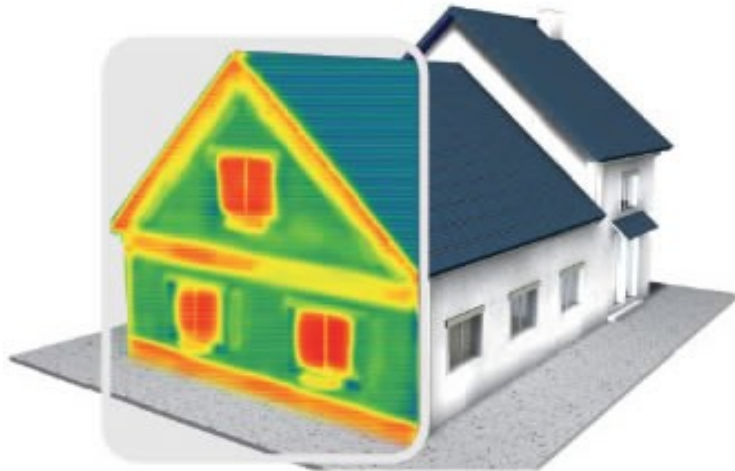


Étude des ponts thermiques dans les bâtiments, recherche d'une isolation adaptée



Comment se caractérisent les zones propices aux fuites thermiques dans un bâtiment, et comment peut-on les modifier pour améliorer l'isolation globale ?

Plan de l'étude :

Introduction

I. Mises en évidence des ponts thermiques

II. Modélisation d'une isolation classique

III. Étude de l'isolation par l'extérieur

Conclusion

- **Cadre de l'étude :**

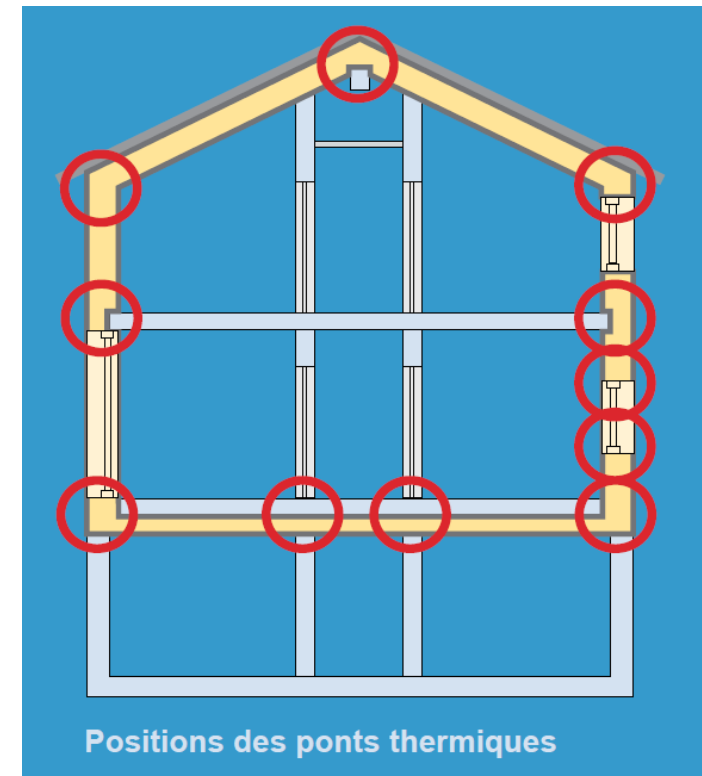
Ponts thermiques dus à la rupture de l'isolation au niveau du plancher

- **Contraintes :**

Problème complexe en 3 dimensions, phénomène possédant une constante de temps élevée

- **Choix :**

Matériaux adaptés à une expérience sur une journée, simplification informatique du modèle



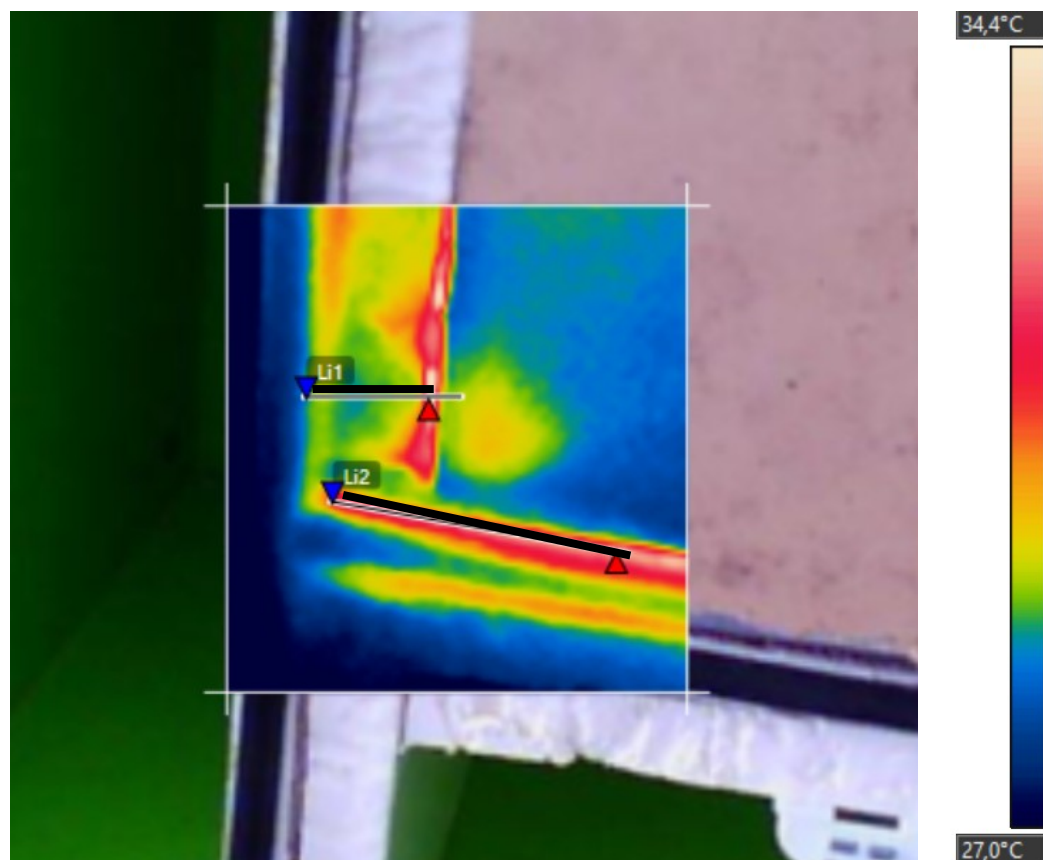
Dispositif expérimental :

Polystyrène

Thermocouple

Joint isolant

Plaque
d'aluminiumPlaque de
plexiglasSonde de
températureAlimentation
continuCaméra
thermique
FLIR E6



→ Méthode de détection peu précise

→ Vision du phénomène en 3D,
détection rapide

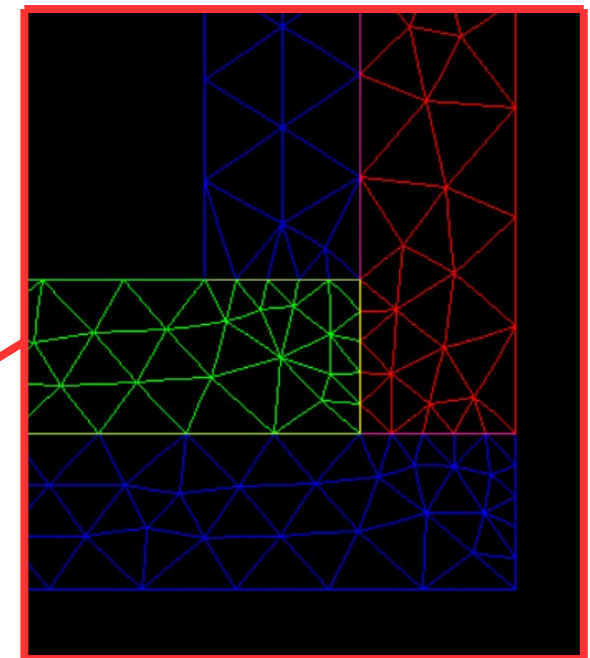
Heure	Température intérieure
8H	24°C
10H	42,2°C
10H30	44,6°C
11H	45,5°C
11H30	46°C
11H45	47°C

	Li1	Li2
Maximum ▲	34,0°C	33,2°C
Minimum ▼	28,7°C	31,1°C
Moyenne	29,5°C	32,4°C

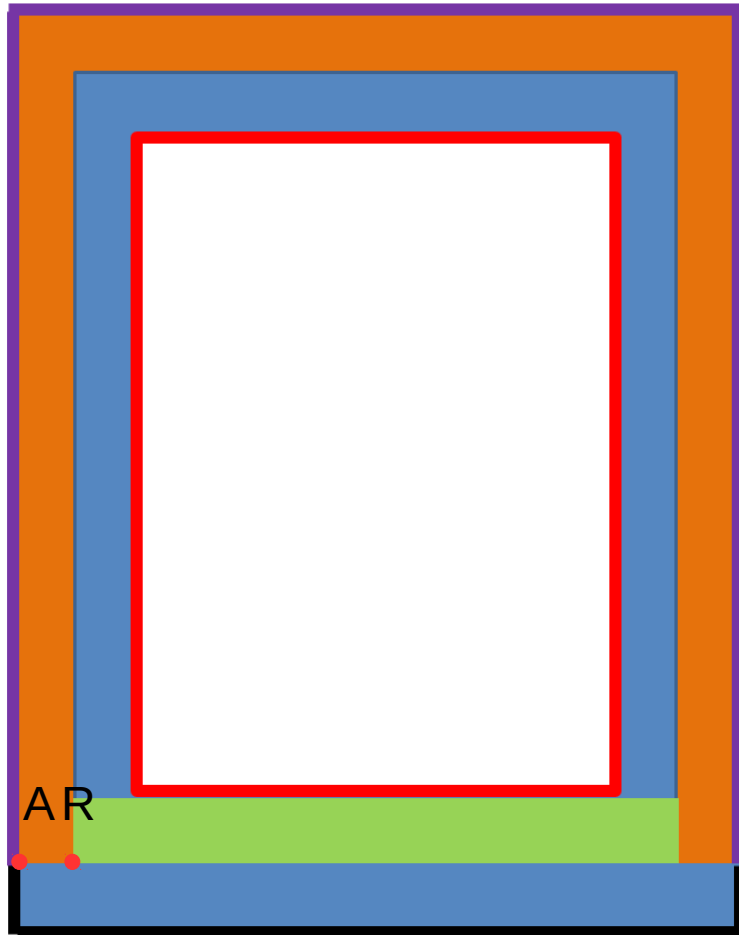


Maillage de la boîte

Méthode aux éléments finis,
avec le logiciel **CAST3M**



Zoom

Isolation par l'intérieur

matériau	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	Conductivité thermique ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	Capacité thermique ($J.K^{-1}.kg^{-1}$)
Bois	600	0,2	2500
Aluminium	2700	237	897
Polystyrène	15	0,04	1450

↳ *Caractéristiques des matériaux utilisés*



Vision simplifiée du phénomène en 2D
Modèle propre à chaque problème



Résultats plus précis
Possibilité de prévoir et corriger les points faibles



Modèle d'étude CAST3M



Bois



Aluminium



Polystyrène



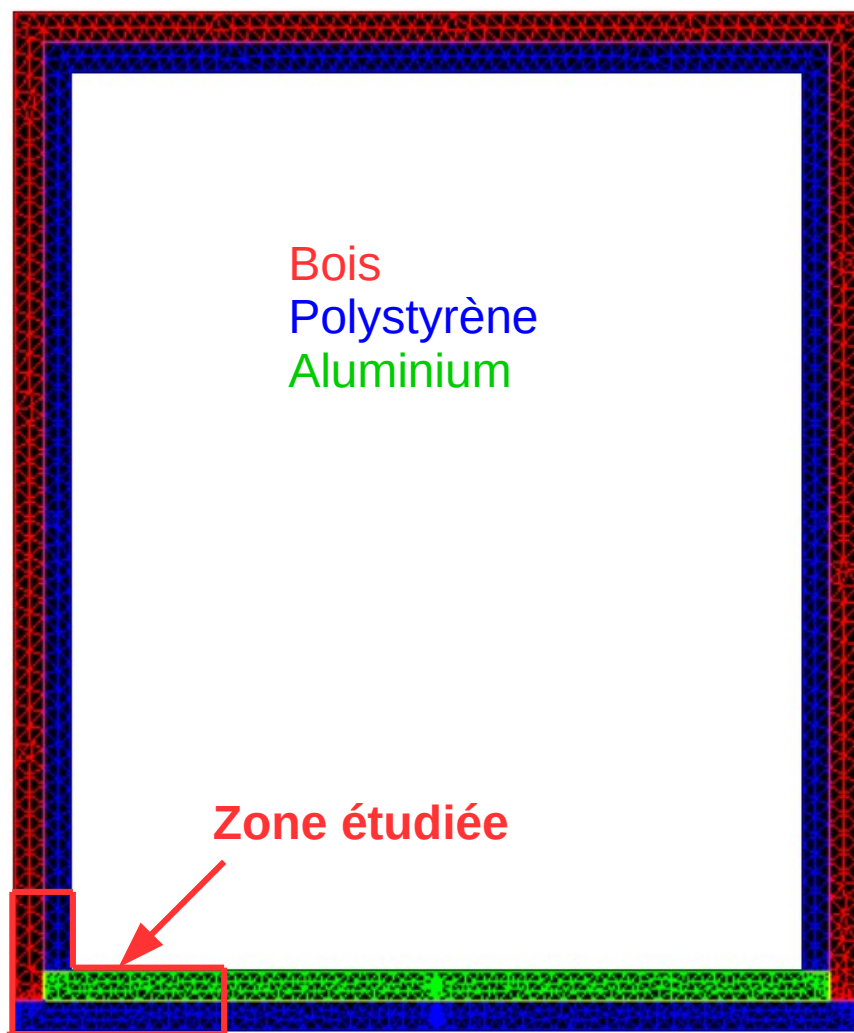
Échange convectif avec air à 50°C



Échange convectif avec air à 20°C



T fixée à 20°C

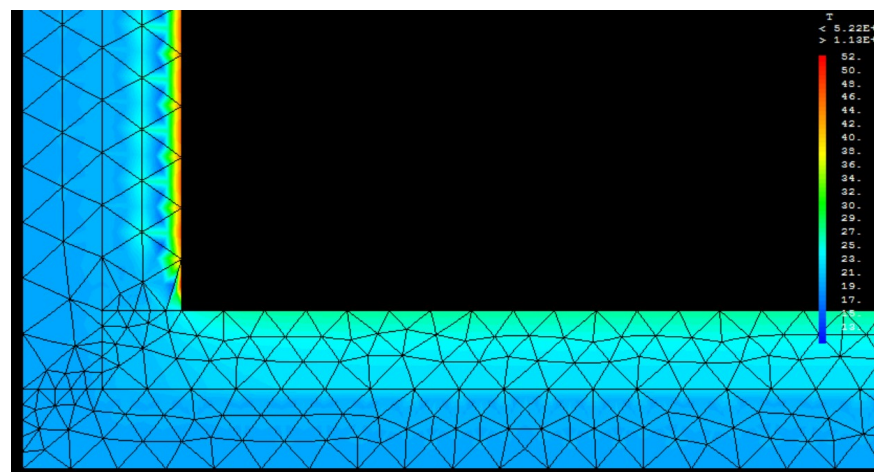


Maillage de la boîte

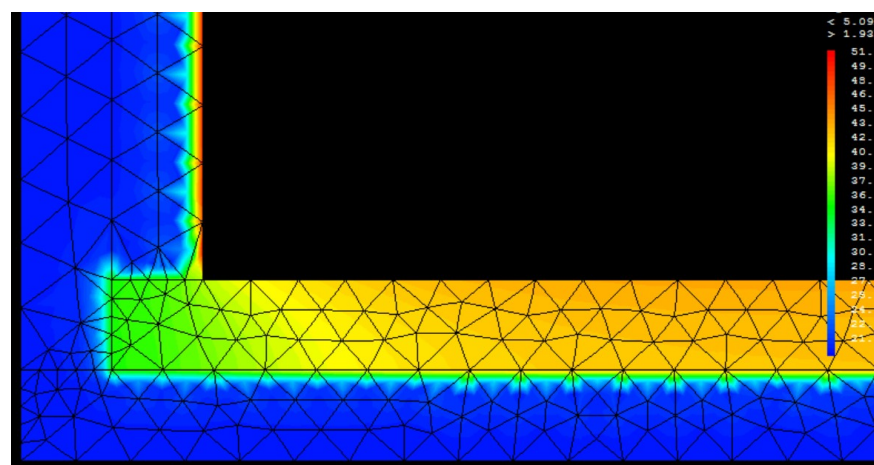
Temps d'atteinte du
régime permanent : **~190h**



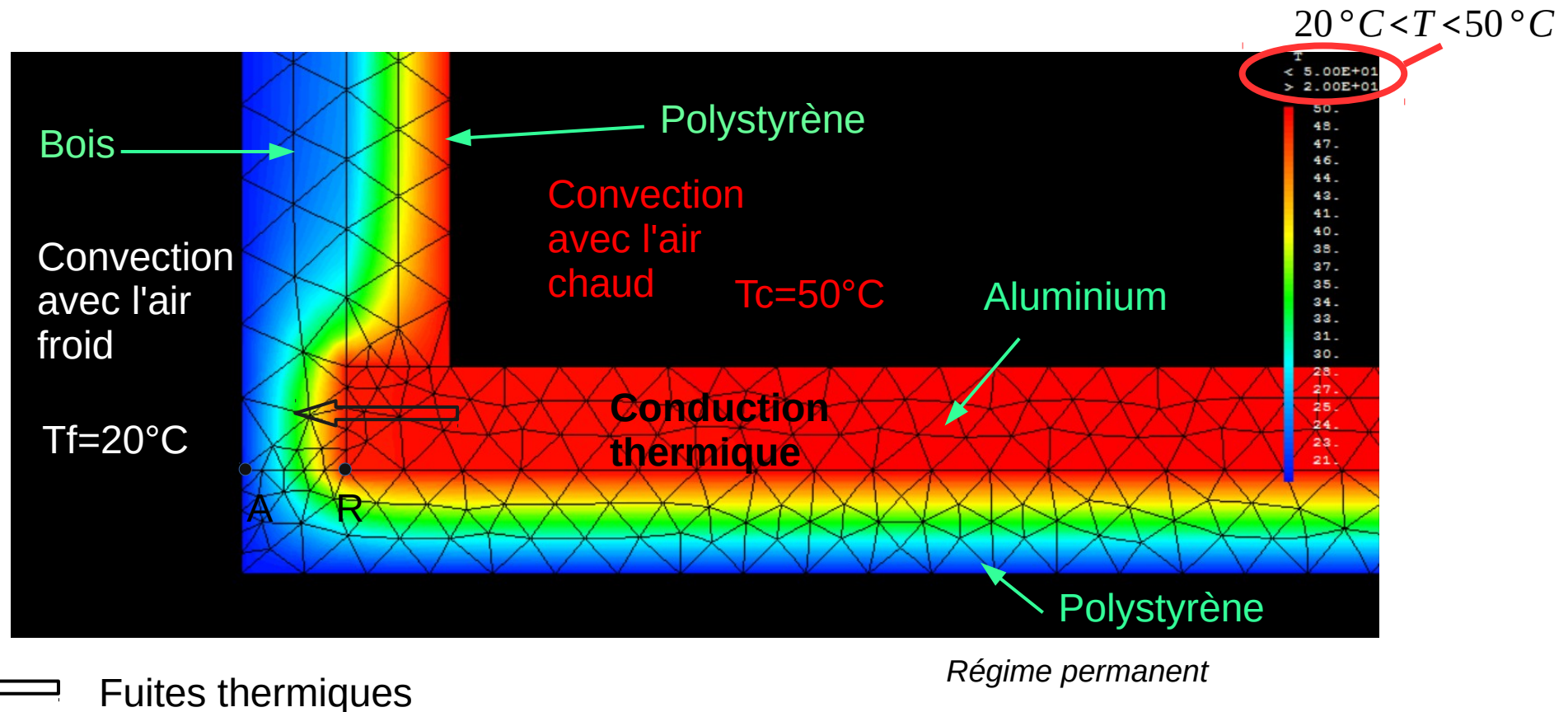
Après 1h
de
chauffage



Après 5h
de
chauffage



Après 50h
de
chauffage



Loi de convection : $P = hS(T_1 - T_2)$

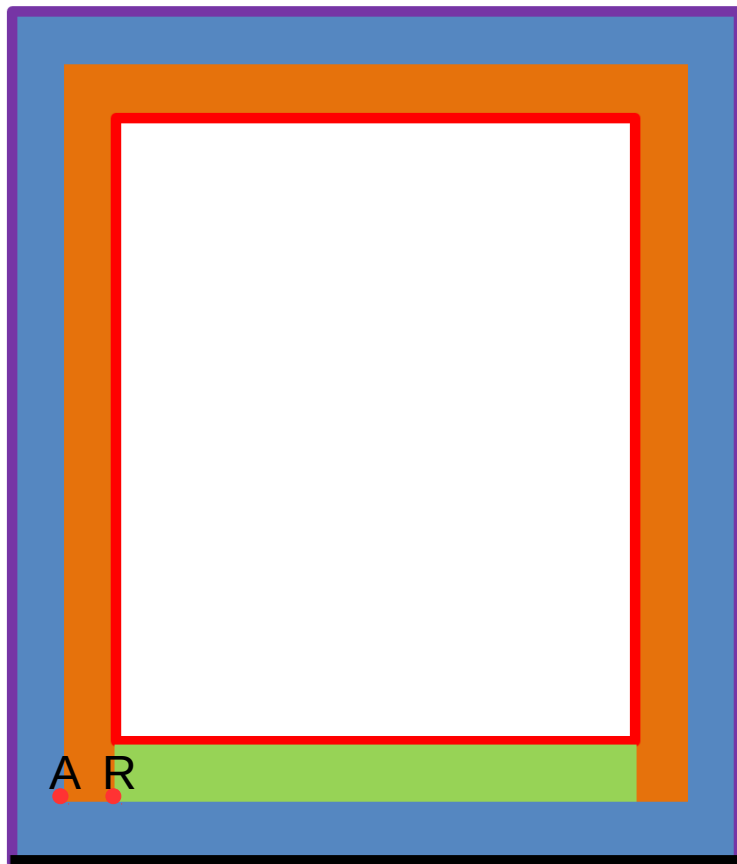
S en m^2
h en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
T en K
P en W

Loi de conduction :

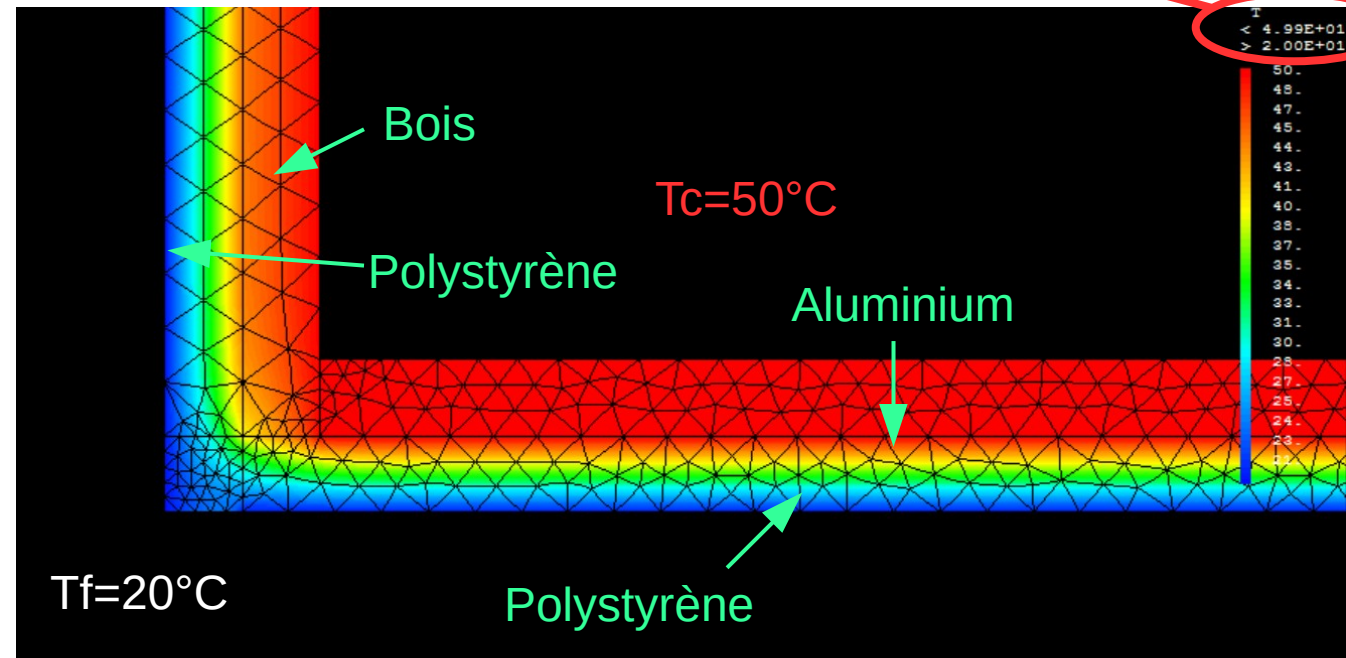
λ en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
c en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
 ρ en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \Delta T$$

Temps caractéristiques des matériaux : $\tau \approx \frac{l^2 \rho c}{\lambda} \rightarrow \begin{cases} \tau_{\text{polystyrène}} = 54\text{s} \\ \tau_{\text{aluminium}} = 1\text{s} \end{cases}$

Isolation par l'extérieur

$$20^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$$



Modèle d'étude CAST3M



Bois

Aluminium

Polystyrène



Échange convectif avec air à 50°C



Échange convectif avec air à 20°C

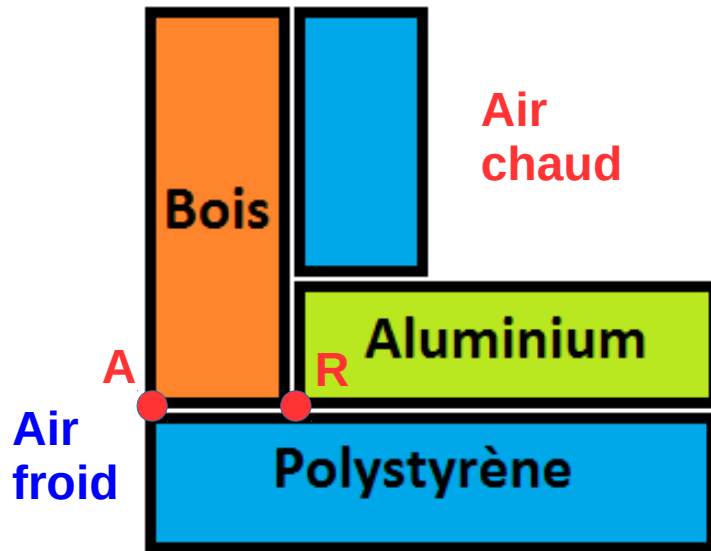


T fixée à 20°C

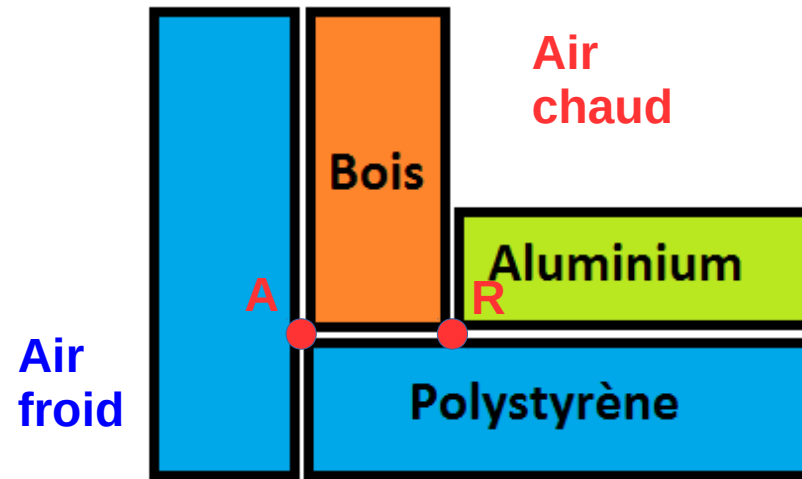
Les propriétés physiques des matériaux sont identiques

Important :

AR ne correspond pas à la même droite sur les deux maillages

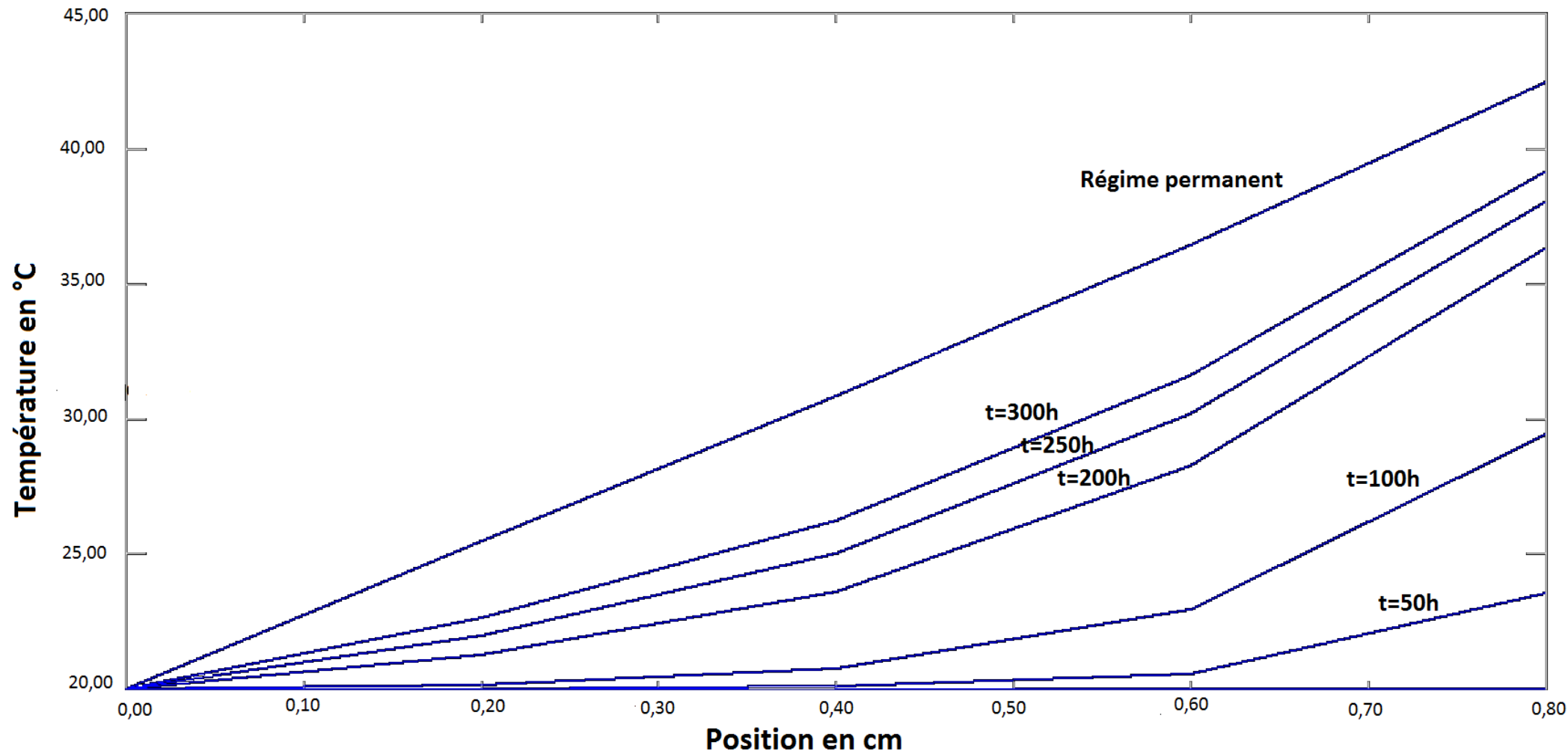


Isolation par l'intérieur

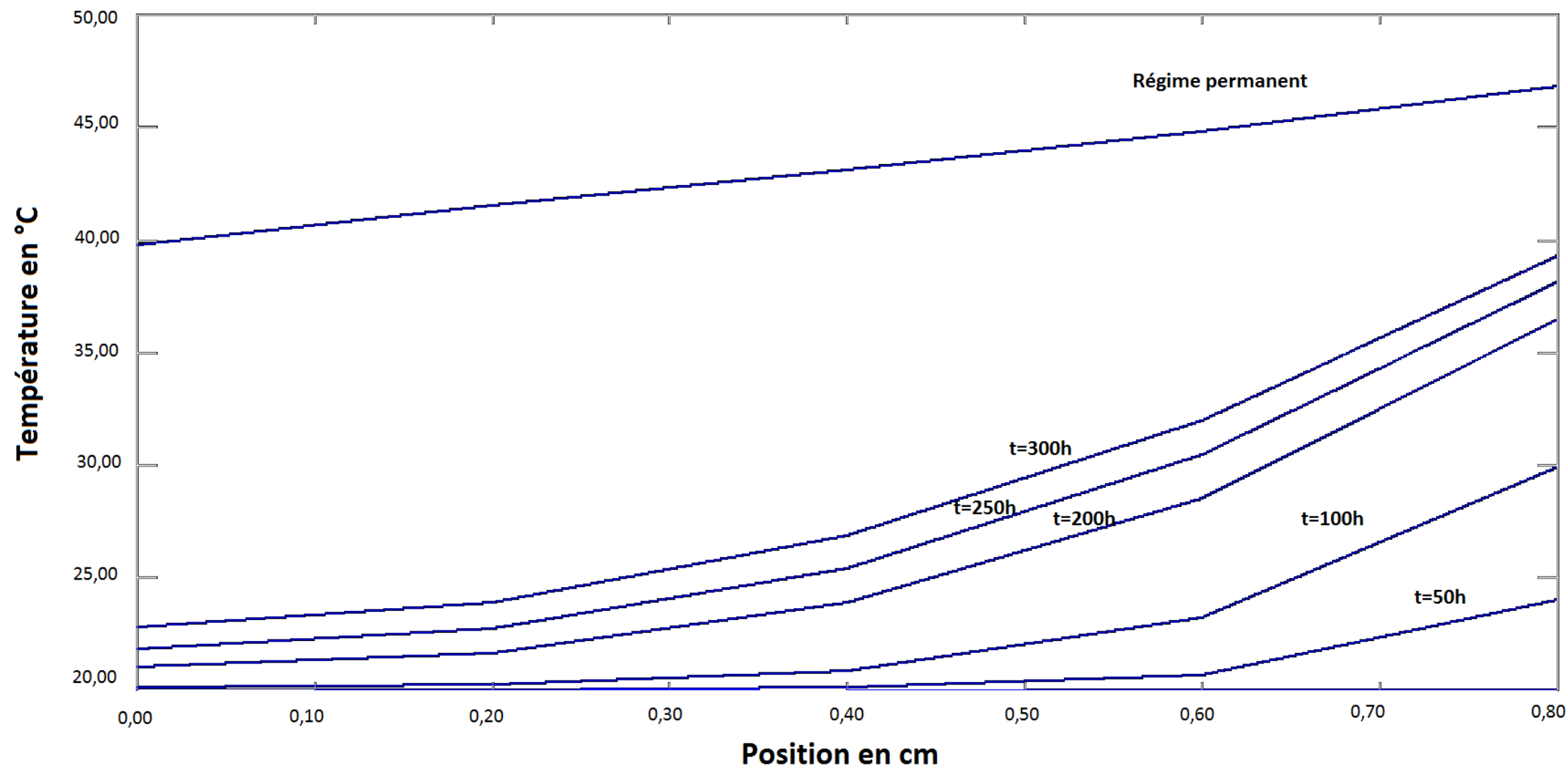


Isolation par l'extérieur

point R isolation intérieure ~ point A isolation extérieure



Evolution de la température en fonction de la position sur la droite AR à différents temps, variant de 0 à 300h pour une isolation classique (T en C° et abscisse en centimètres)



Evolution de la température en fonction de la position sur la droite AR à différents temps, variant de 0 à 300h pour une isolation par l'extérieur (T en C° et l'abscisse en centimètres)

Comment se caractérisent les zones propices aux fuites thermiques dans un bâtiment, et comment peut-on les modifier pour améliorer l'isolation globale ?

**Méthodes de
détection**

Détection
thermographique
rapide

Analyse précise du
phénomène avec les
éléments finis

**Analyse du
problème**

Identification
d'un pont
thermique

**Correction
du problème**

Mise en place d'une
isolation par l'extérieur

Conclusion

- L'isolation par l'extérieur est plus efficace, surtout sur le long terme
- Induit de nouvelles contraintes de construction
- Limites de l'étude proposée :
 - Étude d'un seul type de pont thermique
 - Simplification du problème
 - Étude seulement à partir de quelques matériaux
 - Aucune variation de température prise en compte



Programme CAST3M pour une isolation par l'intérieur

Données du programme :

```
* dimensions
x3 = 35. ; x4 = 30. ;
* epaisseur du bois et de l'acier
x1 = 1. ;
* epaisseur du polystyrène
x2 = 1. ;
* discrétisation du maillage
n0 = 50 ; n1 = 5 ;
* proprietes du bois
RHO1 = 1000. ; K1 = 0.2 ; C1 = 1500. ;
* proprietes de l'acier
RHO2 = 1000. ; K2 = 40. ; C2 = 1500. ;
* proprietes du polystyrene
RHO3 = 1000. ; K3 = 0.04 ; C3 = 1200. ;
* Coefficient de convection avec l'air
HCONV = 15. ;
* temperature initiale de l'air
TINI = 20. ;
* temperature de l'air exterieur
TEXT = 20. ;
* temperature de l'air chaud
THOT = 50. ;
```

Modèle des matériaux :

```
* bois
MOD1 = MODE sbois THERMIQUE ISOTROPE TRI6;
MAT1 = MATE MOD1 'RHO' RHO1 'K' K1 'C' C1 ;
* acier
MOD2 = MODE sacier THERMIQUE ISOTROPE TRI6;
MAT2 = MATE MOD2 'RHO' RHO2 'K' K2 'C' C2 ;
* polystyrene
MOD3 = MODE spoly THERMIQUE ISOTROPE TRI6;
MAT3 = MATE MOD3 'RHO' RHO3 'K' K3 'C' C3 ;
* surface non isolée : convection avec l'air exterieur
DEXT = DAM et DMN et DCN ;
MOD4 = MODE DEXT thermique CONVECTION ;
MAT4 = MATE MOD4 'H' HCONV ;
* surface chauffée : convection avec l'air interieur
DINT = DEH et DHI et DFI et DFS et DES ;
MOD5 = MODE DINT thermique CONVECTION ;
MAT5 = MATE MOD5 'H' HCONV ;

modtot = mod1 et mod2 et mod3 et mod4 et mod5 ;
mattot = mat1 et mat2 et mat3 et mat4 et mat5 ;
```

Géométrie du maillage :

```

* construction des points
PA = 0. 0. ; PB = (x4-x1) 0. ;
PC = x4 0. ; PD = x1 x1 ;
PE = (x1+x2) x1 ; PF = (x4-x1-x2) x1 ;
PG = (x4-x1) x1 ; PH = (x1+x2) (x3-x1-x2) ;
PI = (x4-x1-x2) (x3-x1-x2) ;
PK = x1 (x3-x1) ; PL = (x4-x1) (x3-x1) ;
PM = 0. x3 ; PN = x4 x3 ;
PO = 0. (-1.*x2) ; PP = x4 (-1.*x2) ;
PR = x1 0. ; PS = (x4/2.) x1 ;
PT = (x4/2.) 0. ; PU = (x4/2.) (-1.*x2) ;

*****
*****
* maillage *
* ----- *
*****
*****

* construction des droites
DAR = PA DROI n1 PR ; DRT = PR DROI (n0/2) PT;
DBT = PB DROI (n0/2) PT ; DDR = PD DROI n1 PR ;
DBG = PB DROI n1 PG; DFG = PG DROI n1 PF;
DES = PS DROI (n0/2) PE; DFS = PS DROI (n0/2) PF;
DDE = PE DROI n1 PD; DDK = PD DROI n0 PK;
DAM = PA DROI n0 PM ; DST = PS DROI 10 PT ;
DBC = PB DROI n1 PC ; DCN = PC DROI n0 PN ;
DMN = PN DROI n0 PM ; DEH = PE DROI n0 PH ;
DHI = PH DROI n0 PI ; DFI = PI DROI n0 PF ;
DGL = PG DROI n0 PL ; DKL = PL DROI n0 PK ;
DCP = PC DROI n1 PP ; DOU = PO DROI (n0/2) PU ;
DPU = PP DROI (n0/2) PU ; DAO = PA DROI n1 PO ;
DTU = PT DROI 10 PU ;

```

```

* construction des surfaces
SUR1 = SURF (DBG et DGL et DKL et DDK et DDR et DAR et
  DAM et DMN et DCN et DBC) PLANE ;
sbois = SUR1 ;

SUR2B = SURF (DDR et DRT et DST et DES et DDE) PLANE ;
SUR2C = SURF (DST et DBT et DBG et DFG et DFS) PLANE ;
sacier = sur2b et sur2c ;

SUR3 = SURF (DEH et DHI et DFI et DFG et DGL et DKL
  et DDK et DDE) PLANE ;
SUR3B = SURF (DAR et DRT et DTU et DOU et DAO) PLANE ;
SUR3C = SURF (DTU et DPU et DCP et DBC et DBT) PLANE ;
spoly = sur3 et sur3b et sur3c ;

surtot = sbois et sacier et spoly ;
trac ((coul rouge sbois) et (coul vert sacier) et
  (coul bleu spoly));

```


Résolution en régime permanent :

```
*- CREATION DES MATRICES DE CONDUCTIVITE -*
CND1 = CONDUCTIVITE MOD1 MAT1 ;
CND2 = CONDUCTIVITE MOD2 MAT2 ;
CND3 = CONDUCTIVITE MOD3 MAT3 ;
CND4 = CONDUCTIVITE MOD4 MAT4 ;
CND5 = CONDUCTIVITE MOD5 MAT5 ;

*- TEMPERATURES IMPOSEES: BLOQUE + DEPI --*
BB1 = BLOQUE (DAO et DOU et DPU et DCP) 'T' ;
EE1 = DEPI BB1 TEXT ;

*- FLUX EQUIVALENTS A LA CONDITION DE CONVECTION
CNV4 = CONVECTION MOD4 MAT4 'T' TEXT ;
CNV5 = CONVECTION MOD5 MAT5 'T' THOT ;

*- ASSEMBLAGE DES TERMES DE CONDUCTIVITE -*
CCC2 = CND1 ET CND2 ET CND3 ET CND4 ET CND5 ET BB1 ;

*-ASSEMBLAGE DES TERMES DE FLUX EQUIVALENTS
FFF2 = EE1 ET CNV4 ET CNV5 ;

*-----RESOLUTION -----*
CHTER1 = RESO CCC2 FFF2 ;
```

Post-traitement du régime permanent :

```
*-----POST-TRAITEMENT----*
trac surtot CHTER1;

* Temperature sur DAR
* Construction de l'evolution de T en fonction du rayon
LTEMPB = VIDE 'LISTREEL';
LRAYOB = VIDE 'LISTREEL';
NBPAS = 5 ;
REPE SURPAS NBPAS;
  INDICE = &SURPAS;
  LRAYOB = LRAYOB ET (PROG
    (COOR 1 (DAR POIN INDICE)));
  LTEMPB = LTEMPB ET (PROG
    (EXTR CHTER1 T
    (DAR POIN INDICE)));
FIN SURPAS;
EVTEMPB = EVOL BLEU MANU LRAYOB LTEMPB;
```

Résolution régime transitoire :

```
* 300 pas de temps de 1 h = 3600s
LTEMPS = PROG 0. PAS 3600. 1080000.;
EVOL3= EVOL MANU TEMP LTEMPS FLUX
                                (PROG 301 * 1.);

* creation du chargement de convection
CH_TE1 = MANU CHPO DEXT 1 'T' TEXT 'NATURE' DISCRET ;
* creation du chargement de convection
CH_TE2 = MANU CHPO 1 DINT 'T' THOT 'NATURE' DISCRET ;
CHACV = CHAR 'TECO' (CH_TE1 et CH_TE2) EVOL3 ;

* blocage
BLOCD = BLOQ (DAO et DOU et DPU et DCP) 'T';
TEMPD = DEPI BLOCD 1.;
LD = PROG 301 * TEXT ;
EVOLD = EVOL MANU TEMPS LTEMPS THETA LD;
CHAD = CHAR 'TIMP' TEMPD EVOLD;

*--- objets pour la procedure PASAPAS ----*
BLOCT = BLOCD ;
CHART = CHACV et CHAD ;

TAB1                                = TABL;
TAB1.'TEMPERATURES'                = TABL;
TAB1.'TEMPERATURES' . 0            =
                                MANU CHPO surtot 1 T TINI ;
TAB1.'BLOCAGES_THERMIQUES' = BLOCT;
TAB1.'CHARGEMENT'            = CHART;
TAB1.'MODELE'                = modtot;
TAB1.'CARACTERISTIQUES'     = mattot;
TAB1.'TEMPS_SAUVES'          =
                                PROG 0. PAS 3600. 1080000.;
TAB1.'TEMPS_CALCULES'        =
                                PROG 0. PAS 3600. 1080000.;
TAB1.'PROCEDURE THERMIOUE' = LINEAIRE;

PASAPAS TAB1;
```

Post-traitement du régime transitoire :

```
*-----POST-TRAITEMENT---*
* Trace de la repartition de temperature a t = 0 s
TITR 'Temperature a t = 0 s';
CHPO3 = PECHE TAB1 'TEMPERATURES'
                                TAB1. 'TEMPS' . 0;
TRAC surtot CHPO3;
* Trace de la repartition de temperature a t = 1*1h
TITR 'Temperature a t = 1h';
CHPO3 = PECHE TAB1 'TEMPERATURES'
                                TAB1. 'TEMPS' . 1;
TRAC surtot CHPO3;
* Trace de la repartition de temperature a t = 3*1h
TITR 'Temperature a t = 3h';
CHPO3 = PECHE TAB1 'TEMPERATURES'
                                TAB1. 'TEMPS' . 3;
TRAC surtot CHPO3;
* Trace de la repartition de temperature a t = 5*1h
TITR 'Temperature a t = 5h';
CHPO3 = PECHE TAB1 'TEMPERATURES'
                                TAB1. 'TEMPS' . 5;
TRAC surtot CHPO3;
* Trace de la repartition de temperature a t = 20*1h
TITR 'Temperature a t = 20h';
CHPO3 = PECHE TAB1 'TEMPERATURES'
                                TAB1. 'TEMPS' . 20;
TRAC surtot CHPO3;
* Trace de la repartition de temperature a t = 50*1h
TITR 'Temperature a t = 50h';
CHPO3 = PECHE TAB1 'TEMPERATURES'
                                TAB1. 'TEMPS' . 50;
TRAC surtot CHPO3;
* Trace de la repartition de temperature a t = 100*1h
TITR 'Temperature a t = 100h';
CHPO3 = PECHE TAB1 'TEMPERATURES'
```

```

* Temperature sur DAR à différents temps
* Construction de l'evolution de T en fonction du rayon
LISTPS = PROG 0 1 50 100 200 250 300 ;
LTEMPB = TABLE ;
REPE SURTPS 7 ;
    INDTPS = &SURTPS ;
    LTEMPB.INDTPS = VIDE 'LISTREEL';
FIN SURTPS ;
LRAYOB = VIDE 'LISTREEL';
NBPAS = 5 ;
REPE SURPAS NBPAS;
    INDICE = &SURPAS;
    LRAYOB = LRAYOB ET (PROG
        (COOR 1 (DAR POIN INDICE)));
    REPE SURTPS 7 ;
        INDTPS = &SURTPS ;
        IND = ENTI (extr LISTPS INDTPS) ;
        LTEMPB.INDTPS = LTEMPB.INDTPS ET (PROG
            (EXTR (TAB1.'TEMPERATURES'. IND) T
                (DAR POIN INDICE)));
    FIN SURTPS ;
FIN SURPAS;

EVTEMPB1 = EVOL BLEU MANU LRAYOB LTEMPB.1;
EVTEMPB2 = EVOL BLEU MANU LRAYOB LTEMPB.2;
EVTEMPB3 = EVOL BLEU MANU LRAYOB LTEMPB.3;
EVTEMPB4 = EVOL BLEU MANU LRAYOB LTEMPB.4;
EVTEMPB5 = EVOL BLEU MANU LRAYOB LTEMPB.5;
EVTEMPB6 = EVOL BLEU MANU LRAYOB LTEMPB.6;
EVTEMPB7 = EVOL BLEU MANU LRAYOB LTEMPB.7;

DESS (EVTEMPB1 et EVTEMPB2 et EVTEMPB3 et
    EVTEMPB4 et EVTEMPB5 et EVTEMPB6 et EVTEMPB7 et
    EVTEMPB) ;

TEMPS;

FIN;

```