

# Optimisation des surfaces >>> <sup>1</sup> urbaines: les murs végétaux

## Problématique:

La performance énergétique d'un mur végétal peut-elle rivaliser avec l'isolation « classique » actuelle?



# Sommaire

- Résistance thermique des isolations
  - Mise en place du système et hypothèse
  - Résistances thermiques
- Evolution de la température
  - Maquette et montage
  - Codes Arduino et Python
  - Cas n°1: simulation « hiver »
  - Cas n°2: simulation été
- Simulation SolidWorks
  - Présentation des maquettes
  - Cas n°1: simulation « hiver »
  - Cas n°2: simulation été
- Relevés caméra thermique
  - Cas n°1: simulation « hiver »
  - Cas n°2: simulation été
- Confrontations des différents résultats



- **Histoire des murs végétaux:**

- ✓ Roberto Burle Marx (1909-1994) → terrariums et aqua-terrariums
- ✓ Patrick Blanc → mur végétal (brevet en 1988)

- **Intérêts des murs végétaux (extérieurs):**

- ✓ Isolations thermique et acoustique
- ✓ Dépolluants
- ✓ Esthétique
- ✓ Optimisation des surfaces urbaines



Patrick Blanc

Echelle 1:16



- **Un exemple de mur végétal:** Centre commercial Saint Sébastien à Nancy (54)

- ✓ 550 € du m<sup>2</sup>
- ✓ 12 panneaux de 37 m<sup>2</sup>
- ✓ Système d'arrosage automatique contrôlé à distance
- ✓ 23 L/h (45 minutes tous les 2 jours)
- ✓ Entretien manuel une fois par mois (par un botaniste)
- ✓ Plantes de type vivace (misère, helxine...)



- Mise en place du système et hypothèse:**

*{Maquette, paroi frontale}*

Par le premier principe,

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Or, en régime permanent,

$$T(x) = Ax + B$$

Conditions initiales,

$$\begin{cases} T(0) = T_{int} \\ T(L) = T_{ext} \end{cases}$$

La température suit une loi affine,

$$T(x) = \frac{T_{ext} - T_{int}}{L} x + T_{int}$$

Flux thermique,

$$\Phi = \lambda \frac{T_{int} - T_{ext}}{L} S$$

Résistance thermique,

$$R_{th} = \frac{L}{\lambda S}$$

$\rho$  en  $kg/m^3$

$c$  en  $J/K$

$T$  en  $K$

$\lambda$  en  $W.m^{-1}.K^{-1}$

$L$  en  $m$

$S$  en  $m^2$

$\Phi$  en  $W$

$R_{th}$  en  $K/W$



- Résistance thermique:**

$$R_{th} = \frac{1}{\frac{1}{R_{th\text{porte}}} + \frac{1}{R_{th\text{mur}}} + \frac{2}{R_{th\text{fenêtre}}}}$$

$$\lambda \text{ en } W.m^{-1}.K^{-1}$$

$$L \text{ en } m$$

$$S \text{ en } m^2$$

	<i>Isolation « classique »</i>	<i>Isolation végétale</i>
Résistance thermique mur (théorique)	$R_{thmur} = \frac{L_c}{\lambda_c S_c} + \frac{L_{im}}{\lambda_{im} S_{im}} + \frac{L_b}{\lambda_b S_b}$	$R_{thmur} = \frac{L_c}{\lambda_c S_c} + \frac{L_{im}}{\lambda_{im} S_{im}} + \frac{L_b}{\lambda_b S_b} + \frac{L_{mf}}{\lambda_{mf} S_{mf}}$
Résistance thermique mur (K/W)	12,86	33,38
Résistance thermique fenêtres (K/W)	95,59	95,59
Résistance thermique porte (K/W)	18,16	18,16
<b>Résistance thermique (K/W)</b>	<b>6,50</b>	<b>9,44</b>



- Maquette et montage:**



Carton

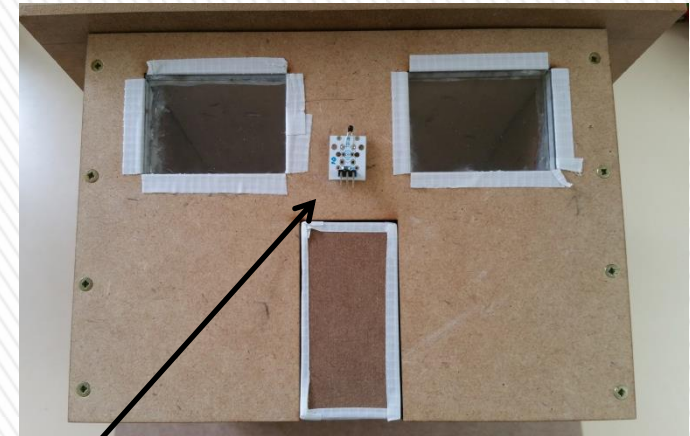
Isolant mince

Médium

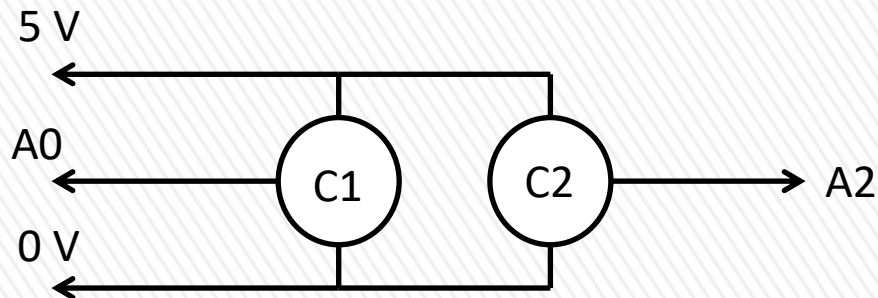
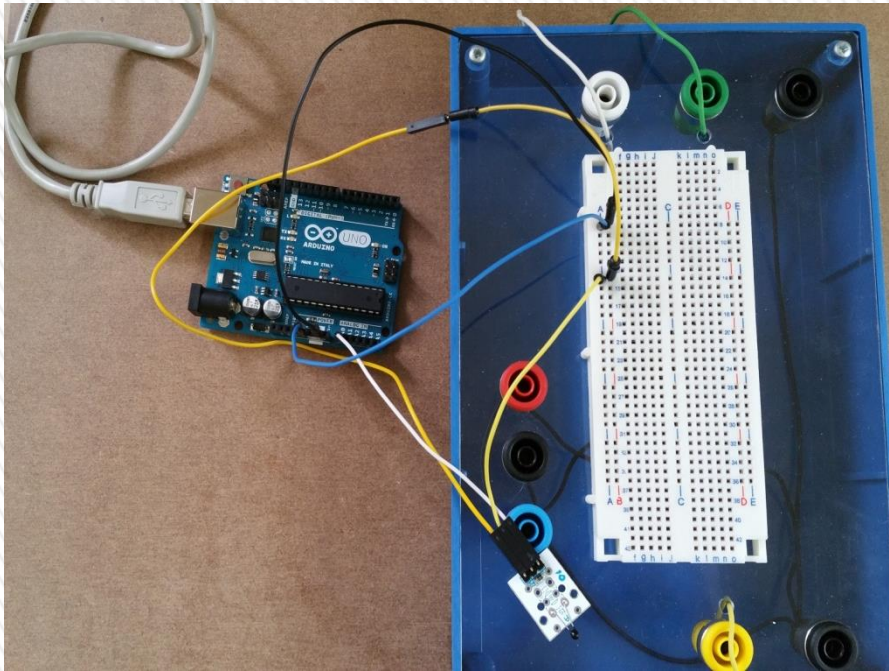
Vues du dessous



Mousse florale

Capteur de  
température

- Maquette et montage:**



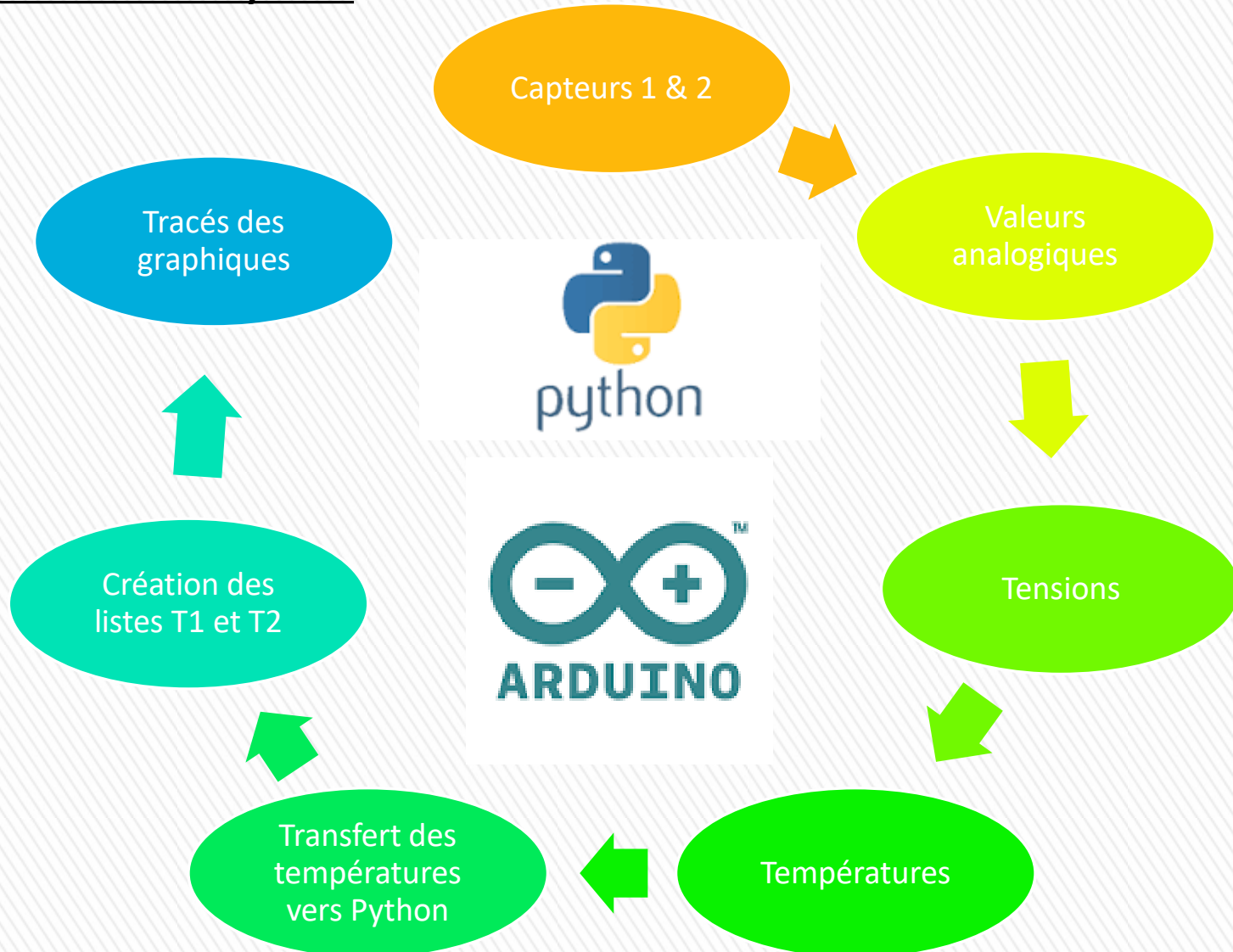
2400 W



15 W



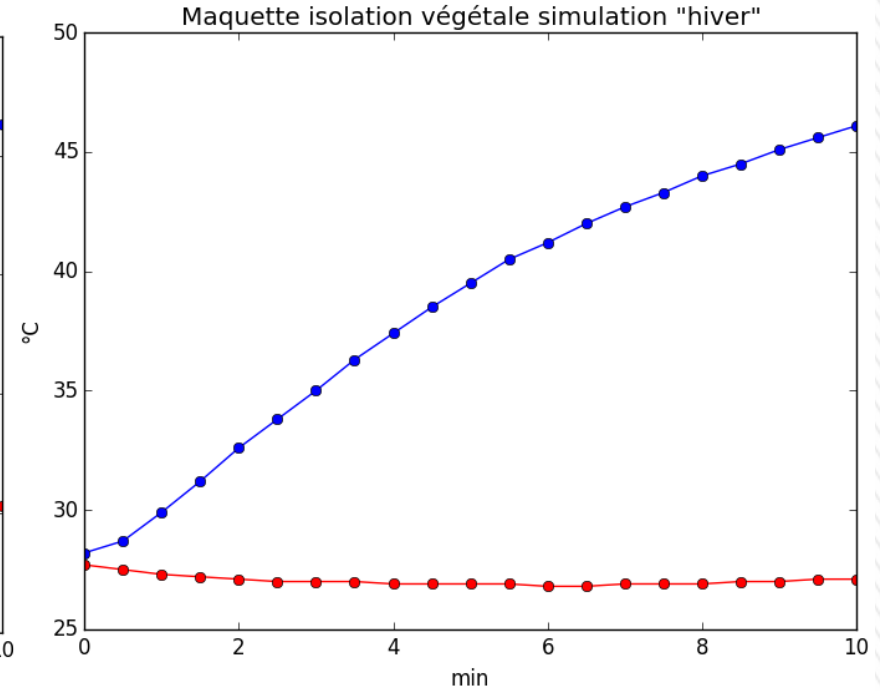
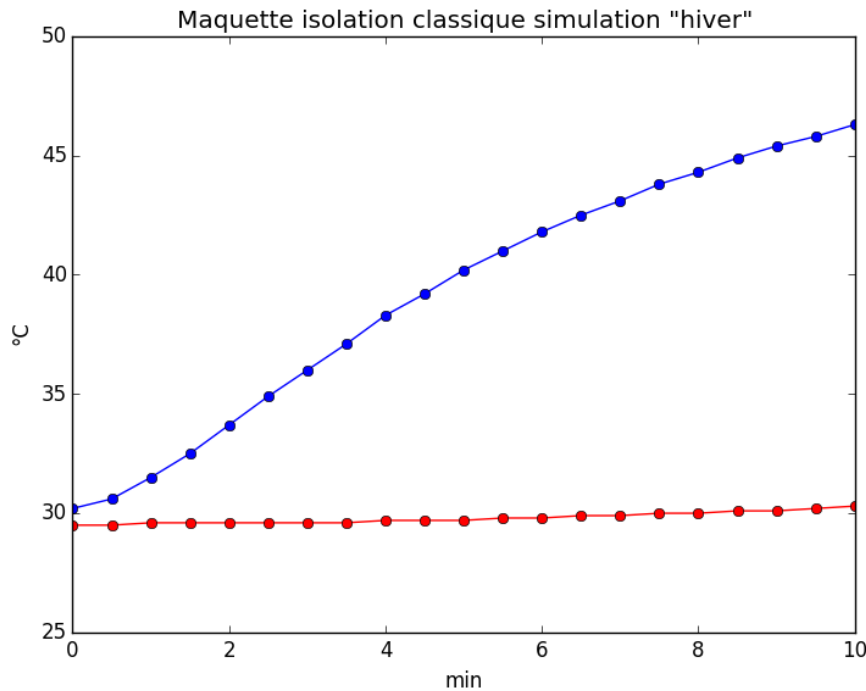
- Codes Arduino et Python:



- Cas n°1, simulation « hiver » :**

--Température extérieure

--Température intérieure



## Isolation classique

## Isolation végétale

 $T_{ext}$  initiale

29,5°C

27,7°C

 $T_{ext}$  finale

30,3°C

27,4°C

 $\Delta T$ 

+0,8°C

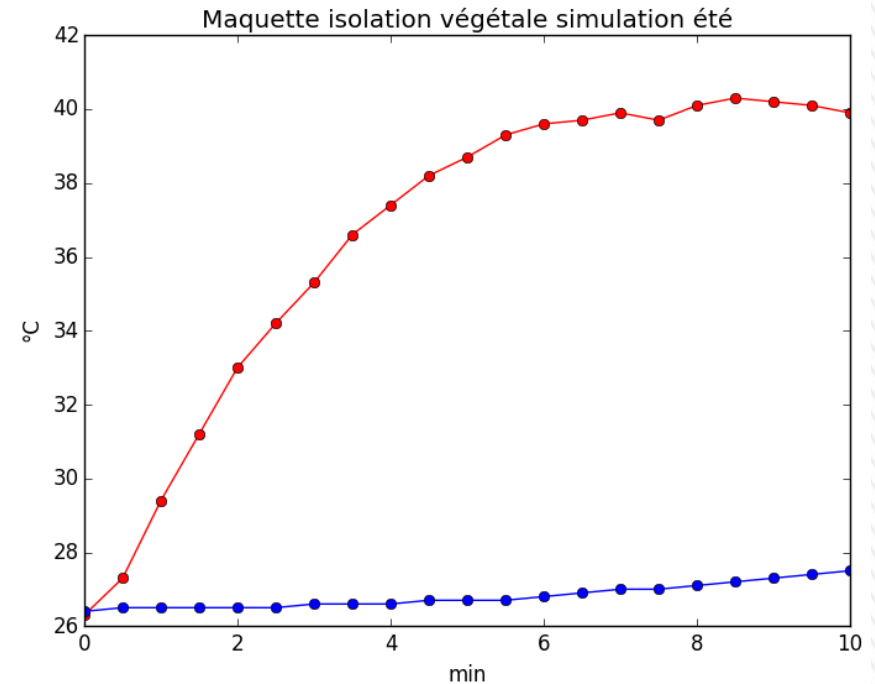
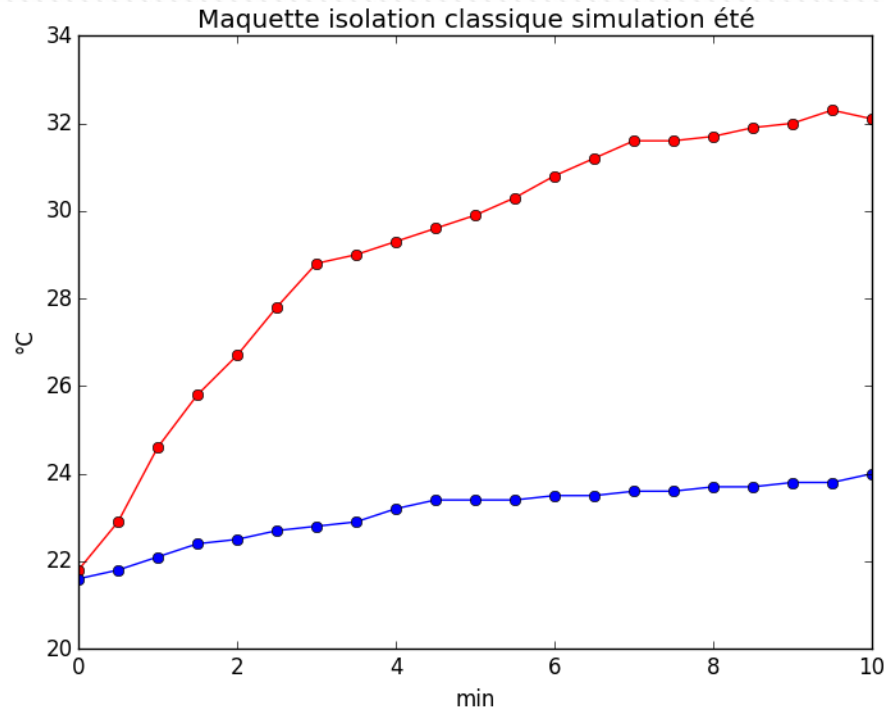
≈0°C



- Cas n°2, simulation été :

--Température extérieure

--Température intérieure



## Isolation classique

## Isolation végétale

 $T_{int}$  initiale

21,6°C

26,4°C

 $T_{int}$  finale

24°C

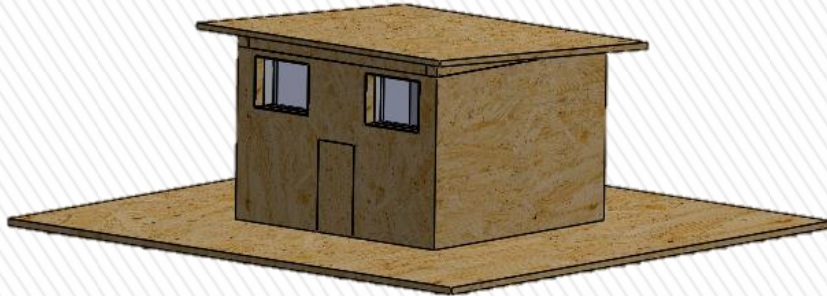
27,5°C

 $\Delta T$ 

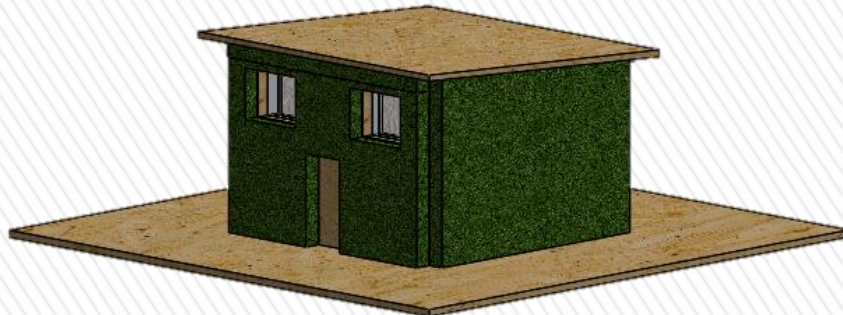
+2,4°C

+1,1°C

- **Présentation des maquettes:**

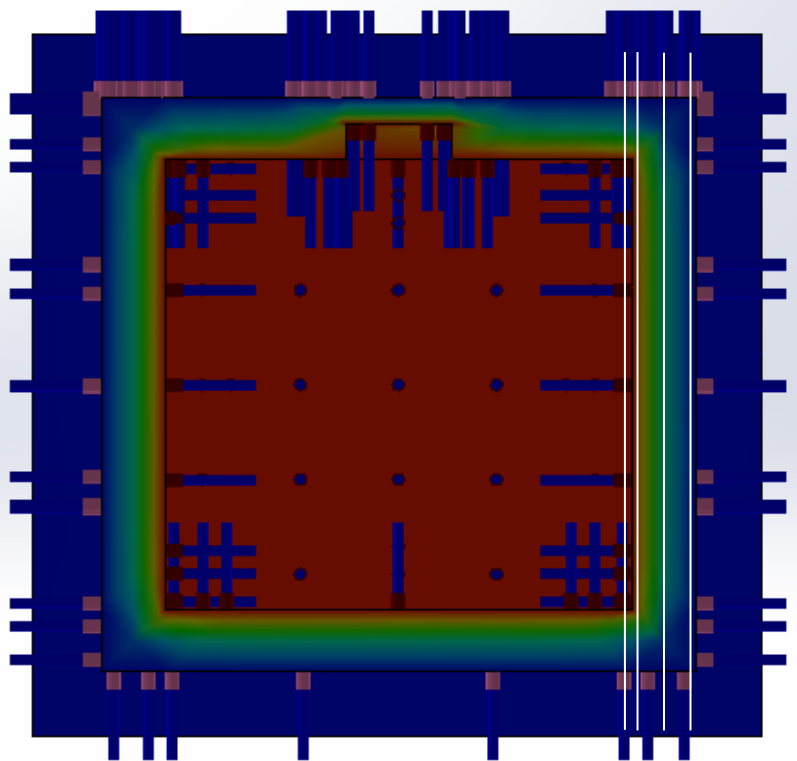


1. Planches de médium (12 et 6 mm)
2. Isolant mince (8 mm)
3. Carton simple (4 mm)
4. Plaque de plexiglas (3 mm)
5. Mousse florale (15 mm)

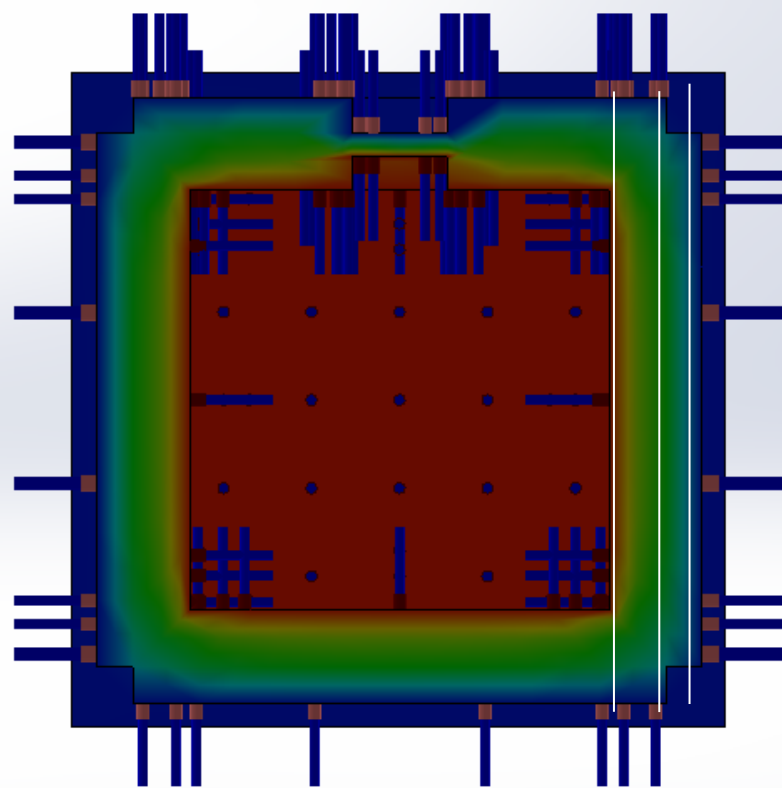




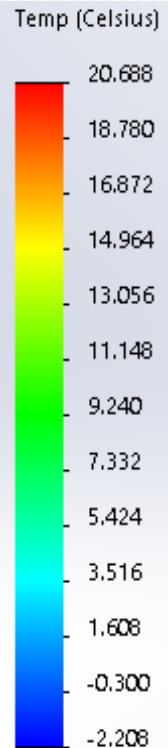
- Cas n°1, simulation « hiver » :



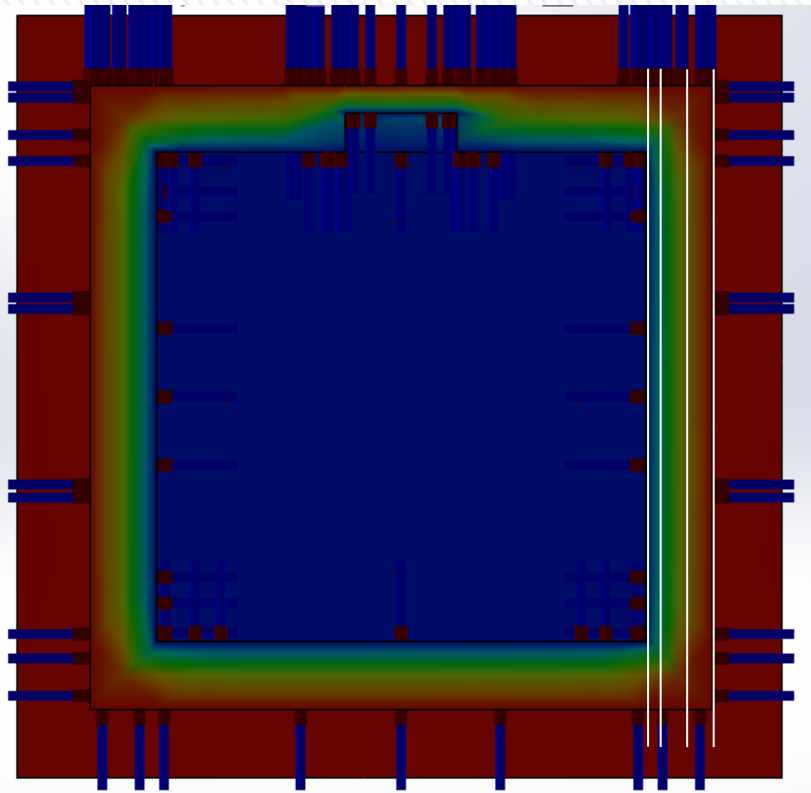
Isolation classique  
(vue du dessous)



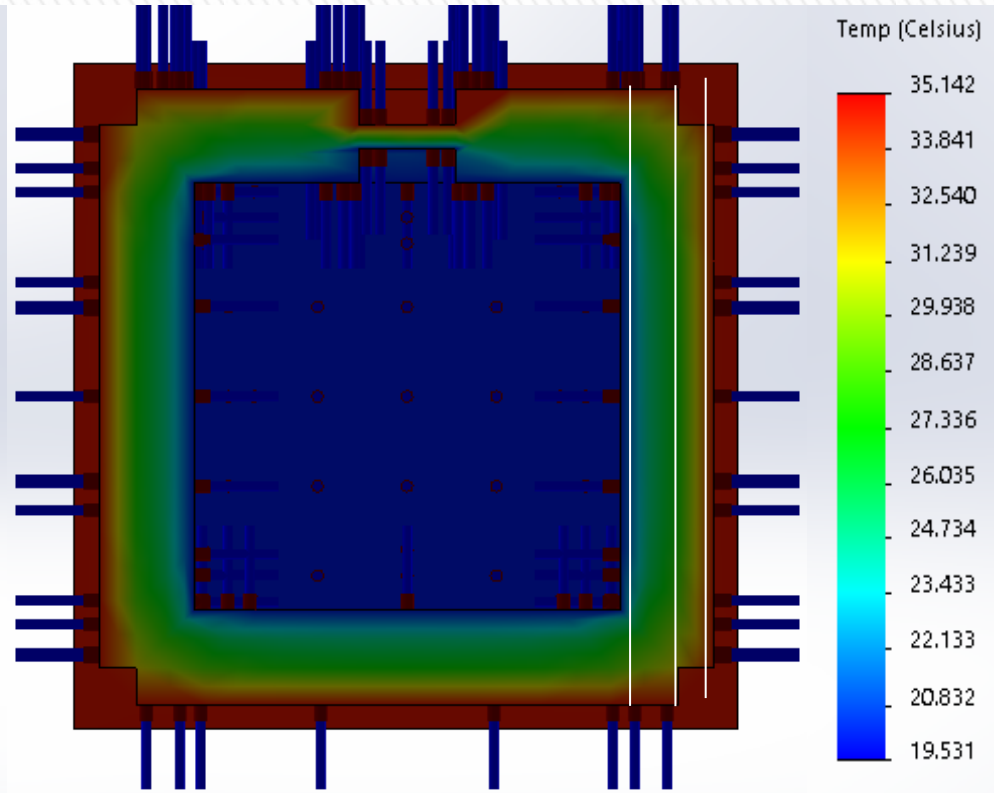
Isolation végétale  
(vue du dessous)



- Cas n°2, simulation été :



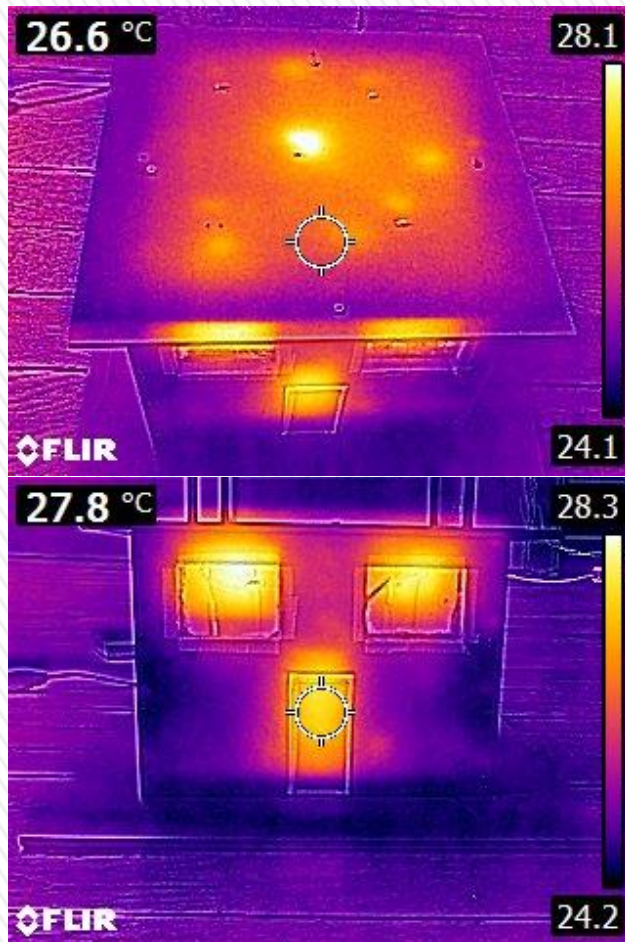
Isolation classique  
(vue du dessous)



Isolation végétale  
(vue du dessous)



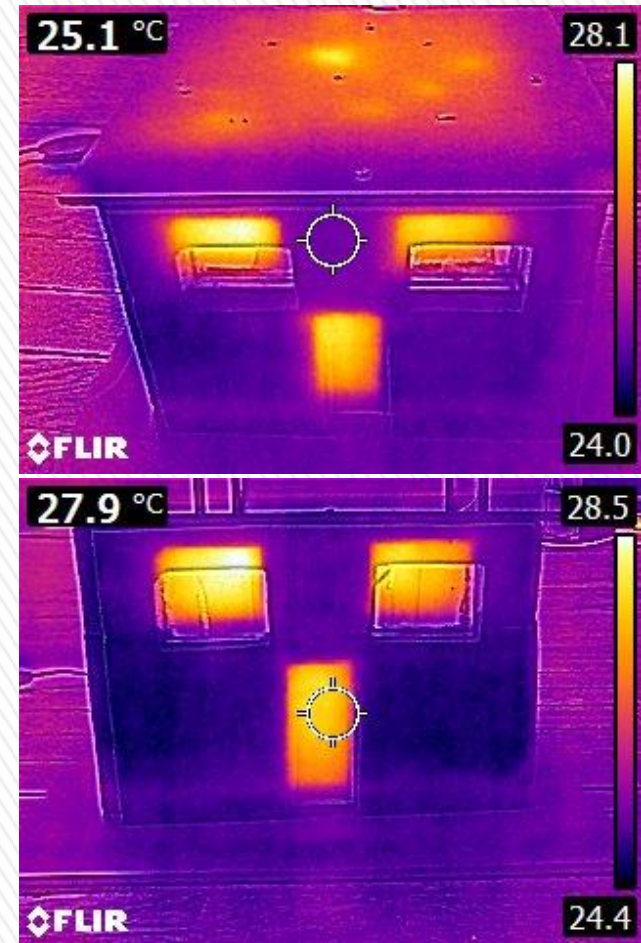
- Cas n°1, simulation « hiver » :



Isolation classique

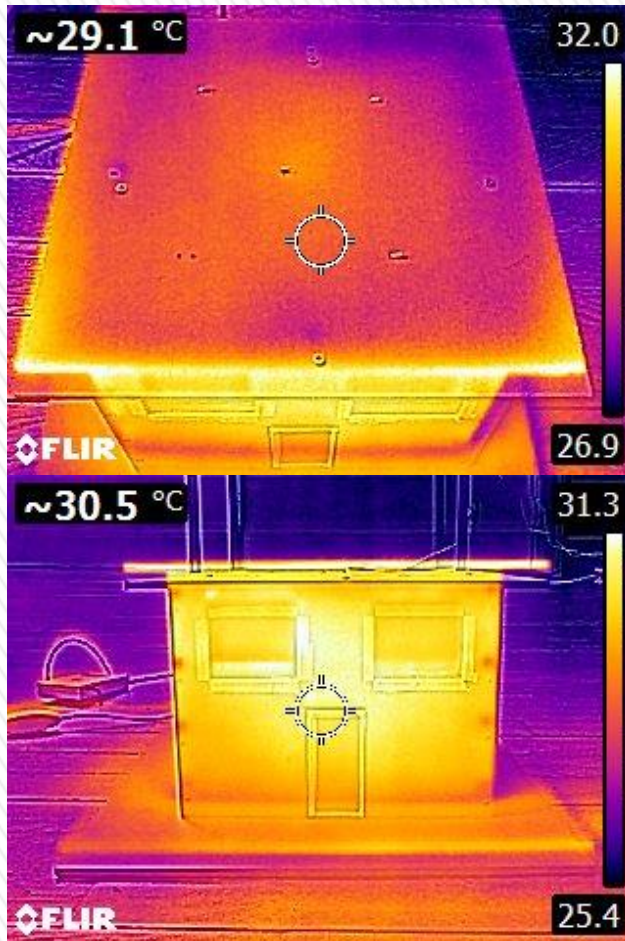
Vue oblique

Vue de face



Isolation végétale

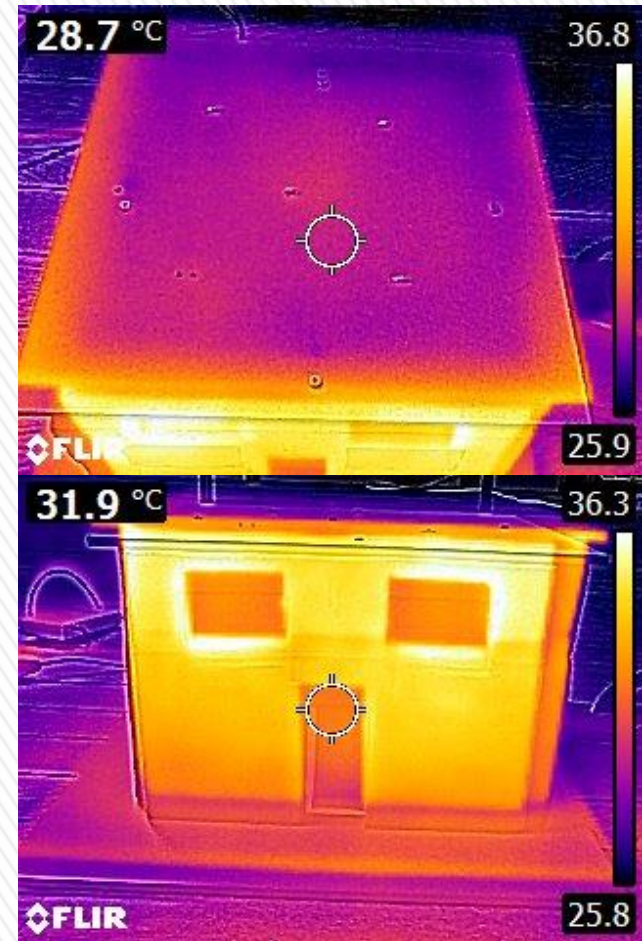
- Cas n°2, simulation été :



Isolation classique

Vue oblique

Vue de face



Isolation végétale



Introduction	Résistance thermique	Evolution de la température	Simulation SolidWorks	Relevés camera thermique	Confrontations des résultats Conclusions
--------------	----------------------	-----------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------------------------------

	Simulation « hiver »		Simulation été	
	Classique	Végétale	Classique	Végétale
Résistance thermique (K/W)	6,50	9,44	6,50	9,44
Evolution de la température	+0,8°C	≈0°C	+2,4°C	+1,1°C

- Avantages d'une isolation végétale:
  - ✓ Meilleure résistance thermique
  - ✓ Bonne préservation de la température en hiver
  - ✓ Bonne protection l'été
  - ✓ Répartition du flux de chaleur dans la totalité du mur