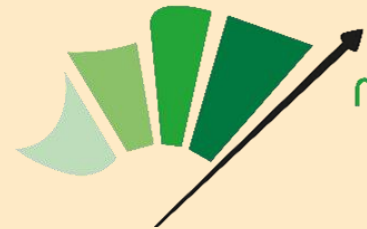


# Verre à transmission sélective infrarouge

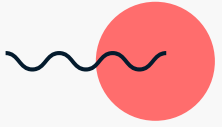
Par Félix Turbide et  
Renaud Tremblay



Centre  
matapédien  
d'études  
collégiales



# Table des matières



**01.**

**Introduction**

**02.**

**Objectifs**

**03.**

**Méthodologie**

**04.**

**Résultats**

**05.**

**Conclusion**





01.

# Introduction

Comment ça fonctionne?



# Comment ça fonctionne?

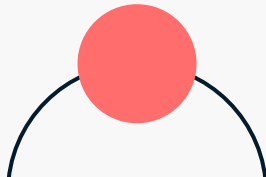


## Émissivité :

Capacité d'un matériau à émettre et à absorber l'énergie thermique par rayonnement infrarouge, mesurée par un coefficient de 0 à 1, où 1 représente un corps noir idéal.

**Verre non-traité : 0.837**

**Verre traité aux nanoparticules d'Ag : 0.015**



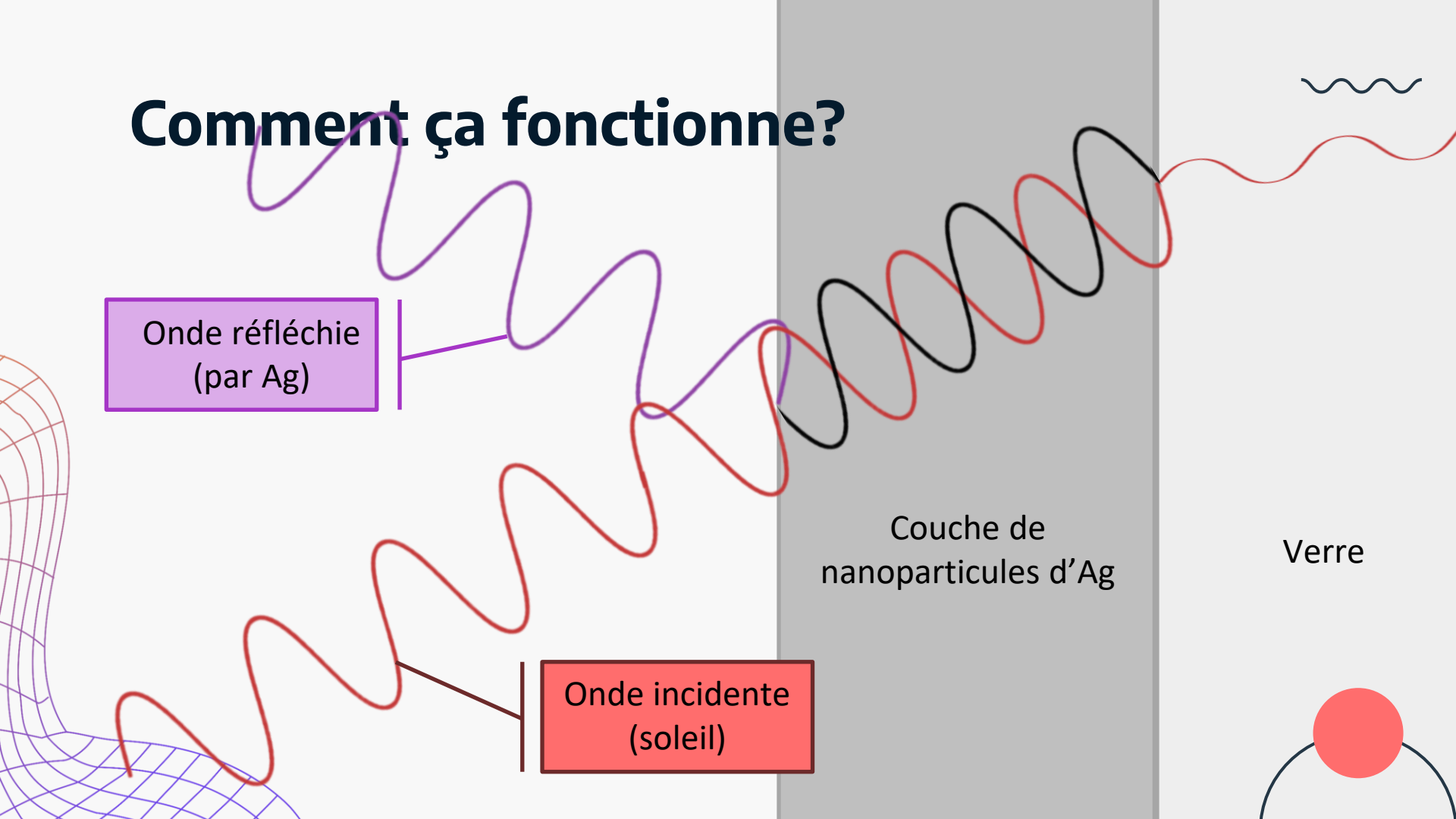
# Comment ça fonctionne?

Onde réfléchie  
(par Ag)

Couche de  
nanoparticules d'Ag

Verre

Onde incidente  
(soleil)





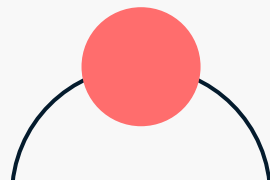
# Comment ça fonctionne?

## **TLV (Transmission lumière visible) :**

Cette unité mesure la quantité de lumière visible qui traverse le verre. L'échelle va de 0 à 1, les valeurs les plus élevées laissant passer davantage de lumière.

**Verre non-traité : 0,92**

**Verre traité aux nanoparticules d'Ag : 0,35**

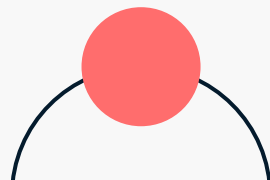
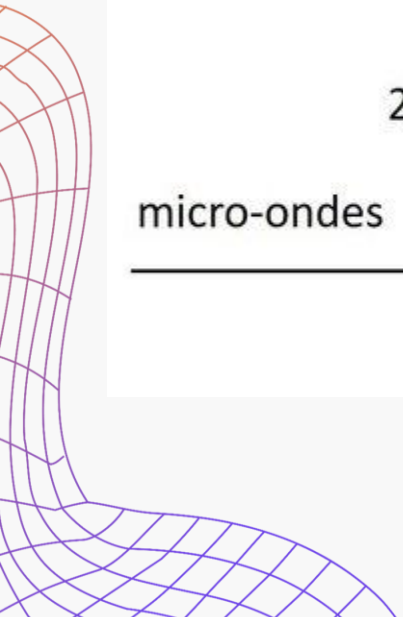
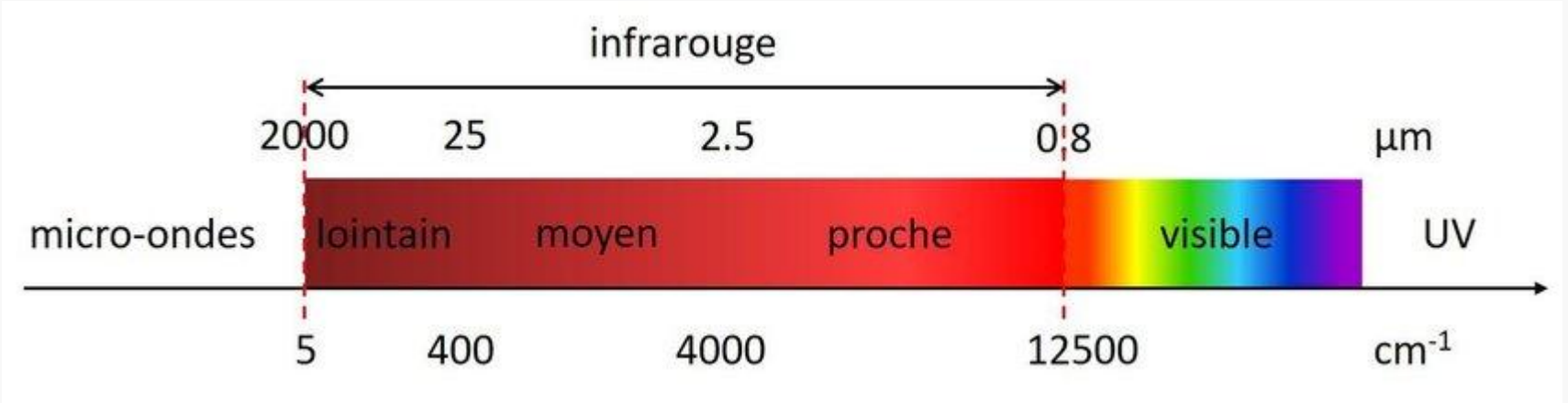




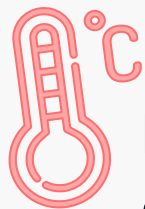
# Comment ça fonctionne?

## Rayonnement infrarouge :

Le rayonnement infrarouge peut être classé en 3 catégories :



# Pourquoi réfléchir les infrarouges?



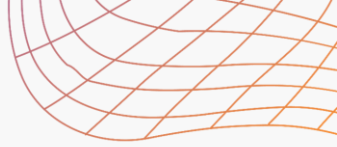
**Des bâtiments plus  
chaud en hiver**

**Des bâtiments plus  
frais en été**

Hypothèse : Il est possible de bloquer efficacement les IR afin de limiter la consommation énergétique, autant en hiver qu'en été tout en conservant la TLV.



# Pourquoi réfléchir les infrarouges?



## Des bâtiments plus chaud en hiver



Puisque les bâtiments consomment beaucoup d'énergie (~40% du total d'énergie), les fenêtres sont responsables d'une grande partie des pertes thermique.

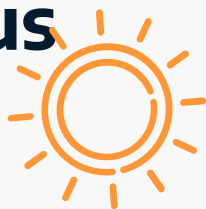
Les résistances non rouges émettent surtout en infrarouge moyen et lointain.

$$\text{Loi de Wien : } \lambda_{max} = \frac{2,8977 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{T} = \frac{2,8977 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{350} = 8,279 \times 10^{-6} \text{ m} = 8,279 \text{ } \mu\text{m}$$

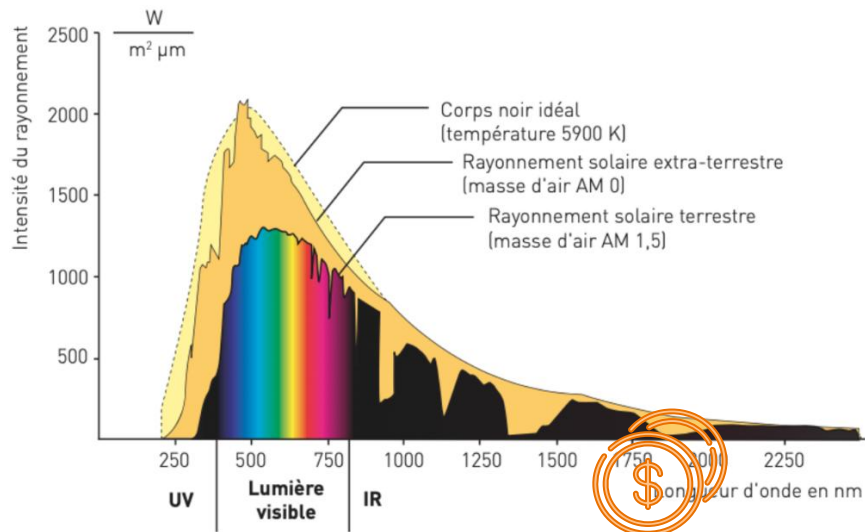


# Pourquoi réfléchir les infrarouges?

## Des bâtiments plus frais en été



À l'inverse, les rayons du soleil pénétrant dans les bâtiments en été réchauffent ces derniers, ce qui demande plus de climatisation.





# 02.

# Objectifs

Création de prototypes





# Création de prototypes

## Nanoparticules d'argent

L'utilisation de nanoparticules d'Ag nous permettra de tester l'efficacité de fenêtres « low-e ». L'efficacité espérée devrait être élevée, mais la transparence sera plus faible (35% du visible).

## Films commerciaux

La comparaison avec des films déjà disponible sur le marché permet de valider si les résultats sont satisfaisants.





03.

# Méthodologie

Quelles seront les expériences réalisées?



# Quelles seront les expériences réalisées?

## 1. Dépôt de nanoparticules d'Ag

Les dépôts de particules seront effectués par une technique nommée le « spin coating ».

## 2. Simulation du chauffage d'un bâtiment

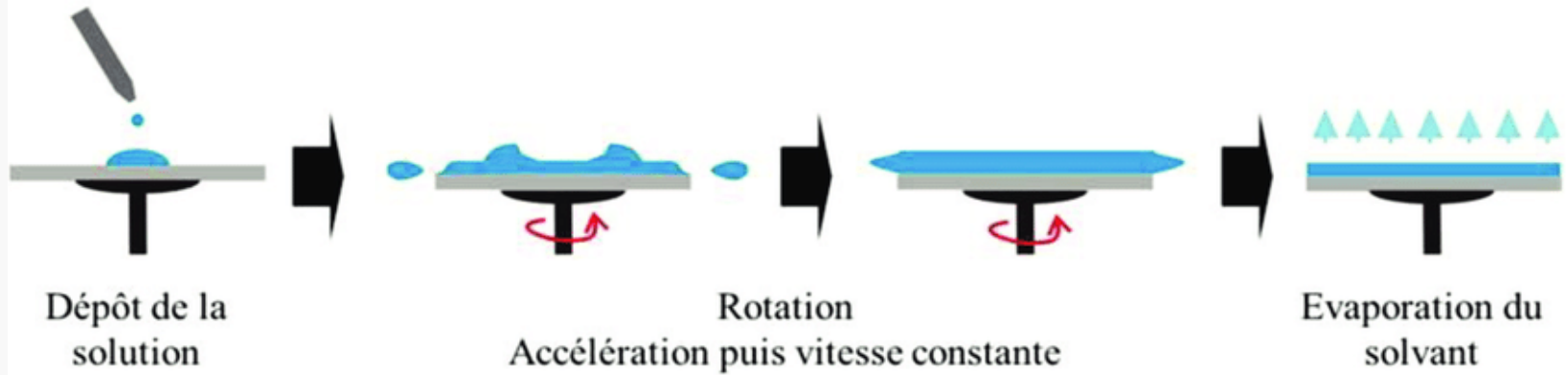
La fabrication d'une boîte isolée simulant un bâtiment et munie de capteurs de température permettra d'observer l'efficacité de nos prototypes.



# Quelles seront les expériences réalisées?

## 1. Dépôt de nanoparticules d'Ag

Les dépôts de particules sont effectués par une technique nommée le « spin coating ».



# Quelles seront les expériences réalisées?

## 1. Dépôt de nanoparticules d'Ag

Les nanoparticules seront synthétisées par un processus de polyol modifié.





## Processus de polyol

Définition et mécanisme:

Utiliser un polyol (l'éthylène glycol) comme solvant et agent réducteur. Dans cette méthode, les sels métalliques ( $\text{AgNO}_3$ ) sont réduits en présence du polyol à des températures élevées. Cette réduction conduit à la formation de nanoparticules.



### C'est quoi un polyol ?

Molécule organique qui possède plusieurs groupes alcool (-OH)

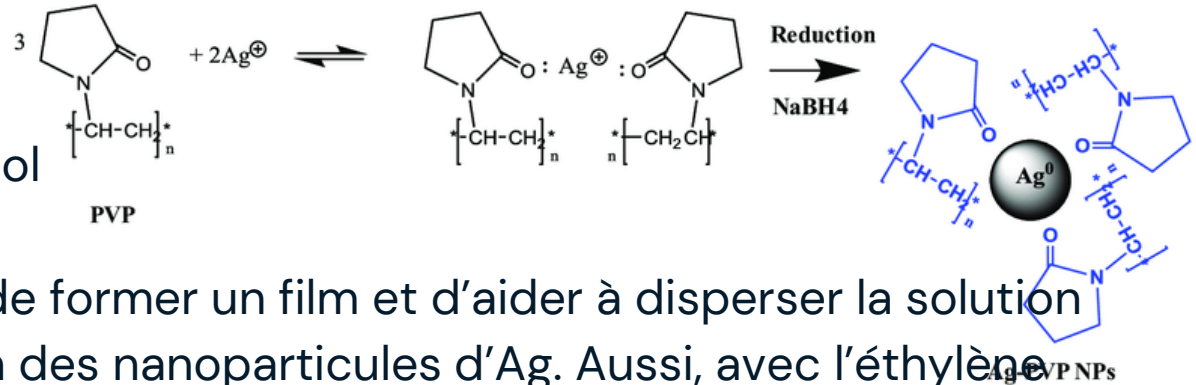


# Quelles seront les expériences réalisées?

## 1. Dépôt de nanoparticules d'Ag

10 g de PVP

75 mL d'éthylène glycol



Le rôle de la PVP est de former un film et d'aider à disperser la solution en évitant l'agrégation des nanoparticules d'Ag. Aussi, avec l'éthylène glycol, il sert à diriger la formation des nanoparticules d'Ag dans le processus de polyol.



# Quelles seront les expériences réalisées?

## 1. Dépôt de nanoparticules d'Ag

400 mg d'AgNO<sub>3</sub>

Le bécher est ensuite mis dans un bain d'huile à 120 °C pendant une heure.



# Quelles seront les expériences réalisées?

## 1. Dépôt de nanoparticules d'Ag

Une solution piranha sera utilisée pour nettoyer les verres. Elle est composée de 7 parts d'acide sulfurique pour 3 parts de peroxyde d'hydrogène.



# Quelles seront les expériences réalisées?

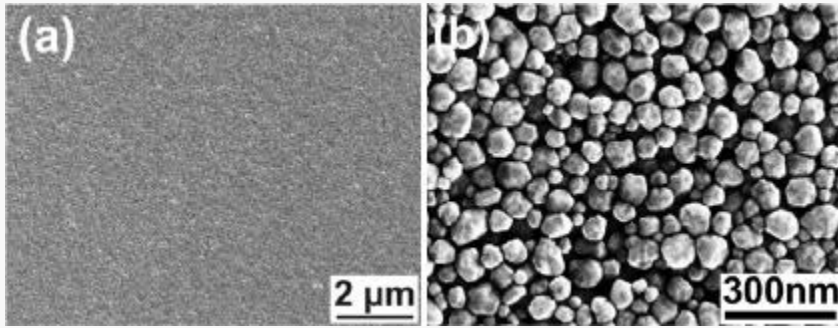
## 1. Dépôt de nanoparticules d'Ag

Les nanoparticules seront ensuite dispersées dans de l'éthanol à une concentration de 10 mg/mL. Elles sont ensuite déposées par spin coating à 2000 rpm.

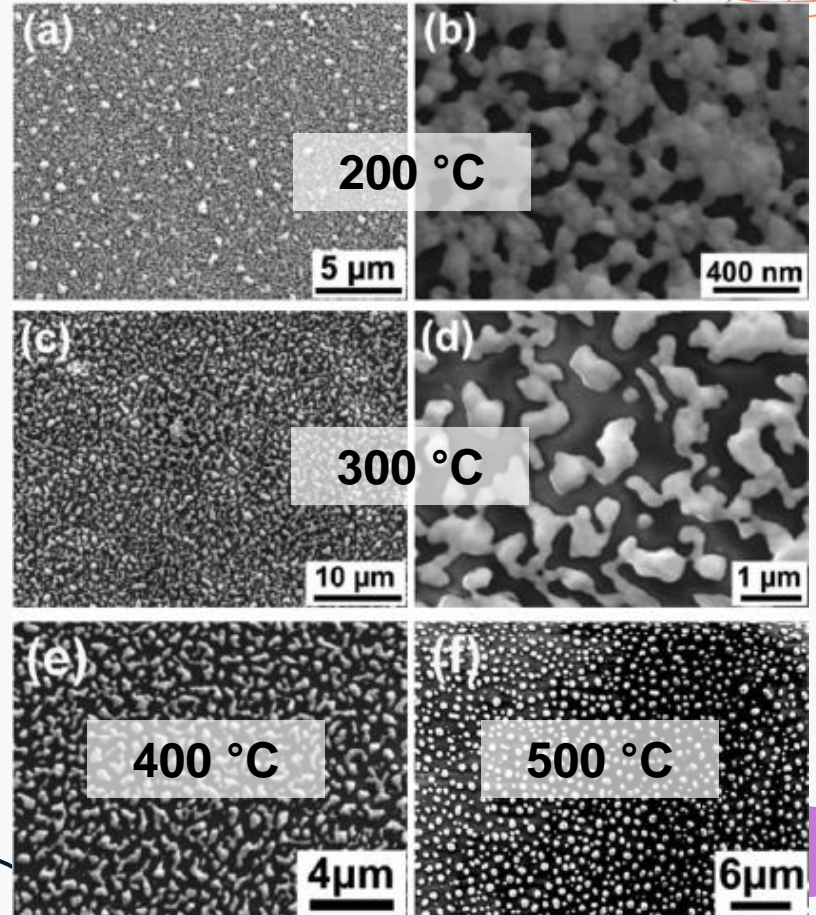
Les échantillons seront séchés naturellement à l'air, puis recuits à des températures de 200 °C pendant 2 heures.

C'est à cette température que la réflexion semble la plus importante selon le document de recherche.





**La couche de nanoparticules d'argent vu au microscope avant le recuit**



①

Boite de  
simulation

②

Création de  
prototypes

③

Test initiaux

# Boîte de simulation



# Boîte de simulation

Principes

Conception

Résultats

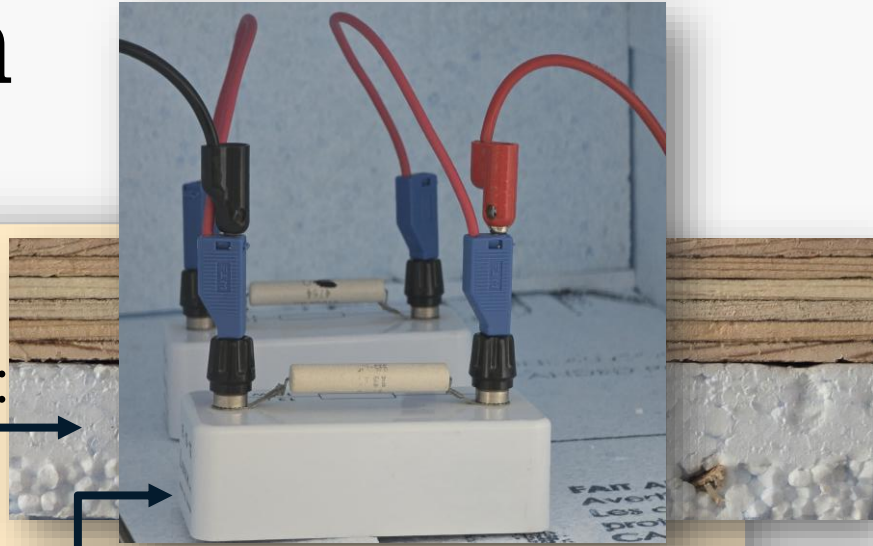
# Boîte de simulation

## Principes

Système thermique contrôlé :

- Environnement isolé
- Rayonnement thermique
- Conditions expérimentales constantes
- Mesure de la consommation d'électricité
- Comparaison verre normal et traité

$$Q_{total} = Q_{chauffage} - Q_{structure} - Q_{fenêtres}$$



# Boîte de simulation

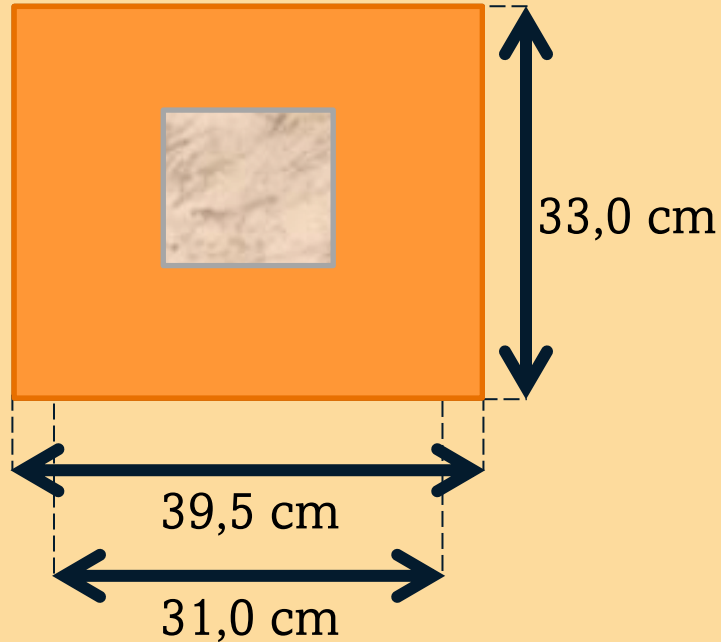
## Conception







# Boîte de simulation

Conception

Coupe transversale



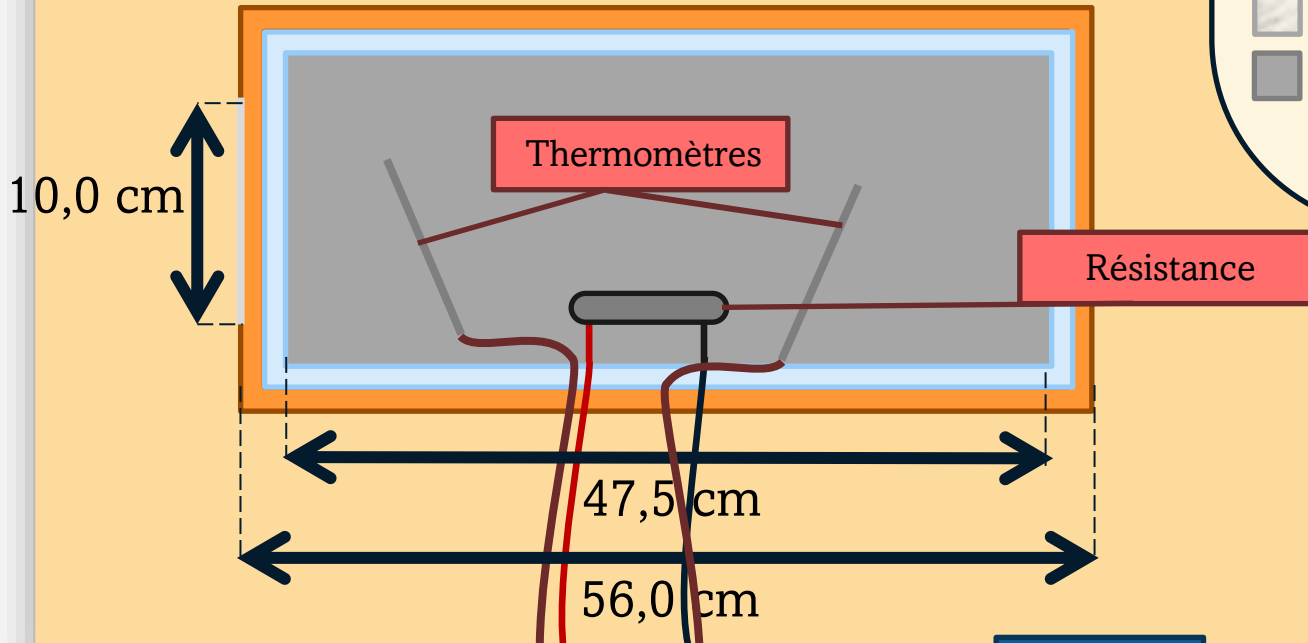
Légende

-  Contreplaqué
  -  Polystyrène
  -  Verre
  -  Aluminium
- Inc.  $\pm 0,5$  cm

# Boîte de simulation

Conception

Coupe longitudinale

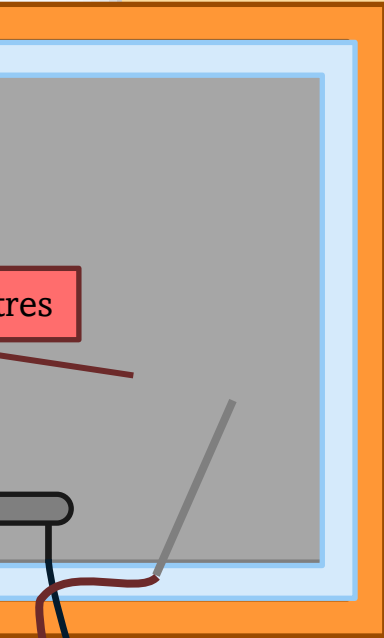


Légende

- Contreplaqué
  - Polystyrène
  - Verre
  - Aluminium
- Inc.  $\pm 0,5$  cm

# Boîte de simulation

Conception



Interface  
PASCO 750



Légende

- Contreplaqué
  - Polystyrène
  - Verre
  - Aluminium
- Inc.  $\pm 0,5$  cm

Amplificateur  
de puissance

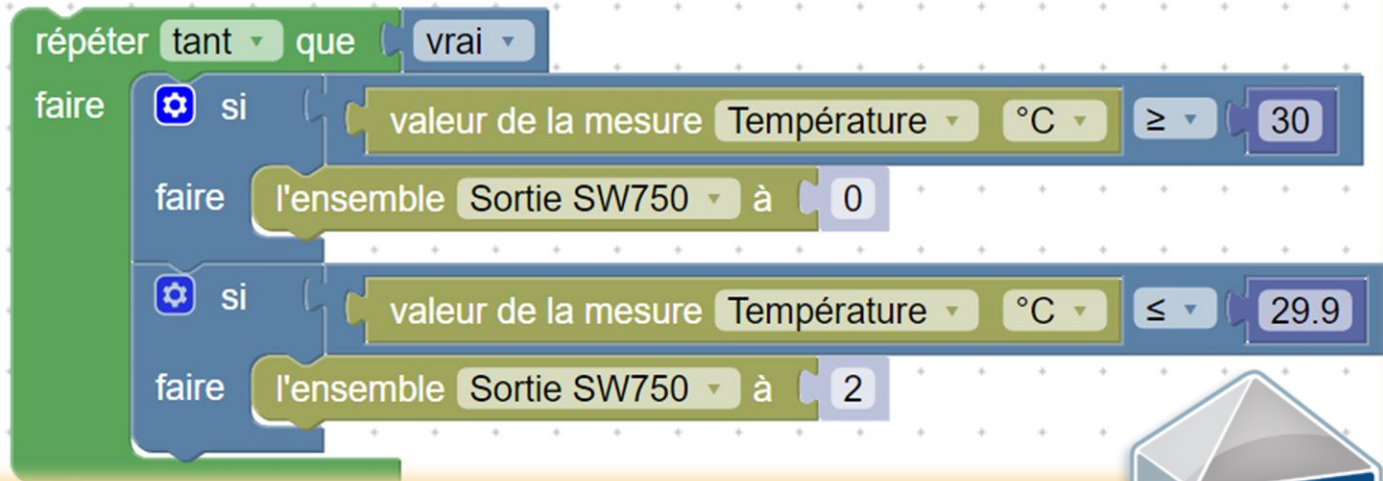


Système d'acquisition de données

# Boîte de simulation

Conception

Logiciel d'acquisition de données



# Boîte de simulation

## Résultats

Volume : 35 340 cm<sup>3</sup>

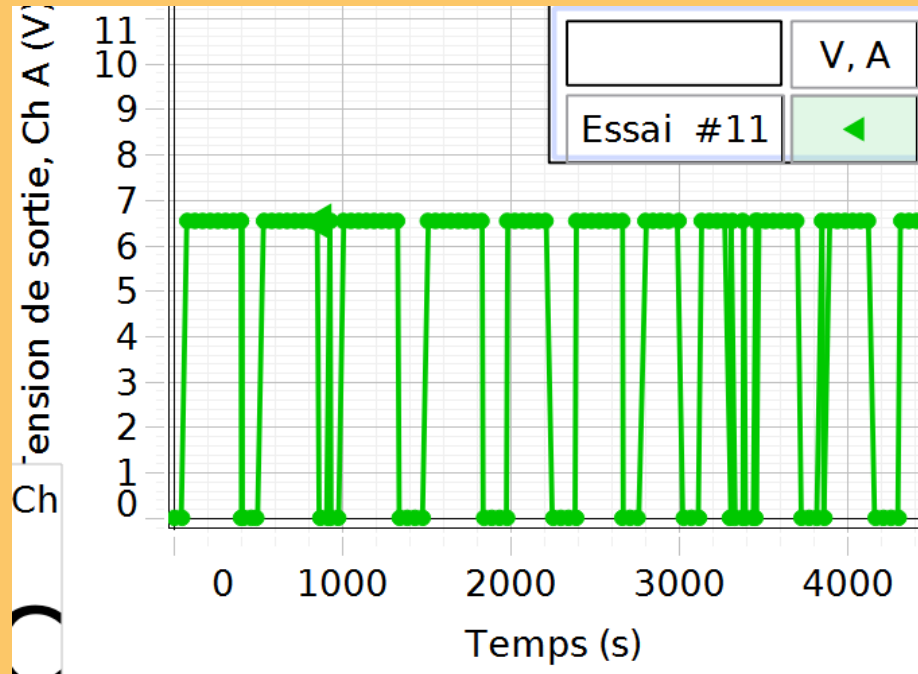
Surface vitrée : 81 cm<sup>2</sup>

Surface vitré sur surface  
habitable : 5,5%

En théorie, cela devrait être supérieur à  
17% selon le code de la construction

# Boîte de simulation

## Résultats

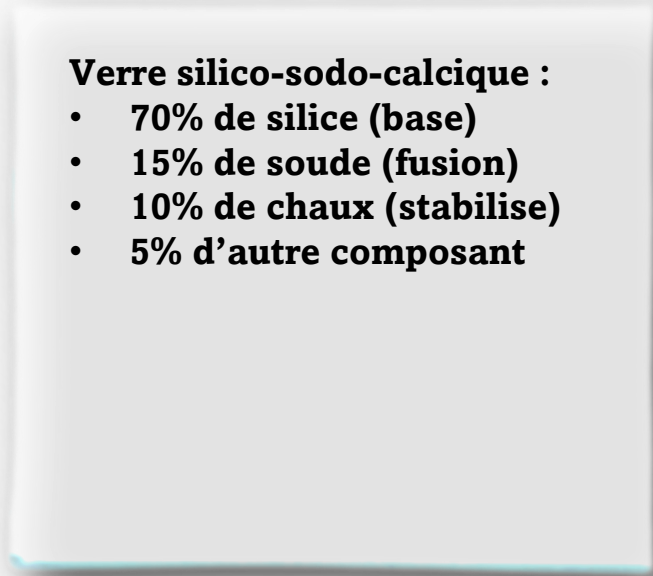


# Création de prototypes

## Verre non-traité

### **Verre silico-sodo-calcique :**

- **70% de silice (base)**
- **15% de soude (fusion)**
- **10% de chaux (stabilise)**
- **5% d'autre composant**



## Verre recouvert film commerciaux



# Tests initiaux

Verre non-traité

TLV : 93,9%



Verre recouvert film commercial

TLV : 16,0%  
(annoncé à 20%)



# Merci!

## En résumé

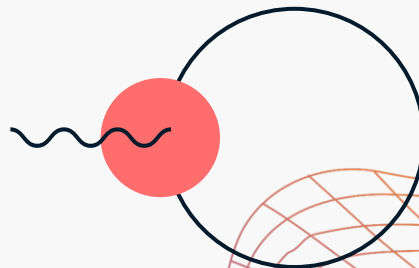
- Limiter les pertes thermiques en hiver
- Limiter les gains thermique en été
- Simuler la consommation d'énergie en modifiant le type de verre seulement
- Obtenir des résultats concrets et efficace

Recherche

Prototypes

Tests  
TLV

Tests de  
consommation  
d'énergie



# Médiagraphie

Tao GAO, Bjørn PETER JELLE. « Silver nanoparticles as low-emissivity coating materials », *IOP Science* (10 mars 2017), <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1613/aa5ad1/meta> (Page consultée le 30 janvier 2026).

ÉCOHABITATION. « Vitrage basse émissivité ou “Low-e” », (27 août 2012), <https://www.ecohabitation.com/guides/2662/les-vitrages-basse-emissivite-ou-low-e/> (Page consultée le 30 janvier 2026).

Wayne SWIRNOW. « Properties of Emissive Materials », *IRINFO.ORG* (1er mars 2014), <https://irinfo.org/articles/O3-01-2014-swirnow> (Page consultée le 30 Janvier 2026).

CHARPENTIER, JUSTINE. « Structure de polyvinylpirrolidone, propriétés, utilisations, effets secondaires » <https://fr.learnaboutworld.com/article/polivinilpirrolidona-estructura--propiedades--usos--efectos--secundarios> (Page consultée le 26 février 2026).

ÉcoMaster isolation. « Perte de chaleur par les fenêtres », mars 16, 2025, <https://isolationgpp.ca/perde-de-chaleur-par-les-fenetres/> (Page consultée le 20 février 2026).

# Médiagraphie

Glastroesh. « Éléments physiques de base relatifs à la construction » <https://www.glastroesch.com/ch/fr/services/connaissances-specialisees/le-verre-et-ses-applications/elements-physiques-de-base-relatifs-a-la-construction/soleil-et-lumiere> (Page consultée le 26 février 2026)

Wattco. « Comment fonctionnent les radiateurs infrarouges ? Guide complet », <https://www.wattco.com/fr/2025/03/comment-fonctionnent-les-radiateurs-infrarouges/> (Page consultée le 26 février 2026)

Futura-Sciences. « Etude sur les Infrarouges », <https://forums.futura-sciences.com/physique/919938-etude-infrarouges.html> (Page consultée le 26 février 2026)

Kallum M. Koczur, Stefanos Mourdikoudis, Lakshminarayana Polavarapu, Sara E. Skrabalak. « Polyvinylpyrrolidone (PVP) in nanoparticle synthesis », *HAL open science* (20 octobre 2015), [https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01217114/file/Koczur\\_2015\\_Polyvinylpyrrolidone.pdf](https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01217114/file/Koczur_2015_Polyvinylpyrrolidone.pdf) (Page consultée le 26 février 2026)

Chris. « Qu'est-ce que la transmission de la lumière visible (TLV) ? » *Mannlee* (11 novembre 2025) <https://www.mannleecw.com/fr/quest-ce-que-la-transmission-de-la-lumiere-visible-vlt/> (Page consultée le 20 février 2026).

# Médiagraphie

ROBILLARD Robert. « How to Build a Hot-Box » <https://www.aconcordcarpenter.com/how-to-build-a-hot-box.html> (Page consultée le 8 février 2026)

Alloprof. « L'effet du corps noir et la loi de Planck », <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/l-effet-du-corps-noir-et-la-loi-de-planck-s1352> (Page consultée le 28 février 2026)

« TRANSFERT THERMIQUE », Femto-physique, mars 2025, [https://femto-physique.fr/thermodynamique/transfert-thermique.php#le\\_rayonnement](https://femto-physique.fr/thermodynamique/transfert-thermique.php#le_rayonnement) (Page consultée le 28 février 2026).

Saint-Bobain. « Propriétés et fonctions de verre », <https://www.saint-gobain-glass.fr/fr/proprietes-et-fonctions-du-verre#compositionfabricationduverre> (Page consultée le 28 février 2026).

Institut des Sciences et Technologies de Paris. « Physique des Plasmons : Concepts, Propriétés et Applications », <https://www.studocu.com/fr/document/institut-des-sciences-et-technologies-de-paris/sciences-de-lingenieur/physique-des-plasmons-cours/53529595> (Page consultée le 3 mars 2026)

[https://www.researchgate.net/profile/Jolanda\\_Spadavecchia/publication/317117208/figure/fig1/AS:498269517291521@1495808119000/Scheme-3-PVP-interaction-with-Ag-seeds-and-nanoparticles-formation.png](https://www.researchgate.net/profile/Jolanda_Spadavecchia/publication/317117208/figure/fig1/AS:498269517291521@1495808119000/Scheme-3-PVP-interaction-with-Ag-seeds-and-nanoparticles-formation.png) (Page consultée le 26 février 2026).

# Médiagraphie

Global spec. « Spin Coaters Information », [https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing\\_process\\_equipment/surface\\_coating\\_protection/spin\\_coaters](https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/surface_coating_protection/spin_coaters) (Page consultée le 4 février 2026).

BRUKER. «Guide de la spectroscopie infrarouge», <https://www.bruker.com/fr/products-and-solutions/infrared-and-raman/ft-ir-routine-spectrometer/what-is-ft-ir-spectroscopy.html#:~:text=La%20spectroscopie%20infrarouge%2C%20ou%20IR,780%20nm%20à%201%20mm> (Page consultée le 28 février 2026).

ECONIC. « Que sont les polyols », (11 mars 2024), [https://www-econic--technologies-com.translate.goog/what-are-polyols/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=fr&\\_x\\_tr\\_hl=fr&\\_x\\_tr\\_pto=rq](https://www-econic--technologies-com.translate.goog/what-are-polyols/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=fr&_x_tr_hl=fr&_x_tr_pto=rq) (Page consultée le 4 mars 2026).

Homein Film de fenêtre miroir à sens unique avec contrôle de la chaleur, film solaire réfléchissant, teinte anti-UV, protection de vie privée en journée, pour bureau et maison, 44,5 x 200 cm, argenté : Amazon.ca: Maison (Page consultée le 17 février 2026).

BARLETTA, Francesco. *Ondes et physique moderne*, Amqui, 2025, 245 p.