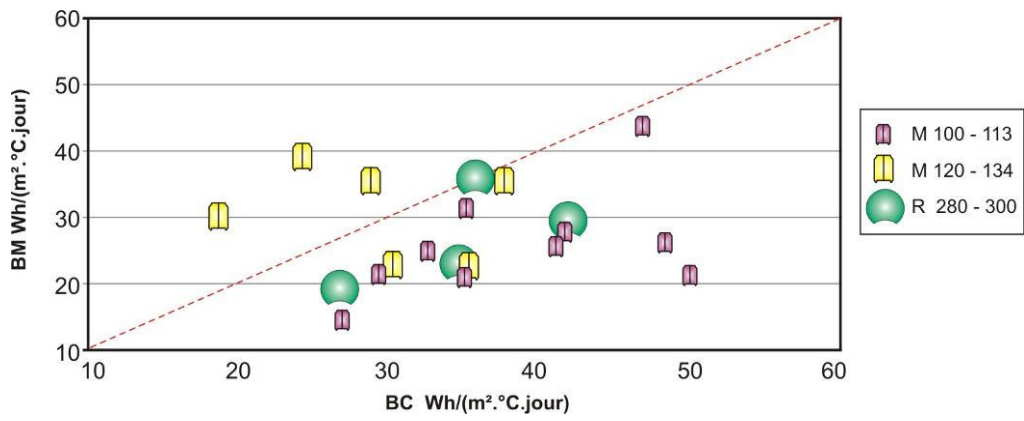














=====

=====

=====

=====

=====

=====

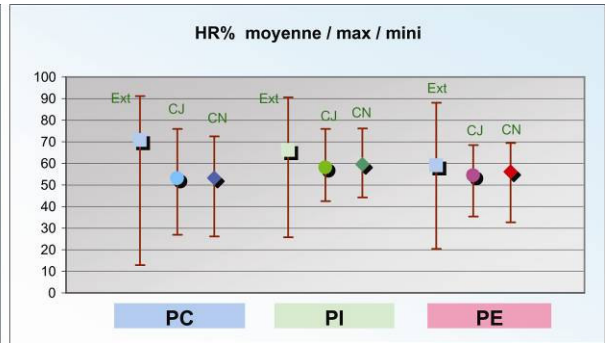
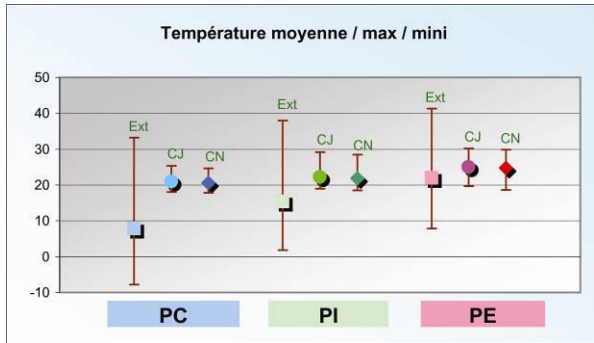
=====

=====

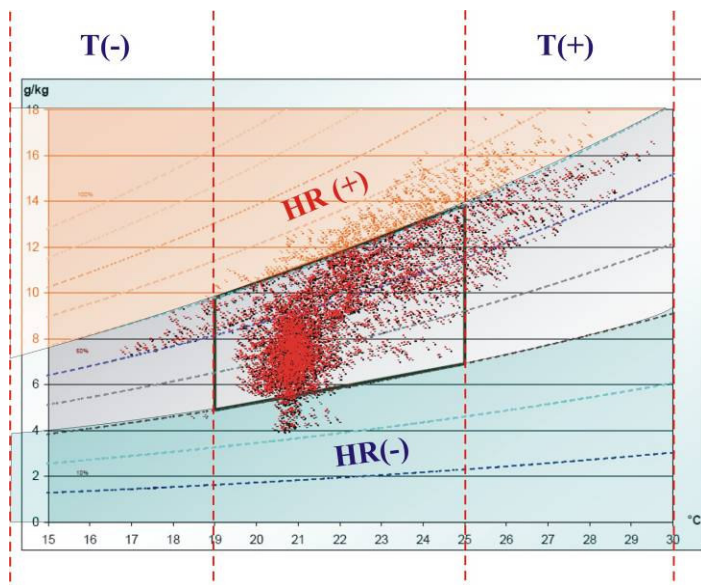
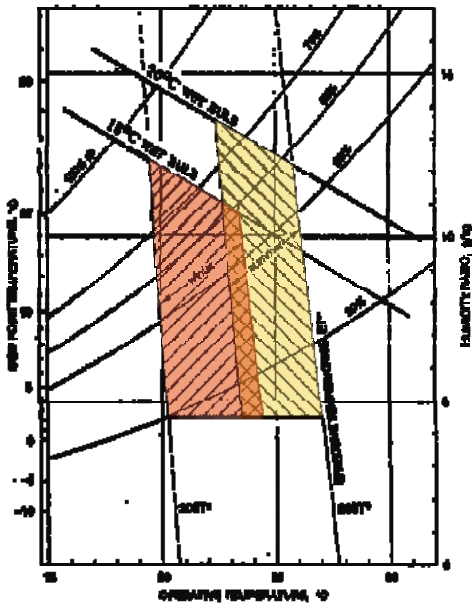
=====

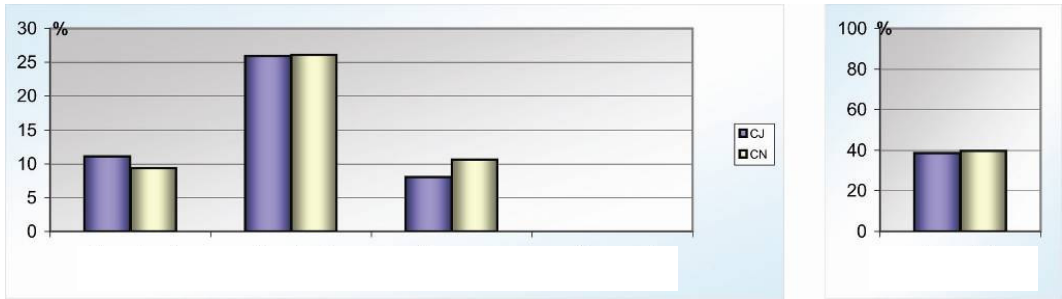
=====

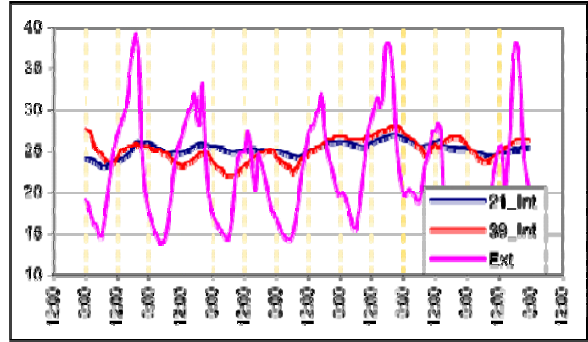
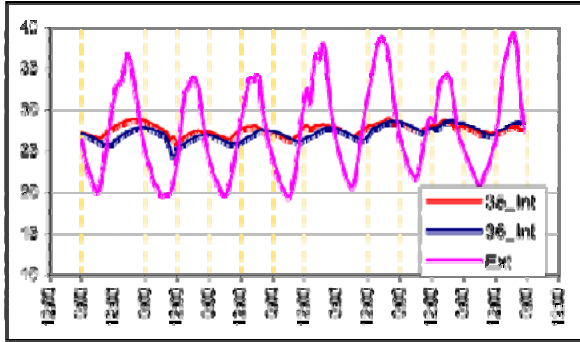












U21WNEW : Résultats de la simulation

Résultats Graphiques

Quadrillage Courbe n°1
Légende Courbe n°2
Courbe n°3

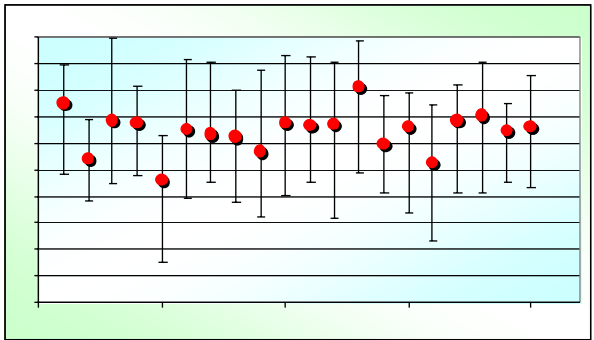
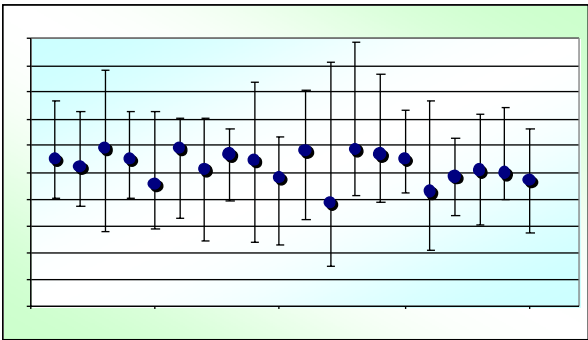
Imprimer Imprimer Fermer

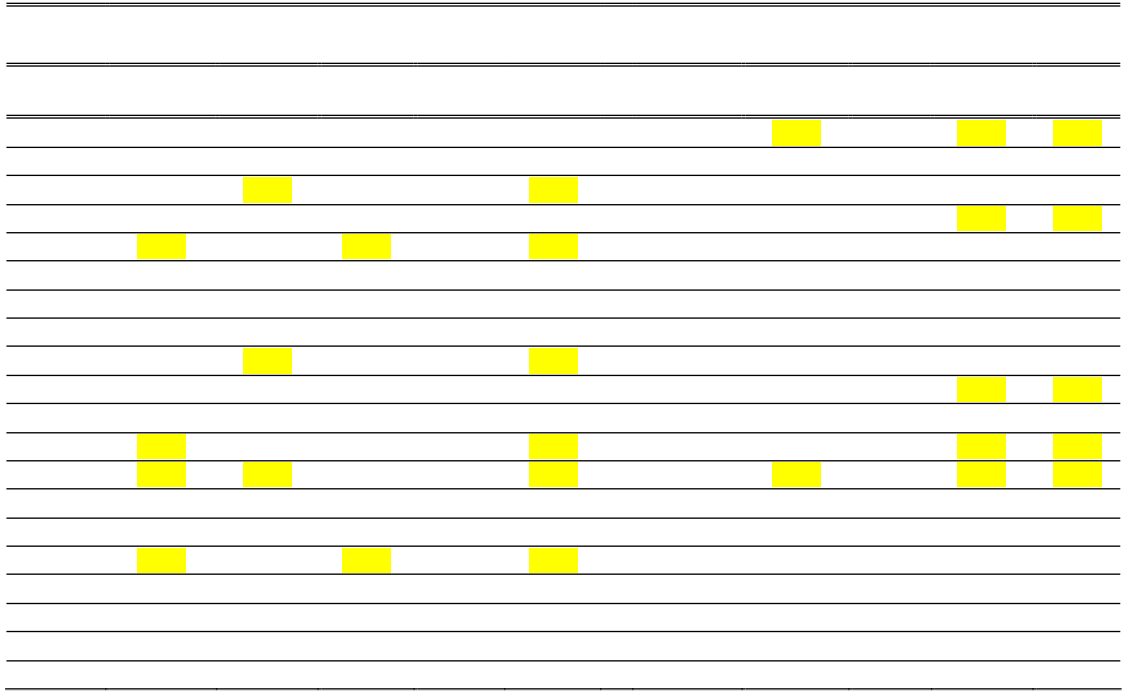
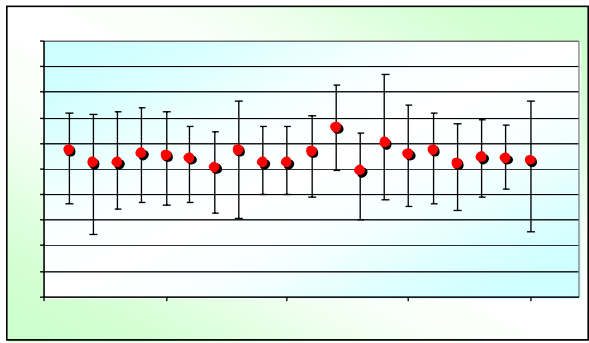
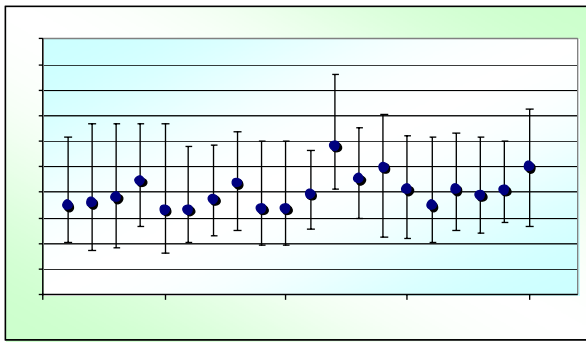
Valeurs Horaires				Valeurs Moyennées sur 3h				Taux de ventilation moyen		
en °C	Maximale	Minimale	Moyenne	en °C	Maximale	Minimale	Moyenne	en m3/h		
T° intérieure	31,7	19,7	25,4	T° intérieure	30,8	20,0	25,4	Malmée	3845,9	
T° opérative	31,2	20,5	25,6	T° opérative	30,6	20,7	25,6	Journée	155,5	
T° extérieure	32,2	16,5	24,5					Nuit	5126,6	

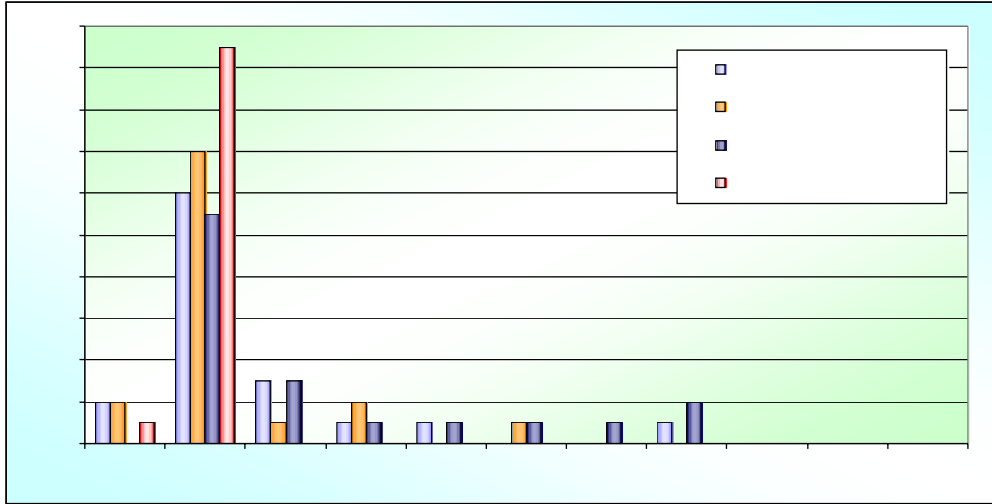
Courbes représentatives

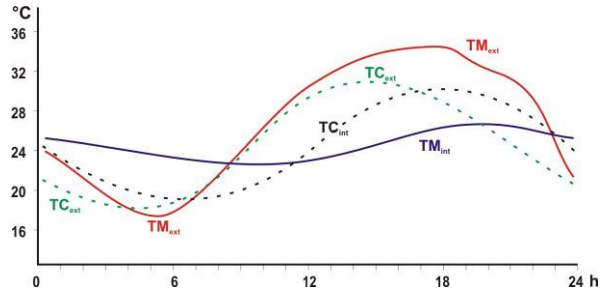
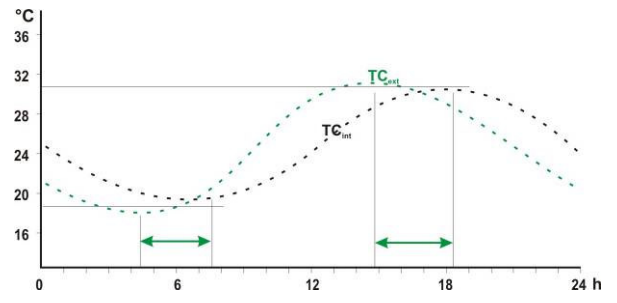
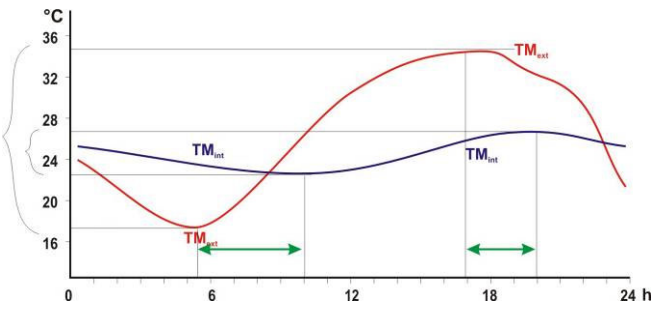
Température intérieure conventionnelle (Tic) 30,6 °C Ticref 28,8 °C Distance à la mer 100 Km



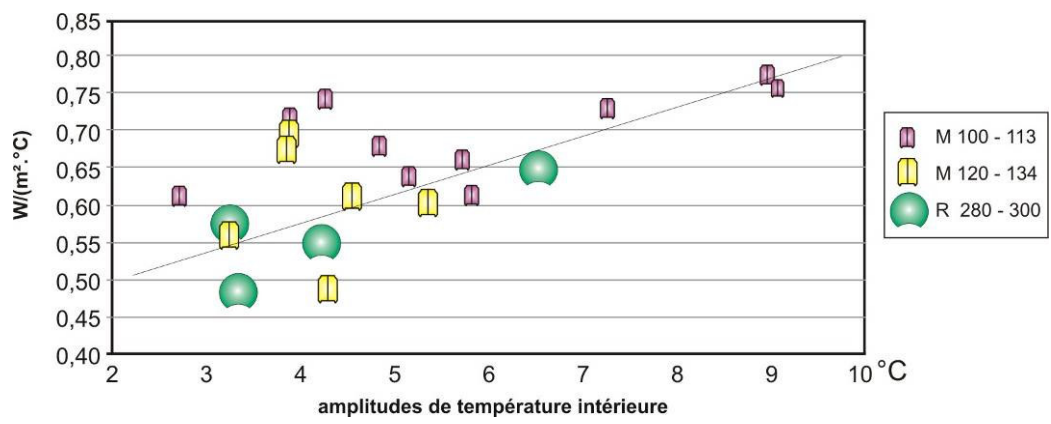












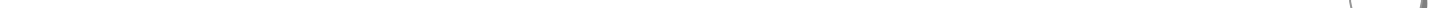




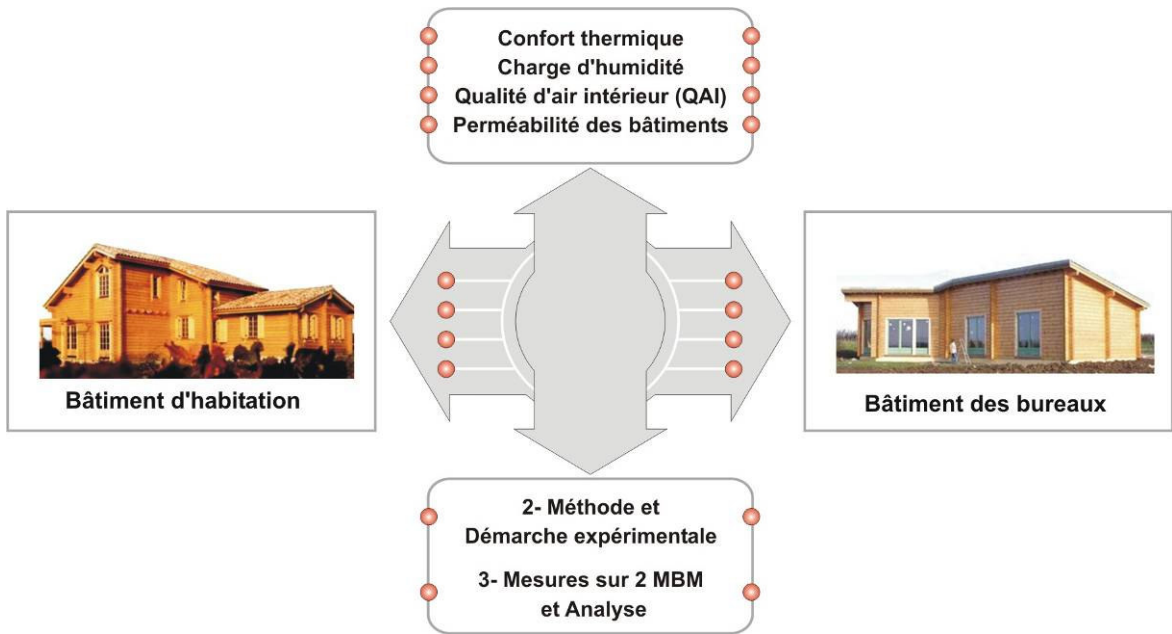
Confort hygro-thermique et ventilation des constructions Bois

Analyse et étude sur 2 bâtiments tests

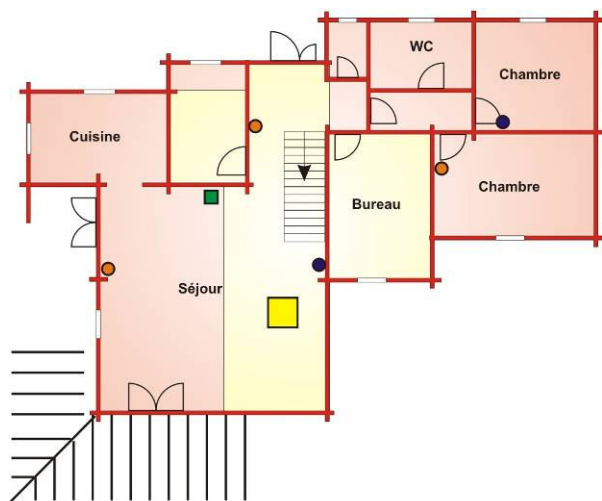
1. Introduction	55
1. 1. Confort et règles de ventilation dans l'habitat	55
1. 2. Contexte et objectifs du projet Confort Bois	56
1. 3. Expérimentations sur 2 MBM à usage d'habitation et de bureaux	58
2. Méthodes et démarches expérimentales	59
2. 1. Le confort thermique dans des bâtiments à ventilation naturelle	59
2. 2. Analyse et prise en compte des variations d'humidité	61
2. 3. Suivi de la qualité d'air intérieur (QAI).....	64
2. 4. Etudes et techniques de mesure de la perméabilité des bâtiments	65
2. 4. 1. Mesures par la méthode de gaz traceur	67
2. 4. 2. Mesure de perméabilité par la méthode de dépression «Blowerdoor »	68
2. 4. 3. Influence du vent extérieur (vitesse et direction) sur le renouvellement d'air....	68
3. Résultats des mesures sur les 2 bâtiments tests et analyses	69
3. 1. Mesures et analyse du confort thermique	69
3. 2. Analyse des conditions et des variations d'humidité dans 2 bâtiments BM en ventilation naturelle.....	73
3. 2. 1. Niveaux d'humidité mesurés à l'intérieur des bâtiments	73
3. 2. 2. Évaluation des charges hydriques à l'intérieur des bâtiments	76
3. 2. 3. Analyse croisée entre niveaux de températures et d'humidité relative confort hygro-thermique.....	79
3. 3. Mesure du taux de CO ₂ dans les 2 bâtiments tests (QAI)	81
3. 3. 1. Evolution du CO ₂ dans le bâtiment B.HA « salle de séjour»	81
3. 3. 2. Evolution du CO ₂ dans le bâtiment B.BU « salle de réunion»	82
3. 3. 3. Evolution du CO ₂ dans le bâtiment B.BU « bureau comptabilité »	83
3. 4. Perméabilité des constructions en bois massif	85
3. 4. 1. Le taux de renouvellement d'air (N) dans le bâtiment «B.HA» « salle de séjour »	85
3. 4. 2. Le taux de renouvellement d'air (N) dans le bâtiment «B.BU» « bureau de comptabilité »	87
3. 4. 3. Etude de perméabilité à l'air par la méthode de dépression «Blowerdoor ou porte soufflante »	88
3. 4. 4. Influence du vent (vitesse et direction) sur le renouvellement d'air dans le bâtiment	88
4. Conclusion	91



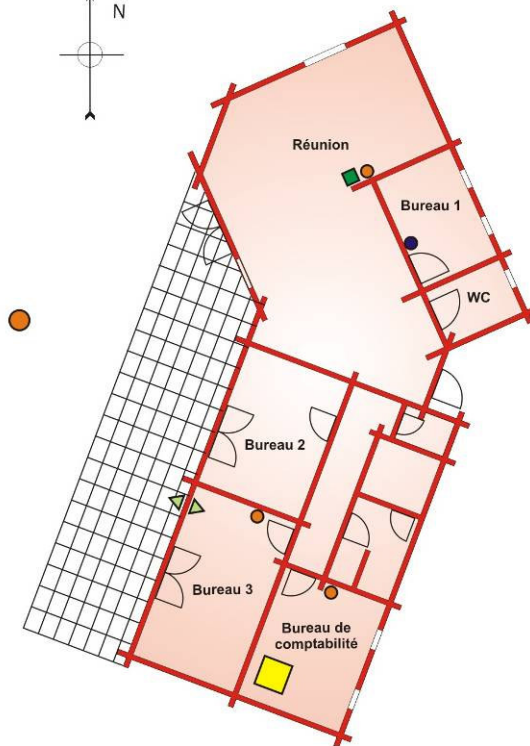


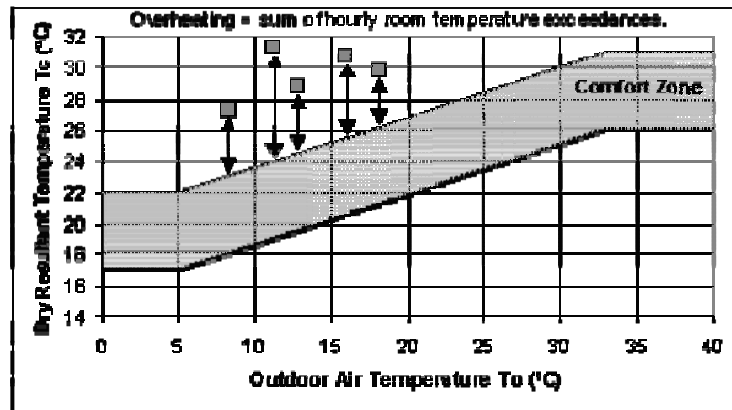




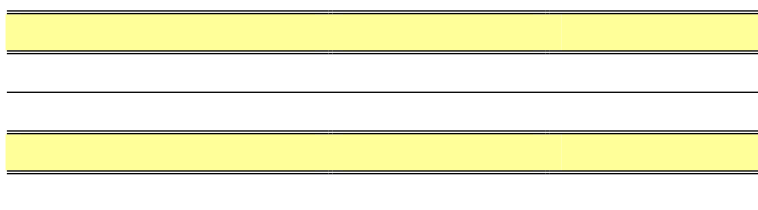


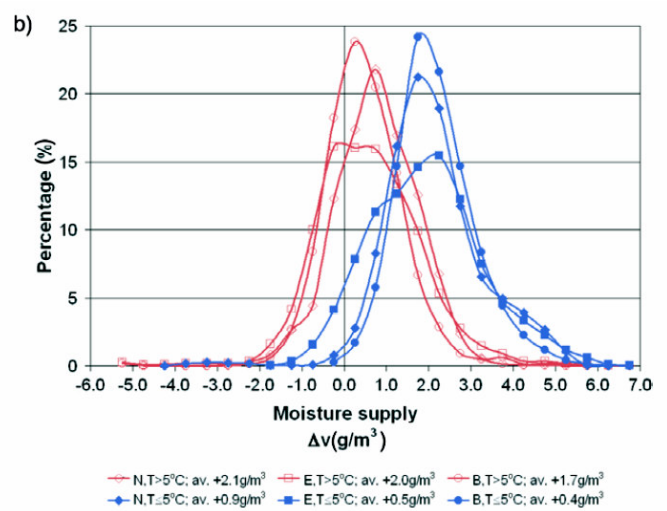
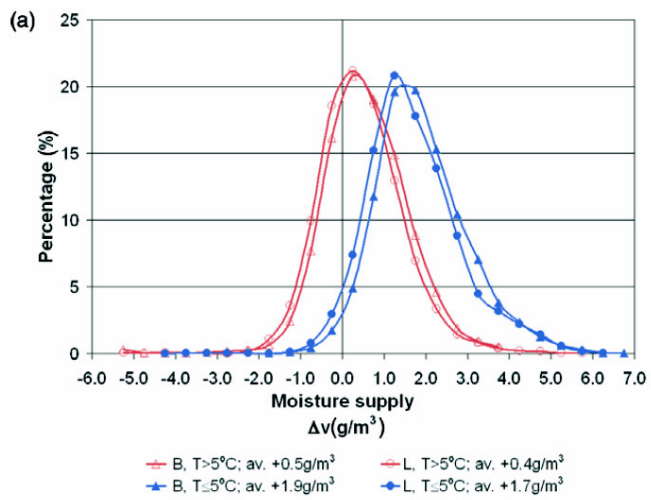
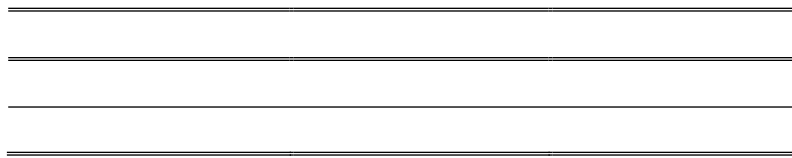
- Capteur T
- Capteur T,HR
- Capteur CO2
- Mesure Perméabilité
- ▲ Manomètre

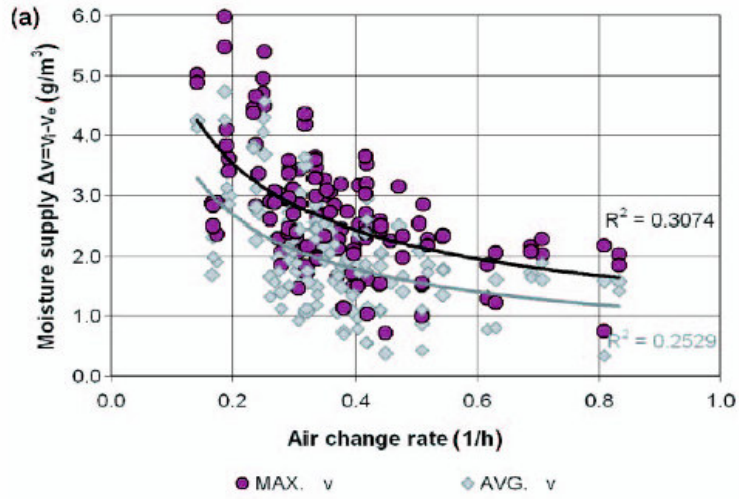






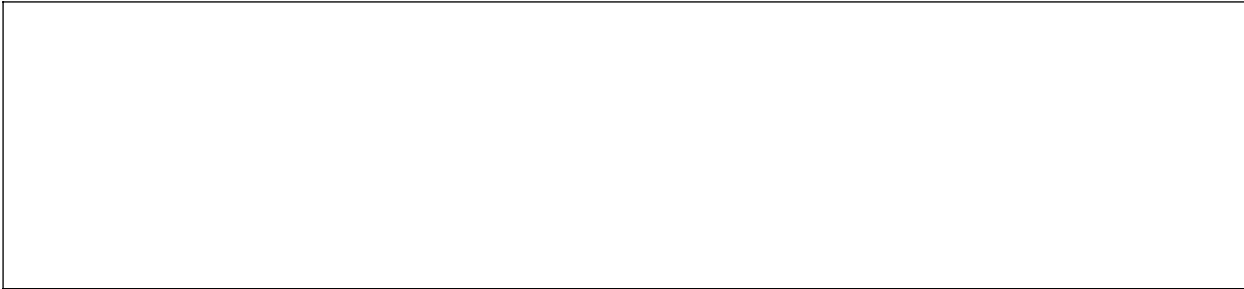
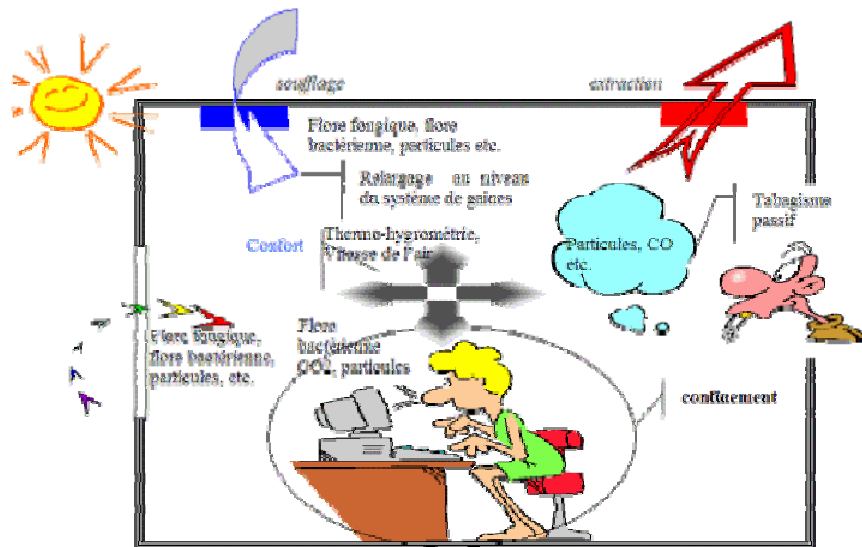


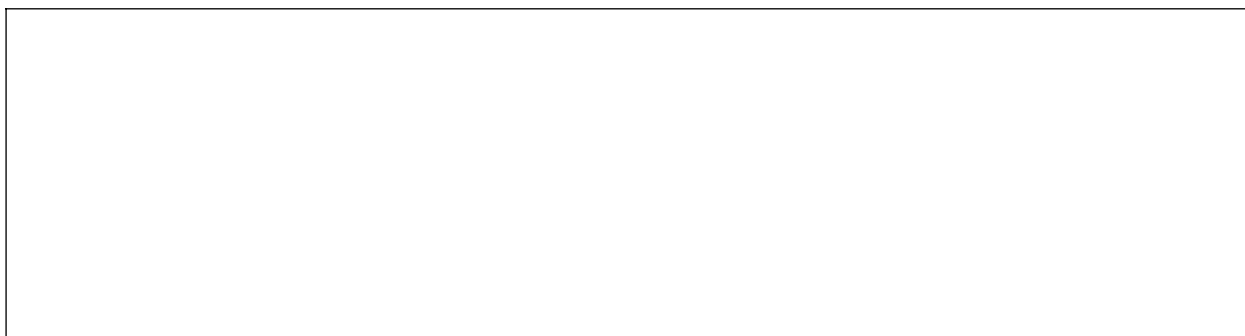


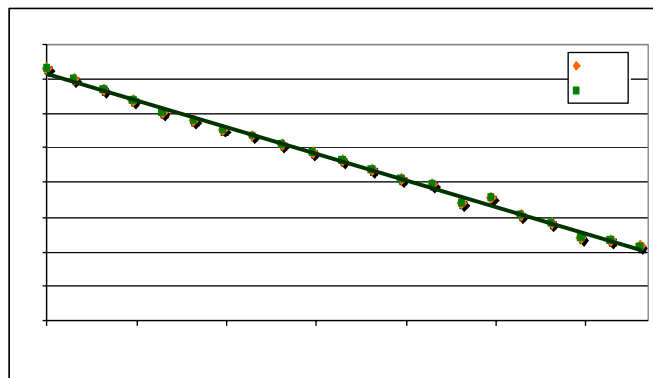
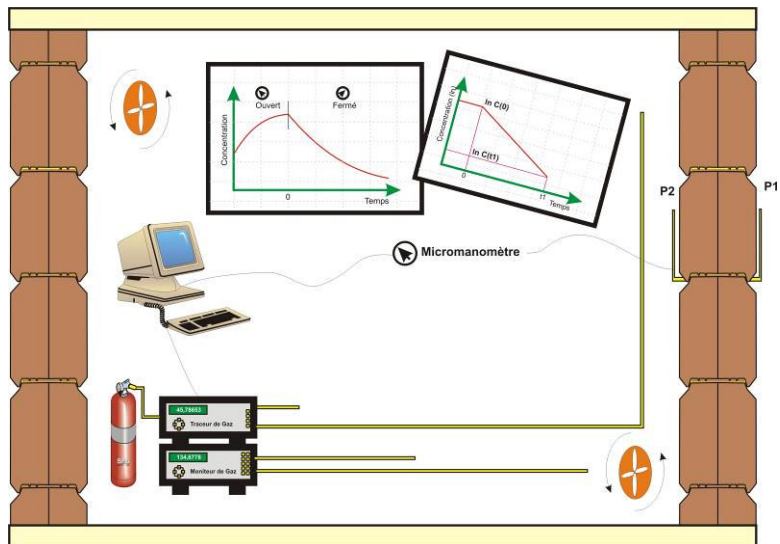




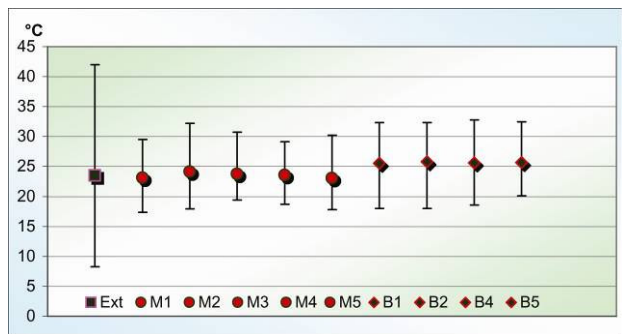
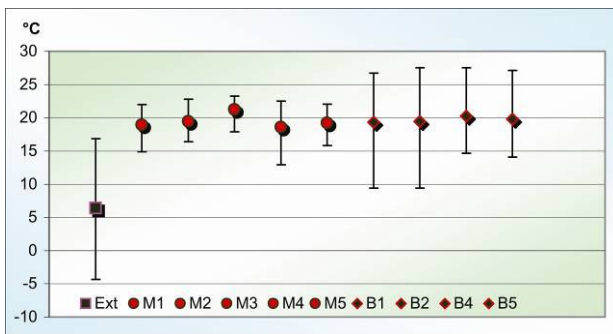
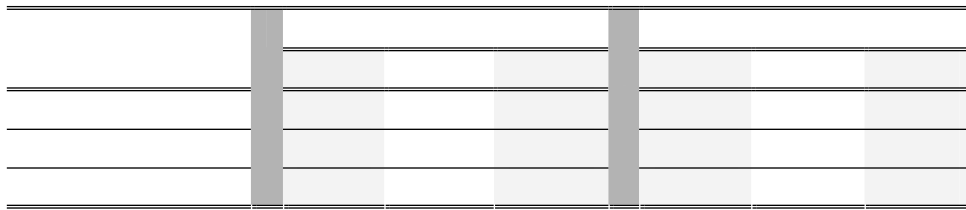


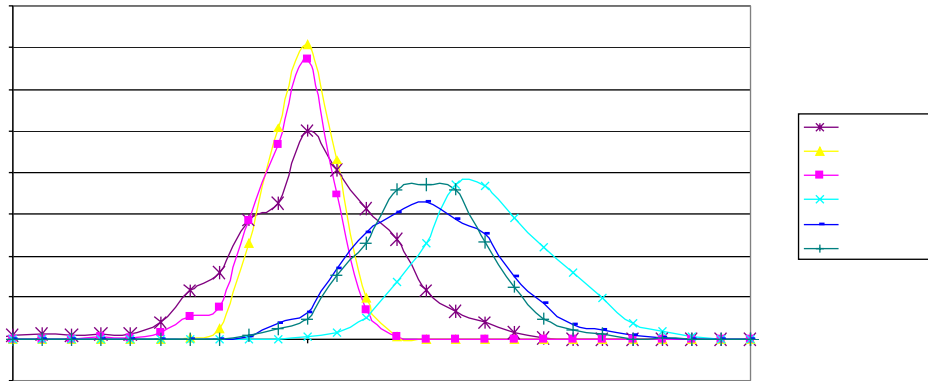




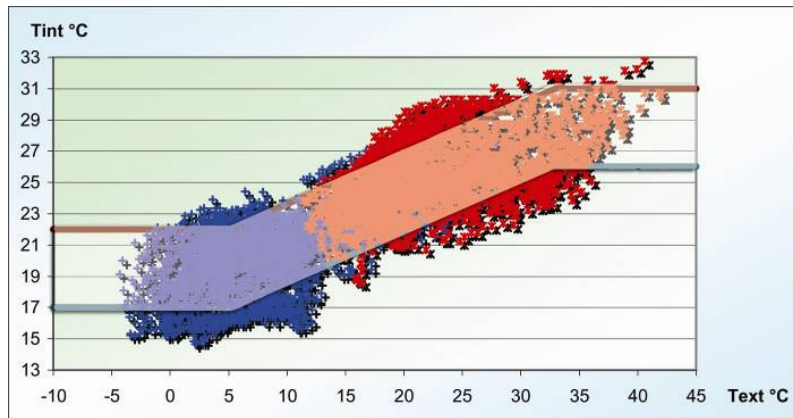
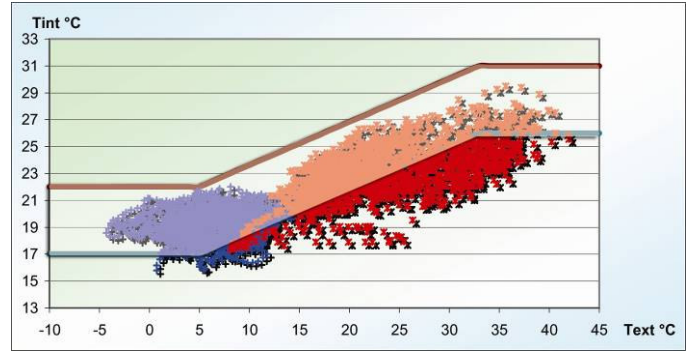
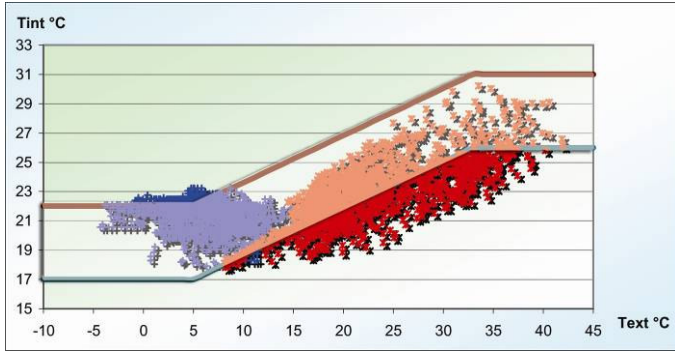


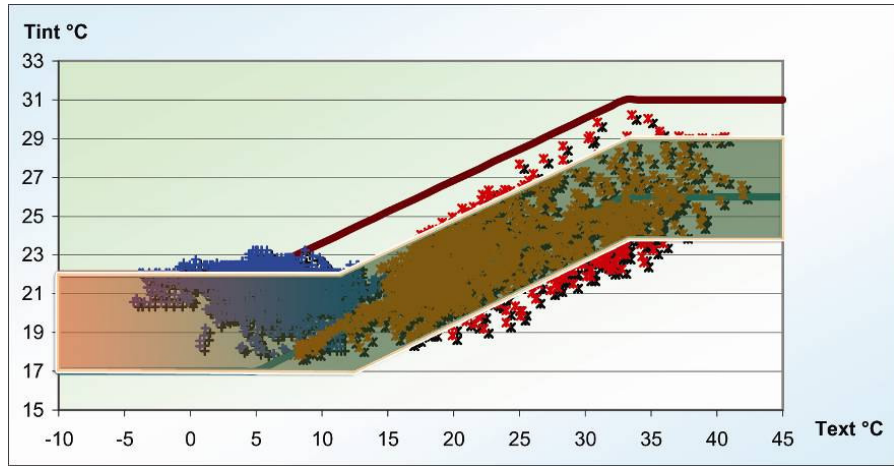


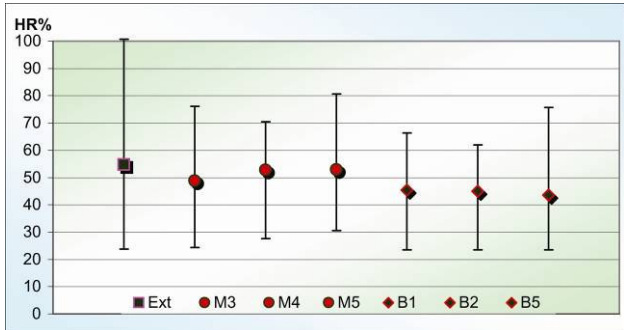
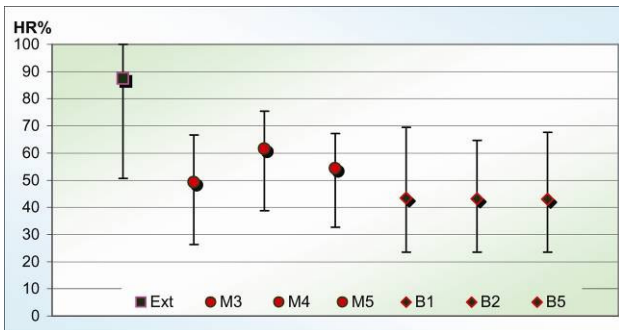
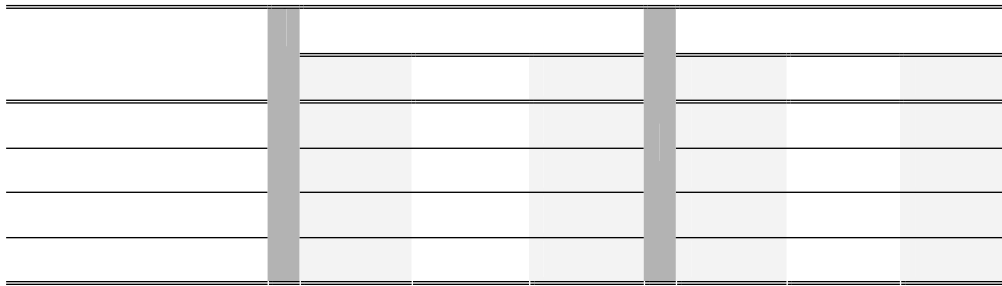


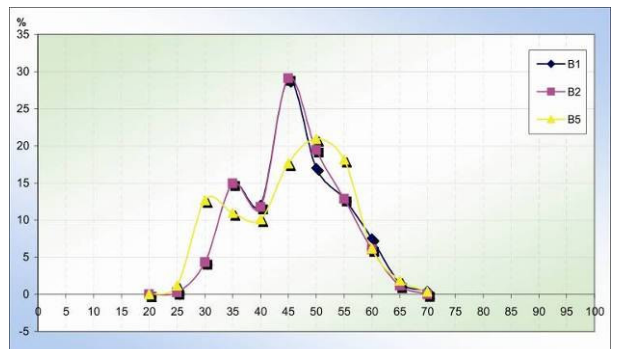
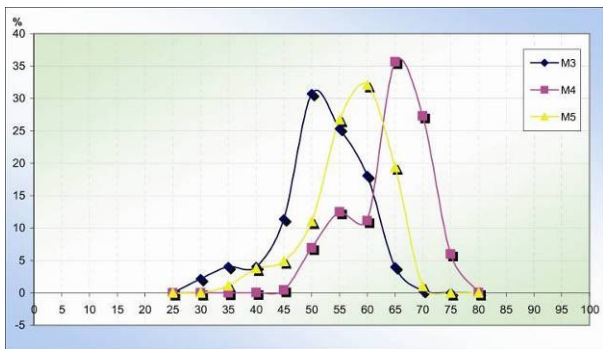
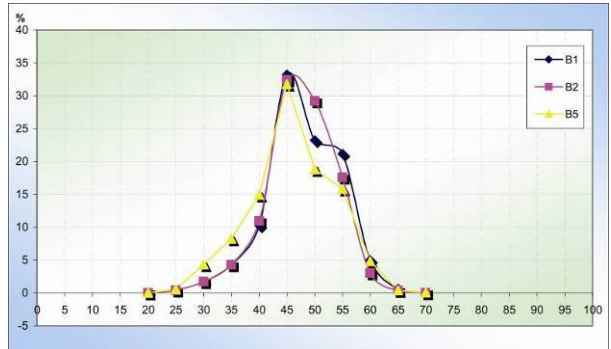
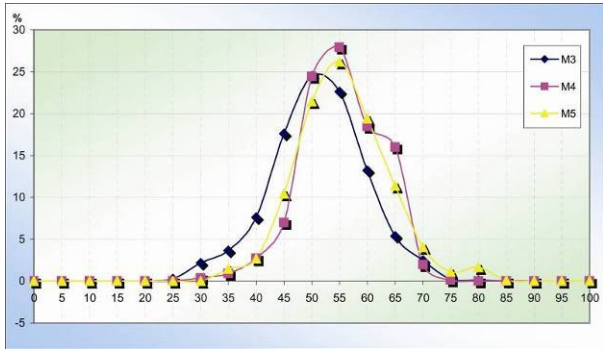


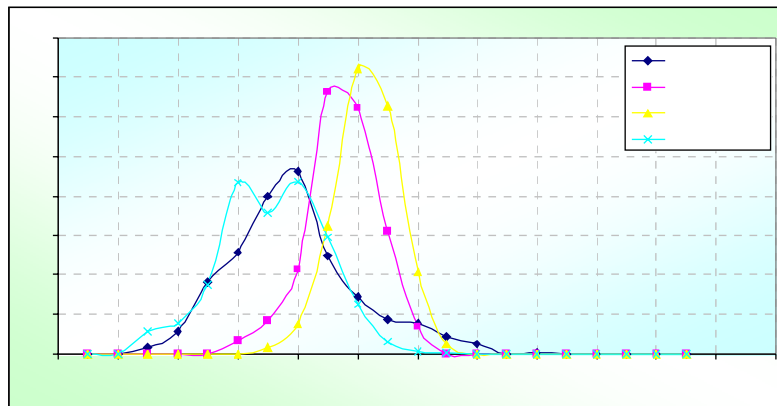
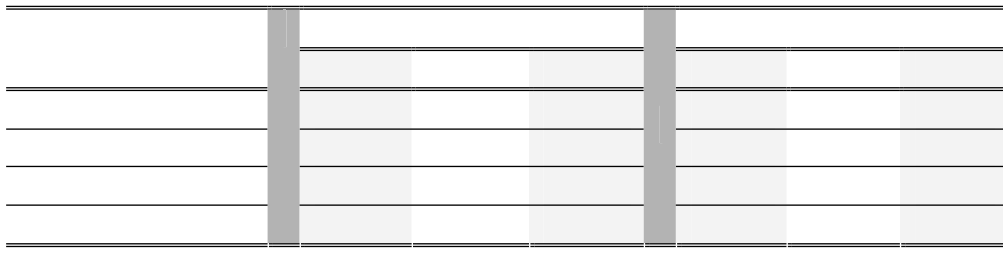


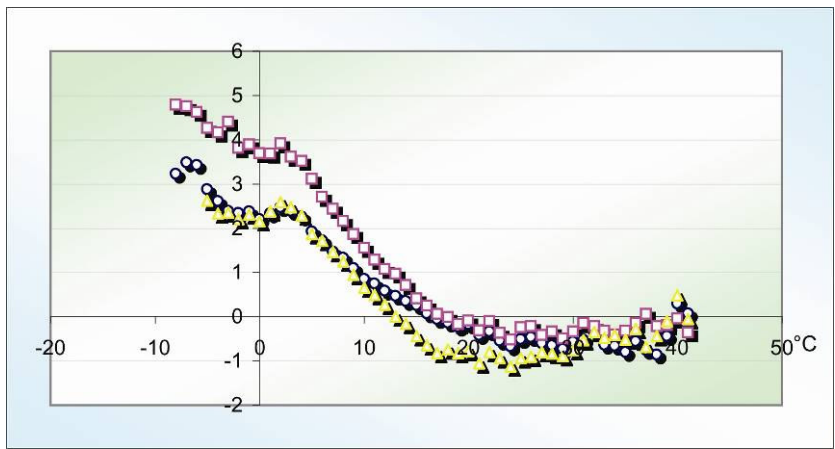
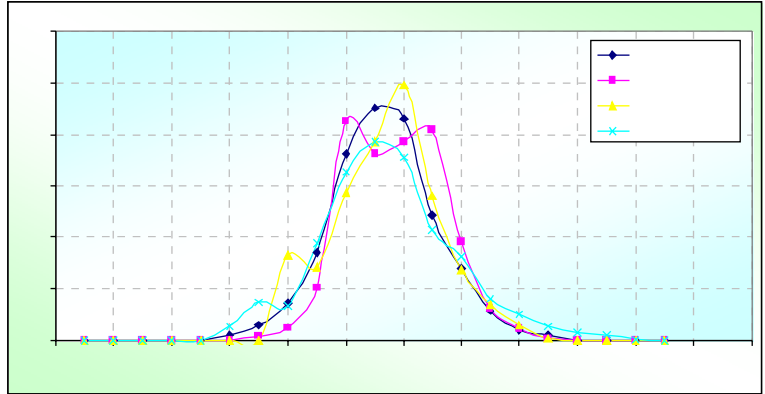


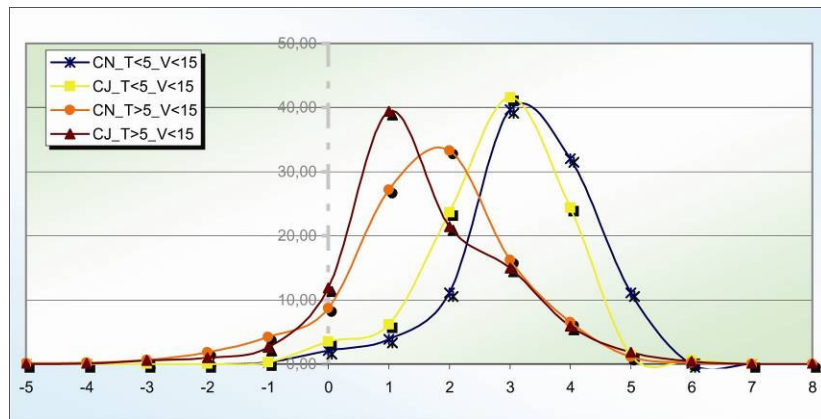
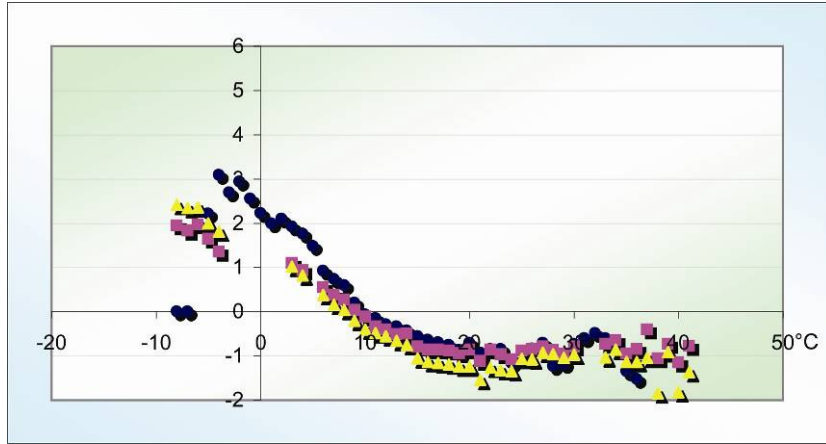


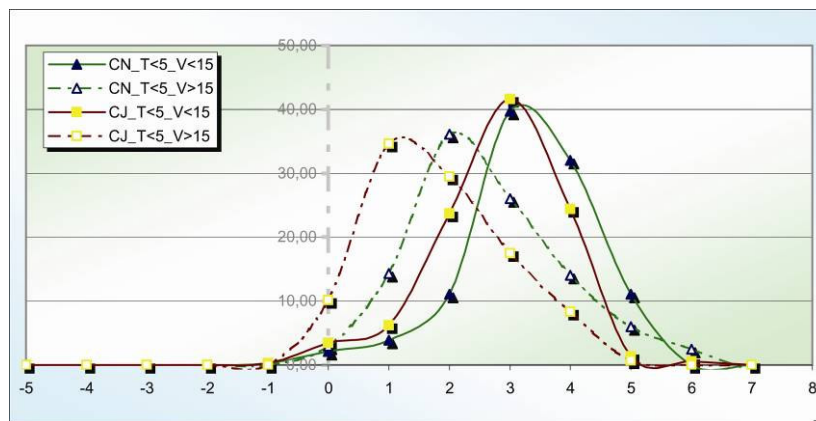
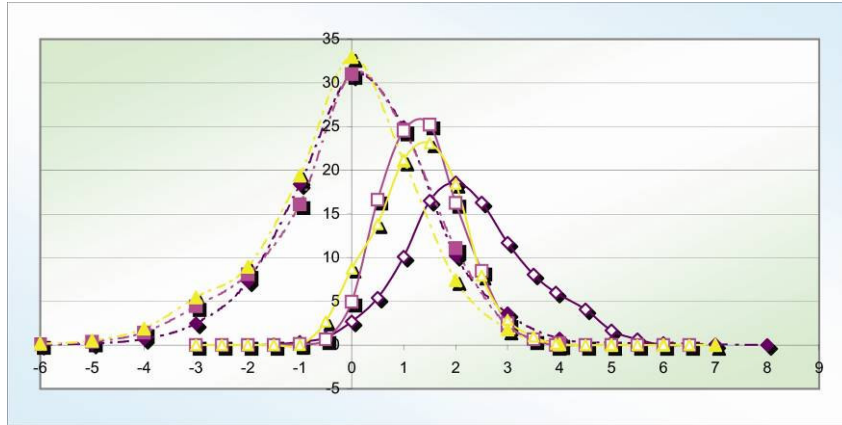


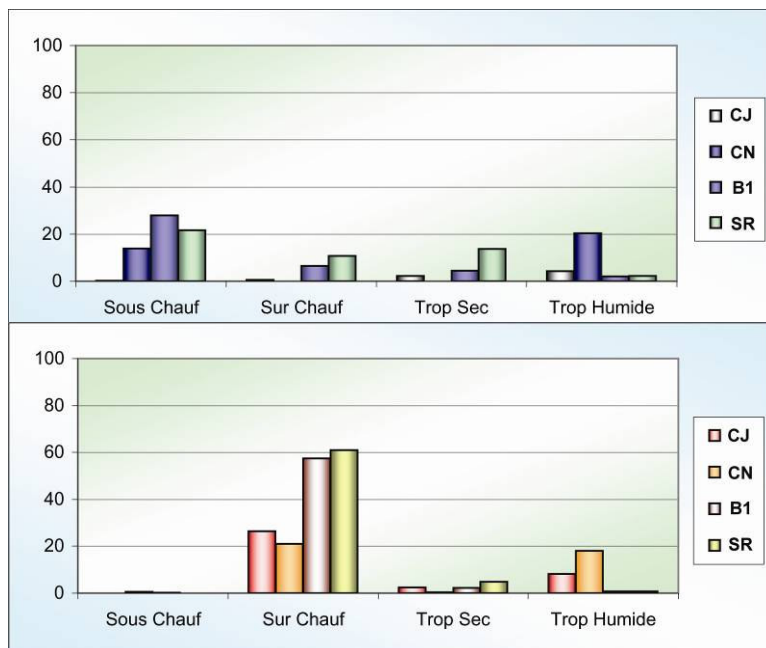


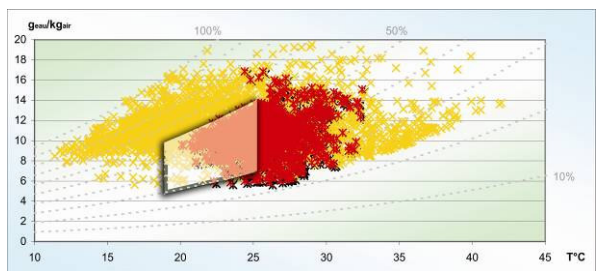
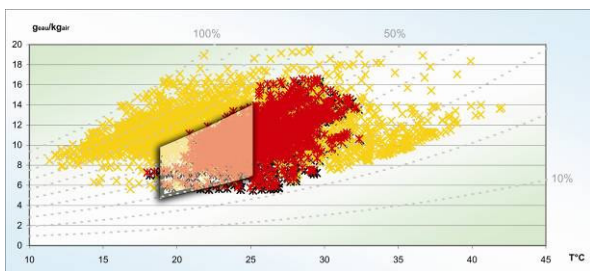
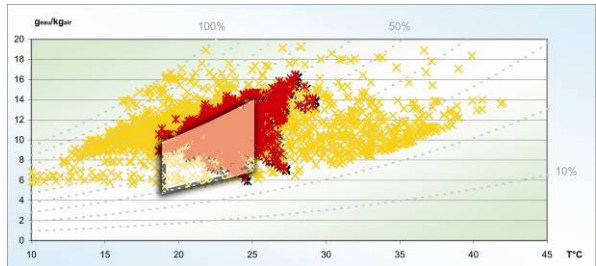
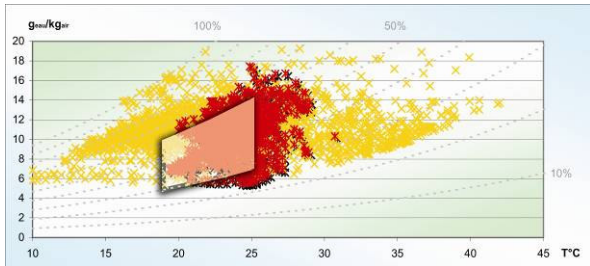
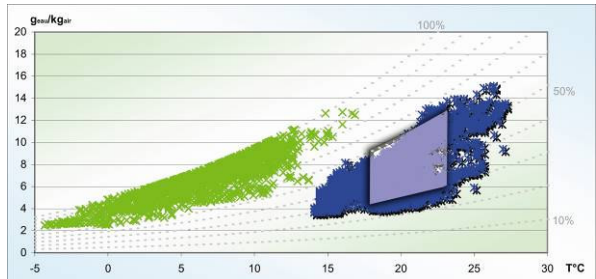
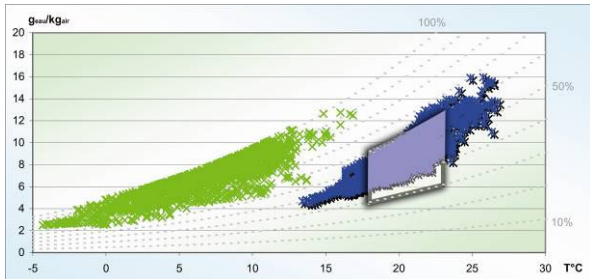
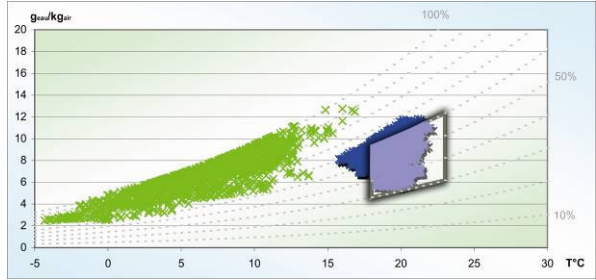
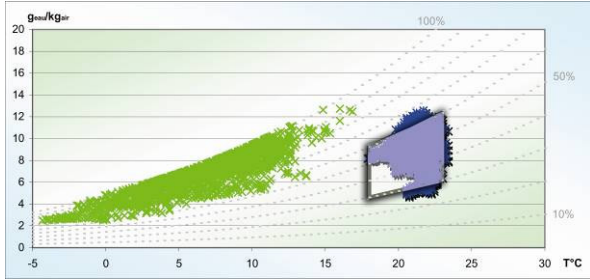


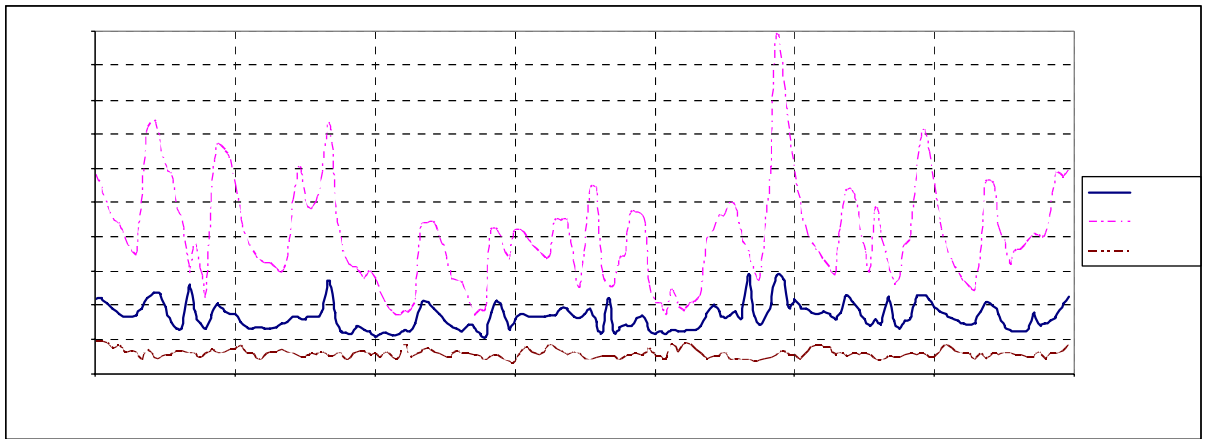


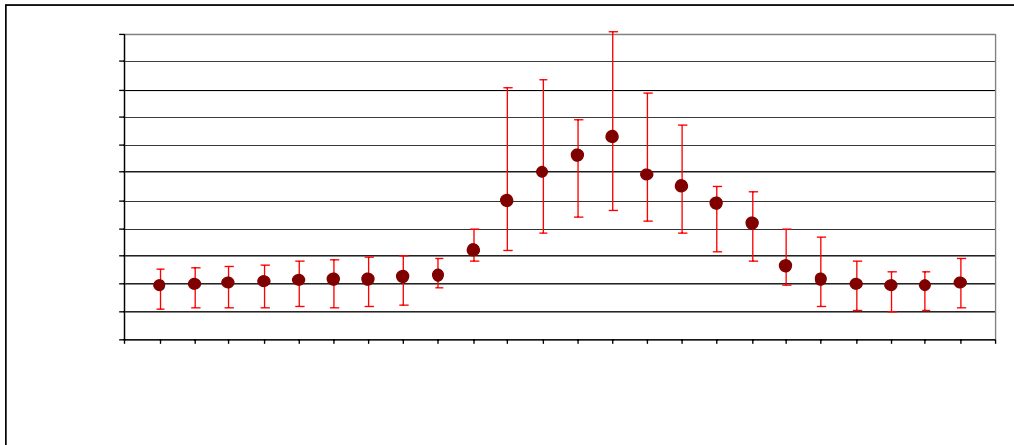
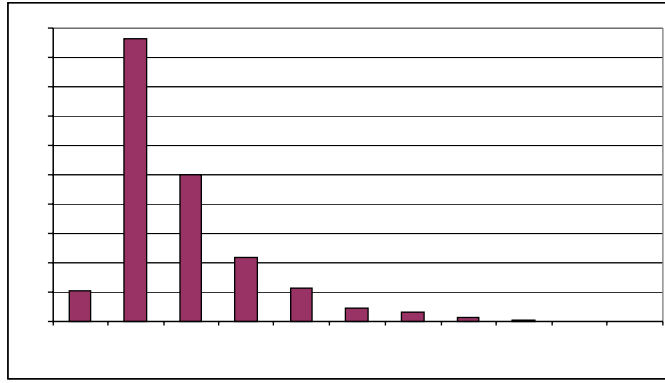


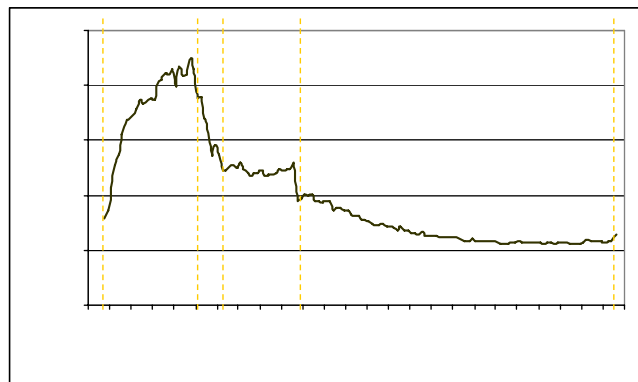
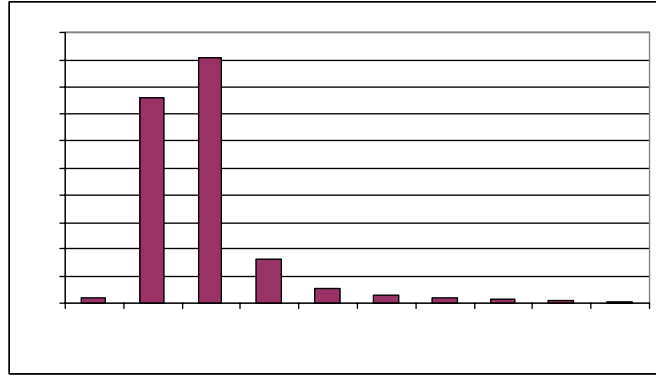


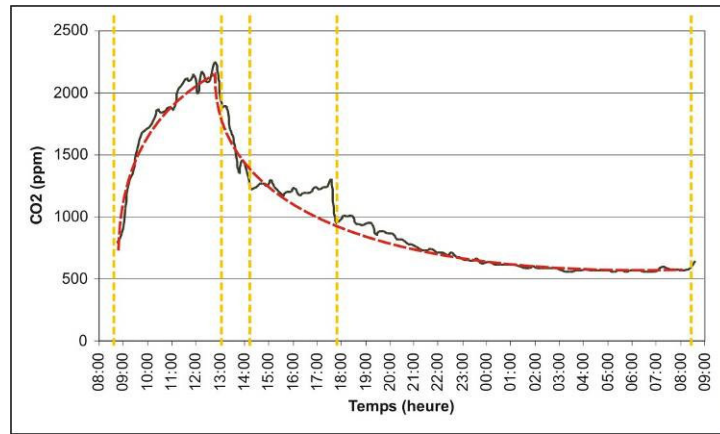


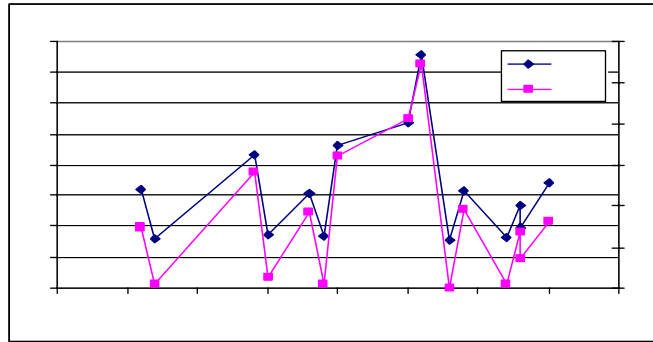


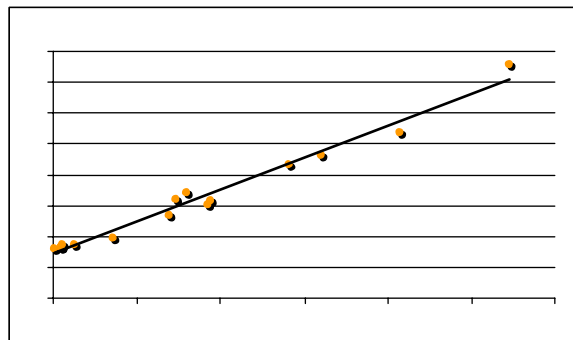






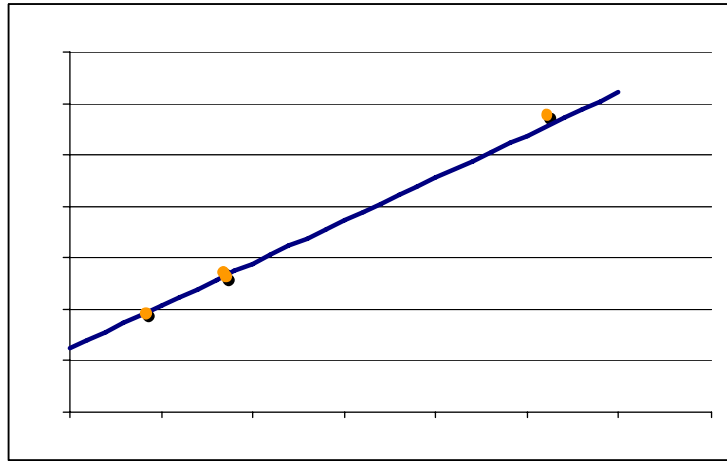


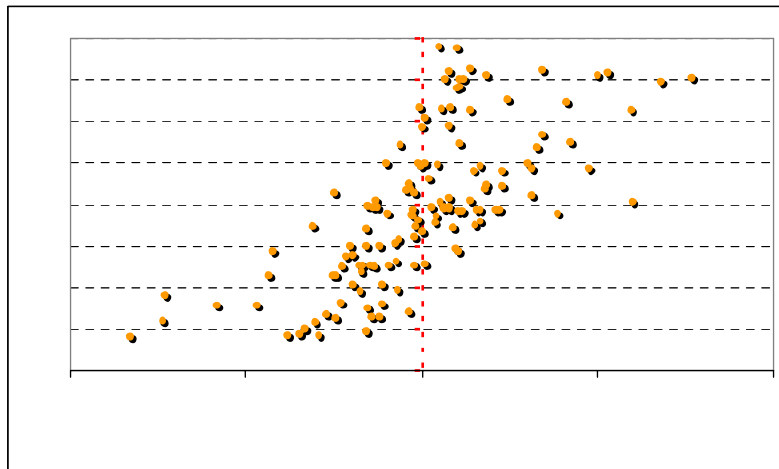
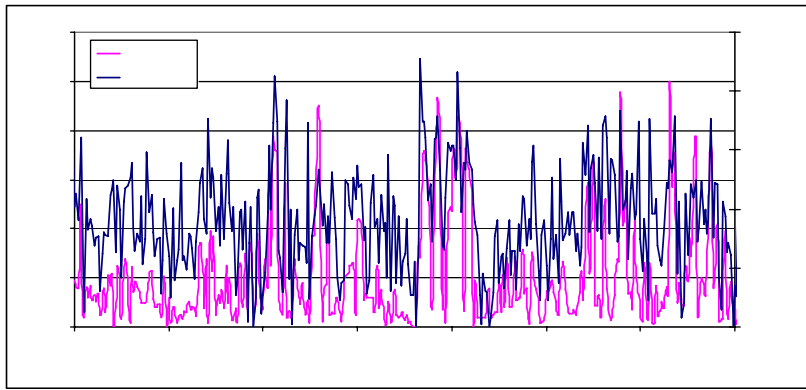
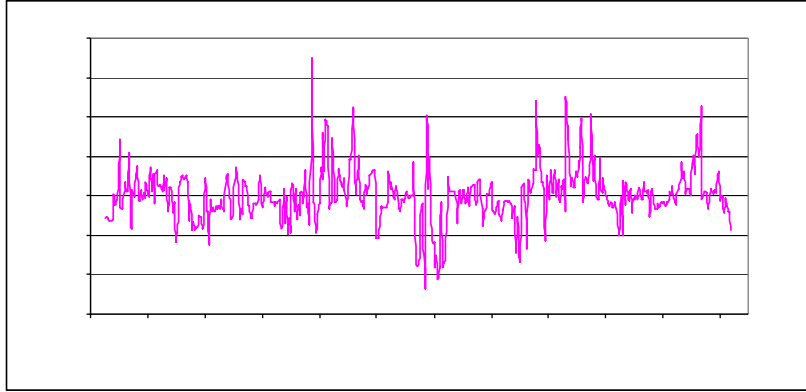


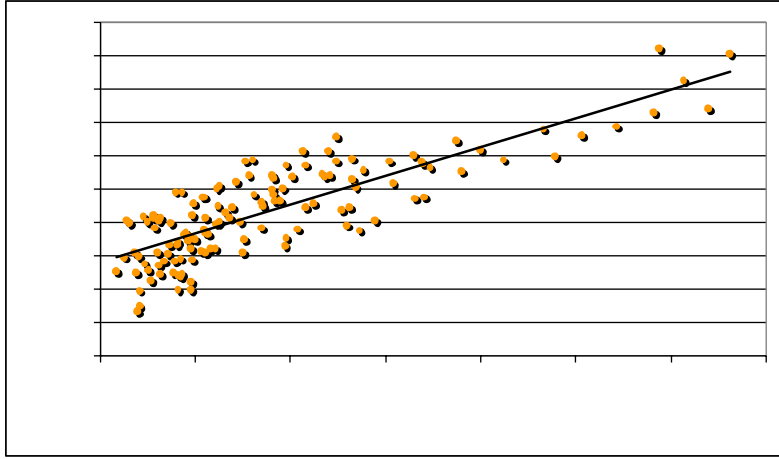












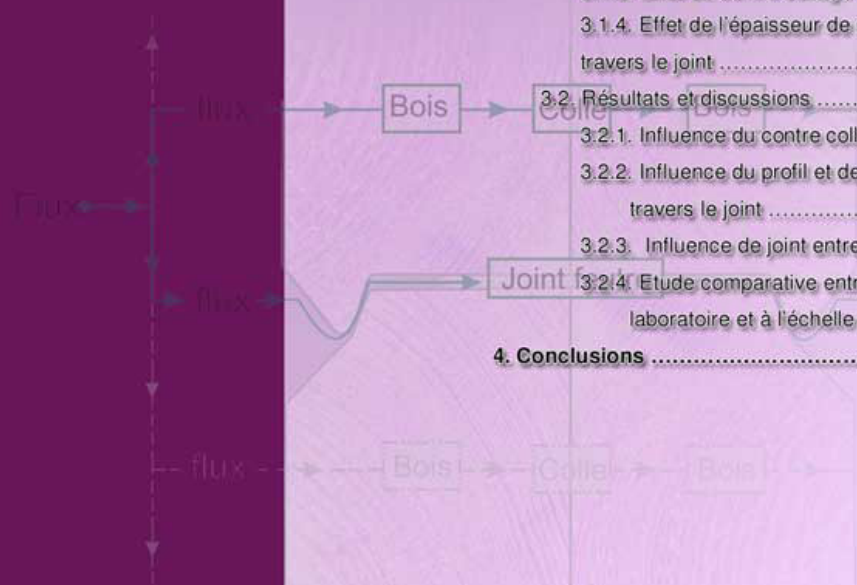


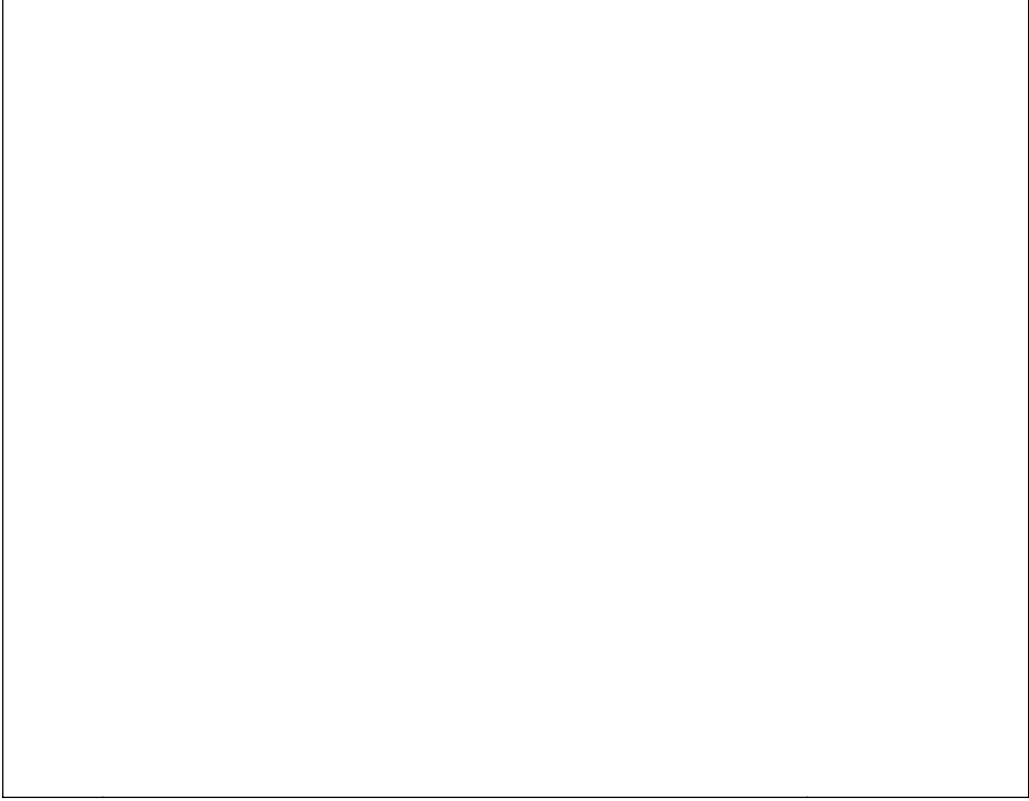


Caractérisation thermo physique de parois en bois massif contrecollé

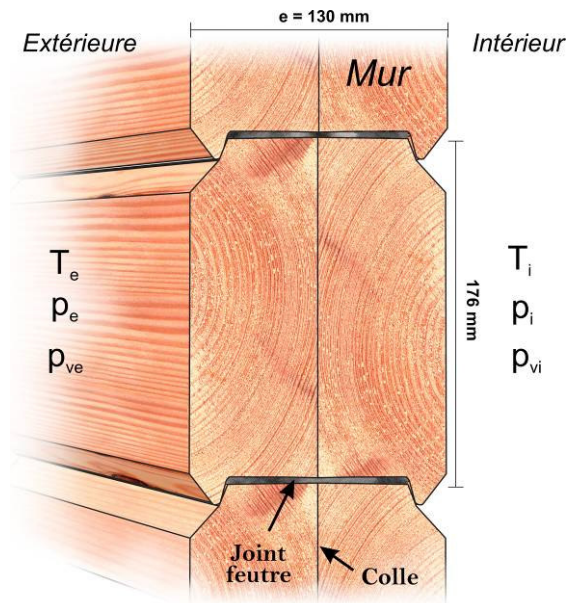
Essais réalisés au laboratoire

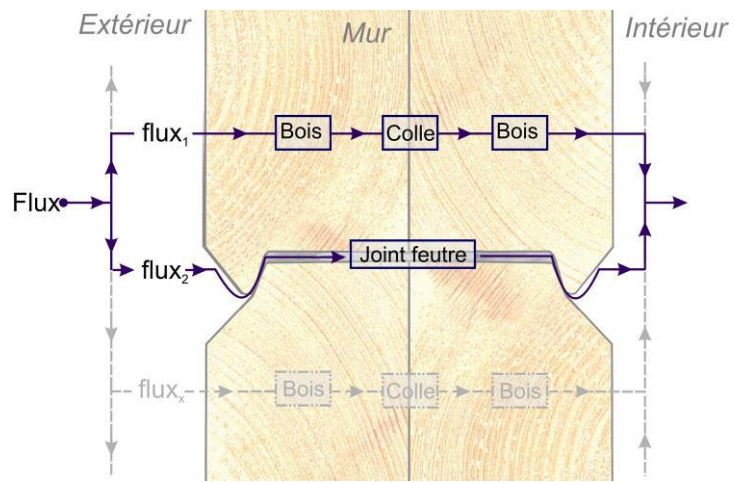
1. Introduction	95
2. Caractérisation hygro-thermique de parois bois massif empilé	98
2.1. Matériels et méthodes	98
2.1.1. Isotherme de sorption	98
2.1.2. Masse volumique	100
2.1.3. Effusivité et conductivité thermique	102
2.1.4. Coefficient de diffusion	104
2.2 Résultats et discussions	107
2.2.1. Isotherme de sorption	107
2.2.2. Masse volumique	108
2.2.3. Effusivité et conductivité thermique	109
2.2.4. Coefficient de diffusion	110
3. Quantification et qualification du caractère « perméable » de parois bois massif empilé	112
3.1. Matériels et méthodes	114
3.1.1. Perméamètre TREFLE	116
3.1.2. Préparation des échantillons	118
3.1.3. Effet du contre collage et du joint de feutre sur la perméabilité	118
3.1.4. Effet de l'épaisseur de madrier et du type de joint sur le débit d'air à travers le joint	119
3.2. Résultats et discussions	121
3.2.1. Influence du contre collage et du joint de feutre sur la perméabilité de paroi...	121
3.2.2. Influence du profil et de l'épaisseur de madrier sur le débit d'air à travers le joint	122
3.2.3. Influence de joint entre madrier sur le débit d'air à travers la paroi	122
3.2.4. Etude comparative entre les résultats de perméabilité à l'échelle de laboratoire et à l'échelle de bâtiment.	123
4. Conclusions	125

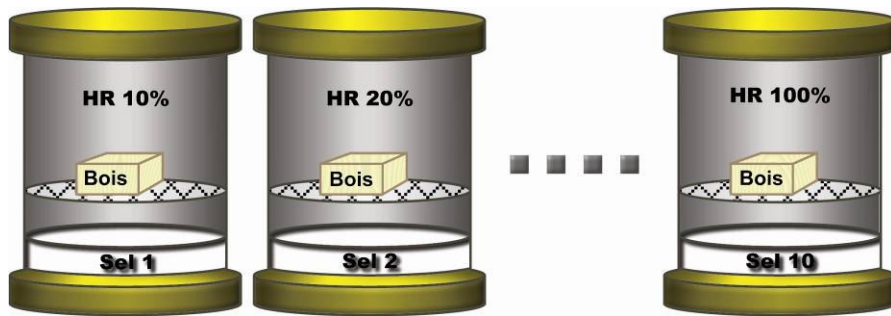














— —

—————
— — — — —
—————

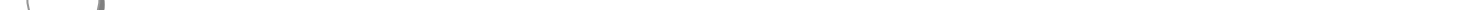
—————

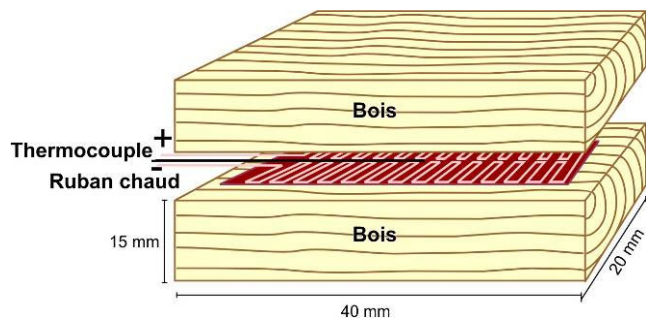
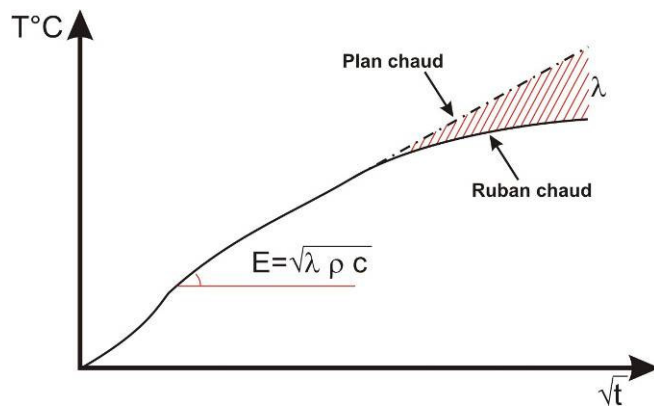
—————

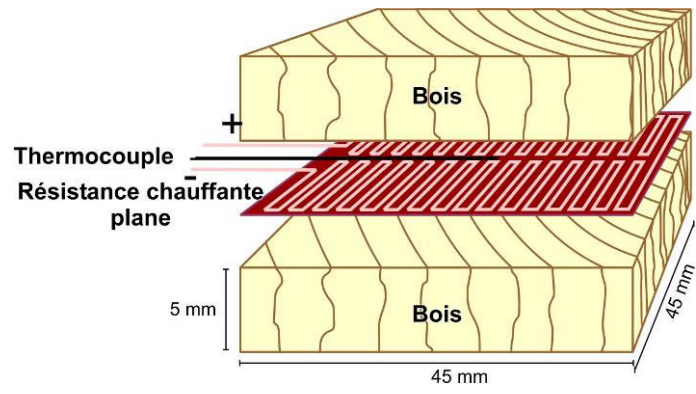










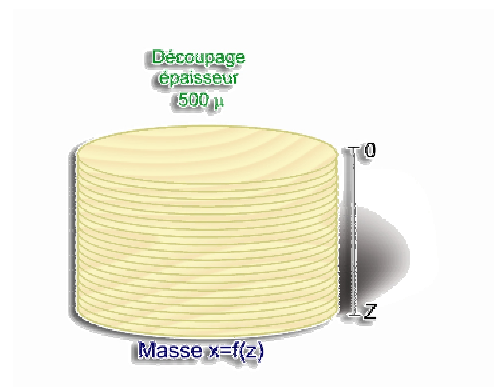
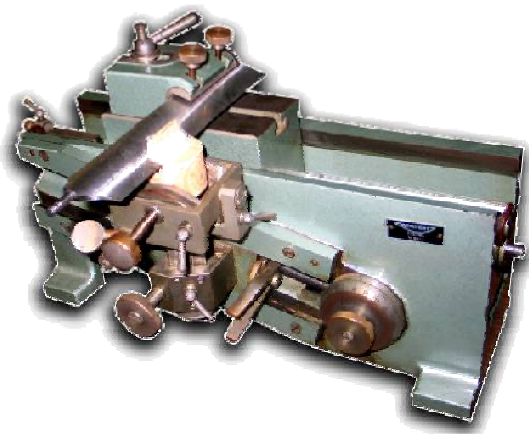
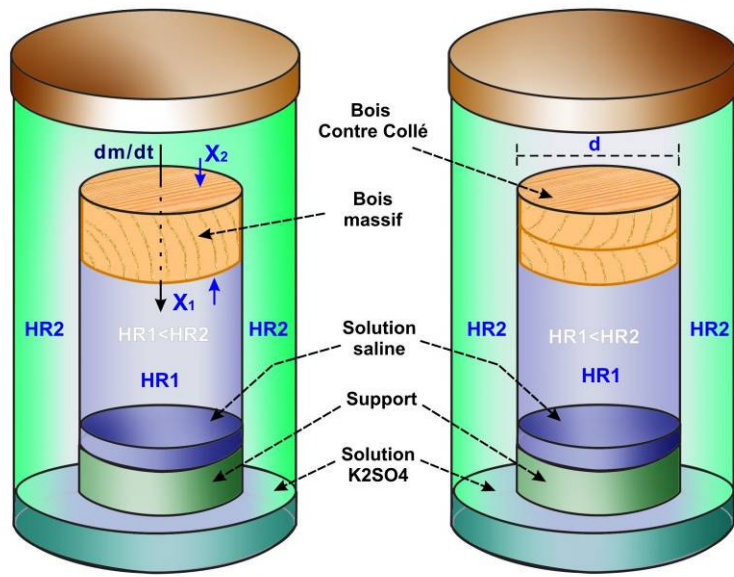


—

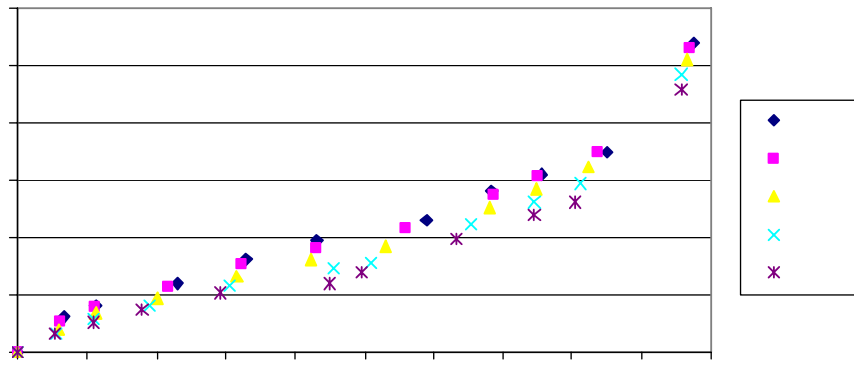
√

√

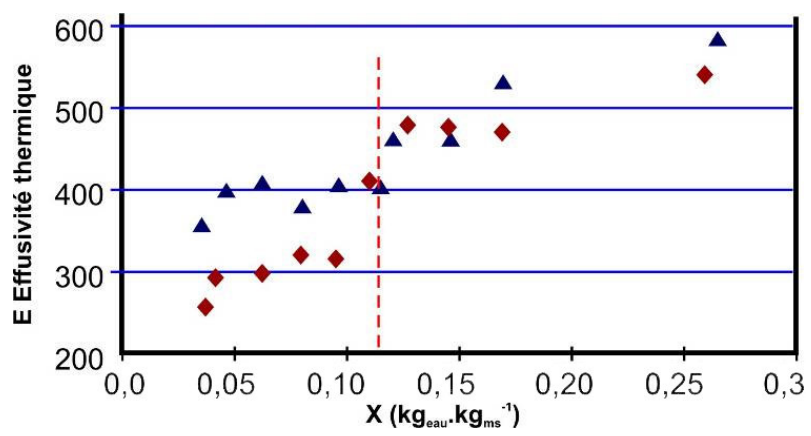


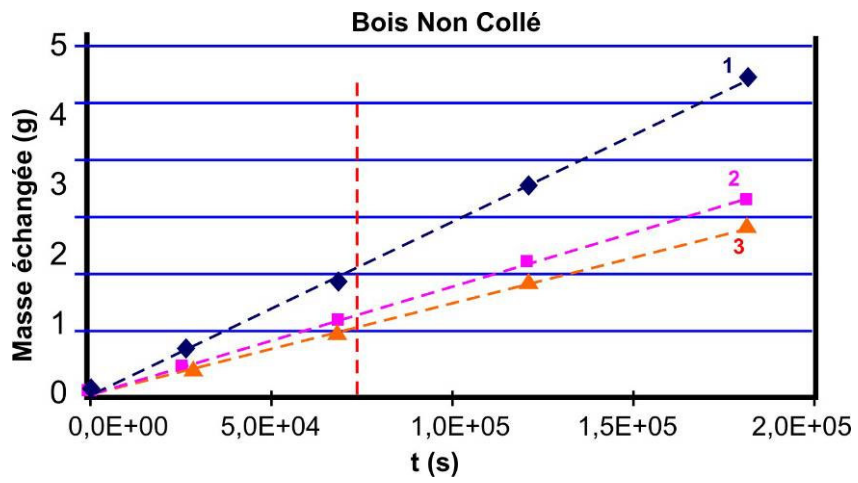
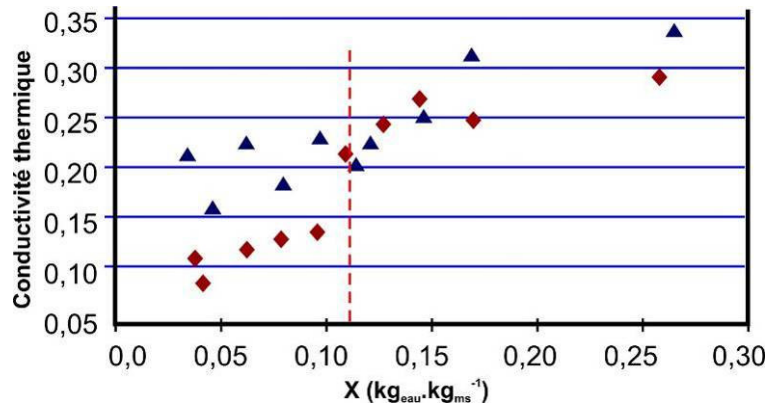




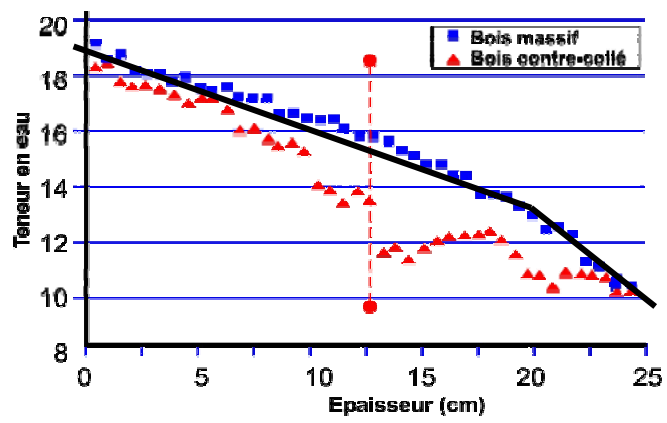




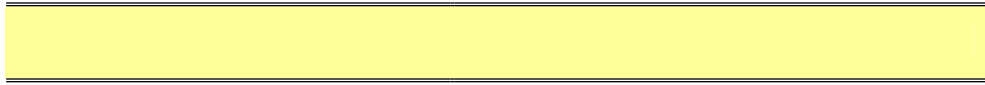


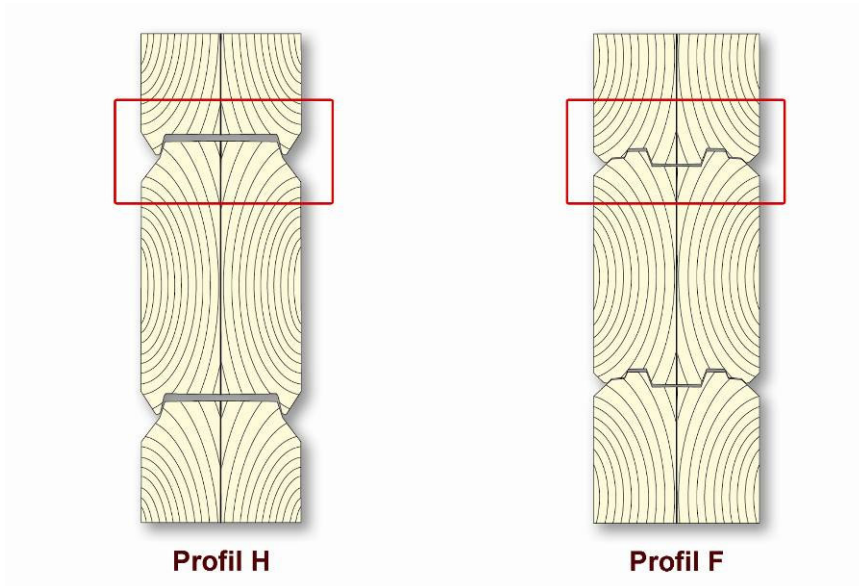


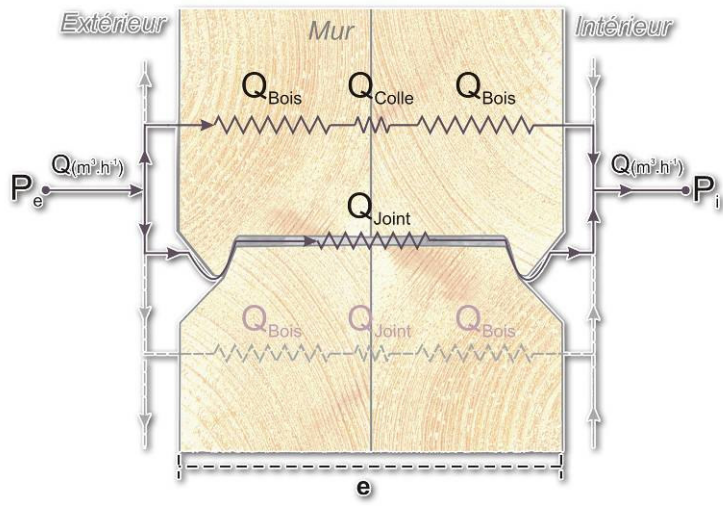


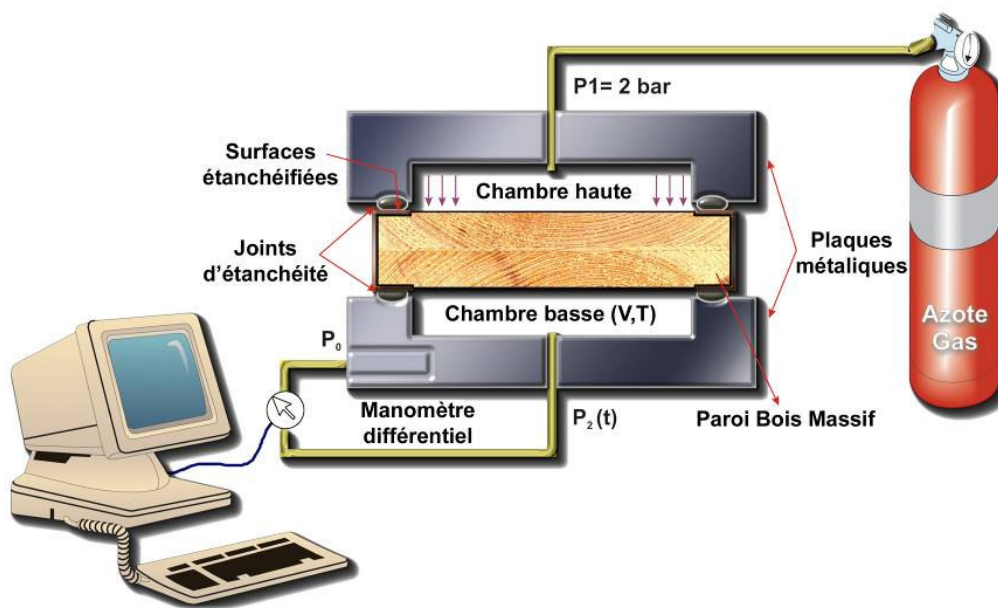














—

—

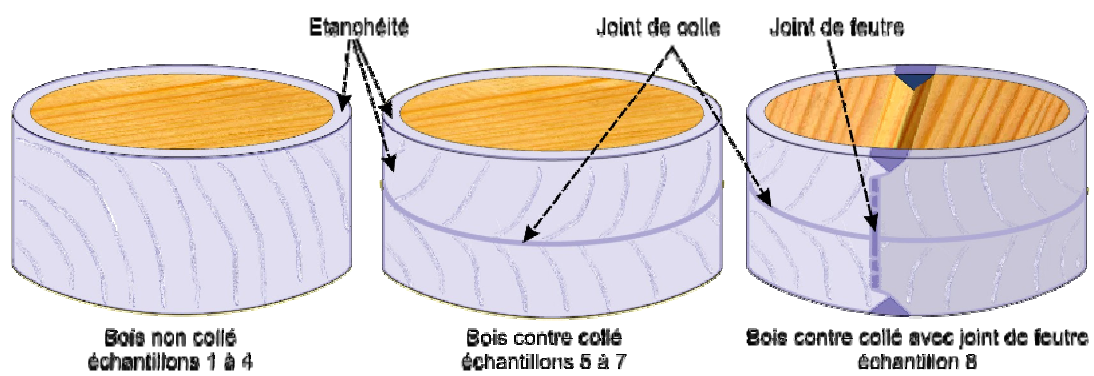
— — — —

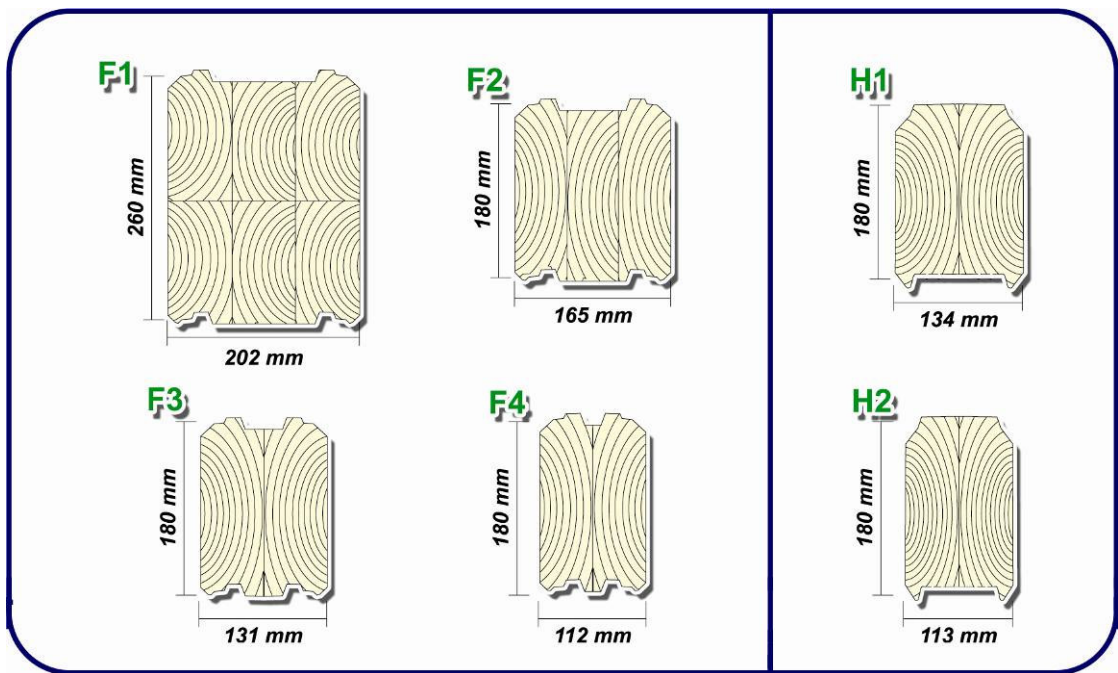
— — — — — — — —

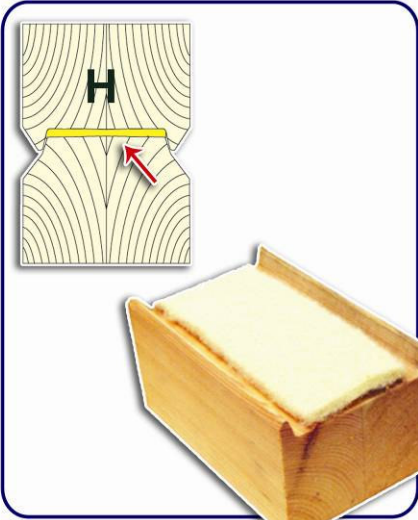
— — — — — — — —

— —





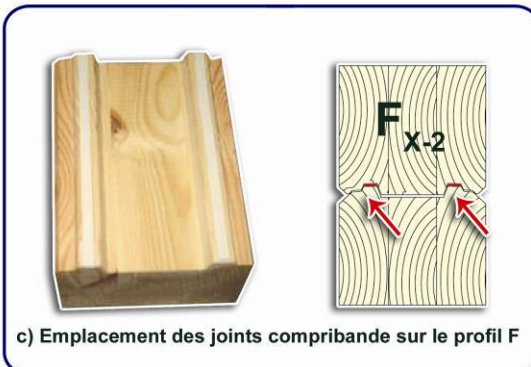




a) Emplacement de feutre isopropylène sur le profil H.

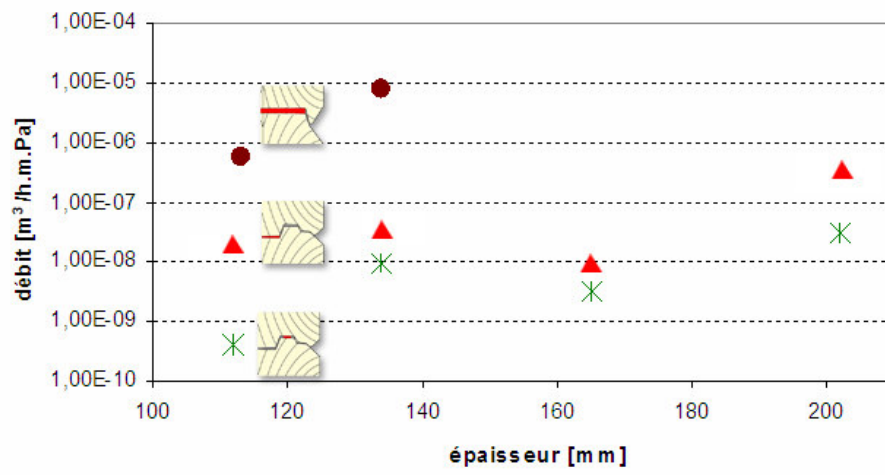


b) Emplacement de joint cellulose sur le profil F



c) Emplacement des joints compribande sur le profil F







							*
	*	*					△
		△		*			
				△			
	△						

*
△







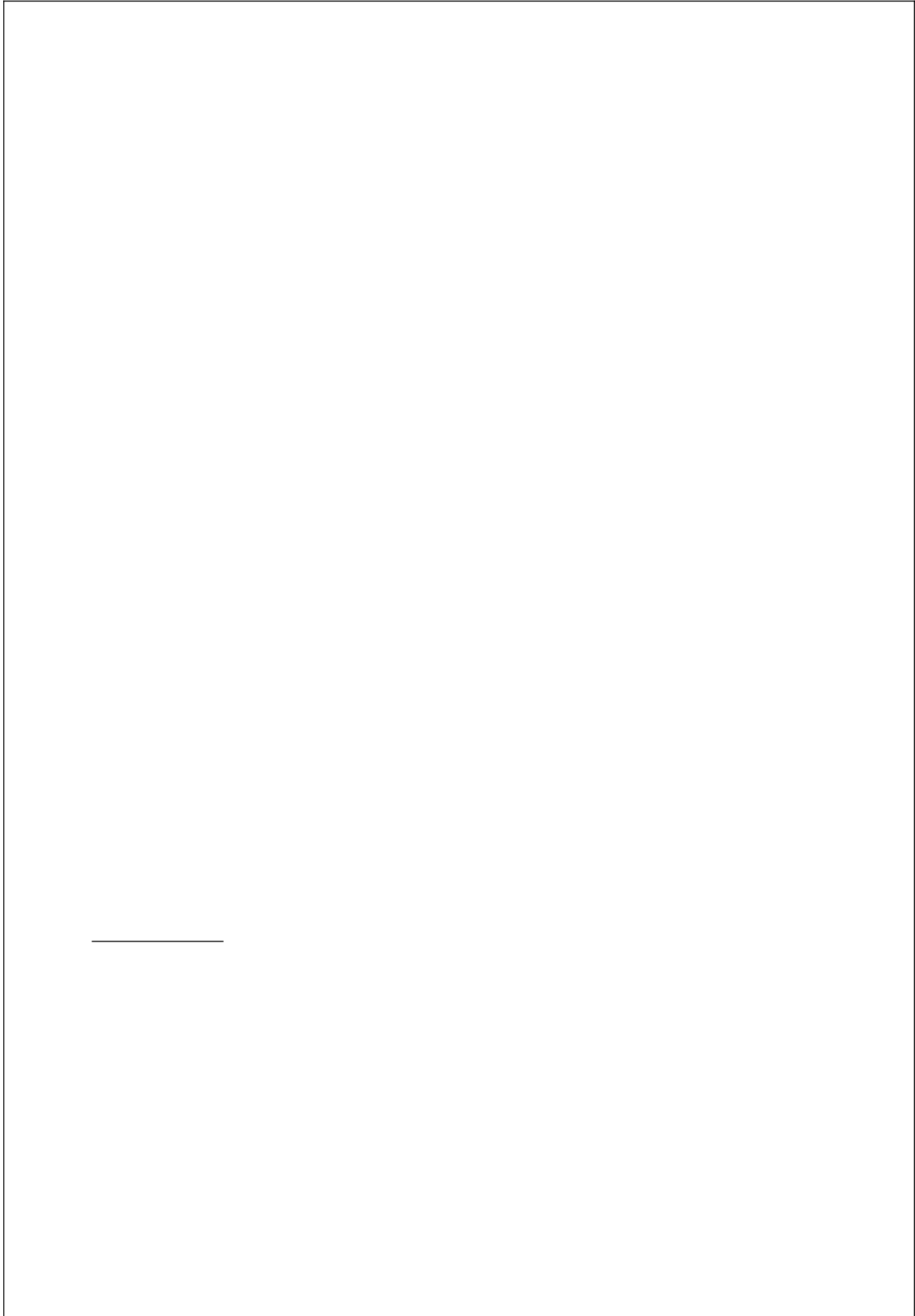
Transport couplé de masse et de chaleur dans des parois en bois massif

Modèles de transfert et caractérisation « in situ »

1. Introduction	129
2. Matériels et méthode	130
2.1. Description de la paroi	130
2.2. Evolution « in situ » de l'état thermo - hydrique de la paroi	130
3. Évolution thermo hydrique au sein de la paroi	133
3.1. Modèle détaillé de transferts couplés de masse et de chaleur au sein de la paroi	133
3.1.1. Mécanismes et lois phénoménologiques de transfert	133
3.1.2. Equations de conservation	134
3.1.3. Paramètres et coefficients de transfert	136
3.1.4. Ecriture du modèle de transferts	138
3.2. Validation expérimentale du modèle des transferts	140
3.2.1. Simulation de référence n°1	141
3.2.2. Simulation de référence n°2	143
3.2.3. Un regard critique sur la qualité des mesures d'humidité	144
3.3. Modèles de transfert « dégradés » à précision semblable à celle du modèle complet ...	146
3.3.1. Découplage partiel des transferts de chaleur et d'humidité	147
3.3.2. Comparaison du MDF au modèle de référence	147
3.4. Modèle de simulation du comportement hygrothermique réel	149
3.4.1. Représentation en modélisation 2D	153
3.4.2. Effet observé en régime permanent, du joint de colle interne aux madriers	154
3.4.3. Effet de la régulation hydrique de la paroi BM	154
4. Conclusion	156

①

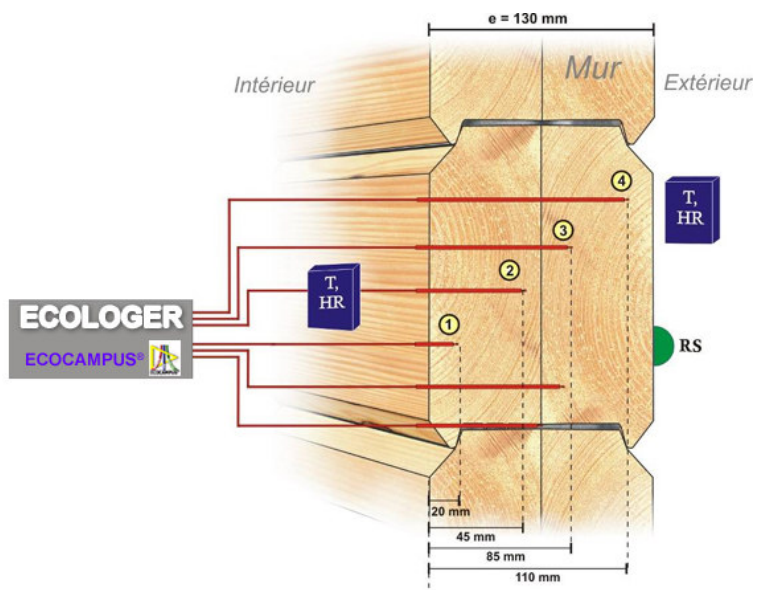
20 mm

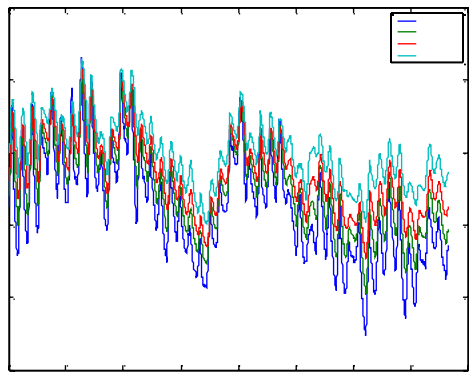
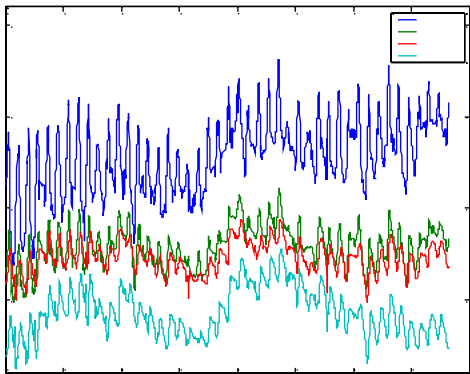
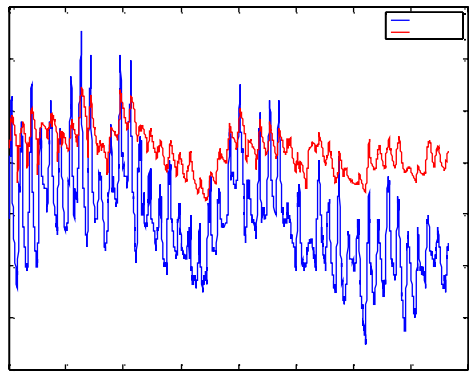
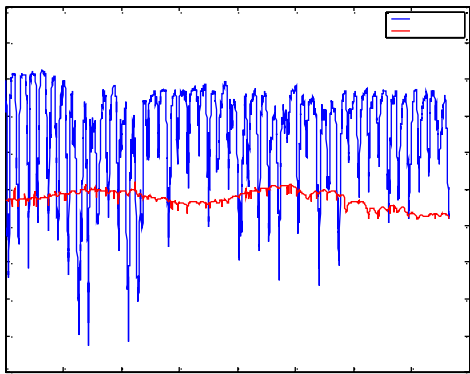


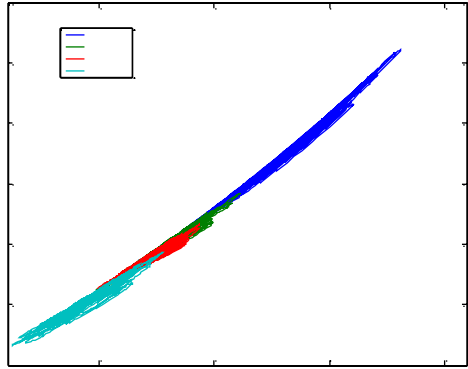
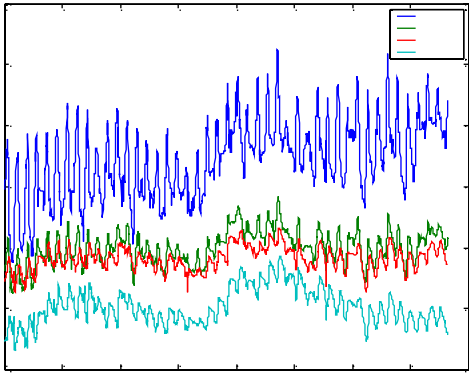
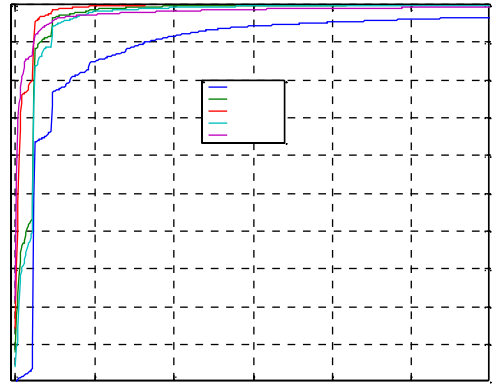
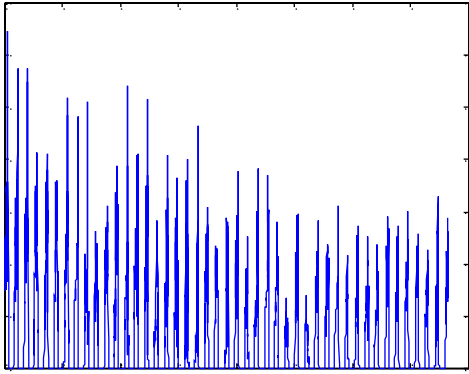
—

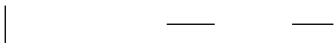
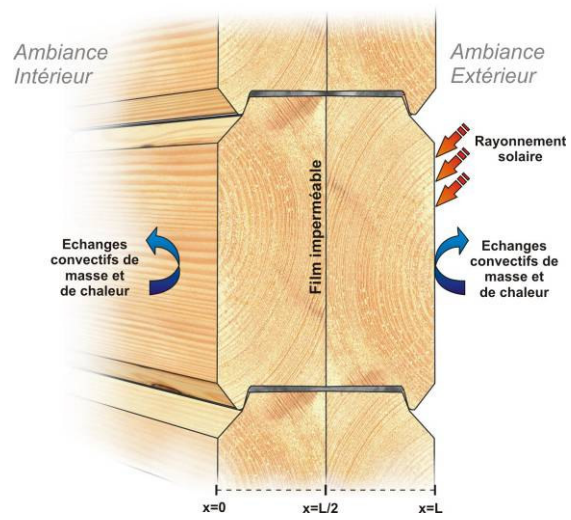














| — —

| — —

— —
— —

— — —





_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____



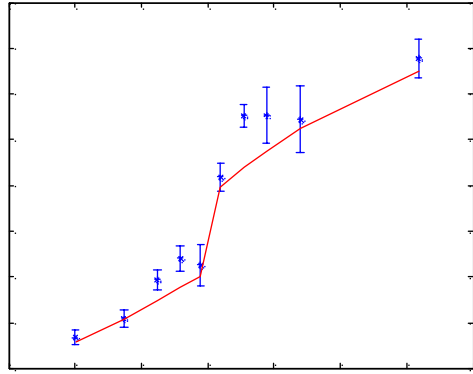
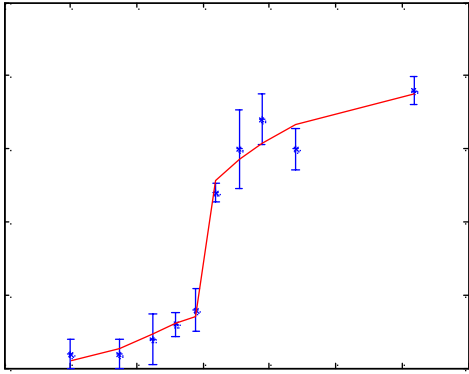


$\sqrt{\quad}$	





$\sqrt{\quad}$



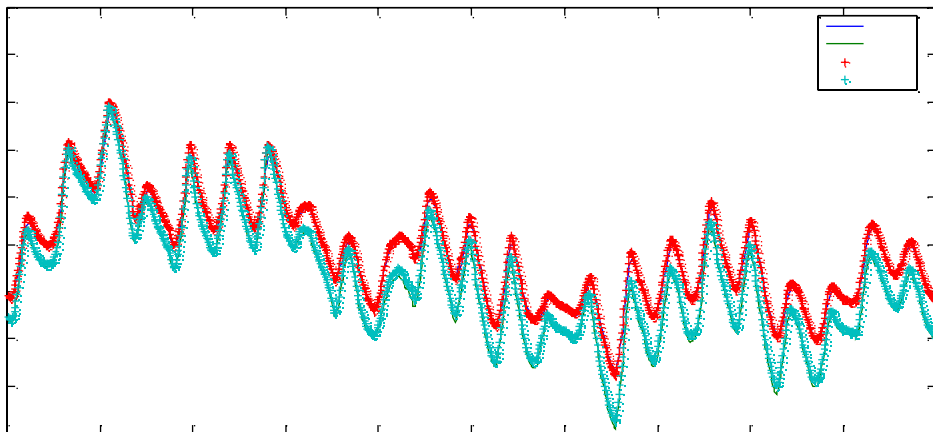
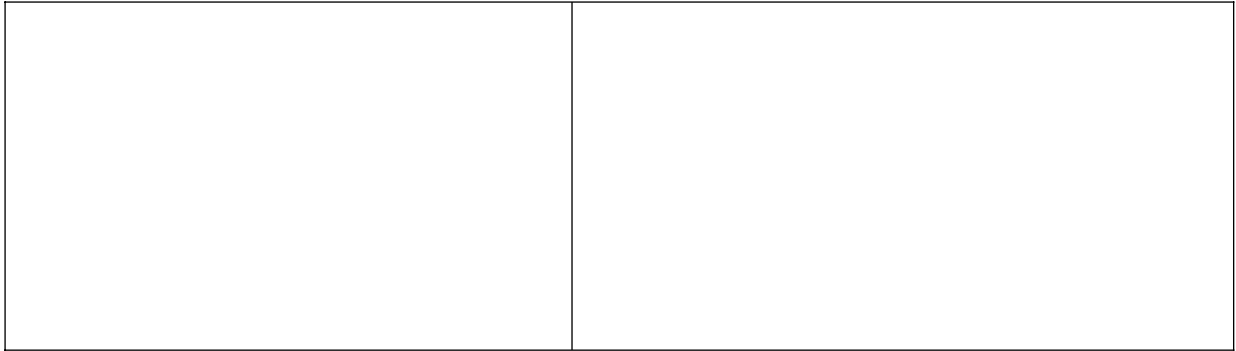
— — — — —

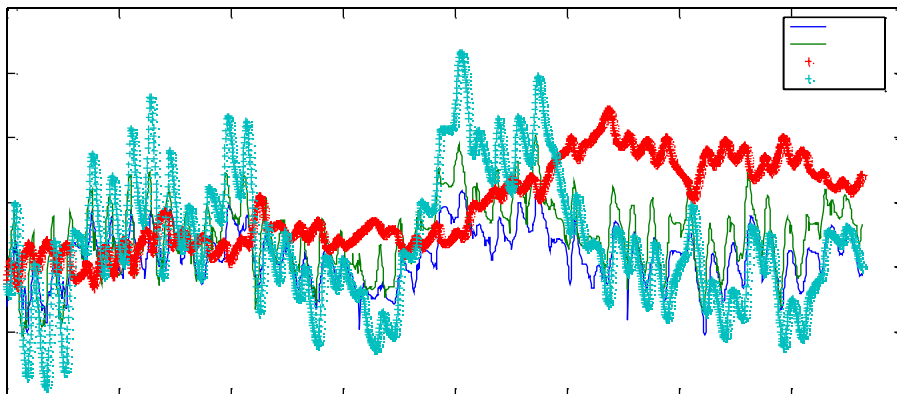
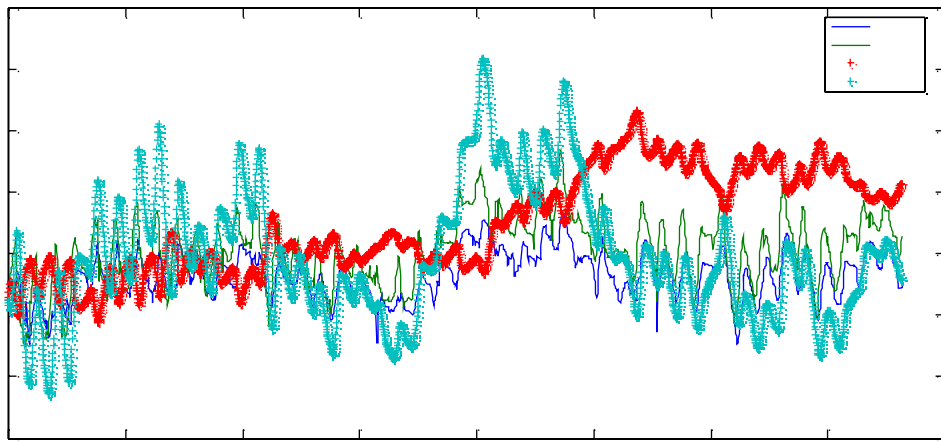


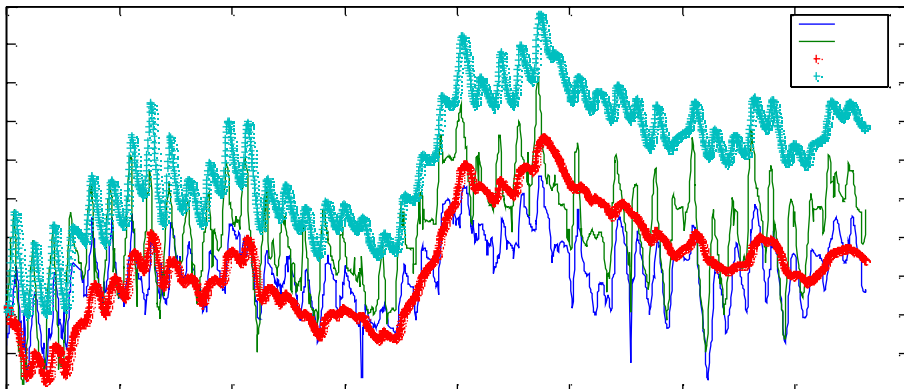
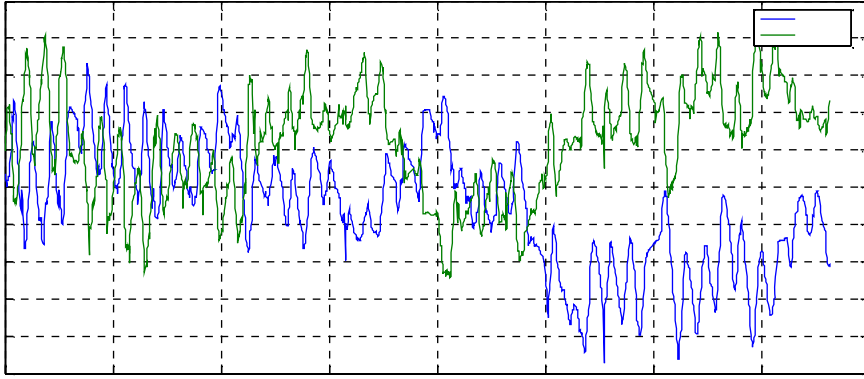


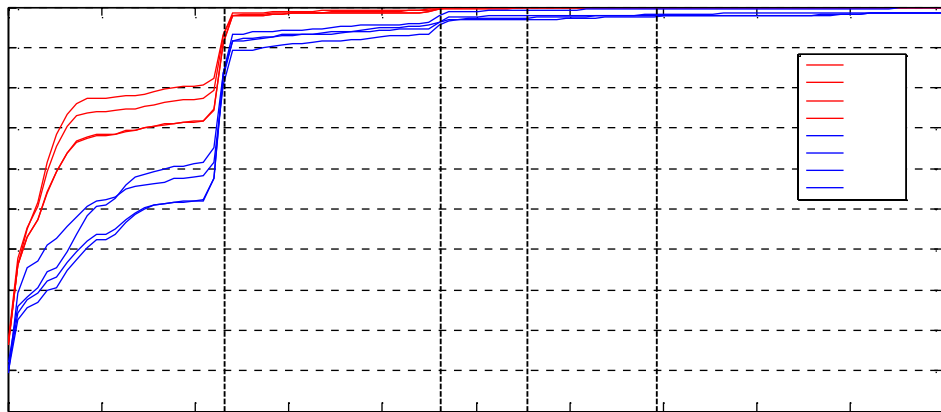
--	--













—

—

—

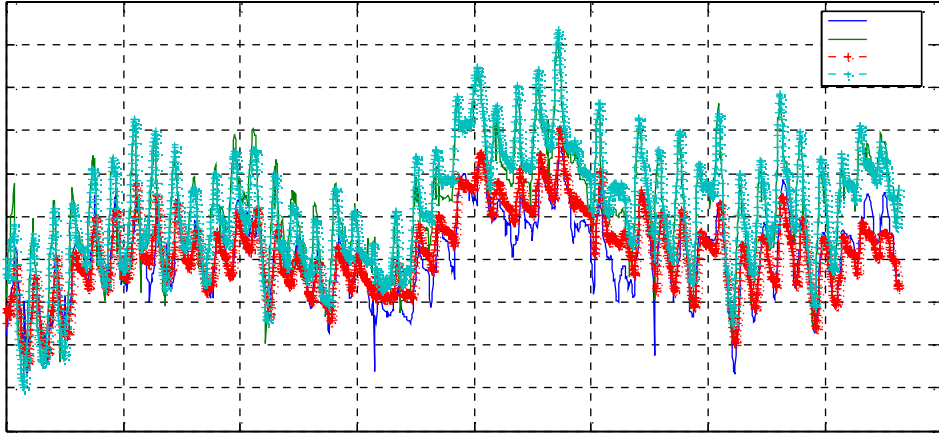
—

—

—

—





— — — — —
— — — — —





— |

— |

— |

—

—

—

—

—

—

—

—

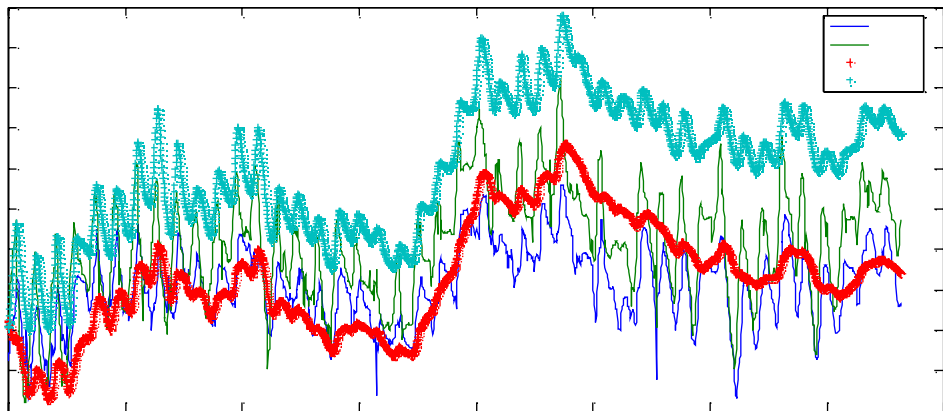
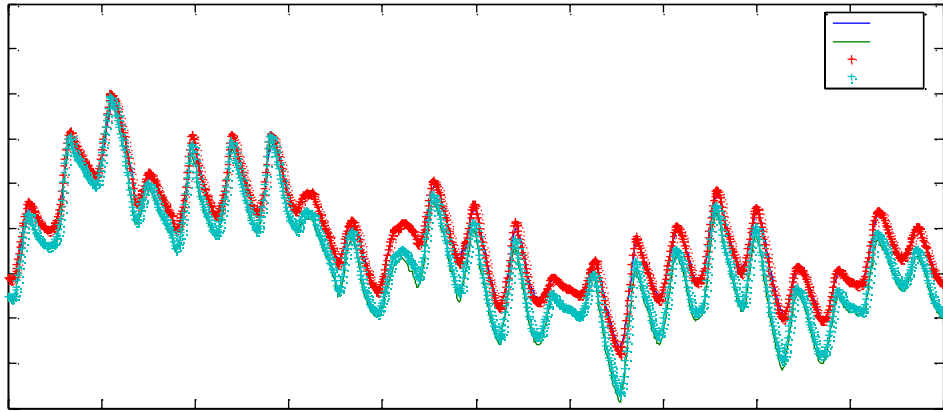
—

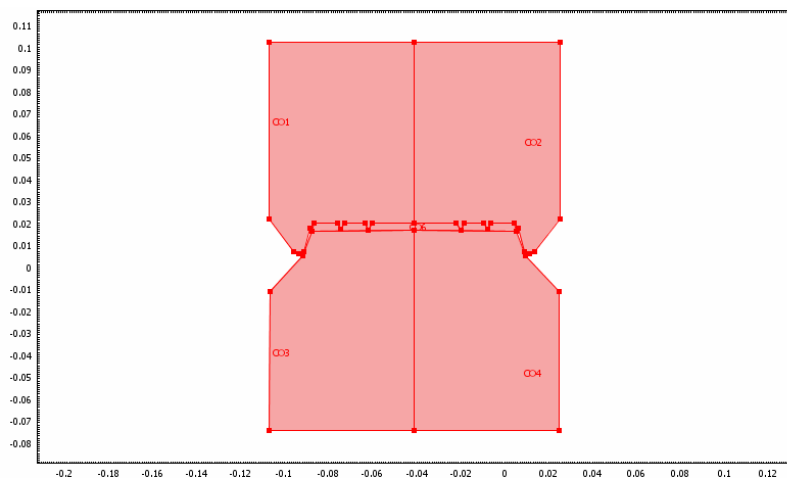
—

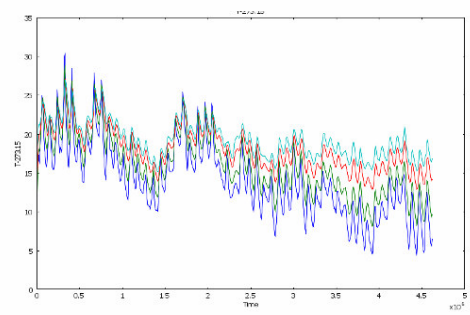
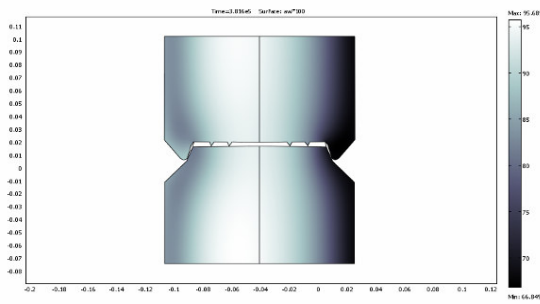
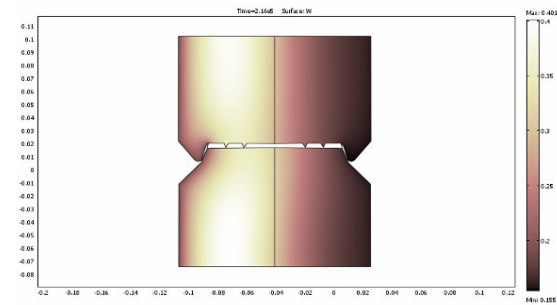
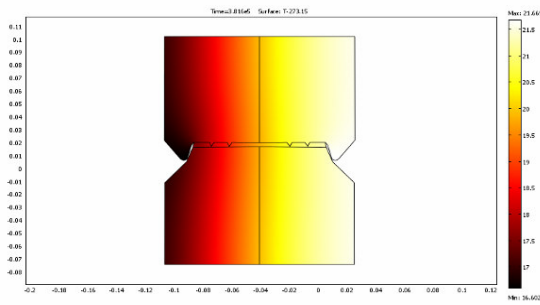
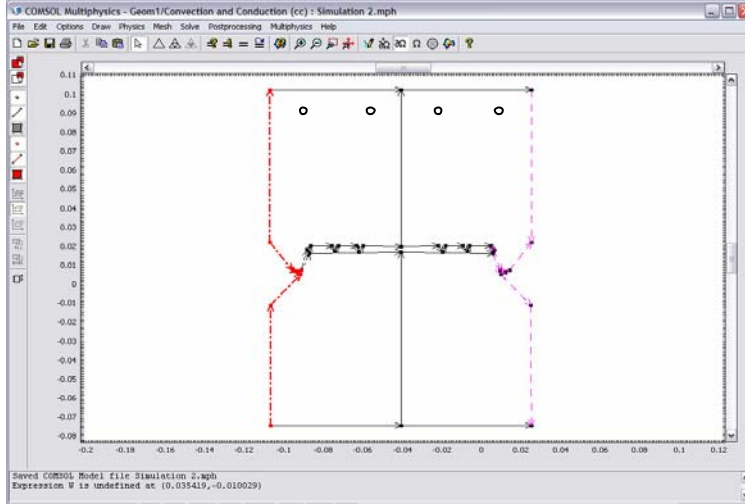
—

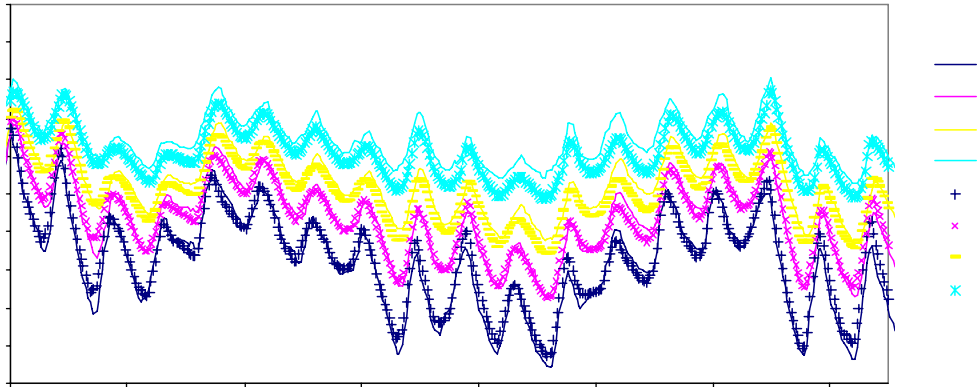
—

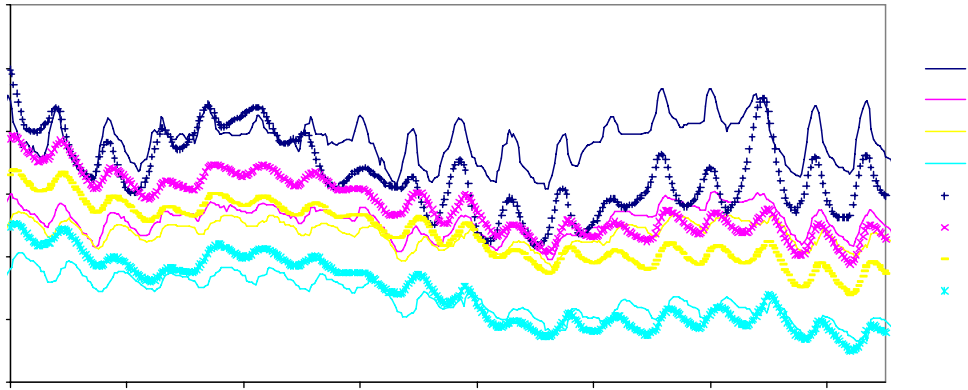


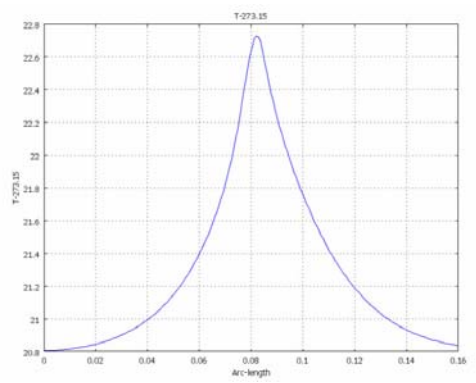
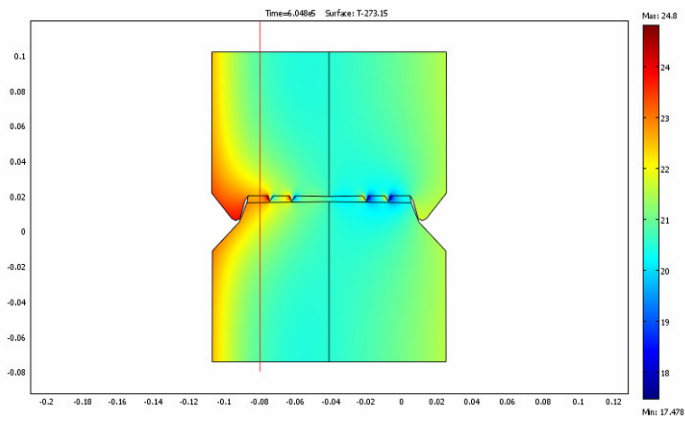
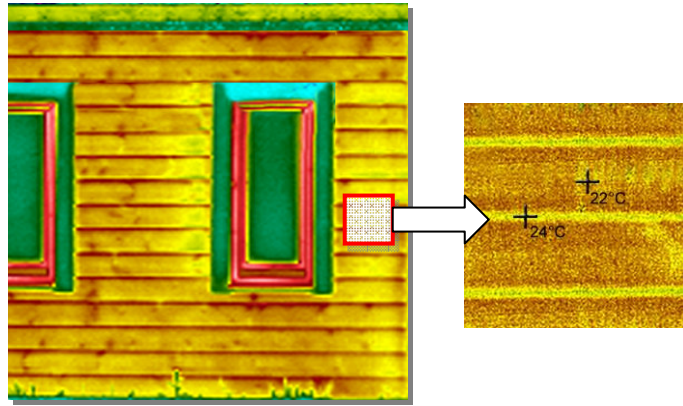


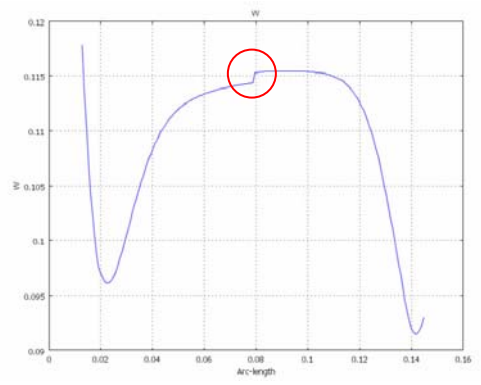
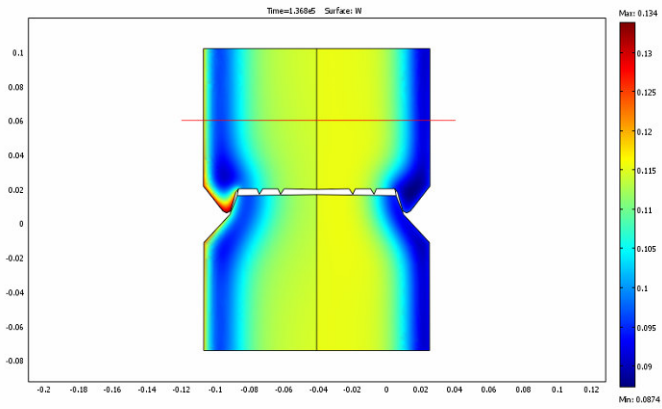


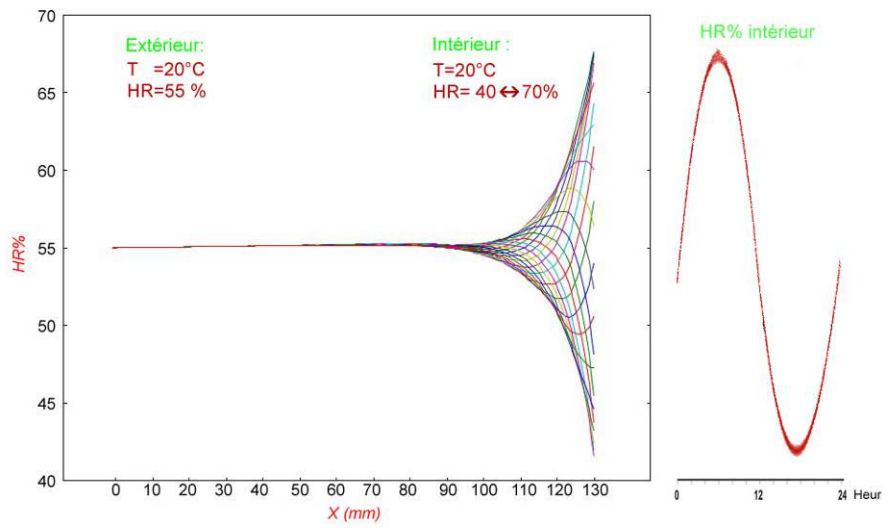




















Conclusions et perspectives







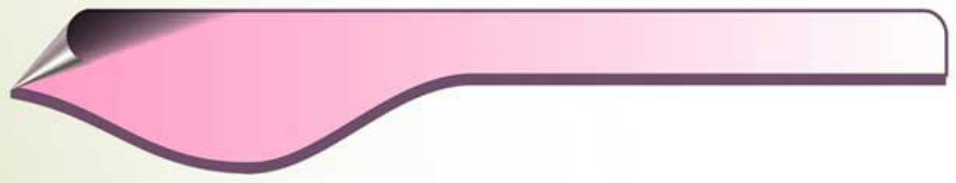












Références







19. Billand F, 2002 : Une maison en bois pour bien être et bien vivre, CNDB, Construire en bois, c'est construire humain. P 5.
20. Billand F., 2006 : Maisons en bois - Douceur de vivre, 1ère édition. Hoëbeke ISBN : 2-84230-257-5, EAN13 : 9782842302573, 222 pages
21. Bizot H, Riou N, Multon J.L., 1987: Guide pratique pour la Détermination des Isothermes de Sorption et de l'Activité de l'Eau. Sciences des Aliments, numéro hors série, 1987.
22. Brager, G. S., Fountain, M. E., Benton, C. C., Arens, E. A., & Bauman, F. S., 1994: A comparison of methods for assessing thermal sensation and acceptability in the field. In N. A. Oseland & M. A. Humphreys (Eds.), Thermal Comfort: Past, Present and Future (pp. 17-39). Garston, UK: Building Research Establishment.
23. Brager, G.S. and Gear R. 2000: "A Standard for Natural Ventilation" ASHRAE Journal, October 2000.
24. Brill, M., Margulis, S. T., Konar, E., & BOSTI. 1984: Using Office Design to Increase Productivity (Vol. 1). Buffalo, NY: Workplace Design and Productivity, Inc.
25. Buchanan C. R., Sherman M. H. 2000: A Mathematical Model for Infiltration Heat Recovery, Energy Performance of Buildings Group, University of California. 49 Pages.
26. Bugge G., 1983: Stave Churches in Norway. Dreyers Forlag A/S, 1983. ISBN 82-09-01929-5. NA
27. Burch D.M., Remmert W.E., Krintz D.F., and Barnes C.S. 1982: A Field Study of the Effect on Wall Mass on the Heating and Cooling Loads of Residential Buildings. National Bureau of Standards, Washington, D.C. 1982,
28. Certu, 2003 : Le confort thermique « Mémento technique du bâtiment pour le chargé d'opération de constructions publiques », Ministère de l'équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer. Juillet 2003.
29. Charles, K.E. 2003: Fanger's Thermal Comfort and Draught Models, IRC-RR-162, National research council Canada, October 10, 2003
30. Cheong K. W. D., Lau, H.Y.T. 2003: Development and application of an indoor air quality audit to an air-conditioned tertiary institutional building in the tropics. Building and environment 38 (2003) 605 – 616.
31. Choong E. T., 1965: Diffusion coefficients of softwood by steady state and theoretical methods. Forest Products Journal, 15 (1), 21-27, 1965.
32. Desmorieux H., Moyne C., 1992: Analysis of dryer's performance for tropical foodstuffs using the characteristic drying curve concept. In drying. Elsevier Amsterdam. 834 – 843, 1992.
33. Devel C., 2003 : Introduction des systèmes d'information dans l'amélioration de performance énergétique des bâtiments tertiaires. Thèse de doctorat UNIVERSITE BORDEAUX 1, 2003
34. Douglas, M. Burch, A. 1995: Computer Analysis of Wall Constructions in the Moisture Control Handbook, Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899. NISTIR 5627, Mars, 1995
35. Edminster A., Yassa S., 1998: Efficient Wood Use in Residential Construction; A Practical Guide to Saving Wood, Money, and Forests. Natural Resources Defence Council ; 1998
36. EN 13829. 2001: Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments. Méthode de pressurisation par ventilateur. Performance thermique des bâtiments. Février 2001.

37. Erdmann CA., Steiner KC., and Apte MG., 2001: Indoor carbon dioxide concentrations and sick building syndrome symptoms in the base study revisited: analyses of the 100 building dataset; Indoor Environment Dept., Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA. 2001.
38. Ferrasse J. H., Lecomte D., 2004: Simultaneous heat-flow differential calorimetry and thermogravimetry for fast determination of sorption isotherms and heat of sorption in environmental or food engineering. *Chemical Engineering Science* 59 (2004) 1365 – 1376
39. Gobbé C., Iserna S., Ladevie B. 2004: Hot strip method: application to thermal characterisation of orthotropic media. *International Journal of Thermal Sciences* 43 (2004) 951–958
40. Grimsrud D.T. Sherman M.H. Diamond R.C. 1993: Infiltration – pressurization correlations: detailed measurements on a California house. *BIBINF ASHRAE trans. vol.85 no.1. p.851-865,1993.*
41. Grimsrud D.T. Sherman M.H. Janssen J.E. Pearman A.N. Harrje D.T. 1980 : An intercomparison of tracer gases used for air infiltration measurements. *BIBINF Lawrence Berkeley Laboratory. University of California paper LBL- 8394. ASHRAE trans, 1980. vol. 86 no 1.*
42. Grønli M. 1996: A theoretical and experimental study of the thermal degradation of biomass. ISBN 82-471-0009-6, Academic Dissertation, The Norwegian University of Science and Technology, 1996.
43. Guillot, K. Litvak, A. 2000 : étanchéité à l'air des constructions campagne de mesures de perméabilité à l'air et de ventilation de 70 logements. Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de Lyon, Rapport n° 00.173 Septembre 2000.
44. Gustavsson, T., Bornehag, C.-G., Samuelsson, I. 2004: Temperature, Relative Humidity and Air Exchange Rate in 390 Dwellings, CIB W40 meeting in Glasgow 31st August–3rd September, 2004.
45. Hameury S., 2005: Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study, *Building and Environment*, Volume 40, Issue 10, pp. 1400-1412, 2005.
46. Harris L. & Associates, Inc. 1980: The Steelcase National Study of Office Environments, No. II: Comfort and Productivity in the Office of the 80's. Grand Rapids, MI: Steelcase.
47. Heidt F D, Werner H, 1986: Microcomputer-aided measurement of air change rates. *BIBINF Energy Bldgs, Vol 9, 1986, p313-320.*
48. Henrik T., Bo L., 2002: Thermal conductivity of wood-models for different stages of combustion. *Biomass and Bioenergy* 23 (2002) 47 – 54.
49. Hens, H. 1992: Package of Climatological Data measured in Belgian Buildings, Internal Report T2–B–92/01, International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Program, Annex 24 Heat, Air and Moisture Transfer in Insulated Envelope Parts (HAMTIE).
50. Hernandez Jean-Michel. 1991 : Séchage du chêne, caractérisation, procédés convectif et sous vide. Thèse à l'université Bordeaux 1; 1991.
51. Holmes O. W., 2006: Historic St. Augustine, The Weekly Newsletter of the English Language Institute Volume 99, Issue 12 April 7, 2006
52. International Standards Organization (ISO). 1994: Moderate Thermal Environments: Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort (ISO 7730). Geneva, Switzerland: ISO.

53. Jannot Y, Lasseux D, 2004 : Etude d'un perméamètre pour plaques de faibles perméabilité, rapport d'étude de contrat TREFLE / EDF. 2004
54. Jannot Y. and Meukam P., 2004: Simplified estimation method for the determination of the thermal effusivity and thermal conductivity using a low cost hot strip. *Measurement Sciences and Technology* 15 (2004) 1932-1938, 2004.
55. Jenssen, J.A., Geving, S. and Johnsen, R. 2002: Assessments on Indoor air Humidity in Four Different Types of Dwelling Randomly Selected in Trondheim, Norway. In: *Proceedings of the 6th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Trondheim, Norway, 17th– 19th June, 2002*, pp. 729–735.
56. Kalamees, T. Vinha J. 2003: Hygrothermal calculations and laboratory tests on timber-framed wall structures. *Building and Environment* 38 (2003) 689 – 697
57. Kalamees, T. Vinha J. 2006: Indoor Humidity Loads and Moisture Production in Lightweight Timber-frame Detached Houses, *Journal of BUILDING PHYSICS*, Vol. 29, No. 3 January 2006
58. Kent, A.D., Handegord, G.O. and Robson, D.R. 1966: A Study of Humidity Variations in Canadian Houses, *Transactions from the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, 72, Part II, NRC 9648.
59. Künzeli, H. M., Holm, A. Zirkelbach, D. et Karagiozis, A. N. 2005: Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal interactions with the building envelope. *Solar Energy* 78 (2005) 554 – 561
60. Lee S. C., Chang M., and Chan K.Y., 1999: Indoor and outdoor air quality investigation at six residential buildings in Hong Kong. *Environment International*, Vol. 25, No. 4, pp. 489-496. 1999.
61. Litvak, A. 2000 : Etanchéité à l'air des constructions. Etat de l'art et recensement des pratiques. Rapport CETE DVT noOO.41. Avril 2000.
62. Luikov AV. 1966: Heat and mass transfer in capillary-porous bodies. Pergamon Press; 1966.
63. MacLean JD. 1941: Thermal conductivity of wood. *Transactions American Society of Heating and Ventilating Engineers*. 1941;47:323–54.
64. Malsot, J., Deroubaix G., Paquet Ph., Raji S., Prieur A., Lochu S., 2005: Extension de l'éligibilité de la séquestration forestière du carbone à l'ensemble des stocks de la filière bois. VIIIème Colloque ARBORA, Carbone, Forêt, Bois. ISTAB 2005
65. Mandallena, C., 2006 : Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaire en exploitation, Thèse Université Bordeaux 1, Juillet 2006
66. Mejri O., Palomo E., 2005: Développement d'une méthode de diagnostic des bâtiments en phase d'exploitation. Rapport Master énergétique, U. bordeaux1. 2005
67. Miguez J.L., Porteiro J., Lopez-Gonzalez L.M., Vicuna, J.E., Murillo S., Moran J.C., Granada E. 2006 : Review of the energy rating of dwellings in the European Union as a mechanism for sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 10 (2006) 24–45
68. NAHB, 1991: EVALUATION OF LOG HOMES' HEATING ENERGY PERFORMANCE IN NORTHERN CLIMATES, NAHB Research Center 400 Prince George's Boulevard Upper Marlboro, MD 20772-8731. Project No.: 2132

69. Nepveu, G ; 1994 : Le bois matériau d'ingénierie ; textes rassemblés par Philippe Jodin. Association pour la recherche sur le bois en lorraine ; A.R.BO.LOR. Nancy 1994.
70. Oliva J-P., Bosse-Platière A., Aubert C. 2002 : Maison écologiques d'aujourd'hui, Terre vivante, l'écologie pratique, ISBN : 2-904082-99-9. France 2002
71. Pauly M., Baeten F., Lagièrre P., Artistigui C. 2005: Etude expérimentale du comportement thermique de maison en bois massif et définition d'outils de conception. TREFLE, Septembre, 2005.
72. Pénicaud, H et GECOB conseil Environnement, 2004 : Bois construction, Guide d'orientation environnementale, ARENE Ile-de-France (Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies). Mars 2004
73. Pérré P., 1987: Measurement of softwoods' permeability to air : importance upon the drying model, International Communications in Heat and Mass Transfer, vol.14, n°5, pp. 519-529, 1987.
74. Petersen A.K., Solberg B., 2002: Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Environmental Science & Policy 5 (2002) 169–182
75. Philip JR, De Vries DA. 1957: Moisture movement in porous materials under temperature gradients. Transactions, American Geophysical Union 1957; 38(2):222–32.
76. Picandet, V., 2001 : Influence d'un endommagement mécanique sur la perméabilité et sur la diffusivité hydrique des bétons. Thèse de doctorat. École doctorale de Mécanique, Thermique, et Génie civil de Nantes, 2001.
77. Pickett, R. 2003: The energy performance of log homes. Documented energy-efficiency and thermal mass benefits; Technical Committee of the Log Homes Council, Building Systems Councils; National Association of Home Builders© . 2003
78. Prieur A., 2004 : Les ressources forestières : produits du bois, usages énergétiques, capture et stockage du carbone. Thèse de doctorat, laboratoire TREFLE. Université Bordeaux 1. 2004
79. Raji S., Jannot Y., Lagièrre P., Puiggali JR. 2006: Multiscale thermophysical characterization of a laminated solid-wood wall. Article in press, Building and Environment, 2006
80. Raji S., Lagièrre P., Puiggali JR. 2006 : Rapport d'étude expérimentale sur 10 maisons du réseau AFCOBOIS (financement Fédération Française du Bâtiment, TREFLE 2005/2006)
81. Raji S., Lagièrre P., Puiggali JR., 2004 : Rapport Pôle Environnement Aquitain, juin TREFLE 2004
82. Raji. S., 2003 : Méthodologie de l'évaluation et de l'éligibilité des stocks de carbone en aval de la forêt, Le stock de carbone dans un scénario de référence 2010 pour les filières : papier-carton, bois d'emballage et bois d'ameublement, mémoire de stage de DEA Science du bois. Université Bordeaux 1. 2003
83. Ribéron J., O'Kelly P., Maupetit F. and Robine E., 2002: Indoor air quality in schools: the impact of ventilation conditions and indoor activities. Sustainable Development Dept., Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, France. Indoor Air 2002.
84. Rose, W.B. and Francisco, P.W. 2004: Field Evaluation of the Moisture Balance Technique to Characterize Indoor Wetness, In: Proceeding of Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings IX Conference, Florida.
85. Schiller, G. E., 1990: A comparison of measured and predicted comfort in office buildings. ASHRAE Transactions, 96(1), 609-622.

- 86.Schwach, P., 2000 : La réglementation thermique 2000 ; CSTB Magazine 132 novembre - décembre 2000 P 4-6
- 87.Shampine L. F., Reichelt M. W., and Kierzenka J. A., 1999: "Solving Index-1 DAEs in MATLAB and Simulink", *SIAM Review*, 41-3, 1999.
- 88.Shaw C.Y. 1997 : Une qualité de l'air acceptable dans les immeubles de bureaux, c'est possible grâce à la ventilation. Institut de recherche en construction, Solution constructive no 3. Conseil national de recherches du Canada. ISSN 1206-1239. Janvier 1997.
- 89.Skaar, C. 1972: *Water in wood*. Syracuse University Press. New York. p. 218.
- 90.Steven J. Emmerich, Andrew K. Persily, W. Stuart Dols, James W. Axley, 2003: *Impact of Natural Ventilation Strategies and Design Issues for California Applications, Including Input to ASHRAE Standard 62 and California Title 24*, Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7062 , October 2003
- 91.Talla A. 2003 : séchage de fruits tropicaux par l'air chaud et étude du coût énergétique dans un séchoir électrique prototype ; thèse présentée à l'université de Yaoundé 1, l'école nationale supérieure polytechnique pour obtenir le grade de PHD génie énergétique. 2003
- 92.Talla A., Jannot Y., Nkeng G., Puiggali J.-R., 2005: "Desorption isotherms of tropical foodstuff. Application to banana, mango and pineapple", *Drying Technology*, vol.23, n° 7, pp. 1477-1498, 2005.
- 93.Talla A., Puiggali J.-R., Jomaa W., Jannot Y., 2003: Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits: application to banana. *Journal of Food Engineering*, 64, 103–109, 2003.
- 94.Thermal comfort. In *ASHRAE Handbook: Fundamentals* (p. 8.1-8.29). Atlanta, GA: ASHRAE.
- 95.Visier J. C., 2000 : Réglementation thermique 2000 ; CSTB Magazine 132 novembre - décembre 2000. P-3
- 96.Whitaker, S. 1977: *Toward a Diffusion Theory of Drying*. *Ind. Eng. Chem., Fundam.*, Vol. 16, No. 4, 1977
- 97.Wong N. H., Huang B., 2004: Comparative study of the indoor air quality of naturally ventilated and air-conditioned bedrooms of residential buildings in Singapore. *Building and Environment* 39 (2004) 1115 – 1123.
- 98.Zarr R. R., Burch D. M. and Fanney A. H., 1995: *Heat and Moisture Transfer in Wood-Based Wall Construction: Measured Versus Predicted*. National Institute of Standards and Technology Building Science Series 173. Natl. Inst. Stand. Technol. Bldg. Sci. Ser. 173,83 pages (Feb. 1995). CODEN: NBSSES
- 99.Zhang X.X., Degiovanni. A., 1993 : Mesure de l'effusivité thermique de matériaux solides et homogènes par une méthode de « sonde » plane. *J. Phys. III France* 3, pp.1243-1265, 1993.
100. Zhao L, Zhang Y, Wang X, Riskowski G L, Christianson L., 1999: Development of PIV techniques to measure airflow patterns in ventilated airspaces. *BIBINF USA, ASHRAE Transactions, Annual Meeting 1999, Seattle*, 9 pp, 11.

Annexes

Annexe 1 : Exemple de dossier MBM-AFCOBOIS	175
Annexe 2 : Exemple de résultats mesures MBM-AFCOBOIS	183
Annexe 3 : Méthode de calcul $U_{\text{bât}}$ et $U_{\text{bât Réf}}$	187
Annexe 4 : RT 2005 : Bases et principes d'application	191
Annexe 5 : Etude sur 2 constructions BM	203
Annexe 6 : Multi gaz moniteur INNOVA® 1314 et échantillonneur / doseur INNOVA®	209
Annexe 7 : Mesure de perméabilité par la méthode de Gaz Traceur	211
Annexe 8 : Mesure de perméabilité par la méthode de «Blowerdoor ou porte soufflante »	213







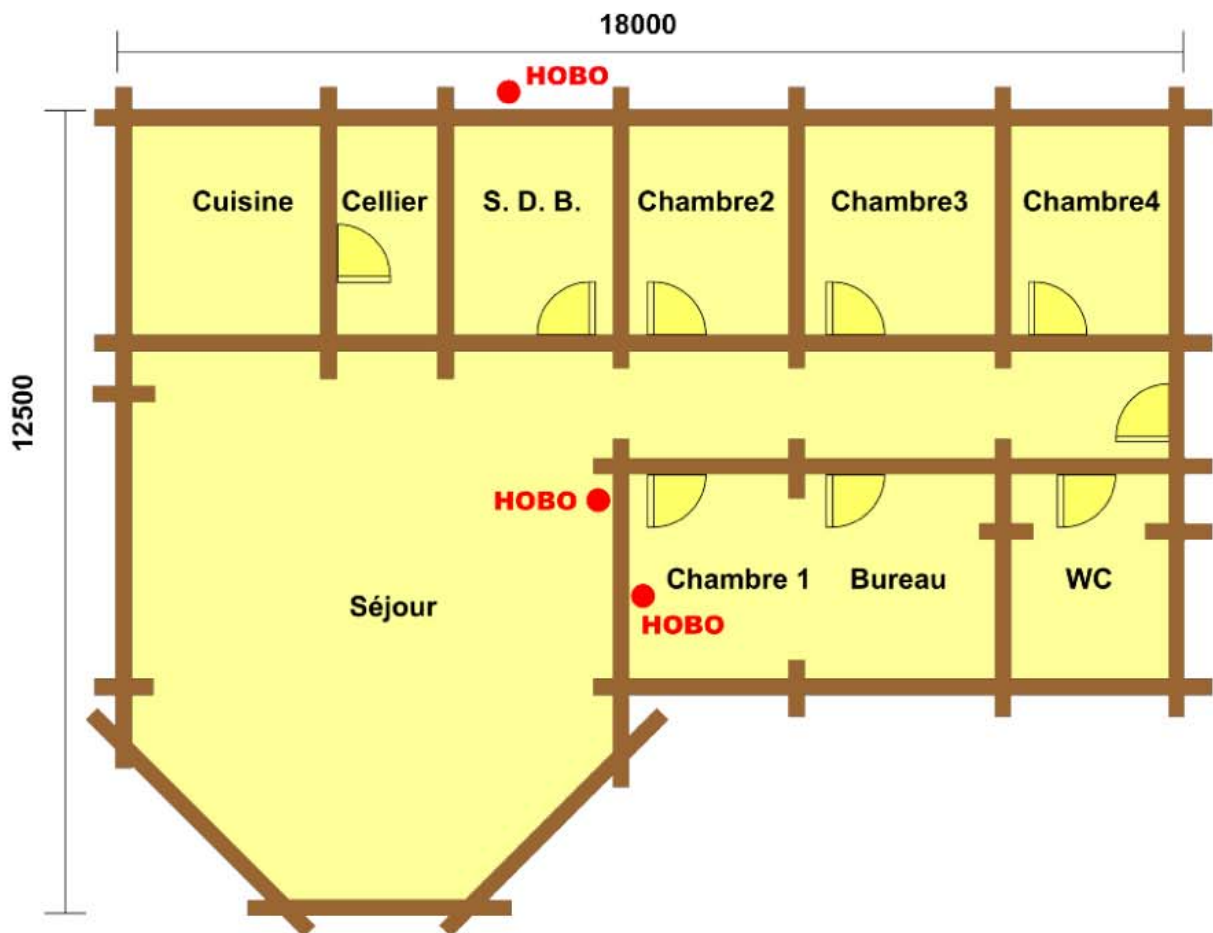
Situation Géographique de la maison



*Rue Grandmont – L'Ecluse
87240 Saint Sylvestre*

Instrumentation

1. Pose de 3 enregistreurs HOBO :
 - a. Température extérieure
 - b. Température intérieure séjour
 - c. Température intérieure chambre
2. Pose de compteur électrique DELTADORE Multiwatt 50 pour enregistrement de la consommation d'électricité de Chauffage (Plancher chauffant).



Enregistreurs HOBO dans la maison






--

--

□

<hr/>

#


#

#

<hr/>
<hr/>

M. GINOUVES

Construit le 01/01/1997

Constructeur

MAISONS EN RONDS
AALAND

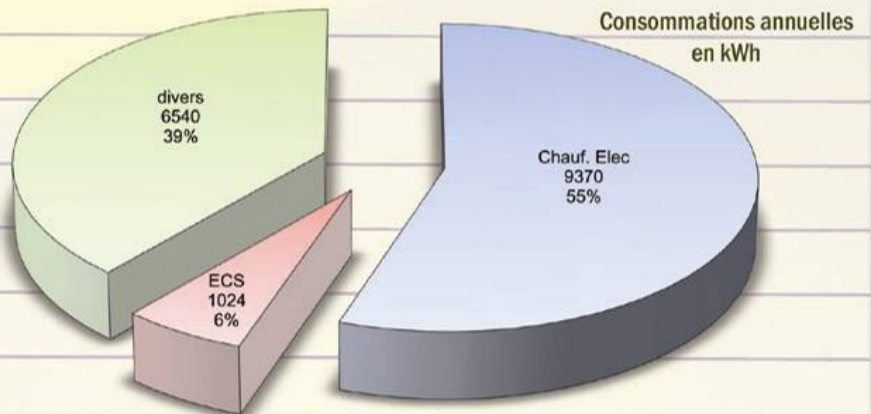


Type de paroi

280 mm
épaisseur paroi



Nombre de personnes

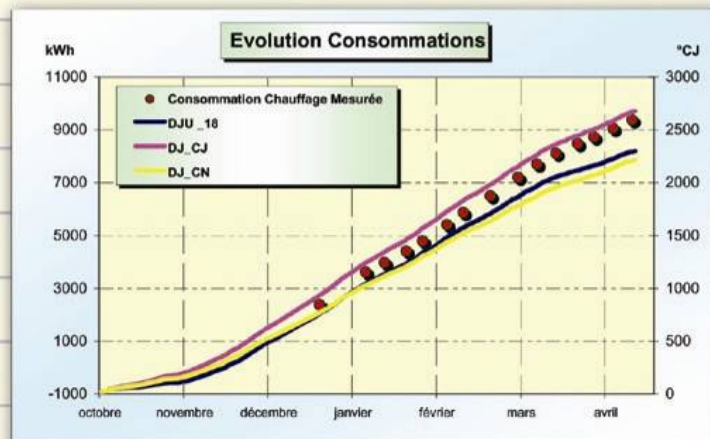


Type de Chauffage

ELEC
Plancher Chauffant
+ Convecteurs

Surface Chauffée

175 m²
RDC



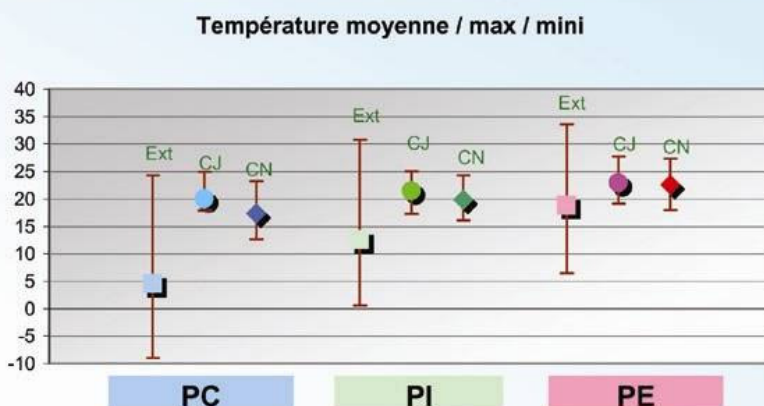
Analyse des températures et HR% mesurées (pas de temps 15 min)

3 périodes de référence:

PC : Période chauffage

PI : Période intermédiaire

PE : Période été

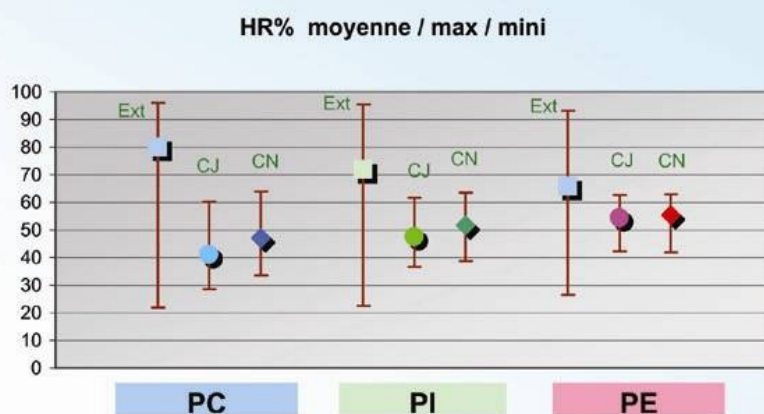


3 zones de mesure:

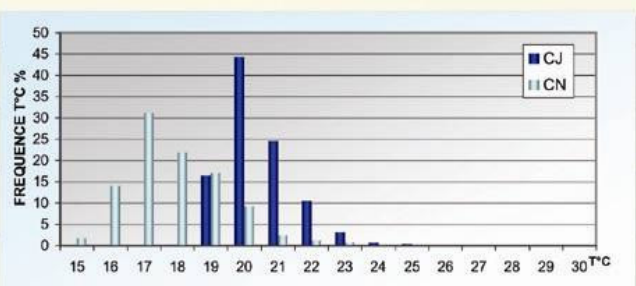
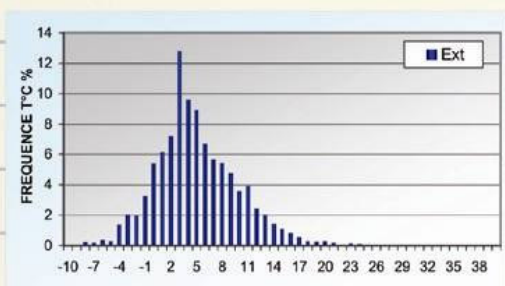
■ Ext: Extérieur sur abri

● CJ: Coin Jour

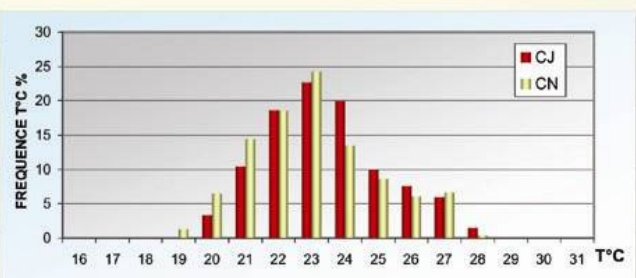
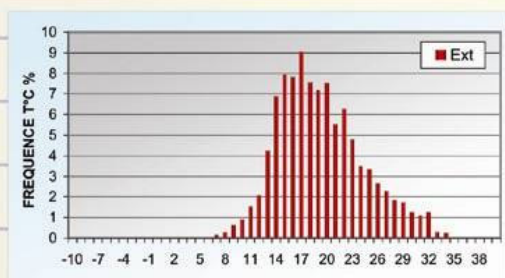
◆ CN: Coin Nuit



Fréquence des températures mesurées en période froide

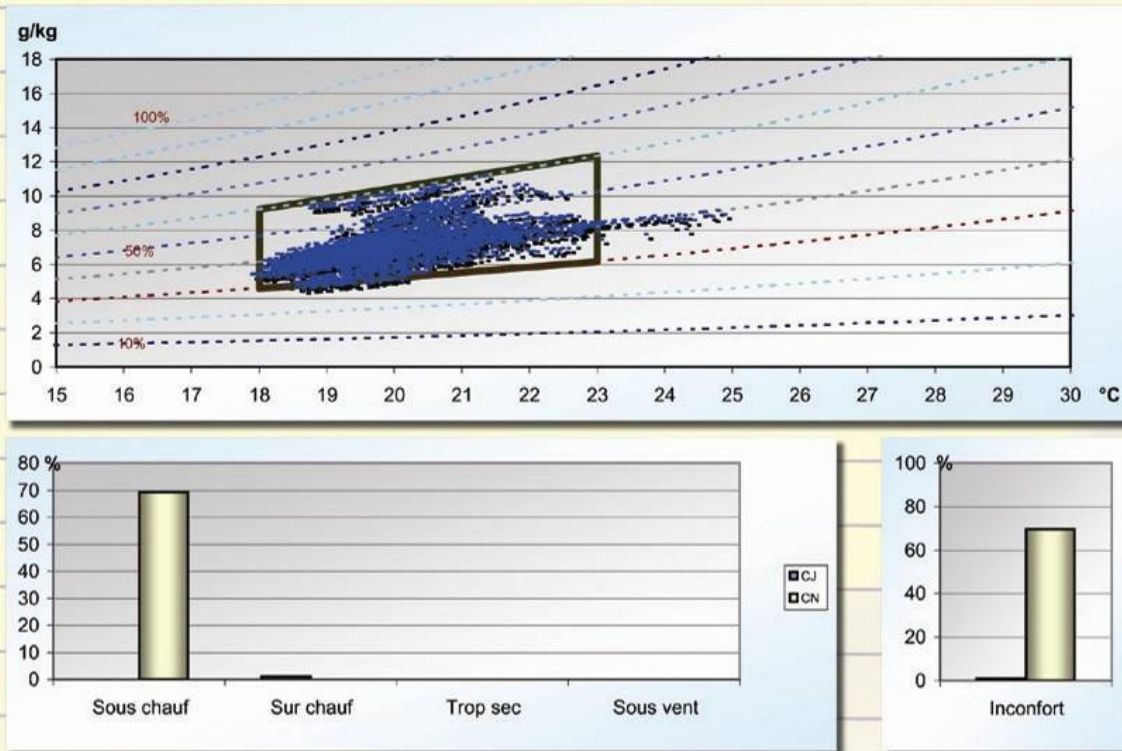


Fréquence des températures mesurées en période chaude

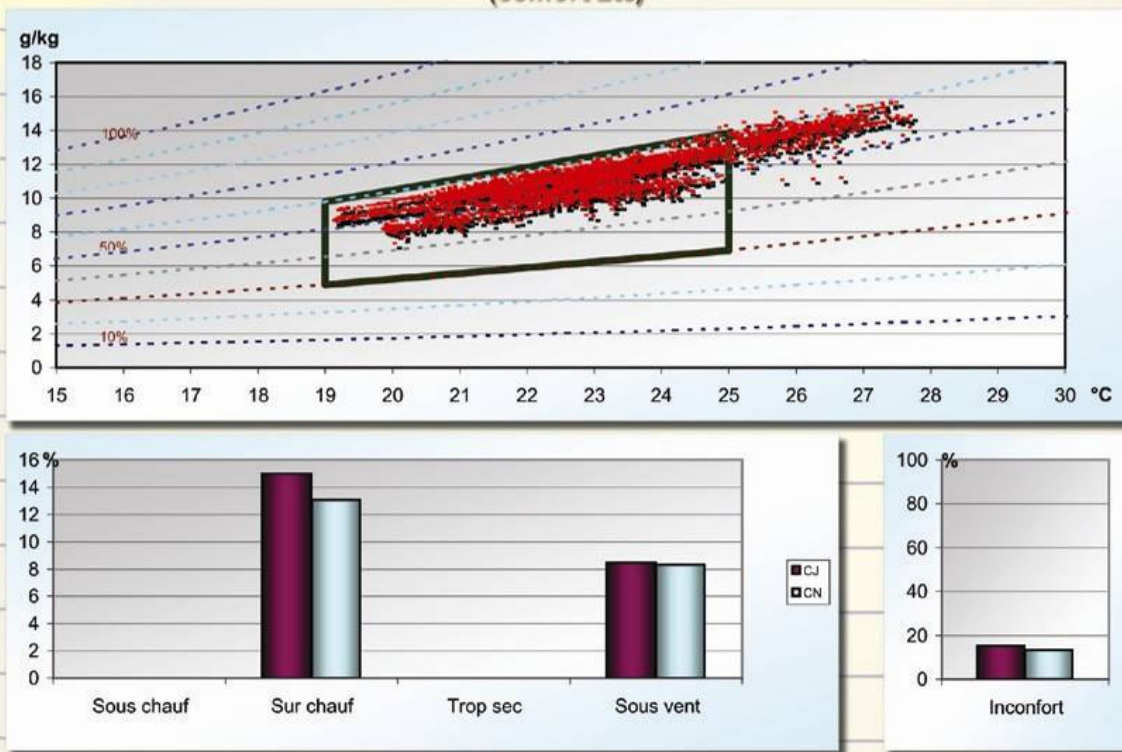


Analyse des conditions de confort

Représentation des mesures de température et d'humidité (confort Hiver)



Représentation des mesures de température et d'humidité (confort Été)





Chapitre I Introduction aux règles Th-U

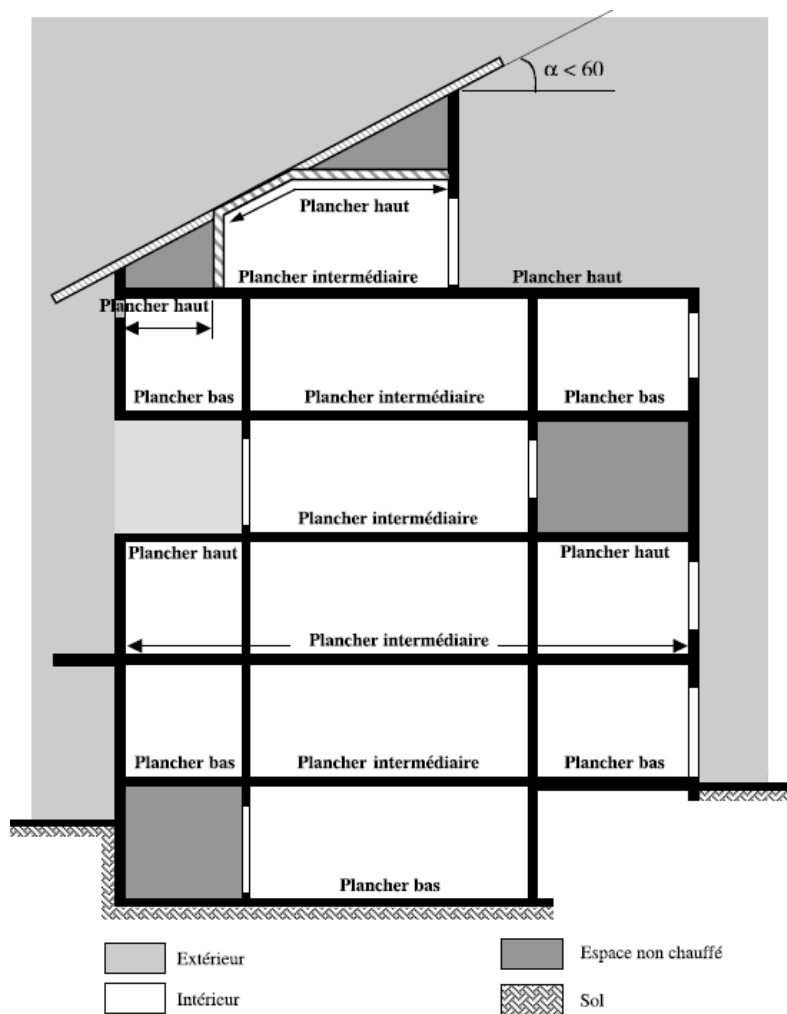


Figure 1 : planchers bas, intermédiaires et hauts



c - Indices

e	Extérieur, équivalent
i	Intérieur
s	superficiel
T, t	Total
D	Direct
S	Sol
U, u	Non chauffé
iu	Intérieur vers local non chauffé
ue	Local non chauffé vers extérieur
V	Par renouvellement d'air
bât	Relatif à l'enveloppe du bâtiment
bât-réf	Valeur de référence relative à l'enveloppe du bâtiment

1.5 Conventions

1.51 Température et humidité des matériaux

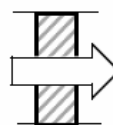
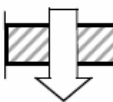
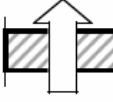
Les conductivités thermiques des matériaux et les caractéristiques thermiques des éléments de construction sont définies pour une température moyenne de 10°C.

Les conventions d'humidité des matériaux sont définies au fascicule « matériaux ».

1.52 Résistances superficielles

En absence d'informations spécifiques sur les conditions aux limites des surfaces planes, les résistances superficielles, intérieures (R_{si}) et extérieures (R_{se}), suivantes doivent être utilisées :

Tableau I : Valeurs par défaut des résistances superficielles

Paroi donnant sur : - l'extérieur - un passage ouvert - un local ouvert ⁽²⁾	R_{si} m ² .K/W	$R_{se}^{(1)}$ m ² .K/W	$R_{si} + R_{se}$ m ² .K/W
Paroi verticale Flux horizontal 	0.13	0.04	0.17
Flux ascendant 	0.10	0.04	0.14
Paroi horizontale Flux descendant 	0.17	0.04	0.21

(1) Si la paroi donne sur un autre local non chauffé, un comble ou un vide sanitaire, R_{se} s'applique des deux côtés.
Pour plus de précision sur les résistances superficielles, se reporter au fascicule « Parois opaques ».

(2) Un local est dit ouvert si le rapport de la surface totale des ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à 0.005 m²/m³. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.



Chapitre III

Aspects réglementaires

Ce chapitre a pour but de préciser les niveaux réglementaires des performances thermiques de l'enveloppe et de ses composants.

L'arrêté du 29 novembre 2000 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, fixe les caractéristiques thermiques de référence des composants d'enveloppe pour le calcul d'une valeur de référence au coefficient $U_{\text{bât}}$, nommée $U_{\text{bât-réf}}$ et fixe les caractéristiques thermiques minimales à ne pas dépasser.

3.1 Coefficient $U_{\text{bât-réf}}$

Ce paragraphe définit le coefficient $U_{\text{bât-réf}}$ et donne la méthode de calcul correspondante.

3.1.1 Définition

$U_{\text{bât-réf}}$ est un coefficient de référence pour $U_{\text{bât}}$, appelé « coefficient moyen de référence de déperdition par les parois et les baies du bâtiment ».

Il permet de situer la déperdition par transmission à travers l'enveloppe par rapport à une valeur de référence calculée en fonction de caractéristiques thermiques de référence des composants d'enveloppe.

$U_{\text{bât}}$ est le coefficient moyen caractérisant les déperditions thermiques réelles d'un bâtiment par transmission à travers les parois, il est déterminé selon le chapitre II du présent fascicule et exprimé en $W/(m^2.K)$.

3.1.2 Calcul

Le mode de calcul de $U_{\text{bât-réf}}$ est similaire à celui de $U_{\text{bât}}$. Il s'effectue en fonction de coefficients de références, donnés dans l'arrêté de la réglementation thermique, pondérés par les caractéristiques géométriques réelles du bâtiment (mêmes conventions que $U_{\text{bât}}$).

a – Formule

$U_{\text{bât-réf}}$ se calcule d'après la formule suivante :

$$U_{\text{bât-réf}} = \frac{a_1 A_1 + a_2 A_2 + a_3 A_3 + a_4 A_4 + a_5 A_5 + a_6 A_6 + a_7 A_7 + a_8 L_8 + a_9 L_9 + a_{10} L_{10}}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7} \quad (11)$$

b – Paramètres

On distingue entre les coefficients de référence a_i et les surfaces A_i et linéaires L_i

b.1 – coefficients a_i

Les coefficients a_1 à a_{10} dépendent de la zone climatique du lieu de construction du bâtiment, on distingue entre la zone H_3 d'une part et les zones H_1 et H_2 d'autre part.

Les coefficients a_i sont donnés dans le tableau ci-après et s'expriment en $W/(m^2.K)$:

Tableau VII : coefficients a_i

Coefficient a_i	Zones H_1 et H_2	Zone H_3
a1	0.40	0.47
a2	0.23	0.30
a3	0.30	0.30
a4	0.30	0.43
a5	1.50	1.50
a6	2.40	2.60
a7	2.00	2.35
a8	0.50	0.50
a9	0.7 pour les maisons individuelles 0.9 pour les autres bâtiments	0.7 pour les maisons individuelles 0.9 pour les autres bâtiments
a10	0.7 pour les maisons individuelles 0.9 pour les autres bâtiments	0.7 pour les maisons individuelles 0.9 pour les autres bâtiments



b.2 – Surfaces A_i (m^2) et linéaires L_i (m)

- A_1 surface des parois verticales opaques y compris les parois verticales des combles aménagés et les surfaces projetées des coffres de volets roulants non intégrés dans la baie ; à l'exception des parties opaques prises en compte dans A_6 , A_8 ou A_7 .
- A_2 Surface des planchers sous combles⁽¹⁾ et surface des rampants et parois horizontales des combles aménagés
- A_3 surface des planchers hauts autres que ceux pris en compte dans A_2 ;
- A_4 surface des planchers bas ;
- A_5 surface des baies destinées à recevoir des portes, exception faite des portes entièrement vitrées ;
- A_6 surface des baies destinées à recevoir des fenêtres, des portes entièrement vitrées, des portes-fenêtres et des parois transparentes ou translucides non équipées de fermetures ;
- A_7 surface des baies destinées à recevoir des fenêtres, des portes-fenêtres ou des parois transparentes et translucides équipées de fermetures ;
- L_8 linéaire de la liaison périphérique des planchers bas avec un mur ;

- L_9 linéaire de la liaison périphérique des planchers intermédiaires ou sous comble aménageable avec un mur ;
- L_{10} linéaire de la liaison périphérique avec un mur des planchers hauts pris en compte pour le calcul de A_3 .

⁽¹⁾ A l'exception du prolongement d'un plancher intermédiaire sous l'espace perdu en extrémité basse d'un comble (voir Figure 10).

Les surfaces A_1 à A_7 sont les surfaces intérieures des parois et les linéaires L_8 à L_{10} sont déterminés à partir des dimensions intérieures des locaux. Seules sont prises en compte, pour les déterminations de ces surfaces et de ces linéaires, les parois ou liaisons donnant sur un local chauffé, d'une part, et, d'autre part, sur l'extérieur, un local non chauffé, le sol ou un vide sanitaire.

Dans le cas où la liaison périphérique d'un plancher se situe à la jonction d'un plancher intermédiaire avec un plancher bas ou un plancher haut, le linéaire à prendre en compte est respectivement L_9 ou L_{10} .

Les surfaces A_1 à A_7 et les linéaires L_8 , à L_{10} , sont représentés sur le schéma de la figure 10 ci-après.

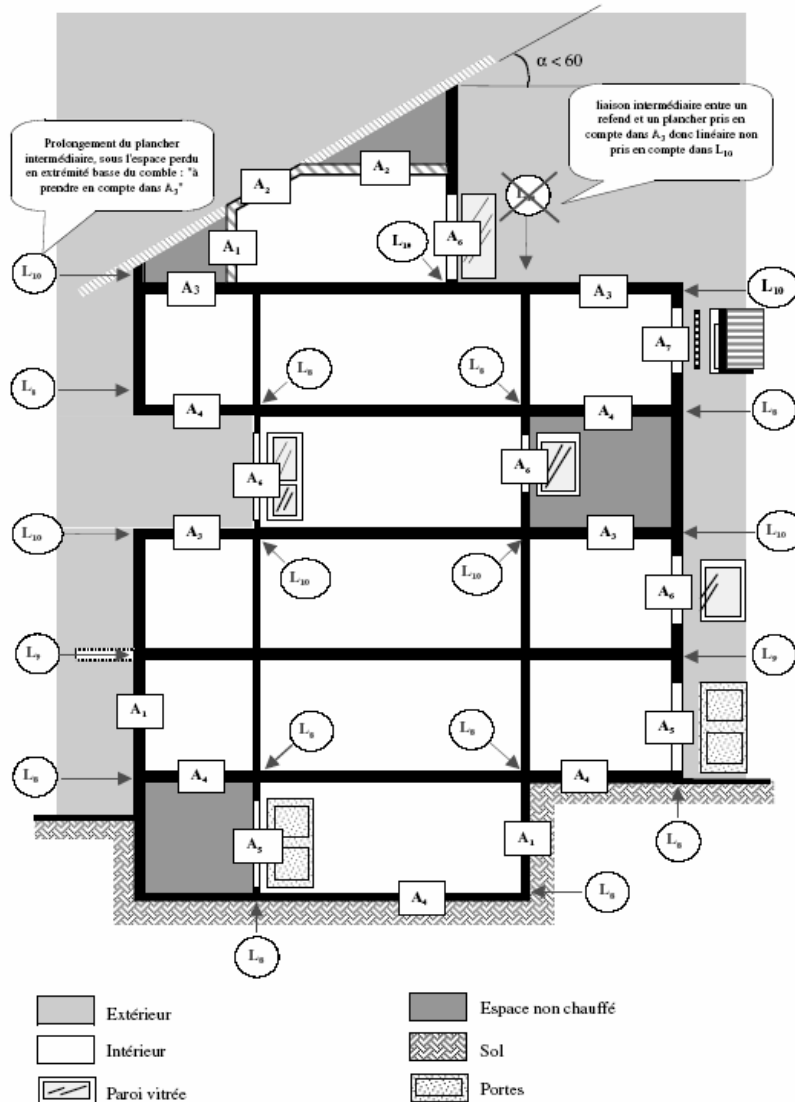


Figure 10 : Surfaces A_1 à A_7 et linéaires L_8 à L_{10}



**REGLEMENTATION
THERMIQUE
2000 → 2005**







Energie	RT 2000	RT 2005
Effet Joule	20% (H1 & H2) 0% (H3)	25%
Gaz	0%	10%



		Zones climatiques													
Usages	Zones de bruit	H1a	H1b	H1c ≤ 400 m	H1c > 400 m	H2a	H2b	H2c ≤ 400 m	H2c > 400 m	H2d ≤ 400 m	H2d > 400 m et ≤ 800 m	H2d > 800 m	H3 ≤ 400 m	H3 > 400 m et ≤ 800 m	H3 > 800 m
		Habitation, hébergement	BR1												
BR2										CE2				CE2	
BR3															
Enseignement	BR1														
	BR2									CE2				CE2	
	BR3														
Bureaux	BR1														
	BR2	CE2	CE2		CE2		CE2	CE2	CE2	CE2		CE2	CE2	CE2	
	BR3														
Etablissements : commerce spectacle, conférence sanitaire...	BR1	CE2													
	BR2	CE2													
	BR3	CE2													





Type de chauffage	Zones climatiques	Pour tout bâtiment à usage d'habitation C_{epmax} (kWh/m ² .an)
Combustibles fossiles	H1	130
	H2	110
	H3	80
Chauffage électrique (y compris les pompes à chaleur)	H1	250
	H2	190
	H3	130



REGLEMENTATION THERMIQUE ET LABELS

Parallèlement à la Réglementation Thermique d'application obligatoire se sont développés des labels d'application volontaire (haute isolation en 1980, 1^{er} label HPE en 1983..) dont l'objectif est de réaliser des bâtiments aux performances meilleures que celles exigées par la réglementation en vigueur. En général, les caractéristiques de ces labels ont préfiguré les exigences des renforcements de la réglementation thermique suivante. De même, tout renforcement de la réglementation thermique a entraîné un renforcement des « exigences » des labels. Il devrait en être de même avec la RT 2005 en ce qui concerne de nouvelles caractéristiques pour les labels HPE et THPE.



Domaine d'application	RT 2000	RT 2005
Consommations énergétiques totales	Exprimées en kWh/an d'énergie primaire $C \leq C_{réf}$	Exprimées en kWh/m ² .an d'énergie primaire $C \leq C_{réf}$
Consommations énergétiques pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire	-	Exprimées en kWh/m ² .an d'énergie primaire $C_{chauffage} + C_{ECS} \leq C_{epmax}$
Energies renouvelables	-	Intégrées et valorisées
Conception bioclimatique	-	Valorisée
Fiche de synthèse	-	Mise en place
Climatisation	-	Intégrée
Étanchéité à l'air	Forfaitaire (meilleure valeur possible si mesurée pour chaque ouvrage)	Forfaitaire (meilleure valeur possible résultant de mesures sur échantillonnage de construction)
Parois	Valeurs de garde-fous et de référence	Renforcement d'environ 10 % de la performance des parois
Ponts thermiques	Valeurs de garde-fous et de référence	Diminution d'environ 20 % des pertes par ponts thermiques
Compensation entre enveloppe et systèmes	Maison individuelle : 30 % max Logement collectif : 30 % max Tertiaire : non défini	Maison individuelle : 20 % max Logement collectif : 25 % max Tertiaire : 50 % max
Zones climatiques	H1 H2 H3	H1a, H1b, H1c H2a, H2b, H2c, H2d H3
Température intérieure conventionnelle	Calculée par bâtiment	Calculée par zone d'usage, chacune devant respecter $T_{icréf}$ pour être conforme
Eclairage	Bâtiments tertiaires	Tous les bâtiments
Équipements (eau chaude sanitaire solaire, ventilation...)	Valeurs de garde-fous et de référence	Renforcement des exigences



Parois	RT 2000		RT 2005	
	U paroi maximale (W/m ² .K)	R paroi minimale (m ² .K/W)	U paroi maximale (W/m ² .K)	R paroi minimale (m ² .K/W)
Murs en contact avec l'extérieur ou avec le sol	0,47	2,0	0,45	2,05
Murs en contact avec un volume non chauffé	-	-	0,45 / b*	2,05
Combles et rampants	0,30	3,2	0,28	3,45
Toitures terrasses	0,36	2,6	0,34	2,80
Toitures en tôles métalliques étanchées	0,47	2,0	0,34	2,80
Planchers hauts en béton ou en maçonnerie	0,36	2,6	0,34	2,80
Planchers bas sur vide sanitaire	0,43	2,0	0,40	2,15
Planchers sur local non chauffé	-	-	0,40	2,15
Planchers bas donnant sur l'extérieur	0,36	2,6	0,36	2,60
Planchers bas donnant sur parking collectif	0,36	2,5	0,36	2,50
Planchers bas sur terre-plein Isolation périphérique sur :	-	1,4 Risolant 1,50 m	-	1,7 Risolant 1,20 m
Fenêtres et porte-fenêtres prises nues donnant sur l'extérieur	2,90	-	2,60	-
Façades rideaux	2,90	-	2,60	-
Coffrets de volets roulants	-	-	3,00	-

Ψ maximal (W/m.K)			
Ponts thermiques	RT 2000		RT 2005
Liaisons entre 2 parois dont l'une au moins est en contact avec l'extérieur	Maisons individuelles :	0,99	Maisons individuelles : 0,65*
	Logements collectifs :	1,10	Logements collectifs : 1,00
	Autres bâtiments :	1,35	Autres bâtiments : 1,20



Parois	RT 2000		RT 2005	
	Zones H1 et H2	Zone H3	Zones H1, H2 et H3 (> 800m)	Zone H3 (≤ 800m)
Murs en contact avec l'extérieur (a1)	0,40	0,47	0,36	0,40
Combles et rampants (a2)	0,23	0,30	0,20	0,25
Toitures terrasses (a3)	0,30	0,30	0,27	0,27
Planchers bas (a4)	0,30	0,43	0,27	0,36
Portes (a5)	1,50	1,50	1,50	1,50
Fenêtres et portes-fenêtres (a6)*	2,40	2,60	2,10	2,30
Fenêtres et portes-fenêtres équipées de fermeture (a7)	2,00	2,35	1,80	2,10

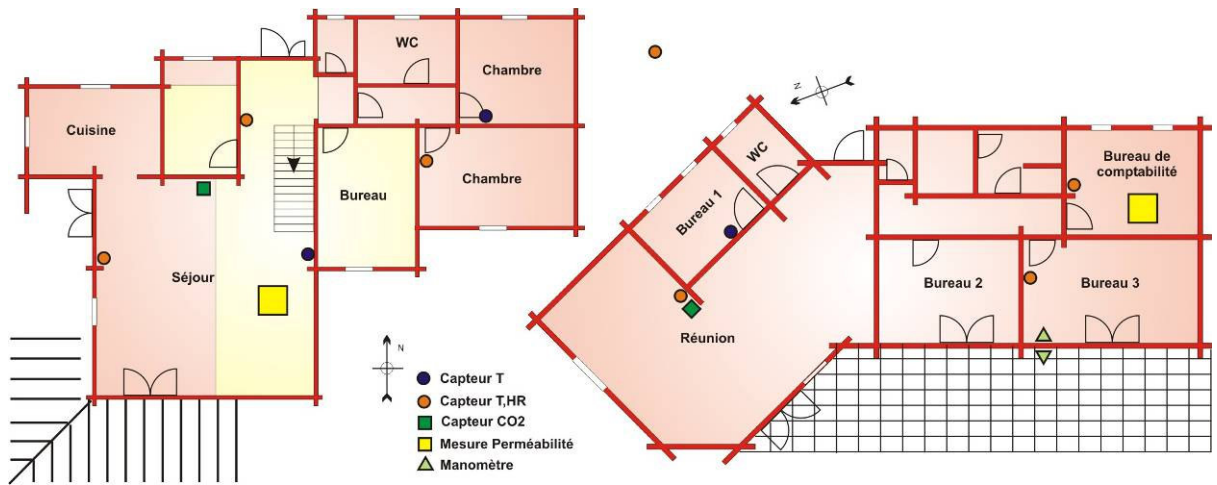
Zones H1, H2 et H3		
Ponts thermiques	RT 2000	RT 2005
Planchers bas / murs (a8)	Maisons individuelles : 0,50	Maisons individuelles : 0,40
	Logements collectifs : 0,50	Logements collectifs : 0,40
	Autres bâtiments : -	Autres bâtiments : 0,40
Planchers intermédiaires sous combles / murs (a9)*	Maisons individuelles : 0,70	Maisons individuelles : 0,55
	Logements collectifs : 0,90	Logements collectifs : 0,60
	Autres bâtiments : 0,90	Autres bâtiments : 0,60
Toitures terrasses / murs (a10)*	Maisons individuelles : 0,70	Maisons individuelles : 0,50
	Logements collectifs : 0,90	Logements collectifs : 0,60
	Autres bâtiments : 0,90	Autres bâtiments : 0,60











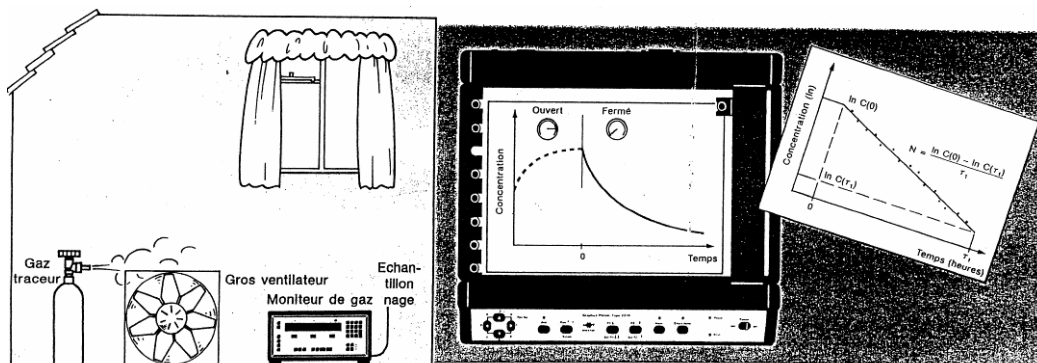




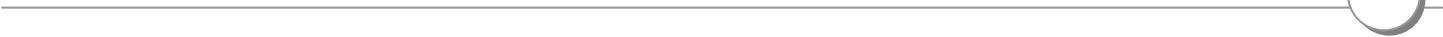














Rapport d'essai de perméabilité selon la Norme EN 13829

Maison de M. Baetens - "Le Bourg Nord"

Données sur l'opération & conditions d'intervention

Adresse : Jugazan (33420) Contact : M. Baetens

Opérateurs : Andrés LITVAK (CETE Sud Ouest) Date de l'intervention : 9-mai-06

Type de logement : maison individuelle

Surface habitable : **147** m² Hauteur du bâtiment : 16 m

Surfaces déperditives : **357** m² Température extérieure : 19 °C

Volume chauffé : m³ Température intérieure : 19 °C

Mesures réalisées

Diaphragme numéro	Valeur cible (Pa)	ΔP mesuré (Pa)	ΔP corrigé (Pa)	Débit Q corrigé (m ³ /h)	Points retenus pour l'analyse
-1	0	1.6	0.1	0	<input checked="" type="checkbox"/> point 1
1	60	62.0	60.4	3435	<input checked="" type="checkbox"/> point 2
1	55	56.7	55.2	3284	<input checked="" type="checkbox"/> point 3
1	50	53.0	51.5	3120	<input checked="" type="checkbox"/> point 4
1	45	47.0	45.4	2843	<input checked="" type="checkbox"/> point 5
1	40	42.1	40.6	2602	<input checked="" type="checkbox"/> point 6
1	35	37.4	35.9	2299	<input checked="" type="checkbox"/> point 7
1	30	30.5	29.0	2026	<input checked="" type="checkbox"/> point 8
1	25	27.4	25.9	1890	<input checked="" type="checkbox"/> point 9
-1	0	1.4	0.1	0	<input checked="" type="checkbox"/> point 10

Mise en dépression

Différences de pression à débit nul		
Avant l'essai	ΔP_{01+}	0.00
	ΔP_{01-}	-1.62
Après l'essai	ΔP_{02+}	0.00
	ΔP_{02-}	-1.44

Force du vent	
Chiffre de l'échelle de Beaufort	2
ou	
Vitesse en m / s	

Résultats

Intervalle de confiance à :			95%
I_4 (m ³ /(h.m ²))	I_4 inf	I_4 sup	Facteur multiplicateur (-)
1.32	1.18	1.48	1.12
n10 (Volume/h)	τ_{10} inf	τ_{10} sup	Facteur multiplicateur (-)
n50 (Volume/h)	n50 inf	n50 sup	Facteur multiplicateur (-)
n (-)	n inf	n sup	Erreur absolue (-)
0.73	0.69	0.78	0.05
K (m ³ /h.Pa ⁻¹)	K inf =	K sup =	Facteur multiplicateur (-)
170.12	142.01	203.79	1.20

Coefficient de corrélation linéaire (R²) = 0.998

