

Confort d'été des locaux sous toiture

Diane de CACQUERAY, Thierry DUFORSTEL,
Christophe PENIGUEL, Isabelle RUPP,
Cristian CIUCASU, Jean-Baptiste RIEUNIER, Gérard Guilbert,
Jérôme Gilles,
Claude POMPEO, Samira KHERROUF



1

Contexte et objectifs



1.1 Contexte et objectifs

Contexte:

- **L'inconfort d'été, un problème avant tout humain :**
Vieillesse de la population, oubli des bonnes pratiques, accoutumance à la climatisation.
=>population française sensible à l'inconfort d'été dans son habitation.
 - **Conditions d'habitation incompatible avec le confort d'été :**
Urbanisation, agrandissement des logements.
=>accroissement des surfaces d'habitation inconfortable en été.
- => **Locaux sous toiture : situation où l'inconfort est inéluctable.**

Objectifs :

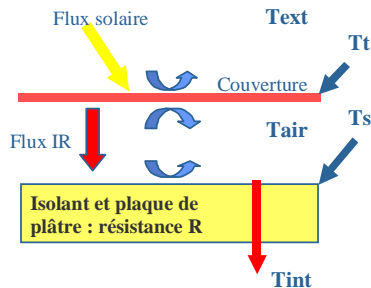
Comprendre les mécanismes qui influent le transfert de chaleur vers les locaux sous toitures afin de les contrôler dans un sens plus favorable pour l'été.

- **Comportement des toitures en période chaude sans climatisation.**
Améliorer le comportement passif des bâtiments en période chaude.
- **Comportement des toitures en période chaude avec climatisation.**
Comprendre et améliorer le comportement des logements existants climatisés et qui n'ont pas été conçus pour cela.

2

Comportement passif des toitures en période chaude

2.1 Etude des principaux facteurs d'influence en régime permanent



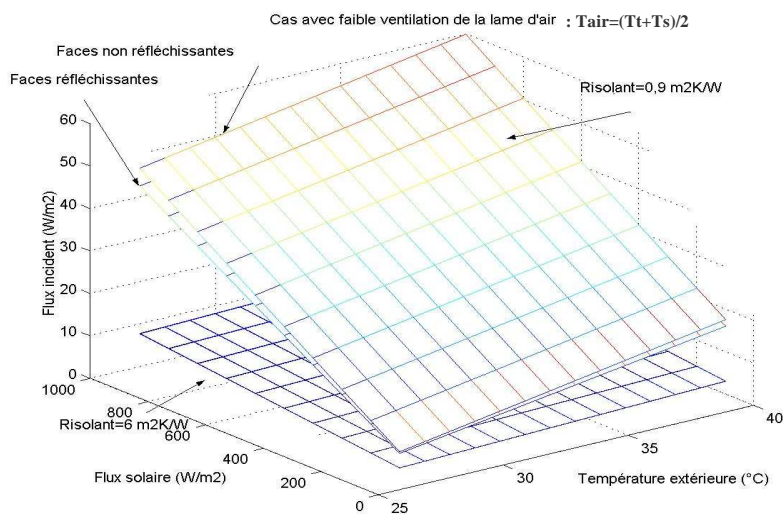
Paramètres variables	
flux solaire	100 à 1000 W/m ²
émissivité équivalente des faces en regard de la lame d'air	0,1 ou 0,9
résistance thermique R de la paroi sous la lame d'air	0,9 m ² K/W ou 6 m ² K/W
température de la lame d'air	$T_{air} = (T_t + T_s)/2$ ou $T_{air} = T_{ext}$

=> Facteurs d'influence :

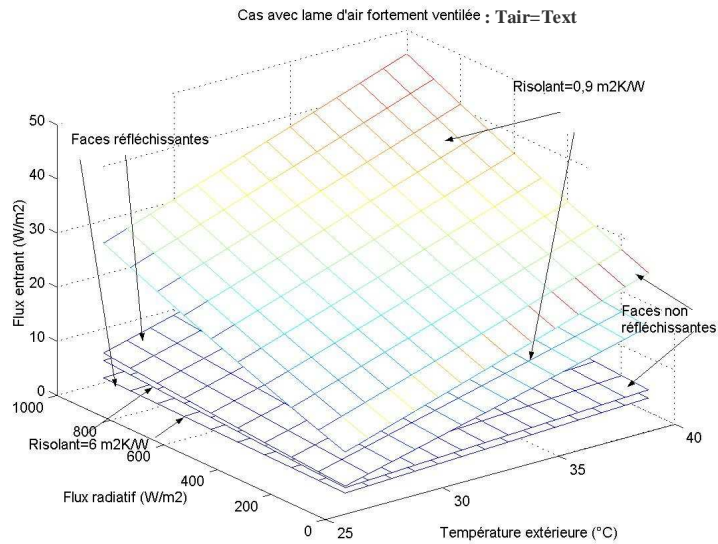
1. Isolation;
2. Ventilation;
3. Emissivité.



2.1 Etude des principaux facteurs d'influence en régime permanent



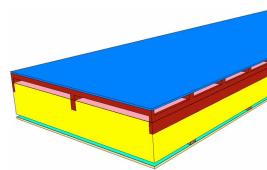
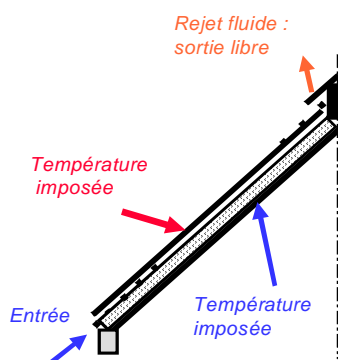
2.1 Etude des principaux facteurs d'influence en régime permanent



7



2.2 Modélisation du comportement aéraulique des lames d'air en toiture



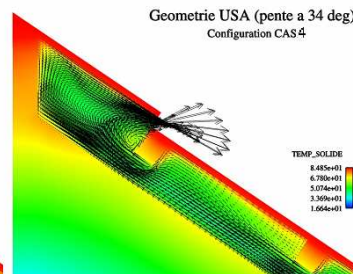
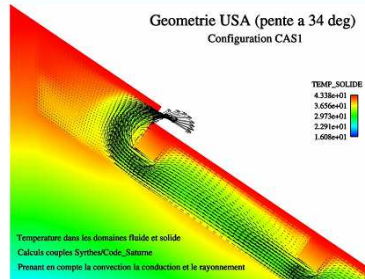
Matériaux	Conditions limites	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
Face interne de la plaque de plâtre	Température fixée	16,08°C	16,30°C	16,50°C	16,64°C
Face externe des tuiles	Température fixée	43,38°C	57,21°C	71,06°C	84,85°C
Air extérieur	L'air est statique et a une température fixée	22,2°C	23,6°C	24,1°C	23,9°C

Simulations en régime permanent : Fluent et Syrthes/Code Saturne.

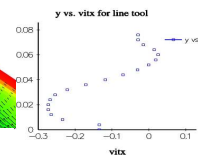
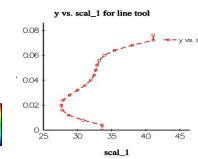
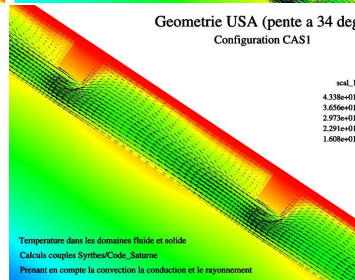
Conditions limites fixées à partir des mesures expérimentales (Oak-Ridge).



2.2 Modélisation du comportement aéroulique des lames d'air en toiture

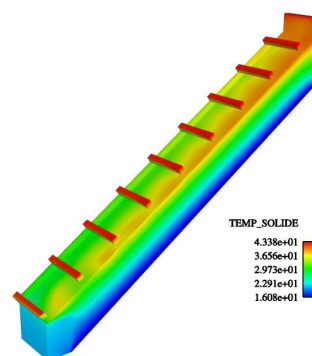
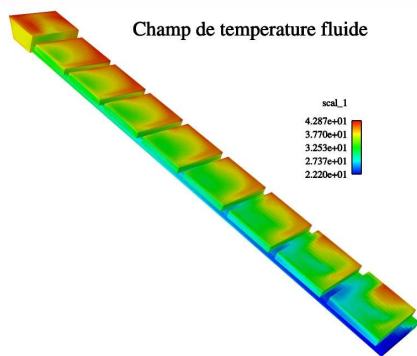


=> Vitesses d'air et températures s'influencent mutuellement.



9 2 novembre 2006 EDF R&D

2.2 Modélisation du comportement aéroulique des lames d'air en toiture



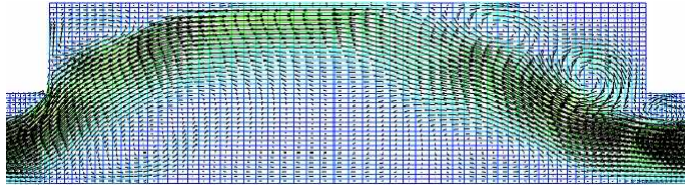
Circulation d'air en circuit fermé dans l'espace entre 2 chevrons et 2 liteaux.

L'air capte ainsi la chaleur de la tuile provoquant un réchauffement local de la face externe de l'isolant.

10 2 novembre 2006 EDF R&D



2.2 Modélisation du comportement aéraulique des lames d'air en toiture



VitesseX

8.500e-01

6.375e-01

4.250e-01

2.125e-01

1.319e-06

Circulation d'air horizontale mais aussi verticale.



2.2 Modélisation du comportement aéraulique des lames d'air en toiture

Comportement aéraulique complexe très influencé par les détails constructifs (modélisation 3D).

⇒ Possibilité de modifier le comportement aéraulique des lames air en jouant sur les détails constructifs en fonction de leur influence sur le confort intérieur.

Premiers résultats encore parcellaires.

⇒ Simulations nécessaires pour avoir une vision claire des écoulements dans la lame d'air et de leur influence sur le confort intérieur.



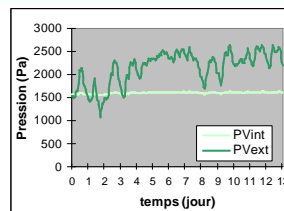
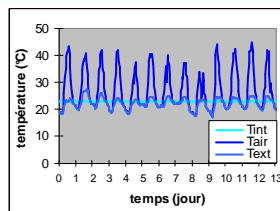
3

Comportement des toitures en période chaude avec climatisation

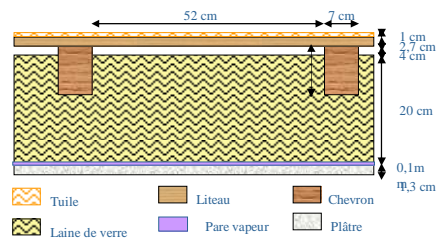


3.1 Mise en évidence du risque de condensation

Eté : air chaud et humide à l'extérieur, air froid et sec à l'intérieur.



Toiture conçue pour l'hiver avec un pare-vapeur.



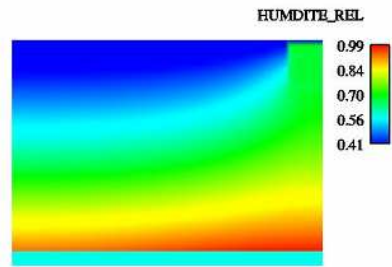
Que se passe-t-il en été quand le flux est inversé?



3.1 Mise en évidence du risque de condensation

Simulation en régime variable : WUFI et Syrthes-bâti.

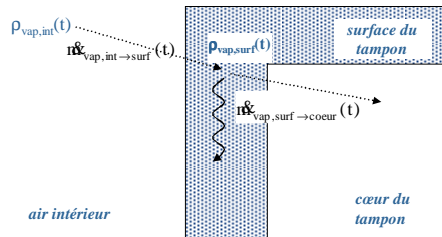
Surface intérieure			Surface extérieure		
T _{int}	PV _{int}	Pt _{int}	T _{ext}	PV _{ext}	Pt _{ext}
23°C	f(PV _{ext} , climatisation, tampon hygroscopique)	P _{ext} ⁻¹⁰	T _{air}	HR _{météo} * Psat(T _{météo})	P _{météo}
Coefficient d'échange					
10	10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁰	25	10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁰



Risque de condensation le long du pare vapeur.

3.1 Mise en évidence du risque de condensation

Tampon hygroscopique représente l'absorption et la restitution de vapeur par les matériaux solides :



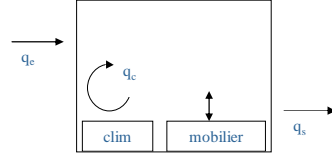
$$\begin{cases} n_{\text{vap,int} \rightarrow \text{surf}}(t) = \eta_{\text{vap}} V_{\text{int}} (\rho_{\text{vap,int}}(t) - \rho_{\text{vap,surf}}(t)) \\ n_{\text{vap,surf} \rightarrow \text{coeur}}(t) = \chi_{\text{vap}} (\rho_{\text{vap,surf}}(t) - \rho_{\text{vap,coeur}}) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{d\rho_{\text{vap,surf}}}{dt} + (\eta_{\text{vap}} \alpha_{\text{vap}} + \lambda_{\text{vap}}) \rho_{\text{vap,surf}} - \eta_{\text{vap}} \alpha_{\text{vap}} \rho_{\text{vap,int}} = \lambda_{\text{vap}} \rho_{\text{vap,coeur}}$$

3.1 Mise en évidence du risque de condensation

Bilan

$$\frac{dm_v}{dt} = \rho_{v_ext} q_e + \rho_{v_c} q_c - \rho_{v_int} q_s - \rho_{v_int} q_c + \text{Prod} - \eta_{vap} V_{int} (\rho_{v_int} - \rho_{v_surf})$$

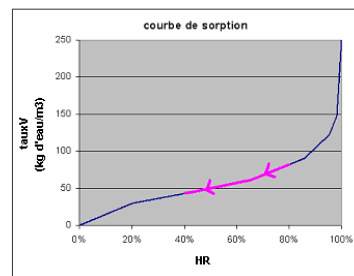
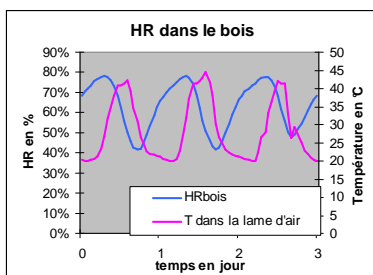


$$\frac{d\rho_{vap,surf}}{dt} + (\eta_{vap} \alpha_{vap} + \lambda_{vap}) \rho_{vap,surf} - \eta_{vap} \alpha_{vap} \rho_{vap,int} = \lambda_{vap} \rho_{vap,coeur}$$

Equilibre

$$\rho_{v_int} = \frac{\rho_{v_ext} q + \rho_{v_c} q_c + \text{Prod} + \frac{\eta_{vap} V_{int} \lambda_{vap}}{\eta_{vap} \alpha_{vap} + \lambda_{vap}} \rho_{v_coeur}}{q + q_c + \frac{\eta_{vap} V_{int} \lambda_{vap}}{\eta_{vap} \alpha_{vap} + \lambda_{vap}}}$$

3.1 Mise en évidence du risque de condensation



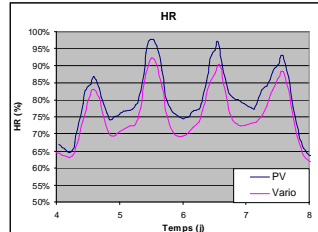
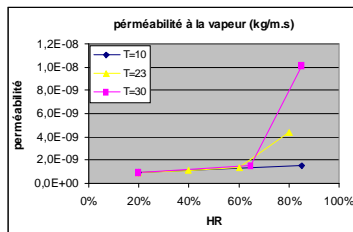
Quand la température augmente, le bois se dessature. Le bois évapore une partie de l'eau adsorbée prioritairement vers le pare vapeur où la température est plus basse.
=> Risque de condensation dans la laine de verre accentué.

3.1 Mise en évidence du risque de condensation

Résultats intermédiaires.

Solutions :

- ⇒ Utilisation raisonnée de la climatisation.
- ⇒ Pare vapeur dit « intelligent » : le Vario.



4

Conclusions et perspectives



4.1 Conclusions et perspectives

Meilleure compréhension du comportement complexe des toitures légères en période chaude.

Amélioration du confort d'été :

- Optimisation du confort passif : Meilleure conception des détails constructifs.
 - => Etude plus approfondies des écoulements.
 - Etude faisabilité, coût des solutions retenues.
 - Validation en climat naturel.
- Utilisation raisonnée de la climatisation : Limitée dans le temps et en intensité.
 - => Etude des conséquences réelles de ce problème (quantité d'eau accumulée..).
 - Niveau maximum de la température de consigne à déterminer.
- Pare vapeur intelligent.