

Isolation des ruches

Notions de thermique et
application à la ruche

Anna Dupleix-Marchal, Emmanuel Ruffio, Anne Lavalette

Pour toute question de thermique: emmanuel.ruffio@alt-rd.com
anna.dupleix@alt-rd.com
anne.lavalette@alt-rd.com

Qui sommes-nous ?

Collectif de 3 chercheurs créé en 2021

Recherche, formation, accompagnement technique et conseil d'entreprises, d'universités ou d'autres structures liées à l'innovation technique.

Alt 
ingénieurs - chercheurs

www.alt-rd.com



Hebergé au sein de la
coopérative d'activité et
d'emploi CoActions
(Bordeaux)



www.co-actions.coop

120 entrepreneurs

60 métiers

Qui sommes-nous ?



Emmanuel RUFFIO

Emmanuel.ruffio@alt-rd.com

Ingénieur aéronautique, docteur en Thermique

Chercheur associé I2M-TREFLE, Université de Bordeaux

Spécialisation: simulation, instrumentation, caractérisation des matériaux, électronique



Anna DUPLEIX

Anna.dupleix@alt-rd.com

Ingénieure généraliste, docteur en Science sdu bois

Chercheur associé CRISES, Université Paul Valéry, Montpellier

Spécialisation: sciences humaines et sociales, apiculture



Anne LAVALETTE

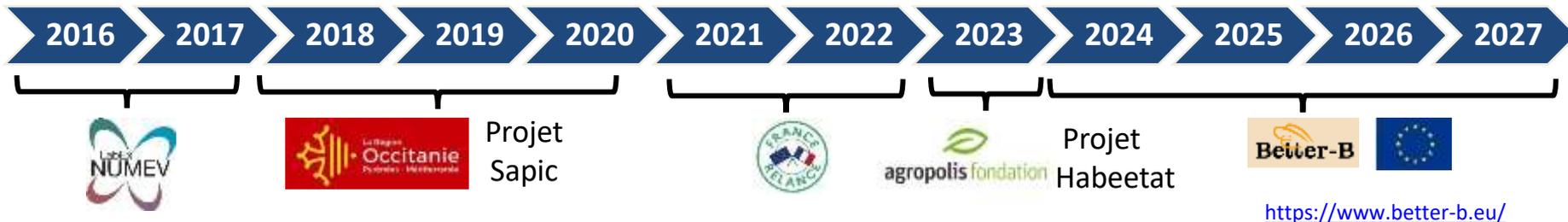
Anne.lavalette@alt-rd.com

Ingénieure Science du bois, docteur en Sciences du bois

Spécialisation: Anatomie et propriétés du bois, séchage, collage

Historique de nos recherches

- **Projet porté** par l'entreprise Alt-RD en partenariat avec les institutions publiques (Univ. Montpellier/CNRS, Institut Agro Montpellier, Cemhti Orléans, PPRIME Poitiers)



<https://www.better-b.eu/>

- **Projet financé** aujourd'hui dans le cadre du projet européen Better-B sur l'apiculture résiliente

01 Introduction (10min)
Contexte, méthodes de travail, ruchers expérimentaux.

02 L'isolation par rapport à la température extérieure. (20 min)
Température de l'air extérieur. Propriétés thermiques des matériaux et temps de réaction de la ruche. Le rayonnement infrarouge. Les films d'aluminium.

Questions (5min)

03 L'isolation par rapport au rayonnement solaire. (10 min)
Energie solaire reçue et absorbée. Effet du sol, de l'ombrage.
Effet des peintures sur la température.

Questions (5min)

04 Synthèse et perspectives. (20 min)
Intérêts et méthodes d'isolation du toit. Les matériaux isolants. Les prix.
La ruche RBC. Tests prévus par AltRD.

Questions & échanges (20 min)

Introduction

- Motivations et historique de nos recherches.
- Nos méthodes de travail
- Présentation des ruchers expérimentaux

Motivations de nos recherches

Contraintes

- ▶ Microclimat dans la ruche :
 - T°C (température du couvain) \approx 34-35°C,
 - HR (humidité relative de l'air) \approx 50-70%

Conséquences

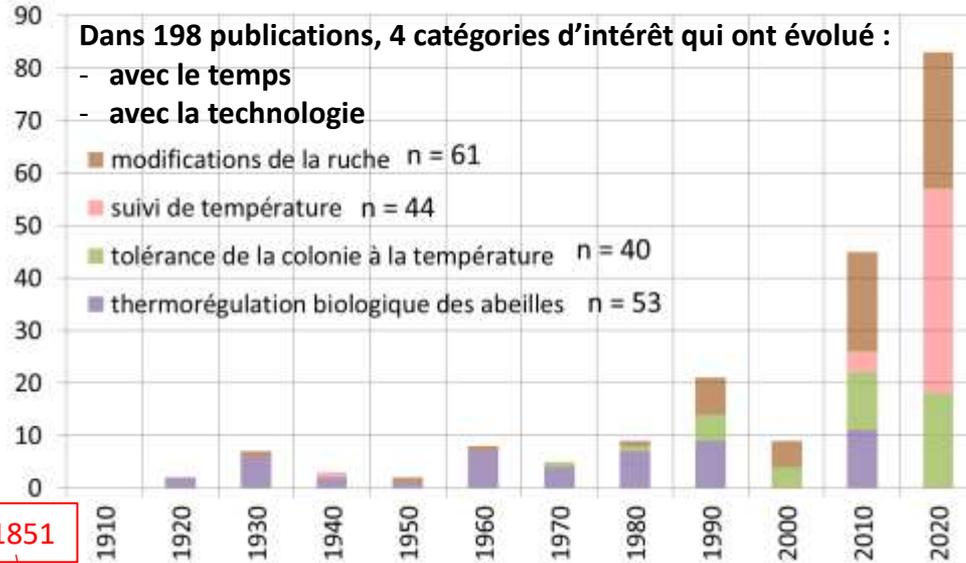
- ▶ Sur la thermorégulation : coûteuse en énergie, en eau, en temps
- ▶ Sur la colonie (développement du couvain, qualité et densité de la ponte)
- ▶ Sur l'abeille (mémoire et capacités cognitives des ouvrières, durée de vie)
- ▶ Sur la qualité du miel

Perspectives

- ▶ Evaluer l'influence de la structure et des matériaux sur la température de la ruche
- ▶ Développer des outils de surveillance basés sur la température



Historique des recherches sur la température



1851

thermomètres

électronique

Microélectronique
miniaturisation, wireless,
capteurs bon marché

Invention de
la ruche à
cadres
mobiles



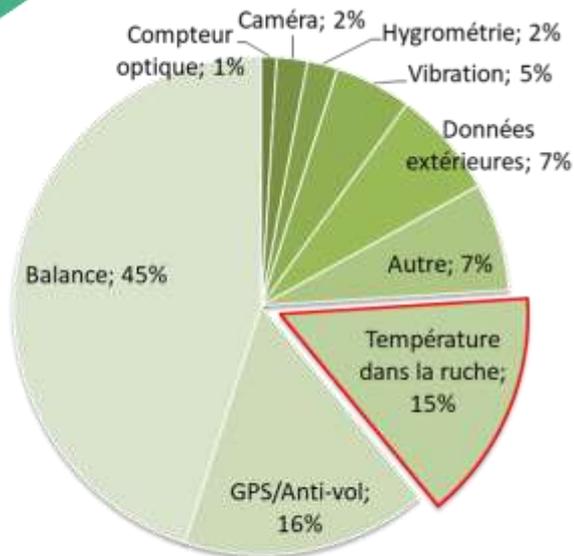
07/02/2025

3 Conférences Apicoles en Grand est – Journée Technique – 07/02/2025 - v1.1

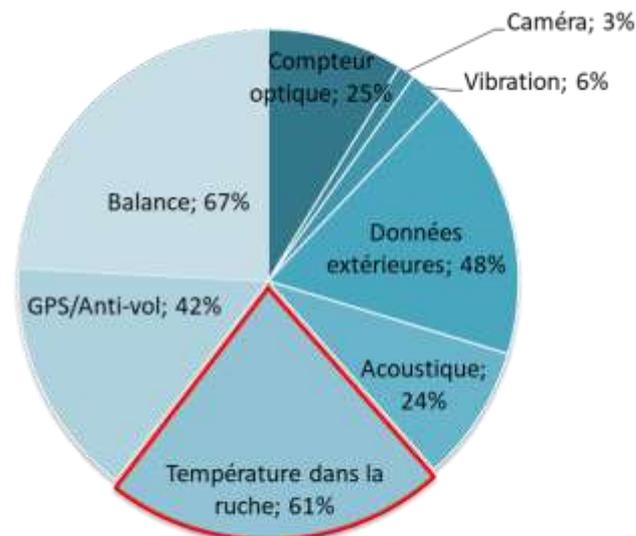
Enseignements

1. « La **température ambiante** peut être considérée comme l'un des facteurs de l'environnement des abeilles qui **modifie leurs réactions** plus que tout autre facteur » (Dunham, 1931)
2. « Des **conditions climatiques hivernales** sévères sont identifiées comme le quatrième facteur de **mortalité** hivernale le plus important aux États-Unis » (Meixner, 2010)
3. « Les **variations climatiques** agissent directement sur le maintien et le contrôle de la **température intérieure de la colonie**, influençant le développement de la progéniture » (Souza, 2015)
4. « La **mesure de température** est une **méthode de surveillance** à distance du processus d'hivernage » (Stalidzans, 2017).

Les ruches connectées



Répartition en % des outils utilisés par 386 apiculteurs Français connectés interrogés en 2018



Répartition en % des grandeurs mesurées fournies par 32 ruches connectées dans le monde

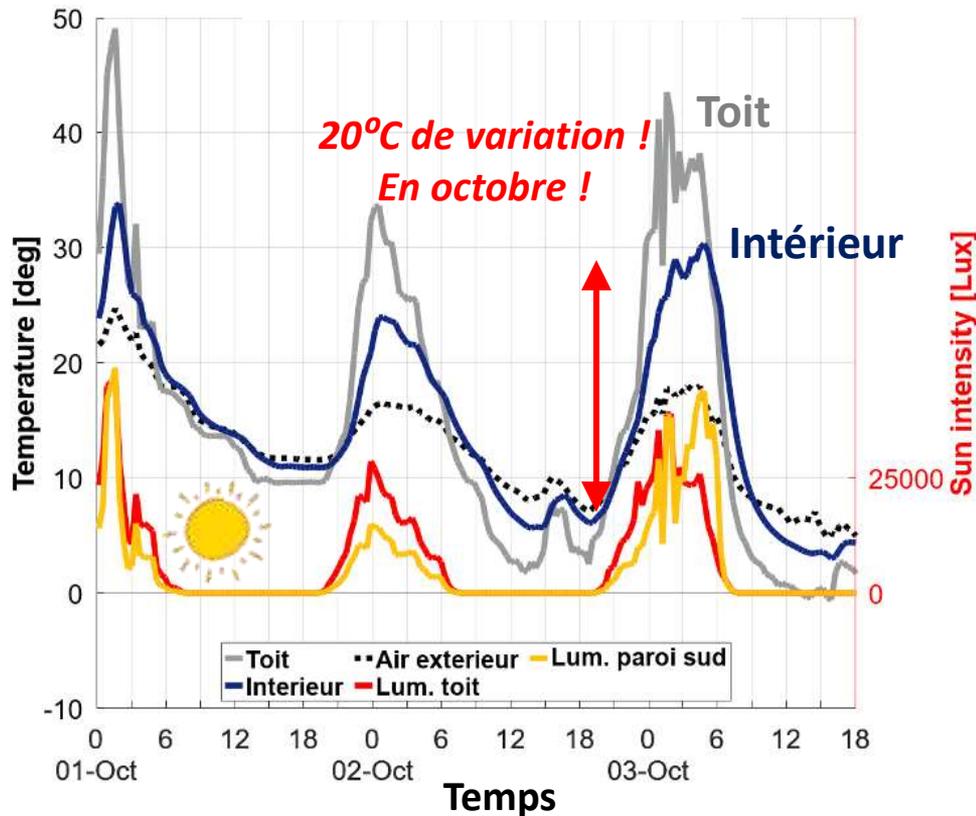
- La **température**, deuxième grandeur à être intégrée dans les ruches connectées

Différence entre masse et température



- Une **balance** mesure la **variation de masse** qui dépend (presque) **uniquement de l'activité des abeilles**
- La **température** dépend beaucoup des **facteurs extérieurs**
- La **température** est **plus complexe** à analyser

Ruche Dadant vide



Qu'est ce qui influence la température ?

L'environnement de la ruche

Ombrage, rayonnement solaire, sol, objets voisins, température et humidité de l'air, vent (vitesse, direction)



Qu'est ce qui influence la température ?

Les caractéristiques physiques de la ruche

Volume, couleurs, trous de vol, ouvertures (taille, position, nombre), plancher, auvent, orientation, toit, épaisseur, matériaux, forme



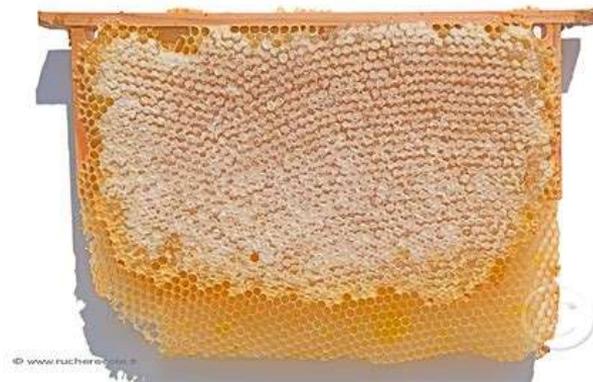
Qu'est ce qui influence la température ?

Le contenu physique de la ruche

Inertie thermique (miel, eau, etc.), partitions, systèmes de chauffe/ventilation



Partition Isolante Haute Performance (PIHP)



Rayon de miel

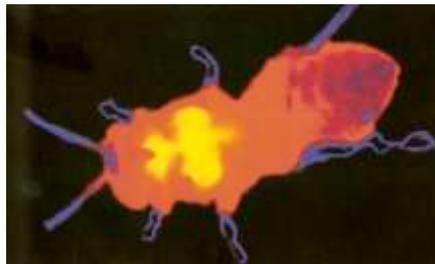
Qu'est ce qui influence la température ?

L'activité des abeilles

Evaporation du nectar (changement d'état), regulation collective selon le stade biologique (couvain, grappe, etc.) par ventilation, évacuation, contraction des muscles, etc.



Former une grappe



Contracter les muscles alaires



Se dégrapper, ventiler

Qu'est ce qui influence la température ?

L'activité de l'apiculteur

Pratiques apicoles, modifications de la ruche



Ouverture de la ruche



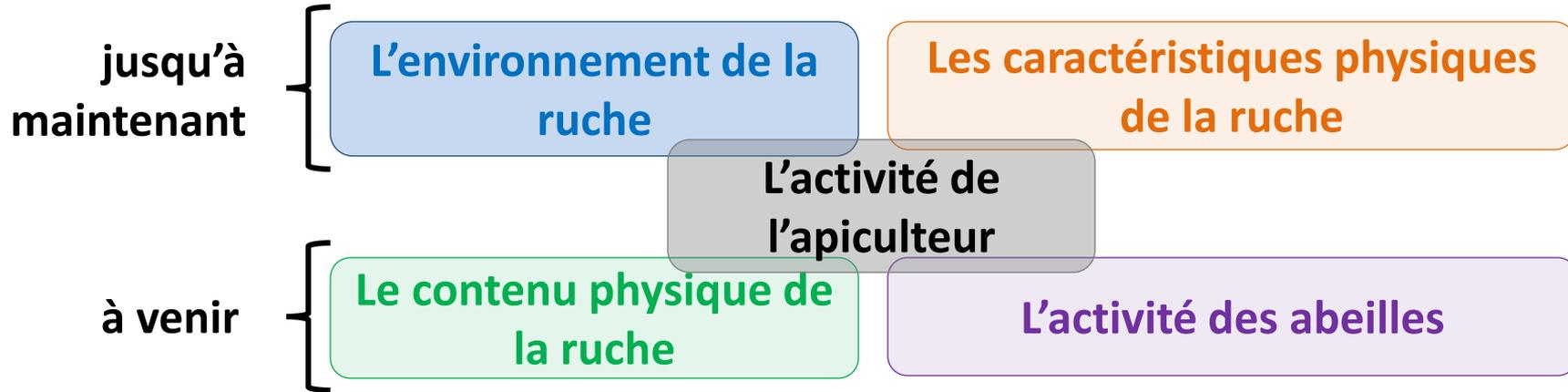
Chaulage



Isolation au liège
par l'extérieur

Qu'est ce qui influence la température ?

Nos études portent sur :



Nos méthodes de travail

L'environnement de la ruche

Les caractéristiques physiques de la ruche

Le contenu physique de la ruche

L'activité des abeilles

L'activité de l'apiculteur

Thermique (sciences physiques)

- Outils: **Mesures, modèles, simulations**
- **Analyser** l'influence des paramètres physiques sur la température de la ruche
- Evaluer l'**efficacité thermique** des innovations

Sciences sociales

- Outils: **Enquêtes** auprès des apiculteurs.rices
- Collecter les **pratiques des apiculteurs.rices** face aux enjeux climatiques et **leurs connaissances d'expériences**

Objectif : Fournir des leviers d'action (techniques), des **modifications minimales** de la ruche pour un « **effet maximal** » sur la température

Méthodologie de l'enquête en recherche participative

- **Apiculteurs.rices enquêtés:** qui **modifient leurs ruches** ou **leur environnement** pour adapter la température dans la ruche
- Identification par les réseaux (via les ADA, les syndicats) et le bouche-à-oreille
- **Entretien** – conversation (3h) y compris en situation de travail au rucher (Thèmes abordés : Motivations, parcours personnel d'installation, changements de pratiques, perceptions du changement climatique etc.)
- **Transcriptions** des entretiens et analyse comparée des connaissances récoltées
- **Evaluation thermique** et **partage** des modifications expérimentées (articles journaux apicoles)



Instrumentation de ruches

Rucher expérimental (Lieu: Cévennes)

1

Objectif: Comparaison de différents types de ruche

Equipements:

- 1 Dadant plastique
- 2 Dadant bois
- 1 Kenyane
- 1 Tronc
- 1 Lunaire
- 50 capteurs
- Station météo locale



Instrumentation de ruches

Rucher expérimental (Lieu: Bordeaux)

2

Objectif: Analyse des innovations apicoles (modifications structurelles)

Equipements:

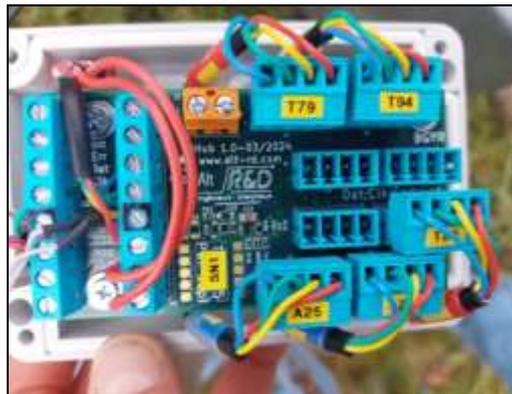
- 2 à 3 Dadant bois
- 5 à 10 capteurs par ruche
- Station météo locale



Nos capteurs



Les capteurs de luminosité

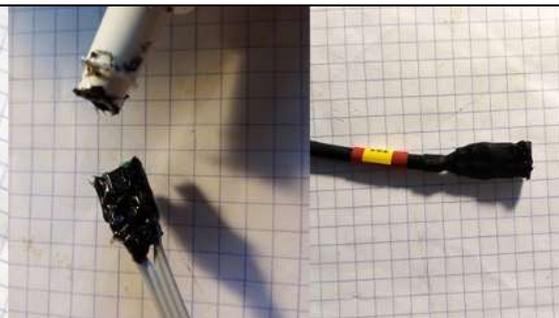
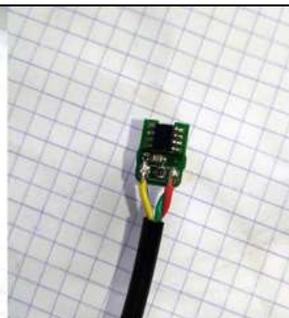
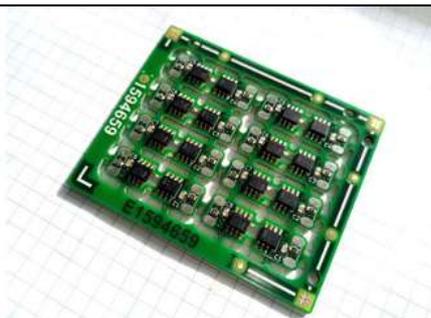
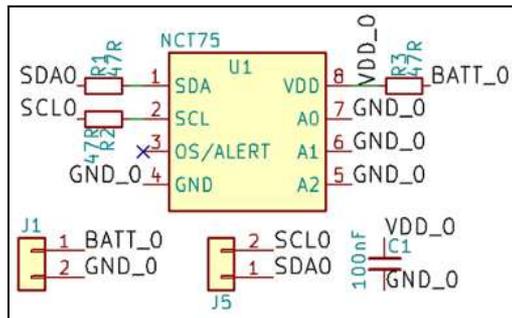


Les « multiprises »



Capteur d'air extérieur

Etapes de fabrication des capteurs de température



L'isolation de la ruche à la « température extérieure »

- L'environnement
- Les matériaux
- Le temps de réaction
- Le rayonnement et les films d'aluminium)

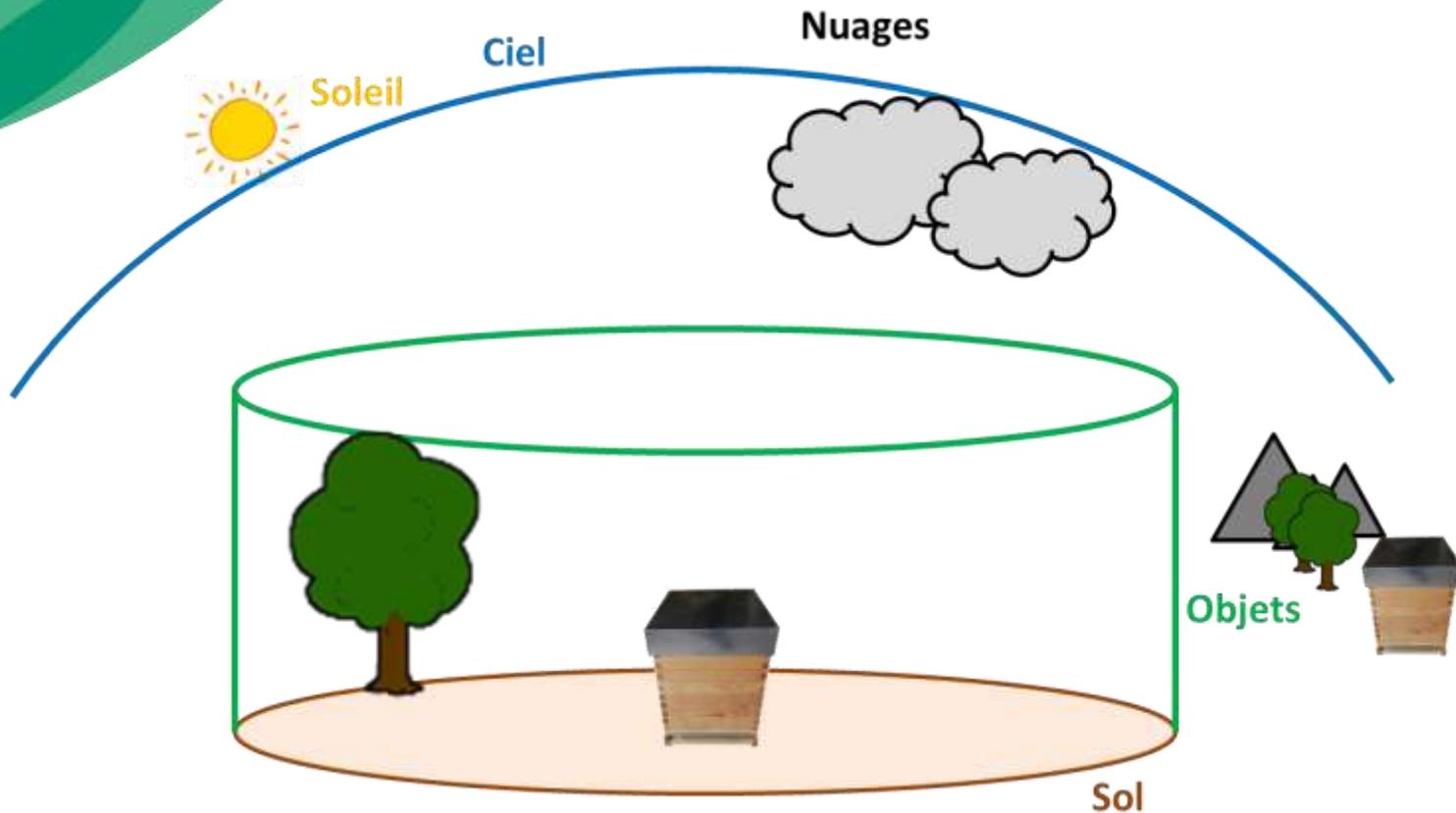
Interaction avec son environnement

Avec quoi et comment ?



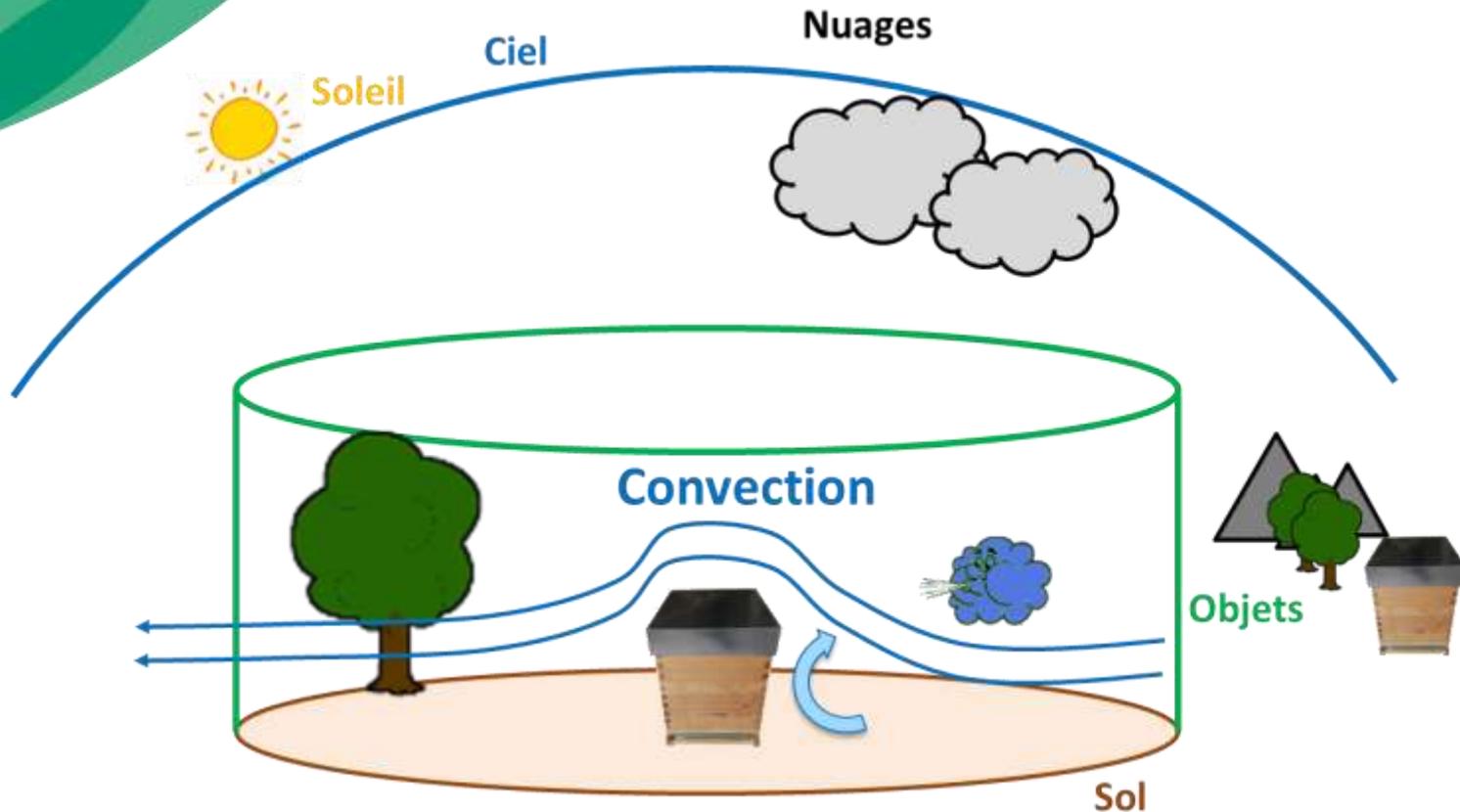
Interaction avec son environnement

Avec quoi et comment ?



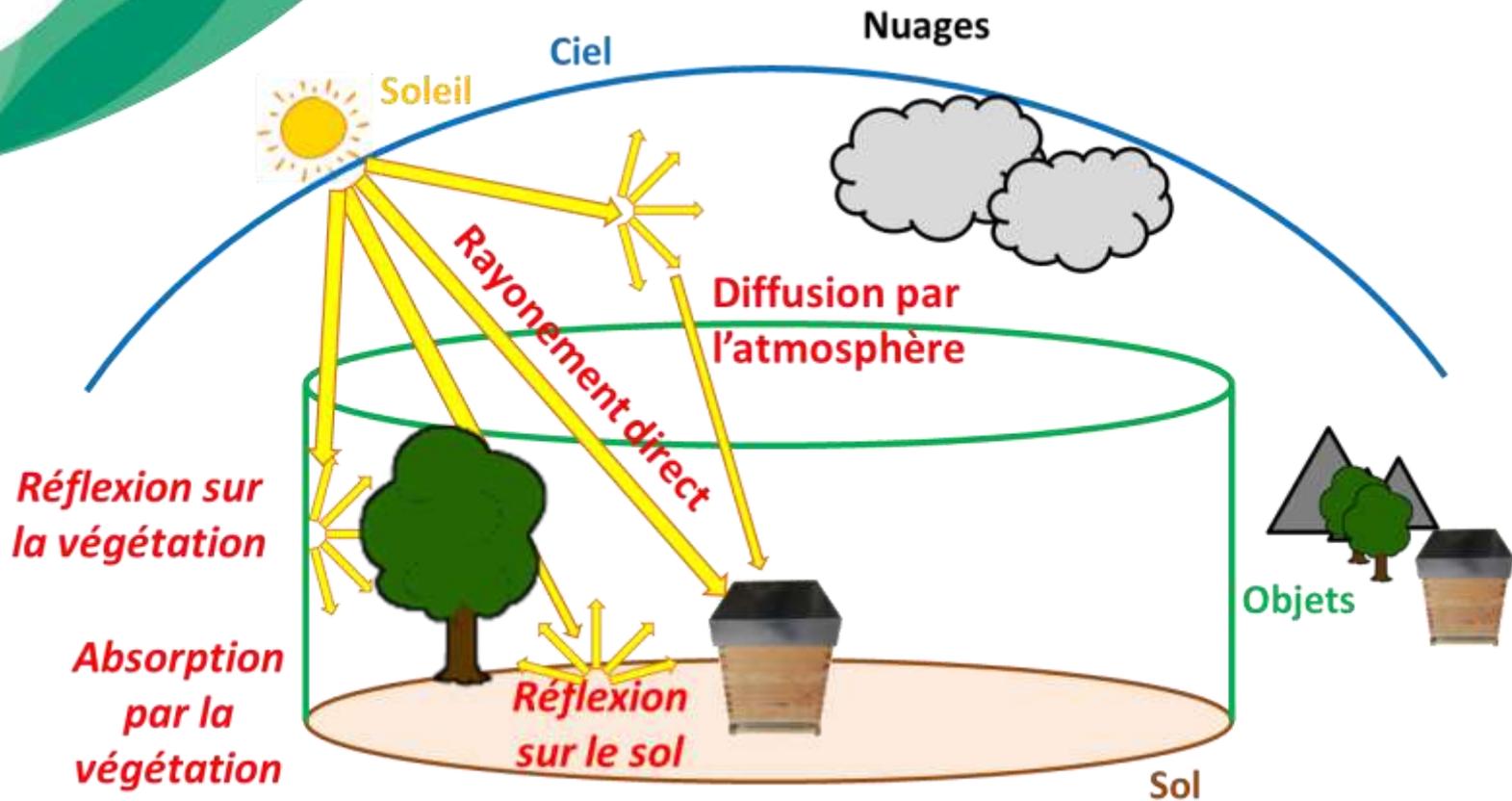
Interaction avec son environnement

Avec quoi et comment ?



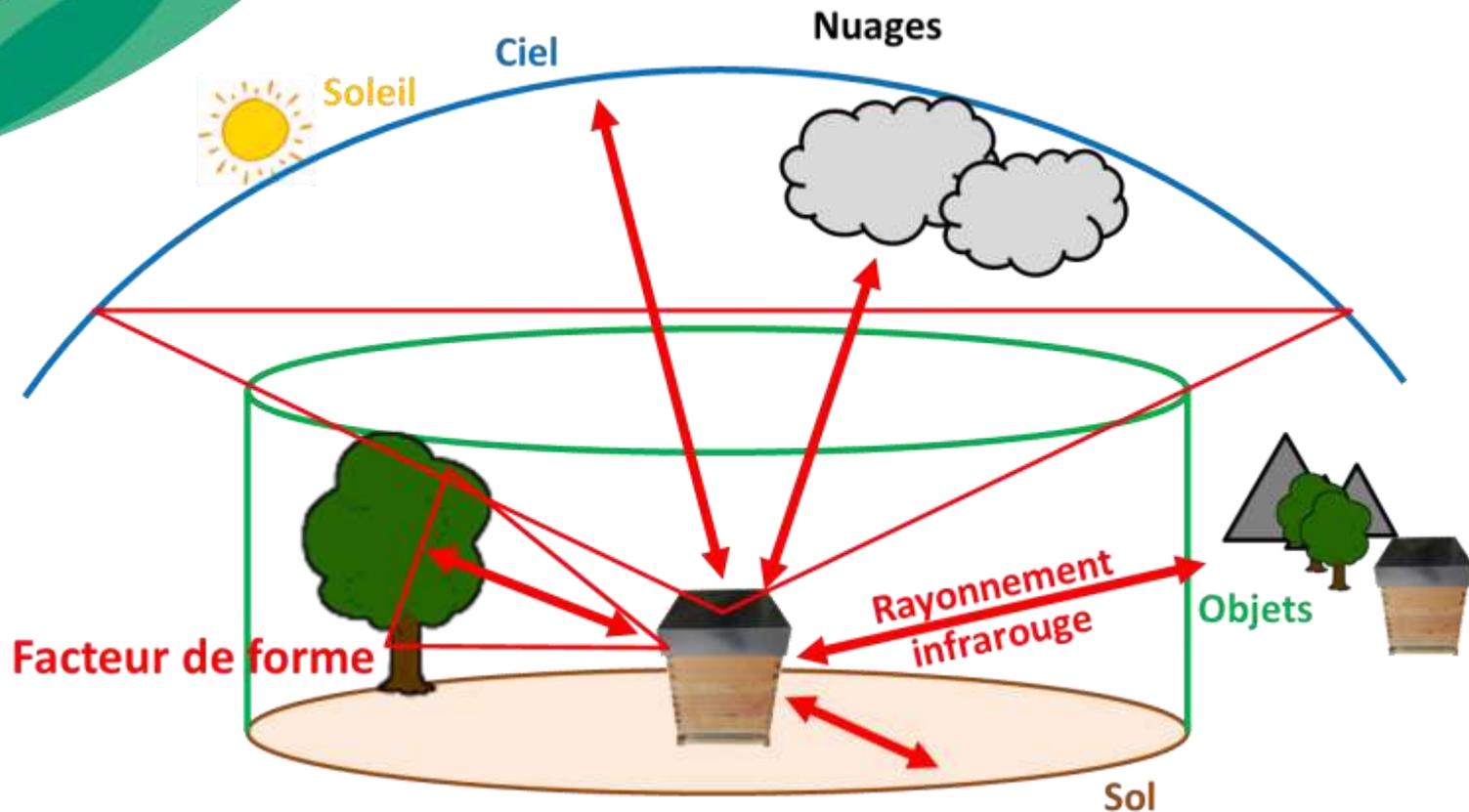
Interaction avec son environnement

Avec quoi et comment ?

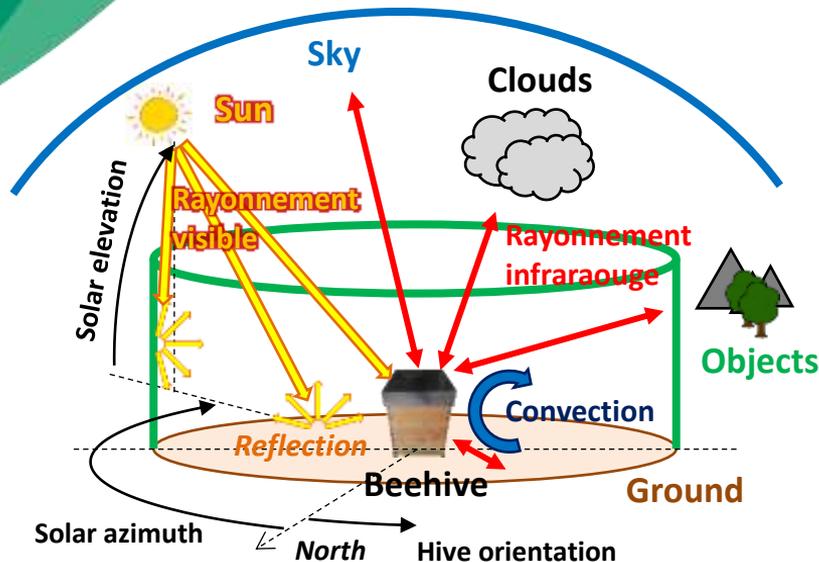


Interaction avec son environnement

Avec quoi et comment ?



Intéraction avec son environnement



Vue infrarouge de l'environnement de la ruche



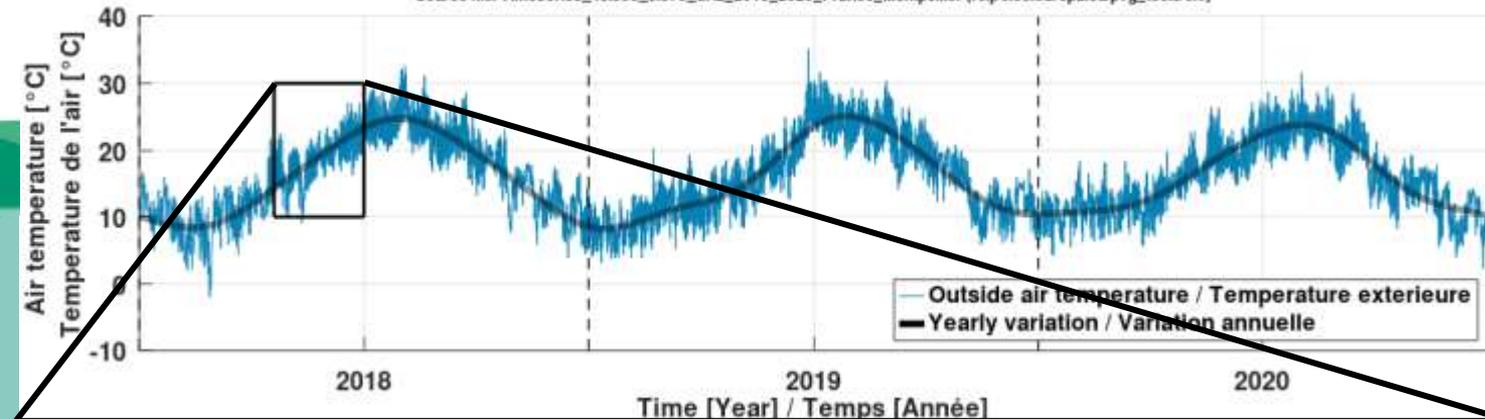
► La ruche est en **interaction thermique** permanente avec son **environnement**:

- 1) **Echange d'énergie avec l'air** par convection
- 2) **Echange d'énergie avec le soleil** par rayonnement
- 3) *Echange d'énergie avec le sol, les objets, les nuages, le ciel par rayonnement infrarouge*



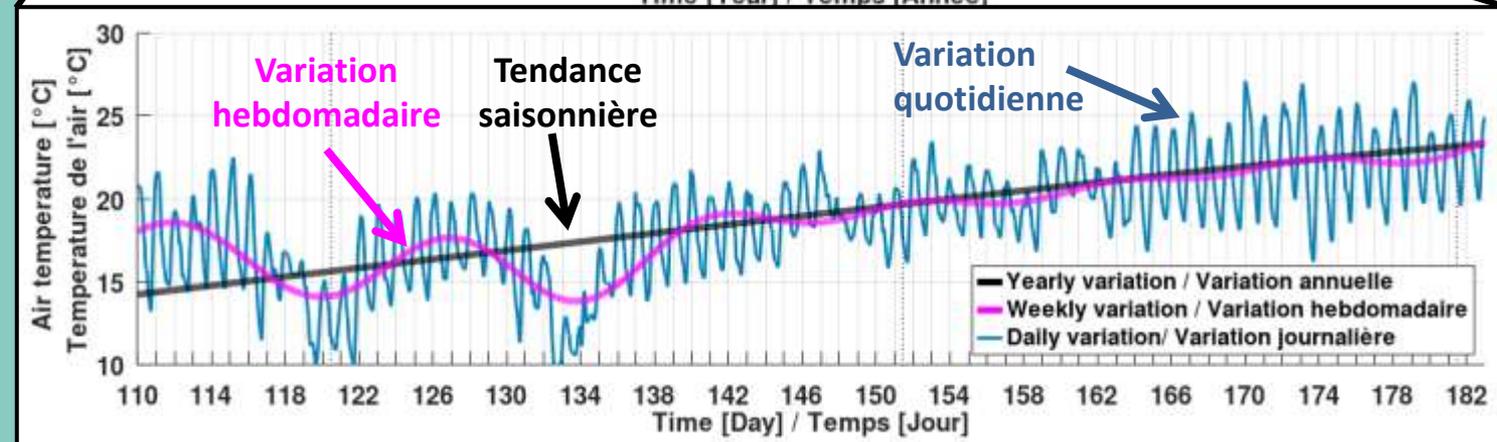
La température de l'air extérieur

Source file: Timeseries_43.558_3.875_SA2_2018_2020_France_Montpellier (re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en)



Décomposition de la température selon différents rythmes de variation:

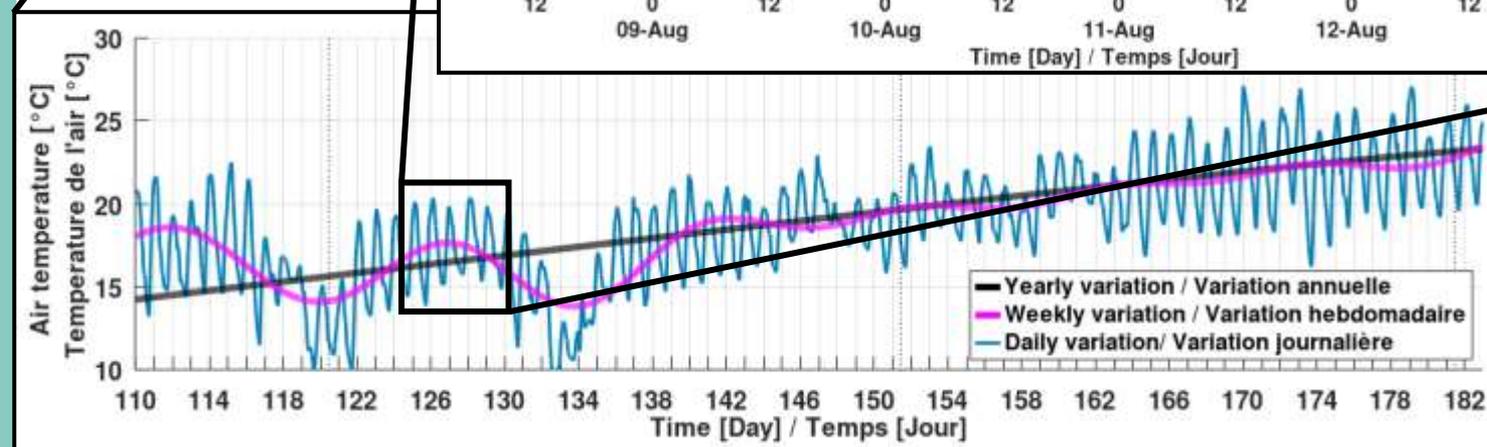
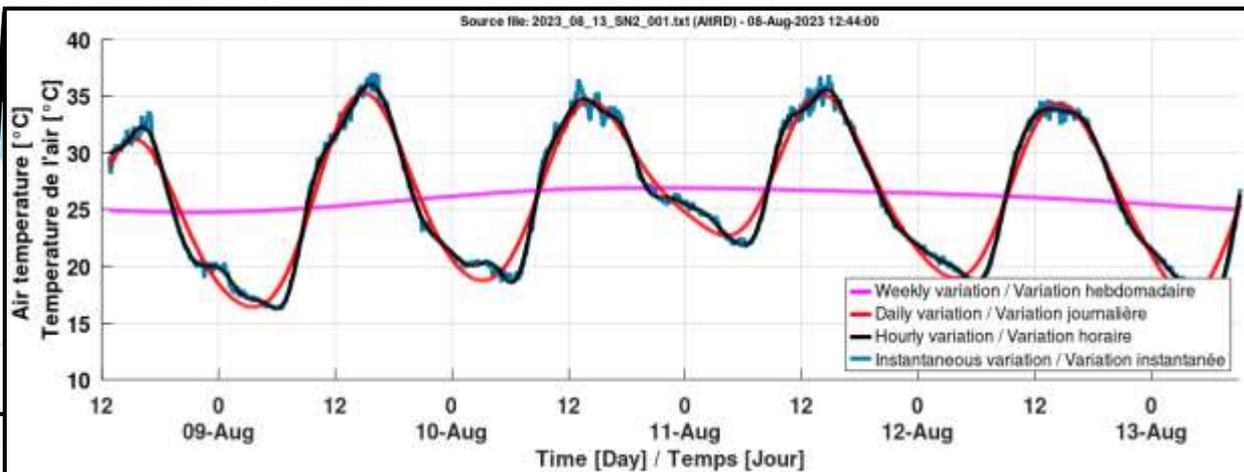
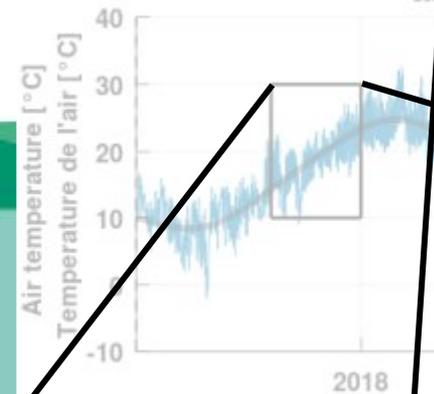
- 1) Changer la manière de regarder
- 2) Un outils pour l'analyse



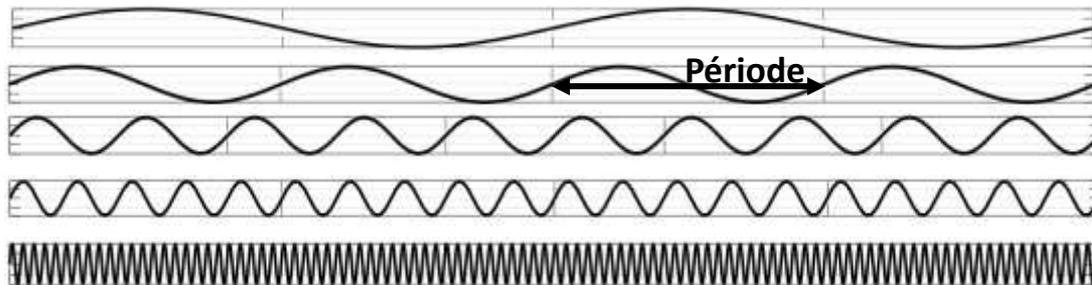


La température de l'air extérieur

Source file: Timeseries_43.558_3.875_SA2_2018_2020_France_Montpellier (re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)



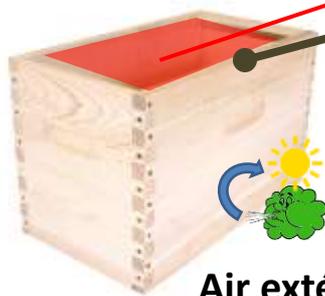
Différentes vitesses de variation



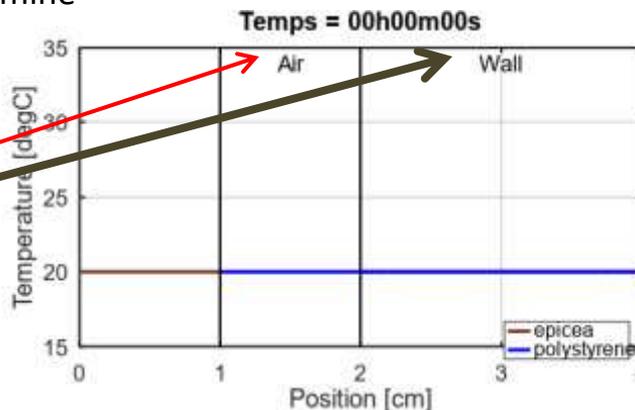
- ▶ Annuelle
- ▶ Hebdomadaire
- ▶ Quotidienne
- ▶ Horaire
- ▶ « à la minute »

Exemple de simulation avec des ruchettes bois et polystyrène

- ▶ La température extérieure varie avec un rythme déterminé
- ▶ On calcule la température dans la paroi et à l'intérieur de la ruche



Air extérieur



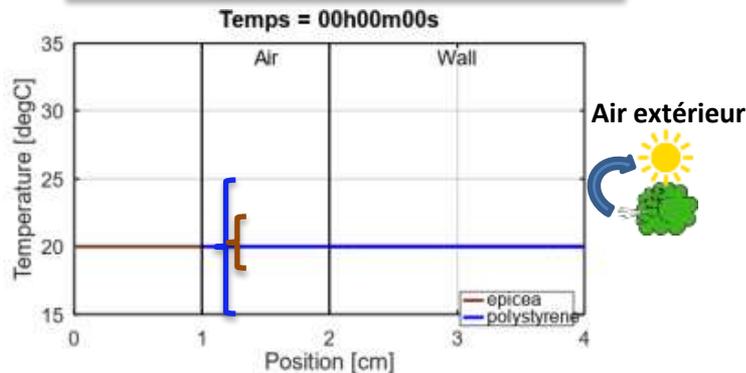
Variation horaire/journalière (Période=2h)

Air extérieur

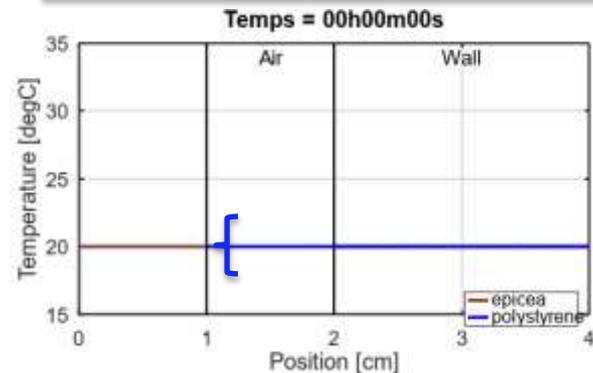


Propagation de la température dans la paroi

Variation **lente** (Période=2h)



Variation **rapide** (Période=10min)



Temps de propagation dans les parois

	Variation < 5min « à la minute »	Variation < 1h horaire	Variation > 1h Quotidienne / hebdomadaire / annuelle
Bois	Bloquée	Bloquée	Transmise
Polystyrène	Bloquée	Transmise	Transmise

► **Notions de temps de propagation « t_p »**: La température ne se propage pas à la même vitesse dans tous les matériaux



$$t_p = \frac{e^2}{a} = \frac{(\text{Epaisseur})^2}{(\text{Diffusivité})}$$

$$t_p(\text{bois}) = \frac{(21\text{mm})^2}{0.15\text{mm}^2/\text{s}} = \underline{49\text{min}}$$

$$t_p(\text{polystyrène}) = \underline{6\text{min}}$$

	Châtaignier (12% MC)	Polystyrène	x
Conductivité thermique λ W/m°C	0.16	0.035	10
Diffusivité thermique a mm ² /s	0.15	1.3	10
Capacité thermique ρC MJ/°C/m ³	1.1	0.026	50
Masse volumique ρ	600 kg/m ³	20 kg/m ³	30

Lien entre les paramètres thermiques

$$a = \frac{\lambda}{\rho C}$$

- Une variation de température met **50 min pour traverser la paroi en bois**, 5 min pour le polystyrène
- Une paroi en bois protège mieux des variations rapides

Lentes variations de température (> 1h)

- Les variations traversent les parois et atteignent le cœur de la ruche
- Les matériaux transfèrent de la chaleur (énergie)**
- La quantité d'énergie transférée dépend de la **conductivité thermique λ**
(souvent le seul paramètre mentionné pour l'isolation des ruches)

λ (« vitesse » de propagation de l'énergie)

	Châtaignier (12% MC)	Polystyrène	x
Conductivité thermique λ W/m°C	0.16	0.035	5

Quels effets dans la ruche ?

- Intuitivement: **dépend du contenu de la ruche**

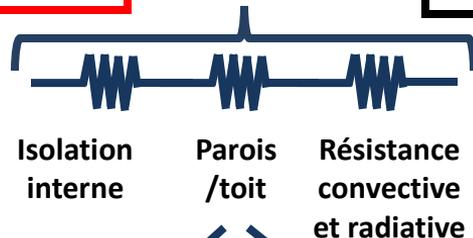


Temps de réaction de la ruche

$$t_c = 3 \times \text{Masse thermique} \times \text{Résistance thermique}$$

= "Inertie"

- Les matériaux lourds nécessitent d'apporter beaucoup d'énergie pour augmenter leur température : **bois, pierre**
- C'est l'inverse pour les matériaux légers: peu d'énergie suffit pour augmenter leur température : **polystyrène, air**



$R \approx 0,05$ à $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

Dépend de:

- la vitesse du vent
- la peinture
- l'état du bois en surface



Bois seul (2,1cm)
 $R=0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$



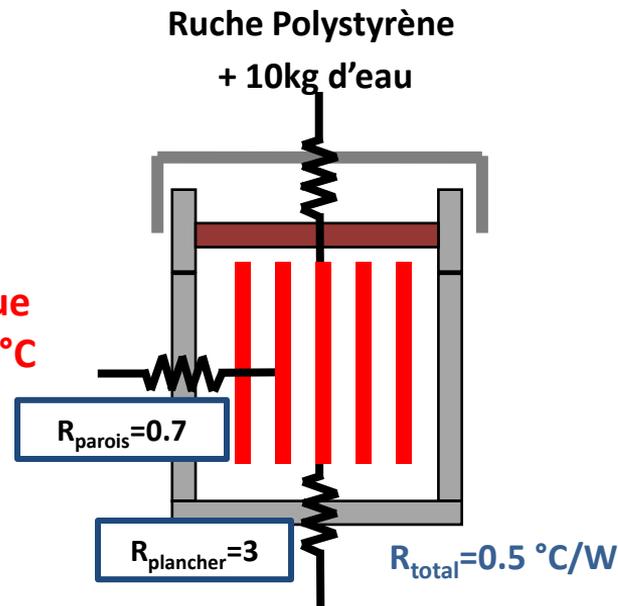
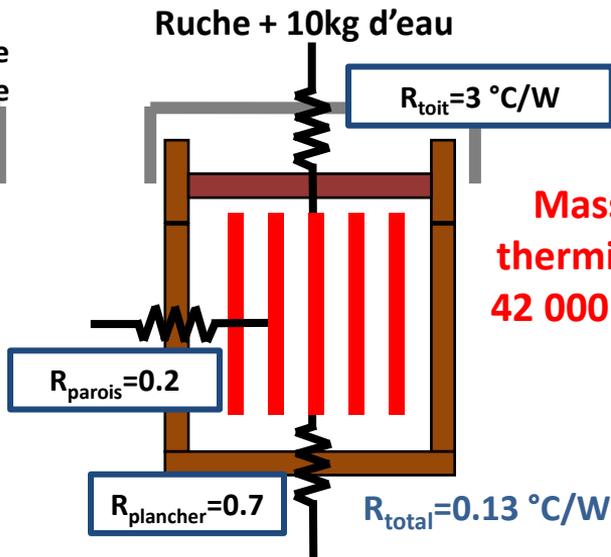
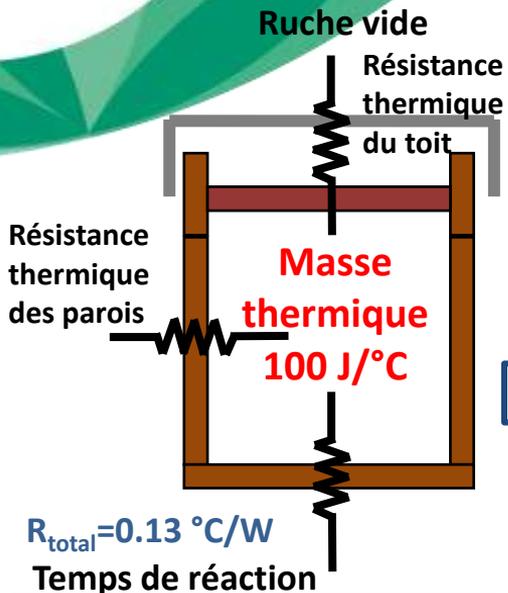
Bois+polystyrène (2cm)
 $R=0,70 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$



Toit non isolé
 $R=0,50 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

	Châtaignier (12% MC)	Polystyrène	x
Capacité thermique			50
ρC MJ/°C/m^3	11	0.026	

Temps de réaction - Exemples



$$t_c = 3 \times 100 \times 0.13 = 39\text{s} \dots$$

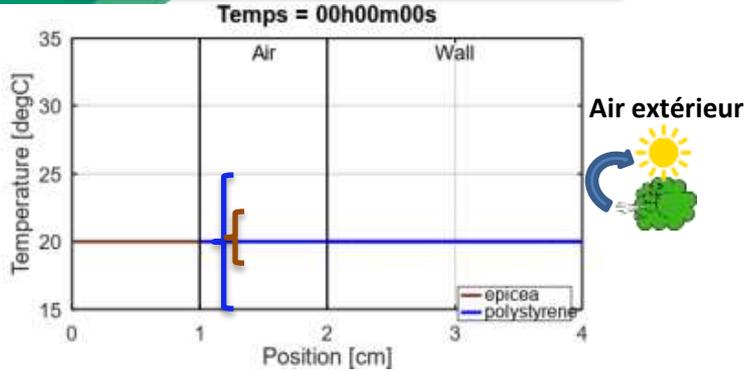
$$\text{Temps de réaction } t_c \approx 4\text{h}30$$

$$\text{Temps de réaction } t_c \approx 16\text{h}$$

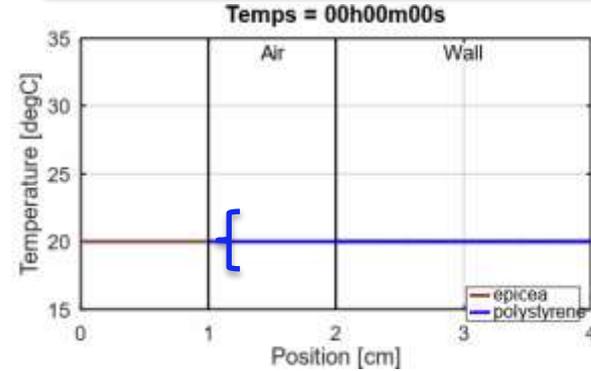
- Résultats aberrants ? Attention aux hypothèses de calcul et aux types de modélisation
- Ruche peu sensible aux perturbations si « temps de réaction > période des perturbations »

Différentes vitesses de variation

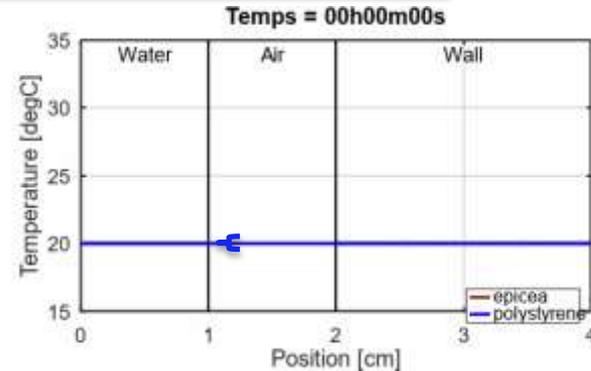
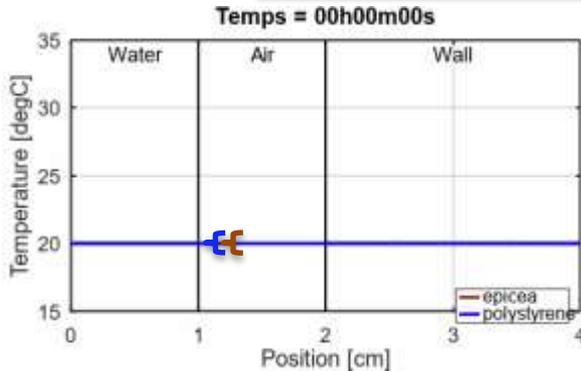
Variation lente (Période=2h)



Variation rapide (Période=10min)



Avec une masse thermique à l'intérieur



Différentes géométries

Ruche/Ruchette
(parois=2.1cm)



$T_p = 1h$ (bois)
5min (polystyrène)



Ruche Tronc
(parois >5cm)

Propagation
 $T_p = 4h30$



Ruche Lunaire (parois 3 couches)



$T_p = 17h$ à $30h$

Temps de propagation pour
25cm (calcaire/granite)

Colonie

Mur de pierre (50cm)



Tronc d'arbre

Bilan du comportement des parois

Exemple de perturbation	Période de la perturbation (1/Vitesse)	Impact sur la ruche	Paramètres physiques pertinents
Nuages, ombrages	< Temps de propagation dans les parois	Bloquée par les parois	Epaisseur, structure des parois, diffusivité thermique
Alternance jour/nuit, météo	< Temps de réponse de la ruche	Amortie par la ruche	Masse thermique et résistance thermique (masse volumique, capacité thermique interne, conductivité thermique des parois)
Saison, climat, météo hebdomadaire	1 semaine 1 année	Total	Résistance thermique (conductivité thermique, structure de la ruche)

La colonie s'organise pour thermoréguler

Cas des films réfléchissants en aluminium

Questions à leur sujet:

- 1) Principe de fonctionnement
- 2) Quand est-ce utile ?
- 3) Quand est-ce inutile ?
- 4) Quand est-ce nuisible ?



Ex: ruche basse consommation

Damien Merit, Marc Guillemain, Jean Riondet



Principe du rayonnement infrarouge

L'émission infrarouge

Emissivité de la surface (entre 0 et 100%)

Exemples [1]:

Bois, papier... $\epsilon \approx 95\%$

Métaux polis $\epsilon < 10\%$

Constante: $5,67 \times 10^{-8} = 0,0000000567$

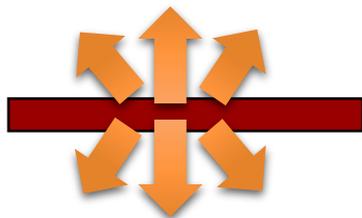
Puissance émise [W/m²]: $P = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$

Température de la surface

(en unité Kelvin)

Emission de rayonnement infrarouge dans toutes les directions

Planche de bois



Exemple:

Isorel à 10°C => $P = 0,95 \times \sigma \times (273,15 + 10^\circ\text{C})^4 = 350 \text{ W/m}^2$

Isorel à 30°C => $P = 0,95 \times \sigma \times (273,15 + 30^\circ\text{C})^4 = 450 \text{ W/m}^2$

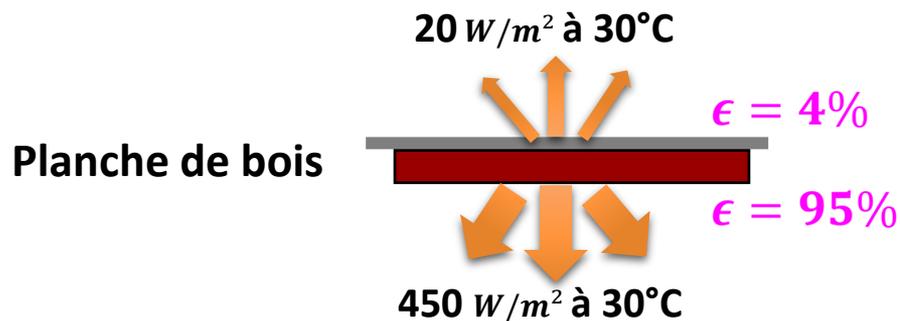
Isorel à 60°C => $P = 0,95 \times \sigma \times (273,15 + 60^\circ\text{C})^4 = 660 \text{ W/m}^2$

C'est beaucoup !
Et ça augmente très vite avec la température

[1] <https://www.flukeprocessinstruments.com/fr/entretien-et-assistance/centre-de-connaissances/technologie-infrarouge/tableaux-d%C3%A9missivite%C3%A9-metalle>

Principe du rayonnement infrarouge

Impact d'un film réfléchissant



➔ **20 fois moins** d'émission infrarouge
avec le film aluminium
(propre et non oxydé)

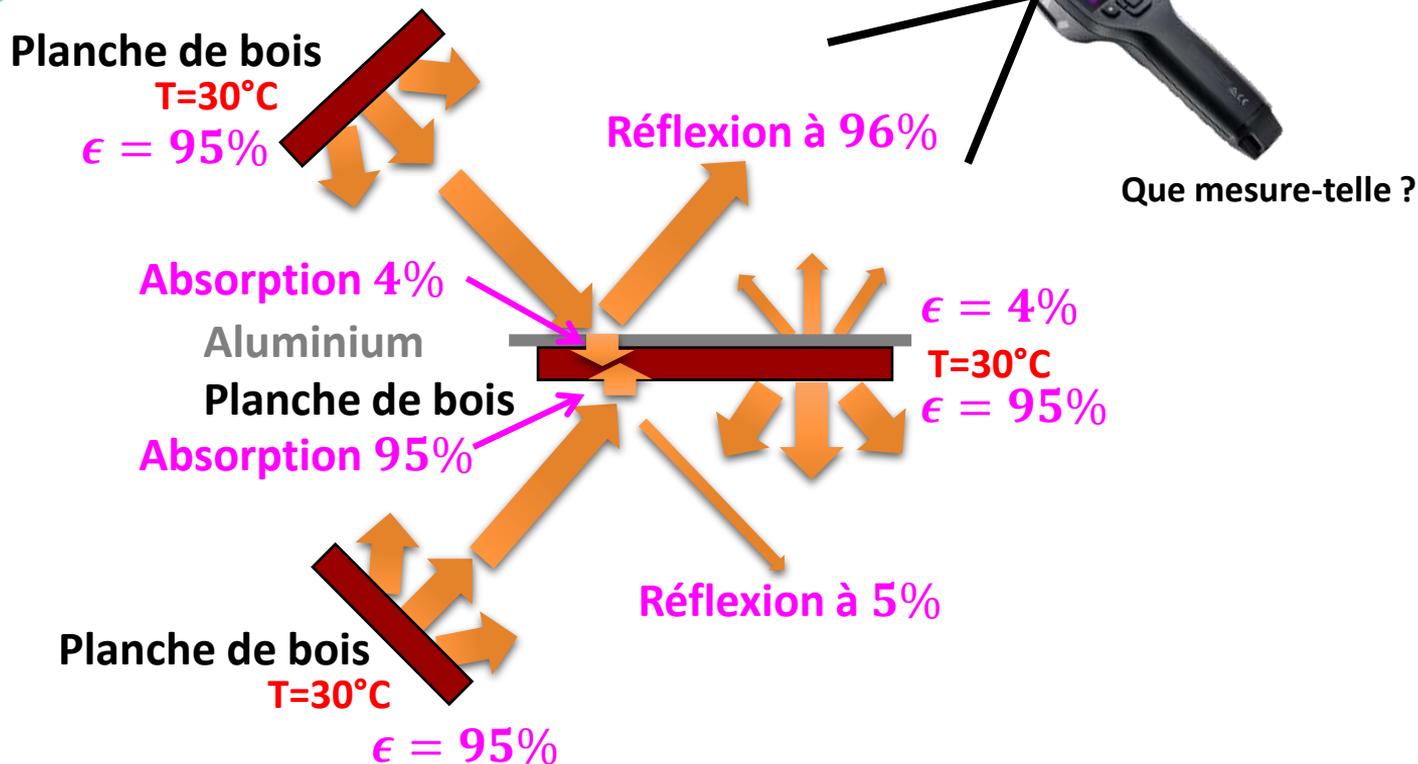
Feuilles d'aluminium [1]			
Nue	Revêt Cu.		Fibrée
$\epsilon = 4\%$	9%	7%	18%



[1] Adibekyan, Albert, Kononogova, Elena, Hameury, Jacques, Lauenstein, Marcus, Monte, Christian and Hollandt, Jörg. "Emissivity measurements on reflective insulation materials" *tm - Technisches Messen*, vol. 88, no. 10, 2021, pp. 617-625.

Principe du rayonnement infrarouge

La réflexion infrarouge

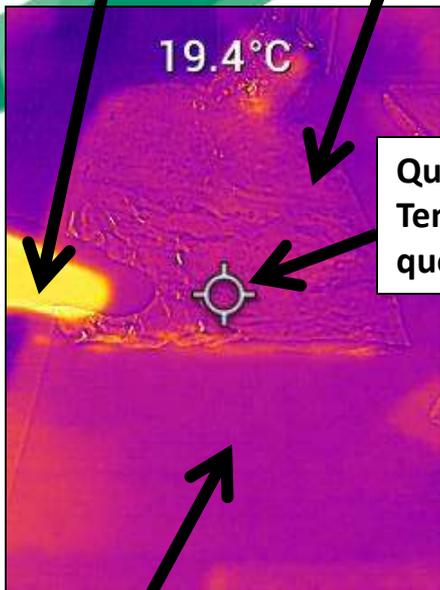


Réflexion infrarouge sur feuille d'aluminium

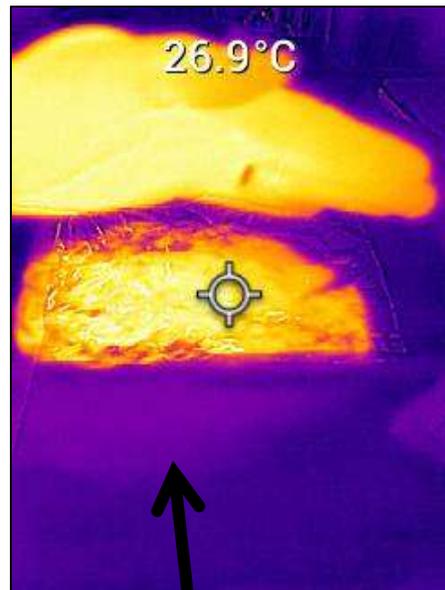
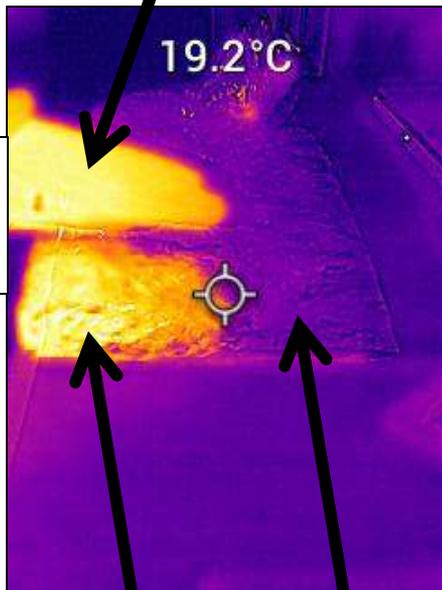
Feuille d'aluminium

Main à environ 30°C

La caméra reçoit en direct les infrarouges émis par ma main



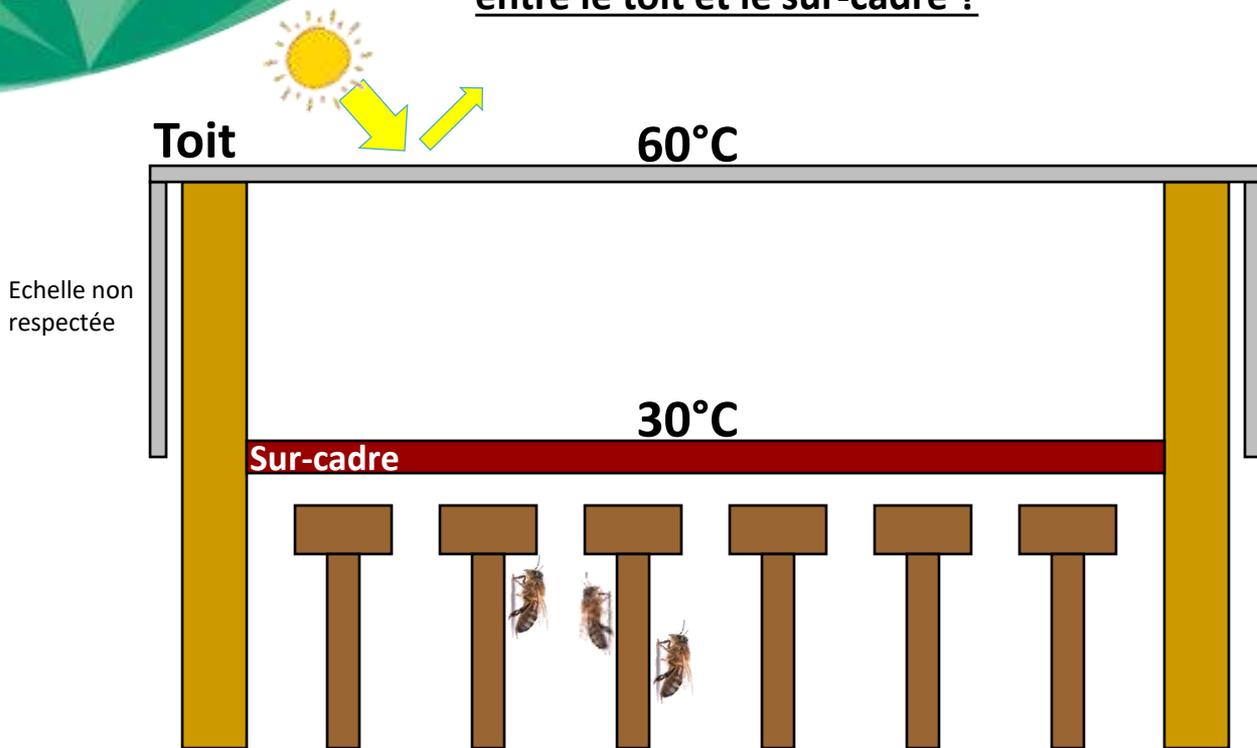
Quiz:
Température de
quoi ?



Application au toit de la ruche

Toit standard sans nourrisseur

Quel est l'échange d'énergie par rayonnement infrarouge entre le toit et le sur-cadre ?



Application au toit de la ruche

Toit standard sans nourrisseur

Emissivité/Absorption:

Acier galvanisé $\approx 45\%$

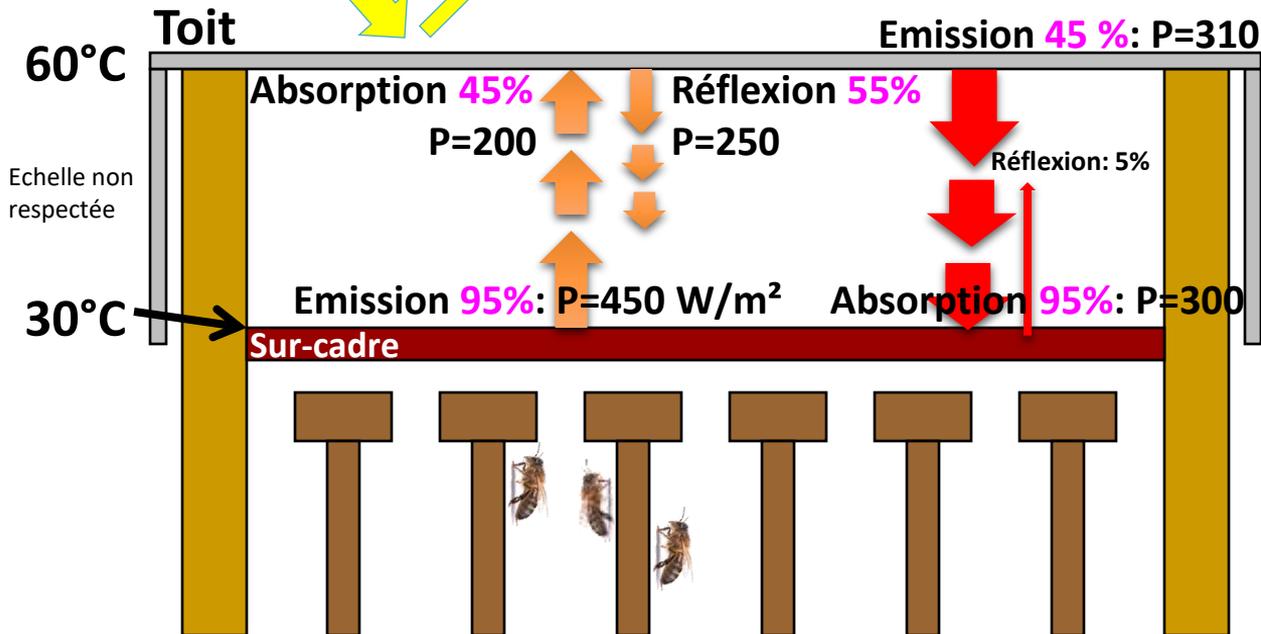
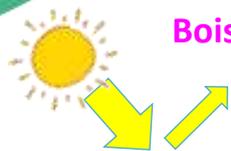
Bois isorel $\approx 95\%$



Réflexion:

Acier galvanisé $\approx 55\%$

Bois isorel $\approx 5\%$



Echelle non respectée

Bilan:

- 1) L'isorel émet: 450 dont 250 qui reviennent.
=> L'isorel perd 200.
- 2) L'isorel absorbe 300 en provenance du toit

Echange NET:

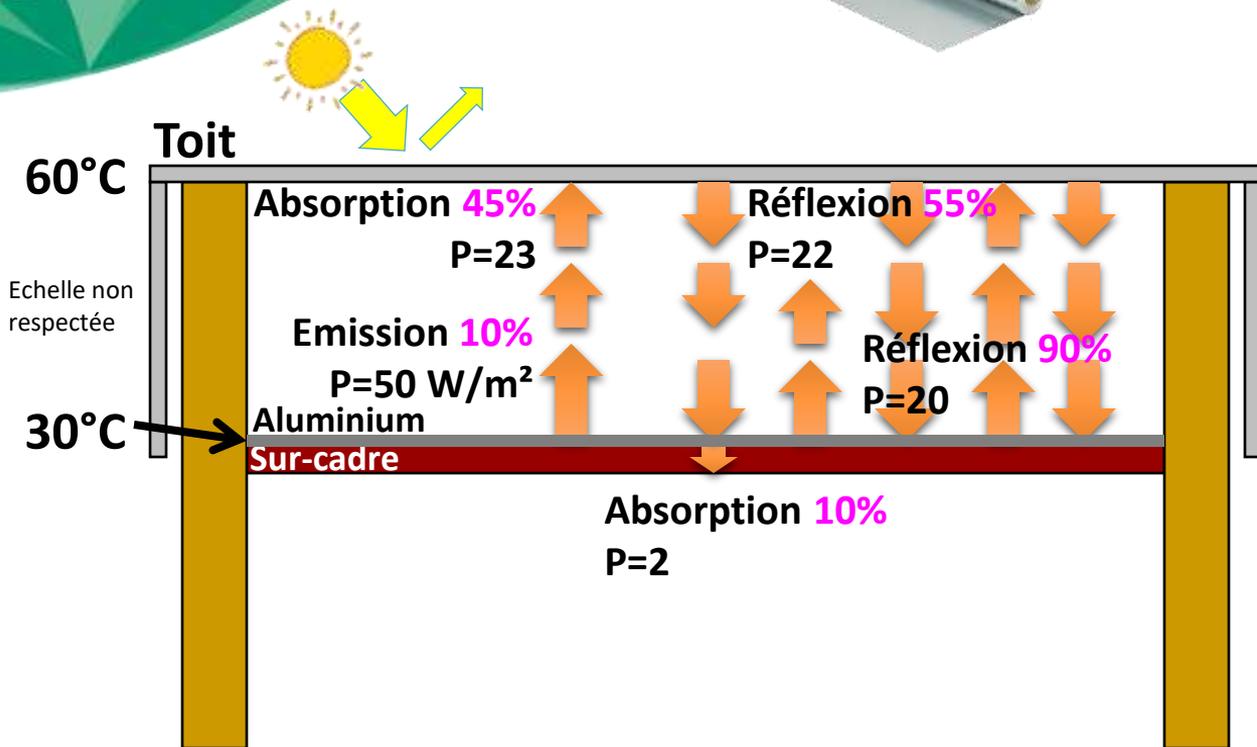
L'isorel gagne

$$P_{net} = 100W/m^2$$

Et si le toit est à 30°C ?

Application au toit de la ruche

Ajout d'un film d'aluminium ? En haut ou en bas ?



Réflexions multiples, infinies...

-> Somme mathématique

Calcul de l'émissivité effective:

$$\epsilon_{eff} = \frac{1 - (1 - \epsilon_1)(1 - \epsilon_2)}{\epsilon_1 \epsilon_2}$$

$$\epsilon_{eff} = 0.09$$

Puissance net reçue par le surcadre:

$$P_{net} = \epsilon_{eff} \cdot \sigma \cdot (T_{toit}^4 - T_{surcadre}^4)$$

$$P_{net} = 19,5 \text{ W/m}^2$$

Sans l'aluminium (page préc.):

$$P_{net} = 100 \text{ W/m}^2$$

Rayonnement et conduction

Toit standard (acier galvanisé avec couvre-cadre en bois)

$$R_{ray} = 0,3 \quad R = 0,8 \quad (\text{lame d'air de 2cm})$$

$$P = 100 \text{ W/m}^2 \quad P = 38 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Total } P = 138 \text{ W/m}^2$$

La chaleur est transférée surtout par **rayonnement infrarouge**.
Inutile d'augmenter l'épaisseur de l'air.

Avec un film aluminium sur le surcadre

$$R_{ray} = 1,5 \quad R = 0,8$$

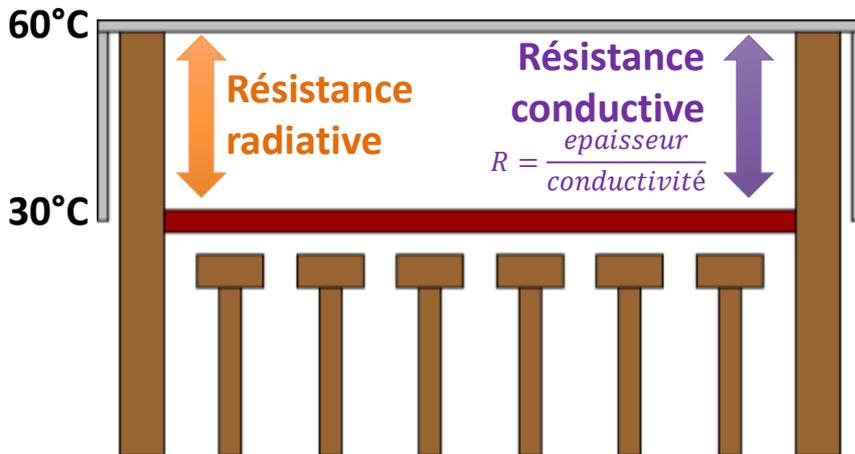
$$P = 20 \quad P = 38$$

$$\text{Total } P = 58 \text{ W/m}^2$$

La chaleur est transférée surtout par **conduction dans l'air**.
-> Augmenter l'épaisseur de l'air, augmente la résistance de l'air et réduit le transfert de chaleur.
-> Inutile de mettre un autre film d'aluminium

Calcul du transfert de chaleur entre le toit et le surcadre:

$$P = \frac{T_{toit} - T_{surcadre}}{R}$$



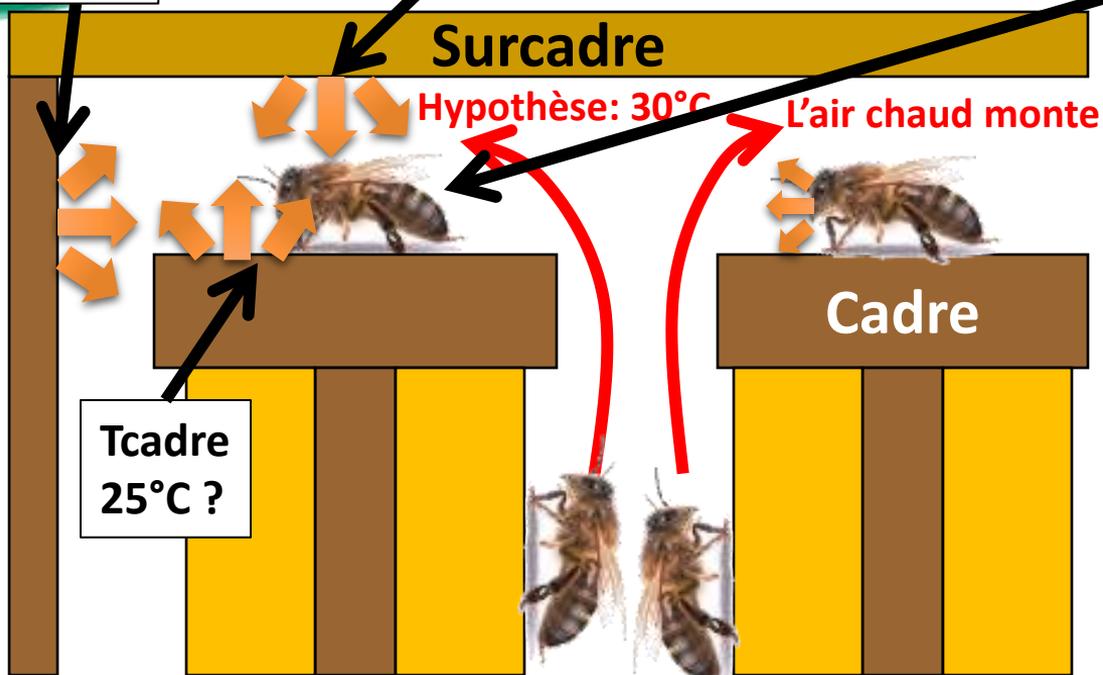
Si on met du polystyrène ?
(ou équivalent)

Et quand on est une abeille ?

Température du surcadre ? Dépend de l'isolation du toit/cadres/parois, de la température extérieure, du soleil, de la chaleur dégagée par la colonie

Tparoi
20°C ?

30°C ?



Inventaire du rayonnement reçu par l'abeille:

- 30°C par le surcadre
- 20°C par les parois
- 25°C par le haut des cadres
- 30°C par sa voisine ?

Que voit-elle le plus ?

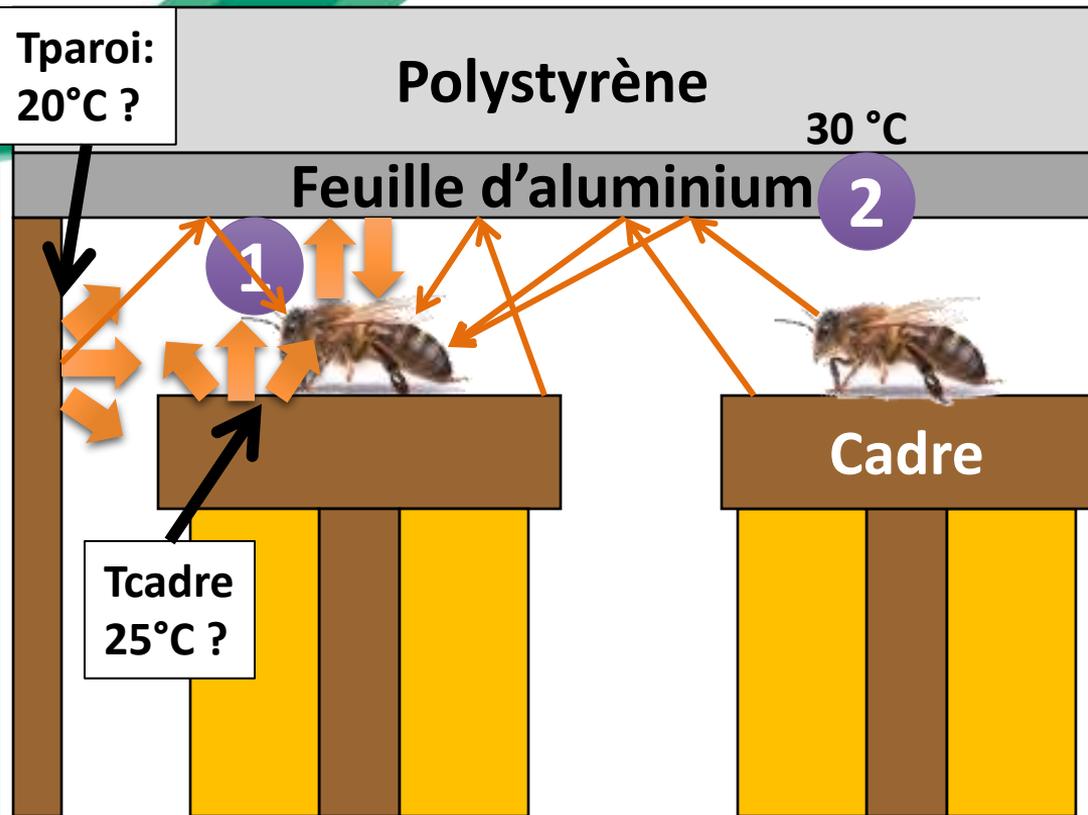
Notion de champ de vue.

Le surcadre et le haut des cadres

Perd-elle ou gagne-t-elle de l'énergie ?

Et quand on est une abeille ?

Ajout d'un film d'aluminium à la place du couvre-cadre (ruche RBC)



1 Quel impact de l'aluminium ?

L'abeille reçoit son propre rayonnement infrarouge

2 L'abeille ne « voit » plus le couvre-cadre à 30°C puisque c'est un miroir.

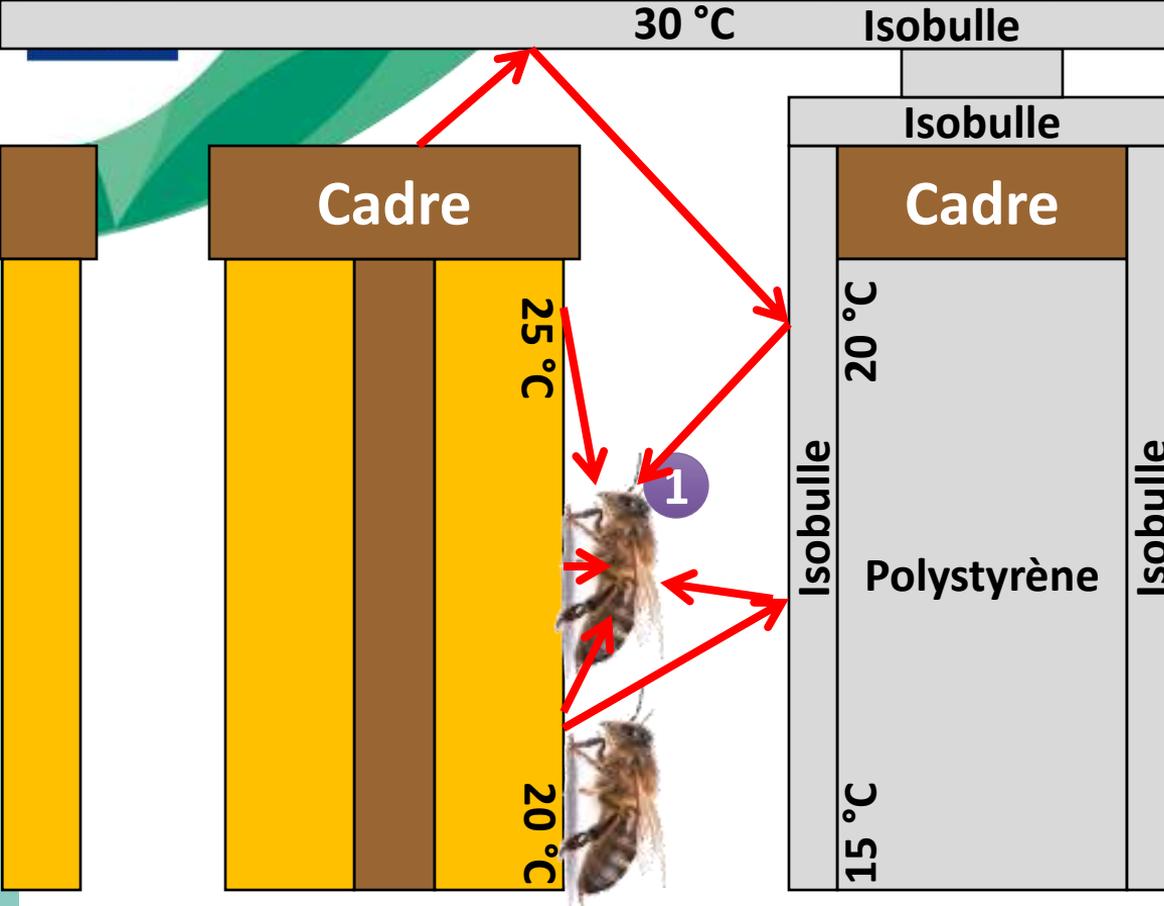
Elle ne voit que le haut des cadres à 25°C, les parois à 20°C et sa voisine.

Inventaire du rayonnement reçu par l'abeille:

- 25°C par le surcadre (réflexion)
- 20°C par les parois
- 25°C par le haut des cadres
- 30°C par sa voisine ?



Le long d'une partition isolée PIHP ?



Quiz au sujet de l'abeille 1 :

- L'abeille reçoit-elle des infrarouges du couvre-cadre ?

Réfléchi ou émis ? Emis non, réfléchi oui.

- De la PIHP ?

Pas de rayonnement émis

- Du cadre bâti ?

Oui, en direct et après réflexion

- De l'autre abeille ?

Oui, en direct et après réflexion sur l'isobulle

- De la tête de cadre ?

Oui, après réflexion double !

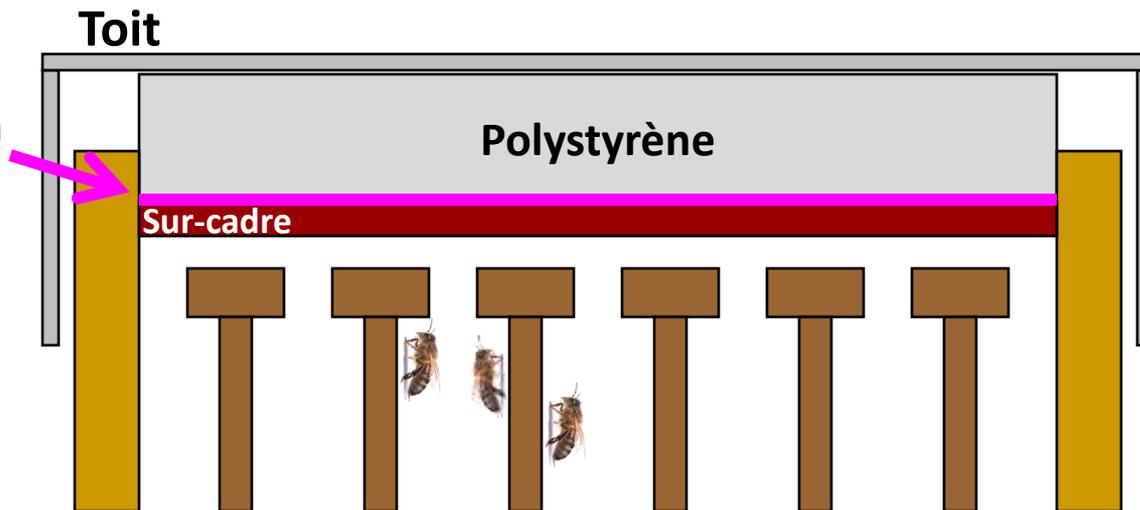


Et si on enlève l'isobulle ?

Sondage n°1

Film d'aluminium entre le bois et le polystyrène ?

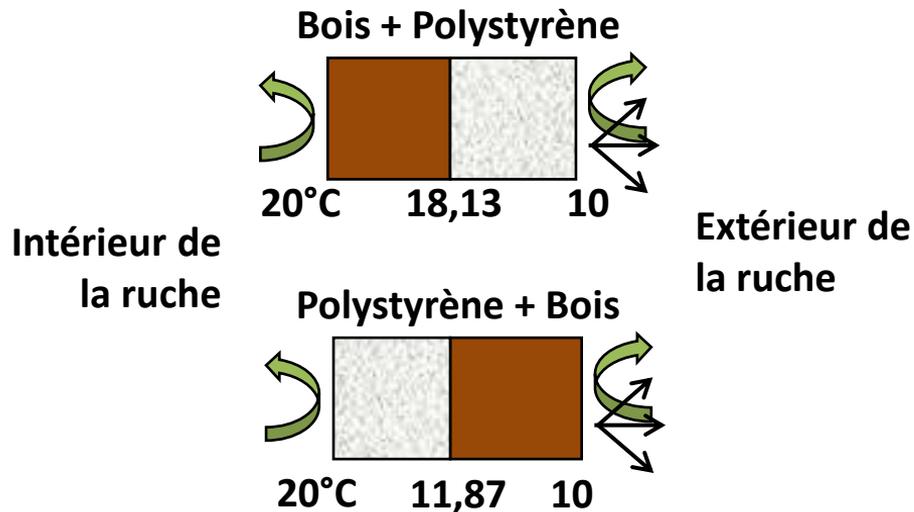
Que pensez-vous d'un film d'aluminium ici ?



Placé entre le couvre-cadre et le polystyrène, le film d'aluminium n'a aucun effet sur la thermique. Si le film est imperméable, il peut être utile pour bloquer éviter la montée de l'humidité (pas besoin d'aluminium dans ce cas)

Sondage n°2

Quelles différences entre ces deux empilements ?



Le polystyrène (ou matériau équivalent) bloque le transfert de chaleur. Cela a pour conséquences:

- 1) Pour les apiculteurs qui souhaitent réduire la condensation sur les parois internes de la ruche, l'isolation par l'extérieur (polystyrène à l'extérieur) conduit à une température plus élevée du bois, ce qui réduit la condensation.
- 2) Si le polystyrène est à l'intérieur, le bois sera proche de la température extérieure. Si l'on souhaite éviter la condensation sur le bois, il faudra veiller à l'étanchéité afin que l'air chaud de la ruche ne puisse pas entrer en contact avec le bois (généralement plus froid).

Synthèse intermédiaire

Notion de
conductivité thermique λ
 et de résistance thermique R

$$R = \frac{\text{épaisseur}}{\lambda}$$

Critère principal pour le choix des matériaux et de la structure

Notion de
 temps de réaction de la ruche

$$t_c = \text{Masse} \times \text{Isolation}$$

Améliorer la stabilité de la température:

- Soit on augmente la masse
- Soit on augmente l'isolation (préférable)

Notion de
diffusivité thermique a
 et de temps de propagation
 (bois/polystyrène)

$$t_c = \frac{(\text{épaisseur})^2}{a}$$

Effet filtrant des parois

Pas un enjeu majeur en apiculture car les ruches peuplées ont une masse thermique importante. L'effet filtrant est assuré par la ruche.

Notion de
 émission et réflexion infrarouge
 en fonction de

l'émissivité de la surface

Intérêt du film aluminium (propre) ?

Penser à un miroir. Quelles sont les surfaces vues par l'abeille ? Et quelle température ont-elles ?

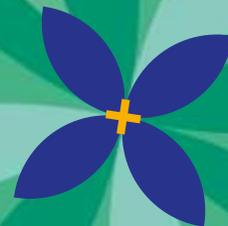
Discussion

- ▶ **Isolez vous en hiver ? Une partie de l'hiver ? Par l'extérieur ou par l'intérieur (parois isolantes) ?**
- ▶ **Utilisez vous du polystyrène ? Des films aluminiums ?**
- ▶ **Comment choisissez-vous l'isolant ? Recommandation technique des ADA, des revues, des vendeurs ?**
- ▶ **A quel moment enlevez vous cette isolation ?**
- ▶ **Changez vous le toit au cours de l'année ?**
- ▶ **Modifiez vous la masse thermique de vos ruches ?**
 - **poser la ruche sur le sol pour bénéficier de la masse thermique du sol pendant l'été ?**
 - **ajouter des masses dans la ruche ?**

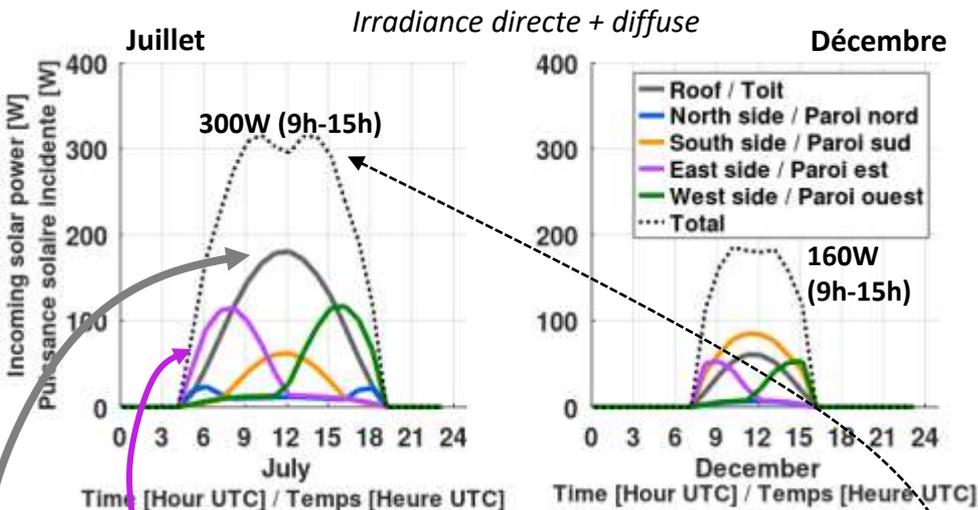
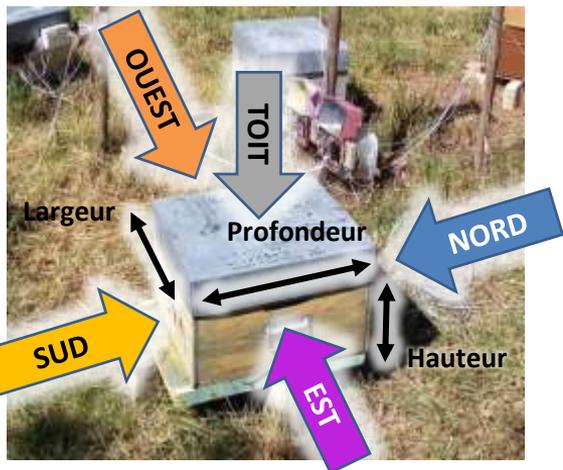


Résultats

L'isolation par rapport au soleil



Puissance solaire reçue sur chaque face



Dimensions de la ruche:
 Largeur 43cm
 Profondeur 50cm
 Hauteur 38cm
 Débord toit 10cm

- En été, le matin, la face EST reçoit jusqu'à 100W
- En été, entre 9h et 15h, la ruche reçoit au total 300W
- Vers midi, le toit reçoit 180W (60W en hiver)
- En été, le toit reçoit le plus de puissance.
 En hiver, c'est la paroi sud.

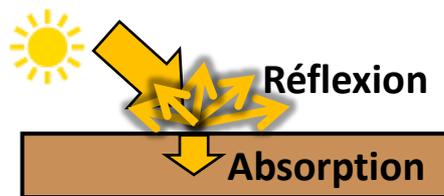
Puissance solaire absorbée

Une partie de la puissance solaire est réfléchi



Comparaison de plusieurs toits

- Plus le revêtement est « clair », plus il réfléchit le rayonnement solaire



Coefficient de réflexion solaire (albedo):

Tôle galvanisée **neuve**: réflexion de **50%**

Tôle galvanisée: entre **10 et 50%**

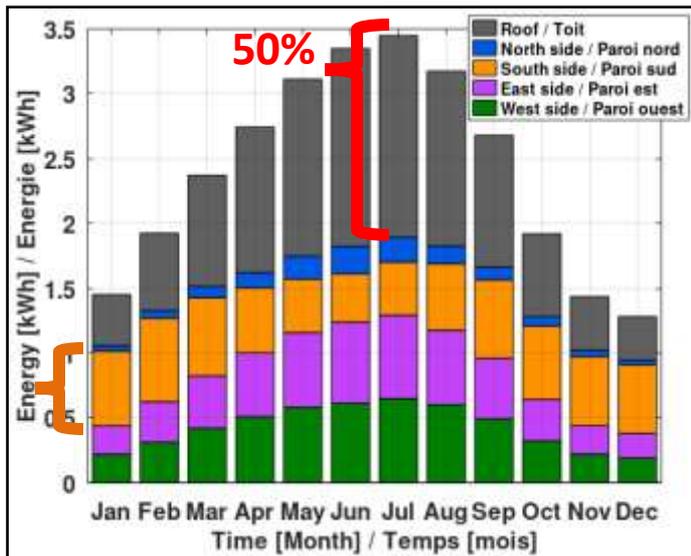
Chataîgner **brut veilli**: **≈20 à 40%**

Chataîgner **poncé**: **≈40 à 60%**

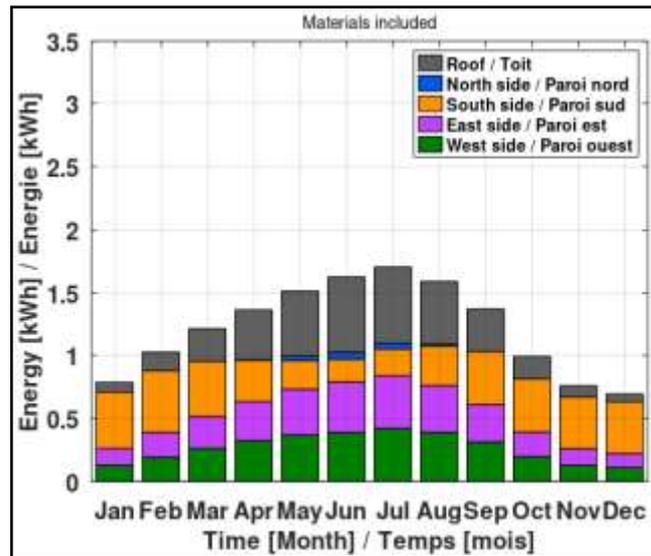
Evolution annuelle

Calcul du cumul de l'énergie reçue et absorbée sur une journée

Energie reçue



Energie absorbée



- En juillet, le toit reçoit **50%** de l'énergie
- En juillet, les parois Est et Ouest reçoivent chacune 20%
- En hiver, la paroi sud reçoit **50 à 60%** de l'énergie
- La ruche absorbe la moitié de l'énergie reçue (Ruche Dadant standard, dépend des revêtements)

Effet du sol sur la puissance absorbée



**Herbe, terre sèche
Albedo ≈ 30%**



- Une partie de l'énergie solaire est réfléchiée par le sol
- L'importance du phénomène dépend de l'albédo du sol (proportion du rayonnement solaire réfléchi)

- Augmentation de 35% de la puissance absorbée par les parois

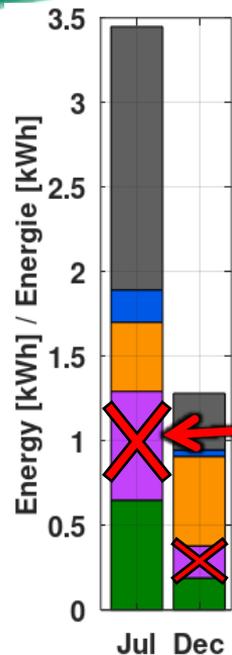
Modifier la puissance reçue ?

Une seule solution: l'ombrage

Ombrage de la ruche voisine



Ombrage de l'arbre



-20% (et plus si effet du sol)

- La ruche A **protège** la ruche B le matin. C'est l'inverse l'après-midi.
- Une partie du rayonnement solaire n'est plus reçue.

Modifier la puissance absorbée ?

Résultats du projet HabeeTat financé par la fondation Agropolis

Modification des parois

Thermopeint (1)



Blanc (1)



Noir (1)



Modification du toit

Brut



Blanc



Noir



5 capteurs de température



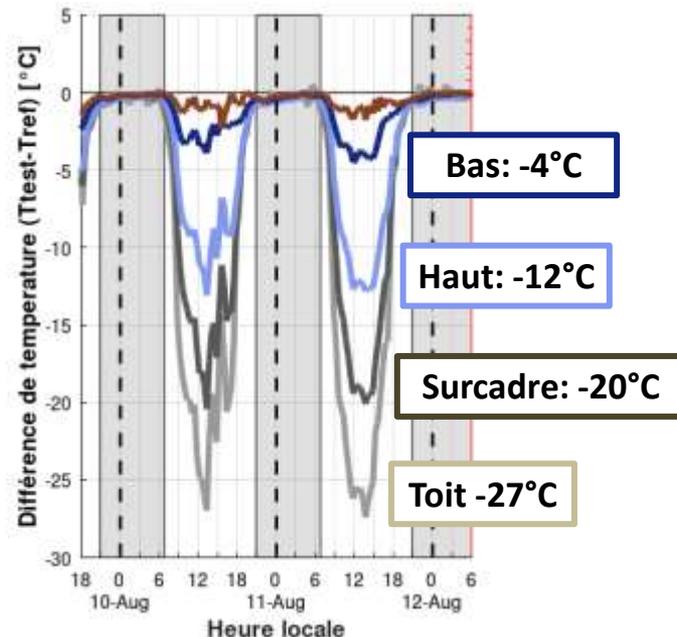
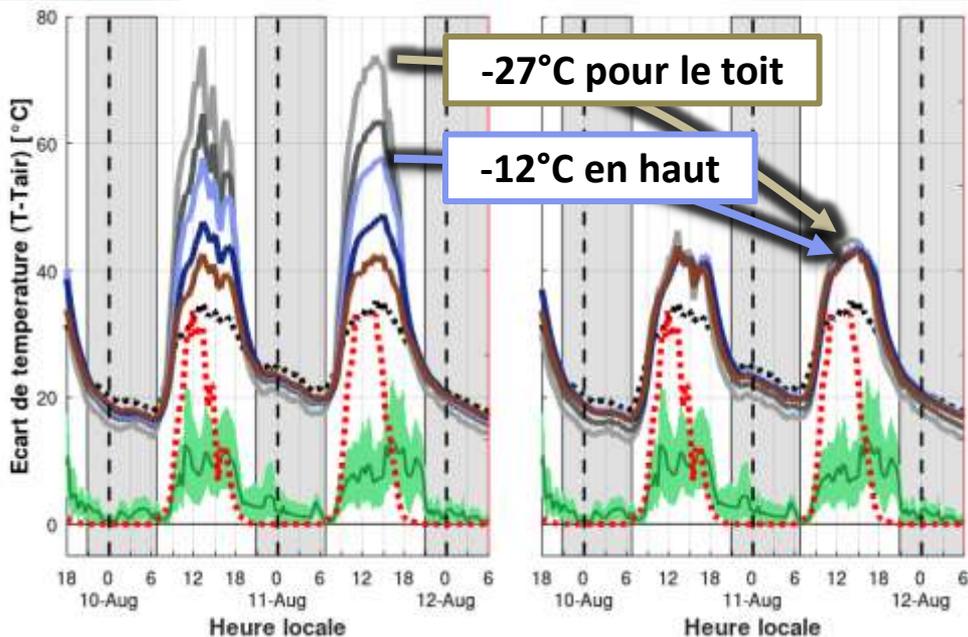
(1) Film plastique peint pour pouvoir remettre la ruche dans son état initial

Modification des revêtements: toit blanc

« Référence »



« Test »



► Effet très significatif de la peinture blanche sur la température d'une ruche vide

Modification des revêtements



Toit noir



Toit blanc



Toit Balbimax



Composite plastique (qq mm)

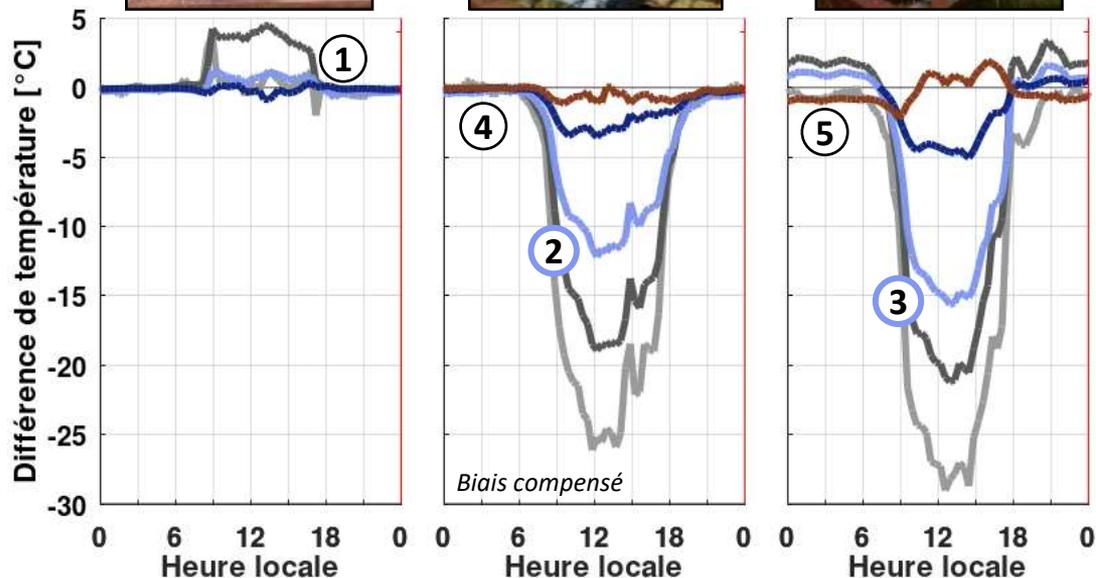
Air ventilé 2cm

Isolant aluminisé 2cm

Air (1 à 2cm)

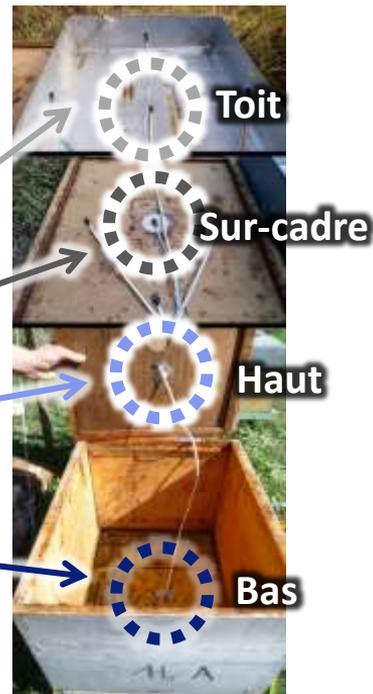
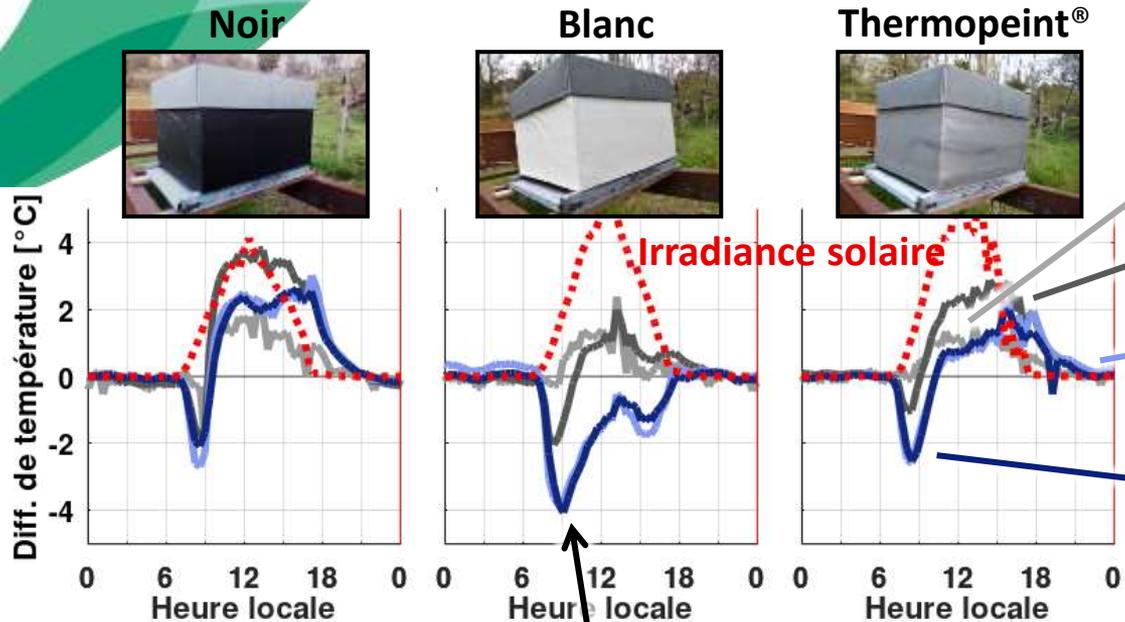
Isorel

Surcadre



- **Toit noir** identique au **toit brut** ①
Seul le capteur du surcadre est plus chaud: peut être l'émissivité infrarouge de la paroi intérieure du toit.
- -12°C pour le **toit blanc** en haut ②
- -15°C pour le **toit Balbimax** ③
- Le **toit blanc** ne modifie pas la température pendant la nuit ④
- Températures sensiblement supérieures la nuit avec le **toit Balbimax** ⑤
(Bloque le rayonnement infrarouge avec l'atmosphère froid)

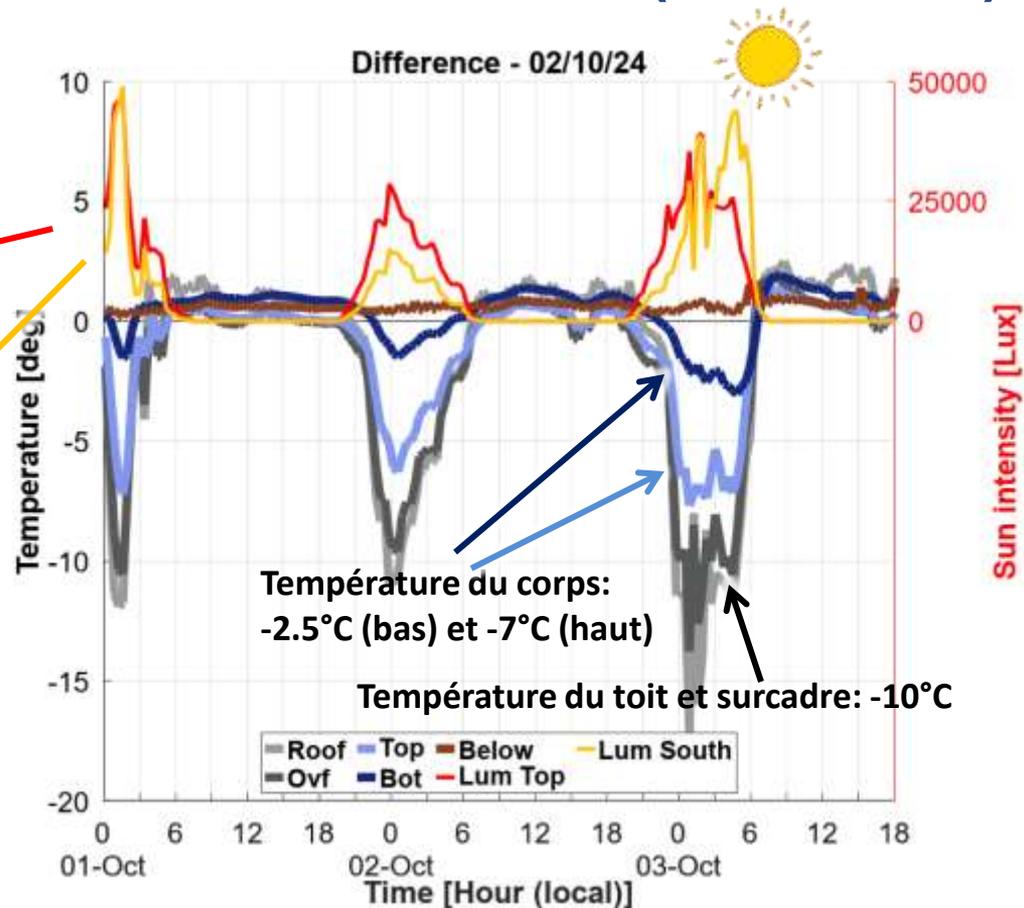
Modification des revêtements



- Effet des parois beaucoup plus faible: +/- 2°C** (mais luminosité aussi plus faible que sur les résultats précédents)
 - Paroi **en blanc**: entre 8 et 10h, gain maximal de **4°C**
 - Toutes les parois: légère baisse de température entre 8h et 10h (fort angle d'incidence des rayons du soleil ?)
 - Haut et bas de la ruche présentent les mêmes variations
- Difficulté d'interprétation**: Résultats sensiblement identique lorsque la ruche n'est pas modifiée
- Une chose certaine**: ni le blanc, ni le Thermopoint® n'ont d'effet significatif sur la thermique

Effet d'une « coiffe » blanche (en octobre)

Coiffe blanche amovible
Été->extérieur / Hiver->intérieur



Effet d'une « coiffe » blanche (en octobre)

Comparaison avec la peinture blanche (en aout)

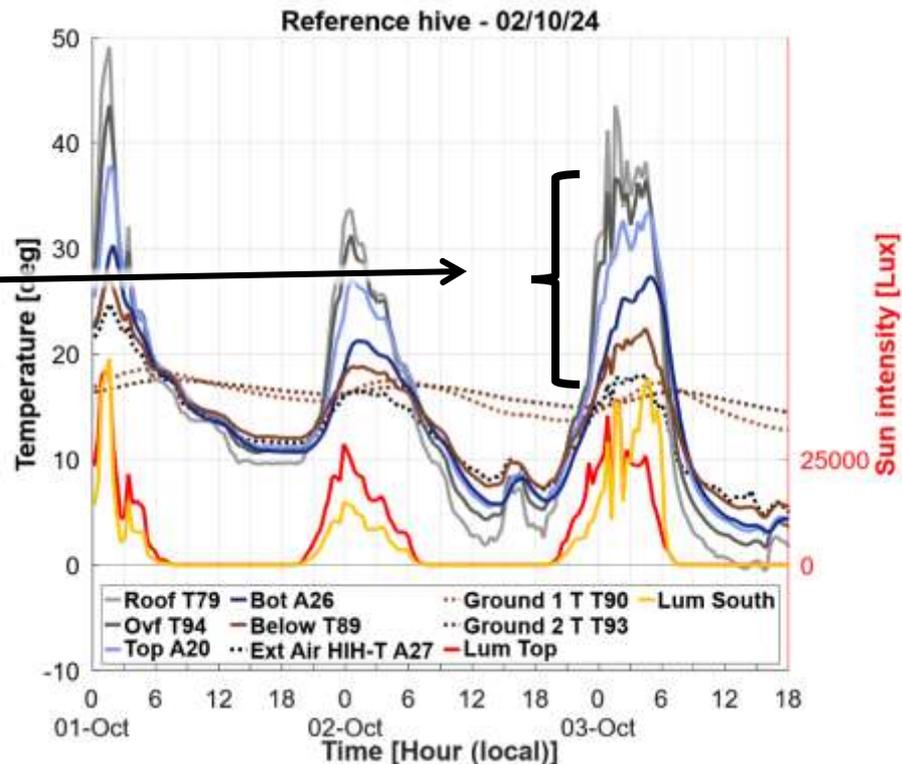
Comment comparer ?

- Mesure de l'effet du soleil sur la ruche de référence:
 - +20°C en octobre 2024
 - +40°C en aout 2023 (cas de la peinture blanche)
- Le soleil est environ 2 fois plus intenses
- L'effet de la coiffe blanche serait 2 fois plus important

Peinture blanche: -25°C pour le toit en aout

Coiffe blanche: ≈ -20°C (corrigé) pour le toit en aout

- Sens de la coiffe ? Nord-Sud ou Est-Ouest ?



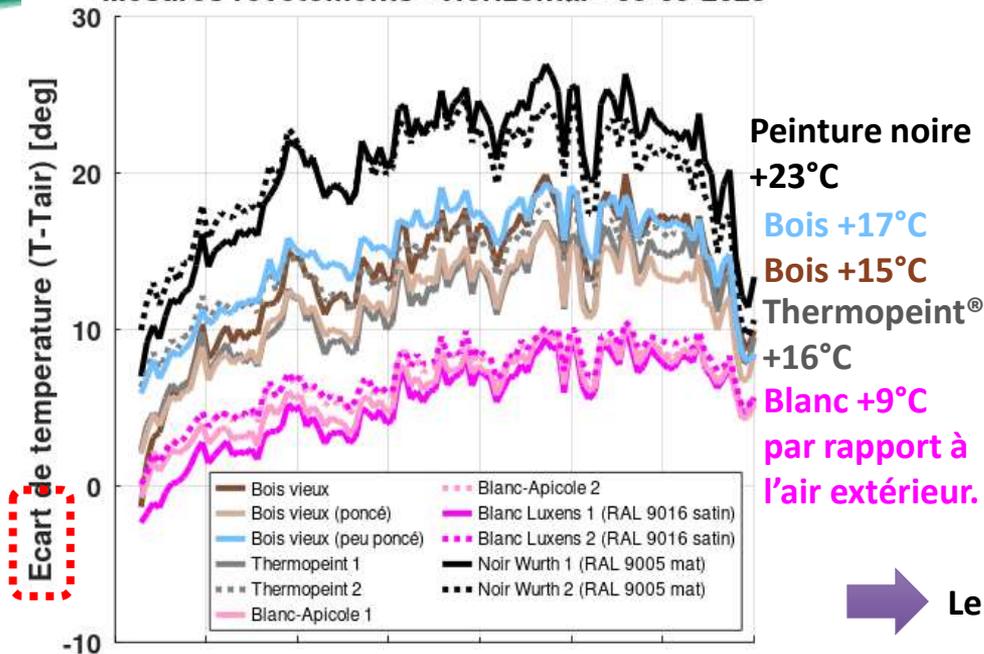
Expériences sur échantillon

Températures en fonction de la peinture

Méthode: Echantillons horizontaux exposés au soleil

Résultats: Peinture noire > Bois et Thermopeint > Peinture blanche

Mesures revêtements - Horizontal - 05-05-2023



Le Thermopeint ne semble pas baisser la température

Isolation par rapport au soleil - Synthèse

1. Journée ensoleillée: **une ruche reçoit beaucoup d'énergie du soleil**
2. **L'(auto)ombrage** permet de **réduire** la quantité de chaleur **reçue**
3. **Le sol** peut augmenter la chaleur reçue par la ruche
4. **Les revêtements** permettent de **réduire** la quantité de chaleur **absorbée**
5. **Peinture sur le toit:**
 - **La peinture blanche:** réduction de 4°C (moyenne journée)
 - **La coiffe blanche:** réduction de 3 à 4 °C (moyenne journée)
 - **Le toit brut ou peint en noir:** même effet
6. **Peinture sur les parois:** pas d'effet significatif
7. Intérêts de travailler avec des ruches vides

Questions ? Quels retours d'expérience avez-vous sur l'usage des peintures ?



Synthèse et perspectives



Les besoins en fonction des saisons

En hiver

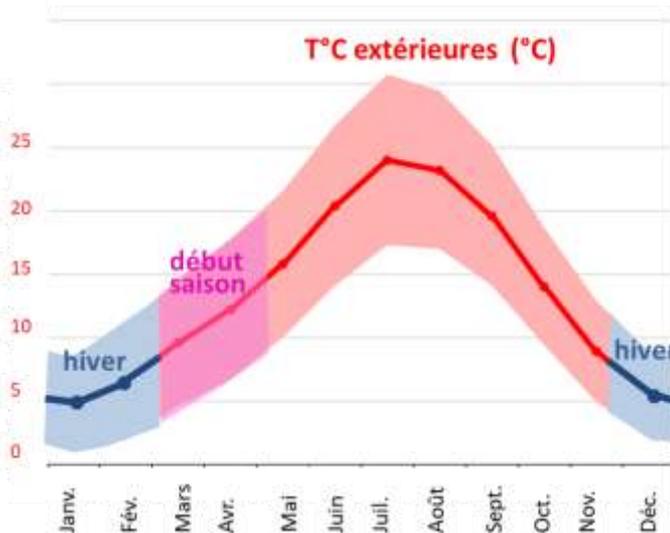
- **La source de chaleur:** la grappe à l'intérieur de la ruche
- **Objectif:** garder cette chaleur à l'intérieur
- **Moyen:** matériau à faible conductivité thermique: polystyrène ou équivalent, lame d'air
- **Conséquence:** on s'isole du rayonnement solaire

En début de saison

- **Objectif:** réchauffer la ruche
- **Moyen:** capter le rayonnement solaire

En été

- **Objectif:** limiter la surchauffe, limiter la thermorégulation
- **Moyen:**
 - S'isoler du soleil (revêtement, matériau, structure)
 - Augmenter le temps de réaction de la ruche (ajout masse thermique ?)



L'intérêt de l'isolation du toit

- Solutions adaptées à tous les climats et toutes les saisons ?
- L'isolation du toit semble **bénéfique** à toutes les saisons

<u>En été</u>	La journée 	La nuit 
Isolation externe avec revêtement réfléchissant (peinture/coiffe blanche) ou ombrage (végétation, ruche voisine, ...)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baisse la température du toit et donc la chaleur qui pénètre dans la ruche (ce qui augmente l'humidité relative en haut de la ruche) ▪ Evite la fonte de cire ▪ Stabilise les températures 	Globalement peu d'effet, mais: lors d'une nuit claire (sans nuage) : <ul style="list-style-type: none"> ▪ (Revêtements): Baisse la température du toit ▪ (Ombrage): Augmente un peu la température du toit
Isolation interne du toit (polystyrène, aluminium)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Empêche la chaleur d'entrer dans le corps de la ruche ▪ Stabilise les températures ▪ Augmente la température du toit ▪ Evite la fonte de cire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stabilise les températures ▪ Evite la condensation sur le couvre cadre.

L'intérêt de l'isolation du toit

Effet bénéfique

Effet négatif

Effet négatif/bénéfique
(suivant le contexte)

<u>En hiver</u>	La journée 	La nuit 
Isolation externe avec revêtement réfléchissant (peinture/coiffe blanche)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peu d'effet : Le soleil est bas et peu intense ▪ Stabilise les températures ▪ Baisse la température de la ruche 	Globalement peu d'effet, mais: lors d'une nuit claire (sans nuage) : <ul style="list-style-type: none"> ▪ (Revêtements): Baisse la température du toit
Ombrage (végétation, ruche voisine, ...)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stabilise les températures ▪ Baisse la température de la ruche ▪ Réduit le vent (augmente la T°C) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (Ombrage): Augmente un peu la température du toit ▪ Réduit le vent (augmente la T°C)
Isolation interne du toit (polystyrène, aluminium)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stabilise les températures ▪ Maintient la chaleur dans la ruche ▪ Evite la condensation (le couvre-cadre est chaud) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stabilise les températures ▪ Evite la condensation sur le couvre-cadre

Synthèse sur les toits

La question était posée à propos du toit:

Et si on met du polystyrène en plus/à la place de l'aluminium?

Remarques à prendre pour interpréter les résultats suivants:

- 1) Ils font abstraction du corps de la ruche pour se concentrer sur le toit. La température en haut du corps est imposée et fixée à 30°C à titre d'illustration.
- 2) Les valeurs de températures sont donc qualitatives (et non prédictives). Il s'agit des températures lorsque les conditions ambiantes sont stables et ne varient pas. Elles permettent la comparaison entre les toits et de dégager des tendances sur l'effet des modifications.
- 3) **Les valeurs de résistance thermique (R_{total}) peuvent changer entre l'été et l'hiver lorsqu'il y a une couche d'air dans le toit car les échanges par infrarouge sont plus faibles à basse température.**
- 4) **Attention: la résistance thermique ne prend pas en compte le comportement du toit au soleil. Elle prend en compte seulement le transfert thermique entre le toit et le corps de la ruche.**
- 5) Le « flux » en W/m^2 est la quantité de chaleur qui pénètre (valeur positive) ou sort (négative) dans la ruche. Plus la résistance thermique du toit est grande, plus elle réduit les transferts de chaleur:

$$Flux = \frac{T_{toit} - T_{surcadre}}{R_{total}}$$

T_{toit} est la température à la surface extérieure du toit (exposée au soleil)
 $T_{surcadre}$ est la température inférieure du sur-cadre, en contact avec les abeilles

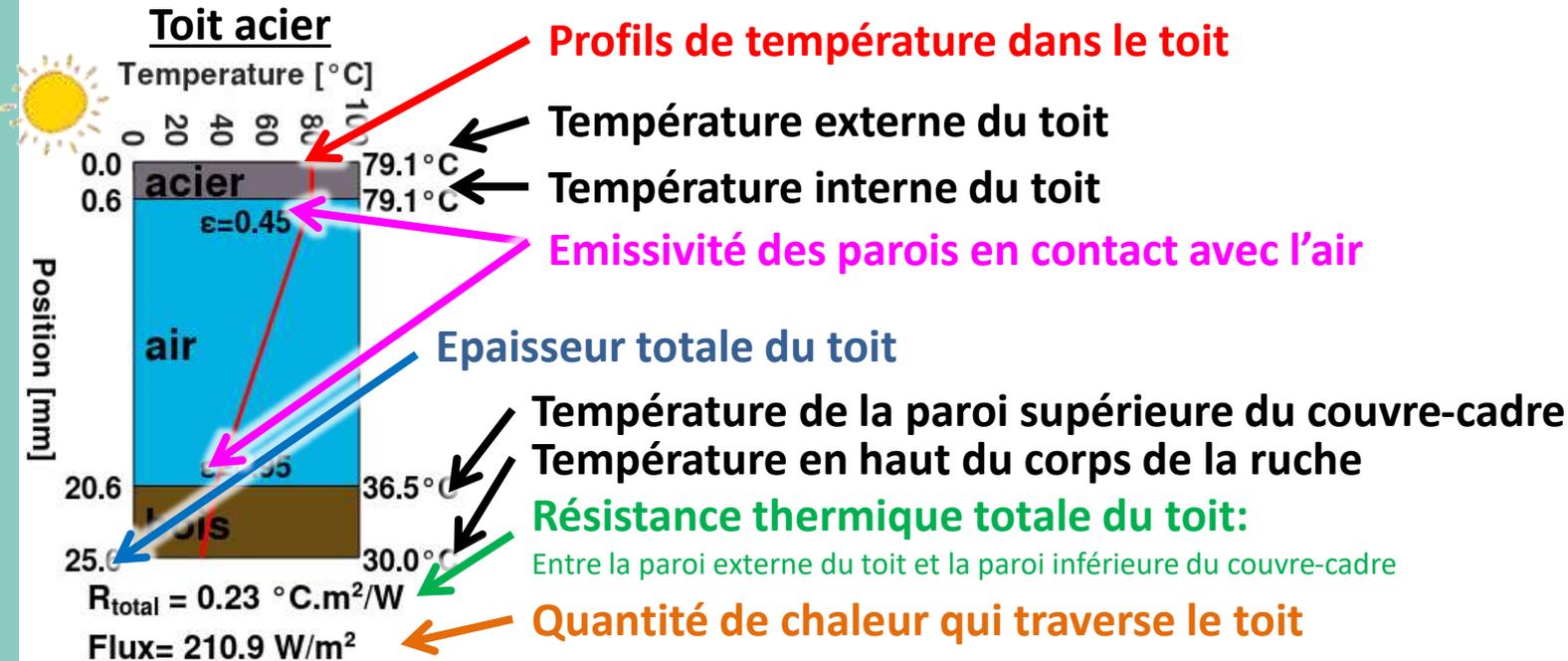
- 6) En été, la vitesse du vent est nulle pour se mettre dans la situation la plus défavorable
- 7) En hiver, deux vitesses de vent sont considérées: 0 et 10km/h
- 8) En hiver, la convection dans le toit n'est pas prise en compte. Elle réduit la résistance des couches d'air.

Simulations sur les toits (en été la journée)

Température du toit et chaleur entrant dans la ruche

Flux solaire: $\phi = 900 \text{ W/m}^2$; Température air $T_{air} = 30^\circ\text{C}$; Température ambiante de rayonnement $T_{rad} = 30^\circ\text{C}$
 Coefficient d'échange convectif $h = 5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$; Paroi inférieure: température imposée à 30°C
 Emissivité solaire acier: $\epsilon = 0,7$

Représentation simplifiée du toit d'une ruche, composée d'un empilement de différents matériaux



Simulations sur les toits (en été la journée)

Température du toit et chaleur entrant dans la ruche



Toit acier+ bois (1cm)

Modifications apportées:

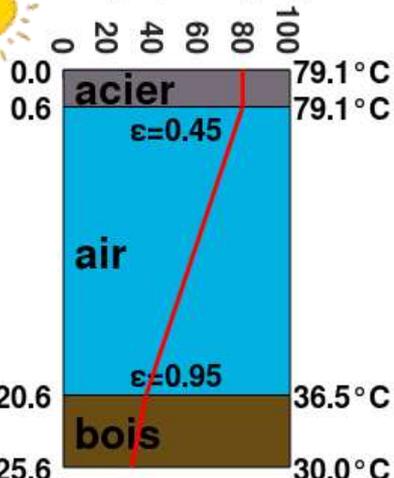
- On ajoute 1cm de bois sous l'acier galvanisé
- L'épaisseur de l'air est toujours de 2 cm

Conséquences:

- La température du toit est plus faible de 2.5°C
- **L'émissivité du bois est de 0.95**
- **La résistance thermique diminue** alors qu'on ajoute un matériau ?
- Ce toit est moins isolant que le toit standard car les échanges par infrarouge sont plus élevés à cause de l'émissivité du bois.

Toit acier

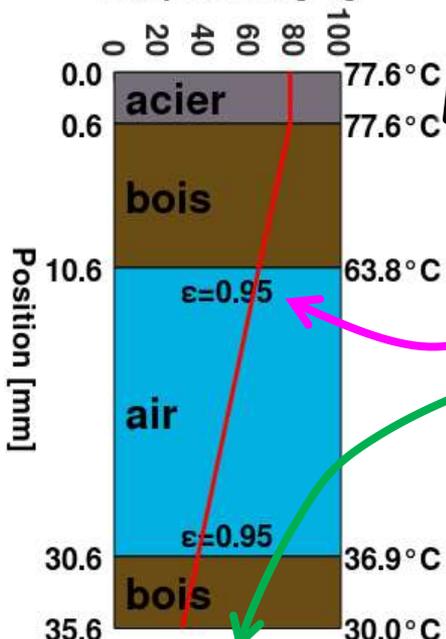
Temperature [°C]



$$R_{\text{total}} = 0.23 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

$$\text{Flux} = 210.9 \text{ W/m}^2$$

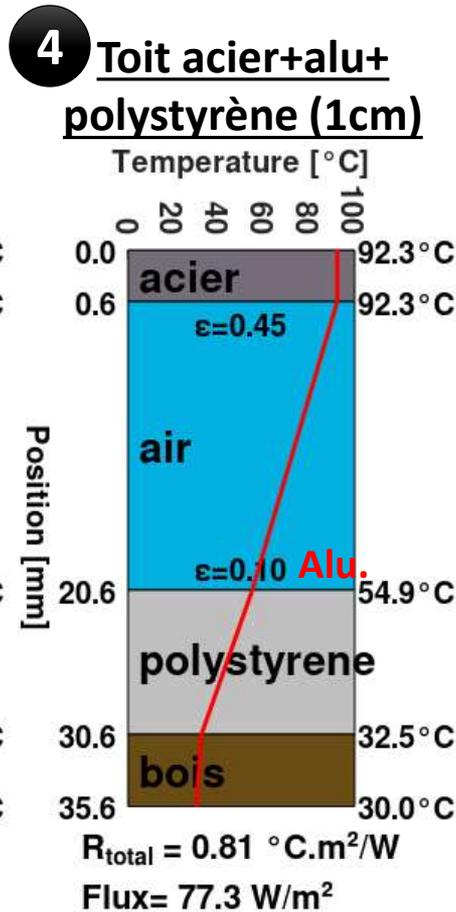
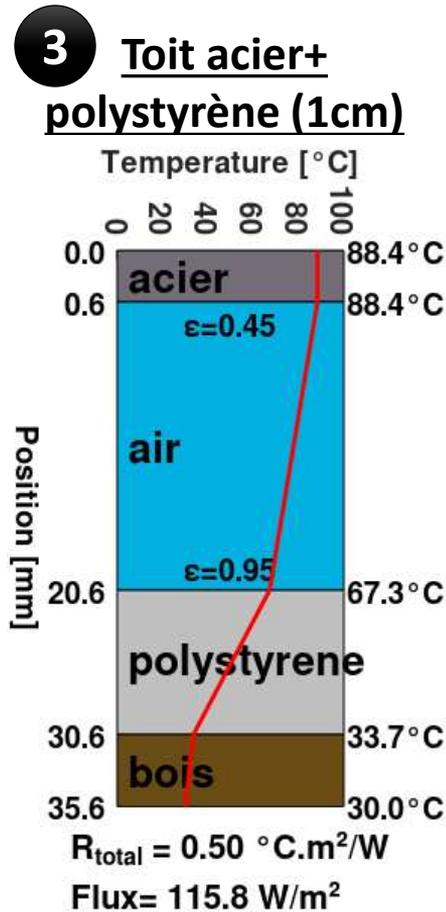
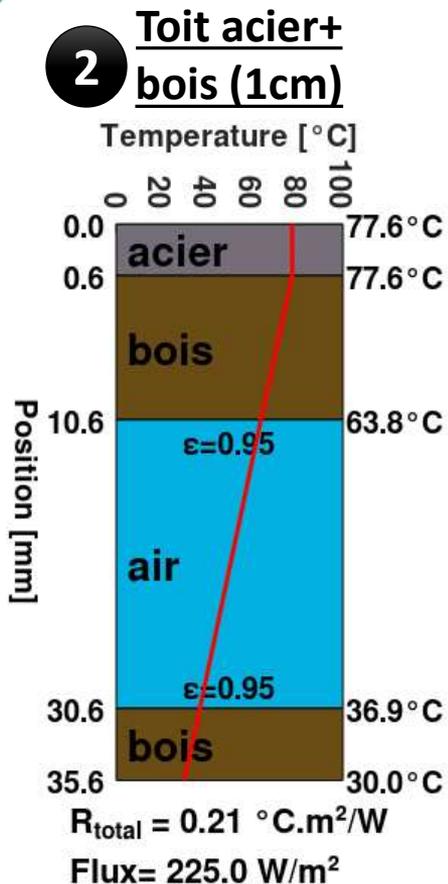
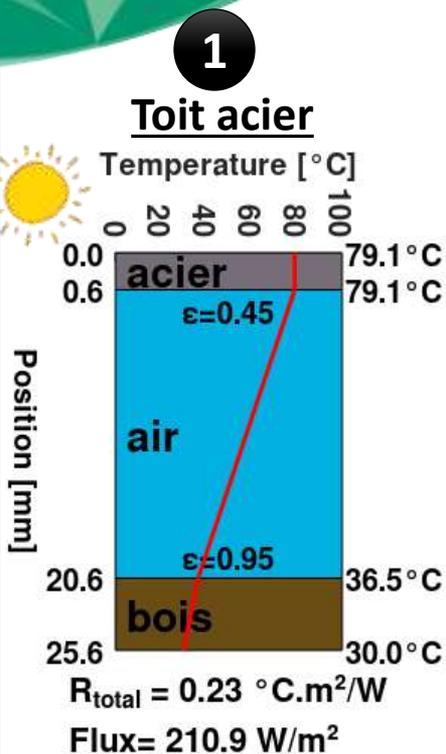
Temperature [°C]



$$R_{\text{total}} = 0.21 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

$$\text{Flux} = 225.0 \text{ W/m}^2$$

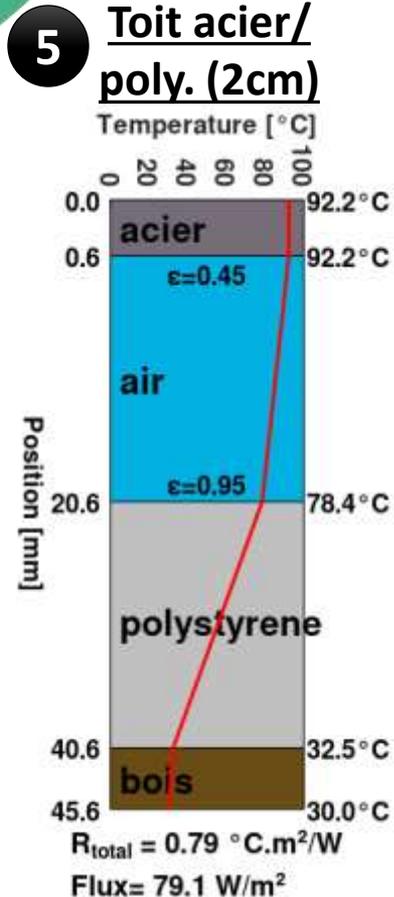
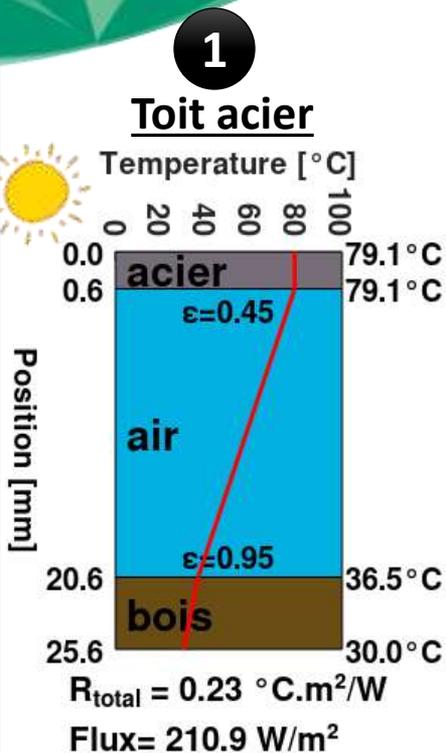
Simulations sur les toits (en été la journée)



Simulations sur les toits (en été la journée)

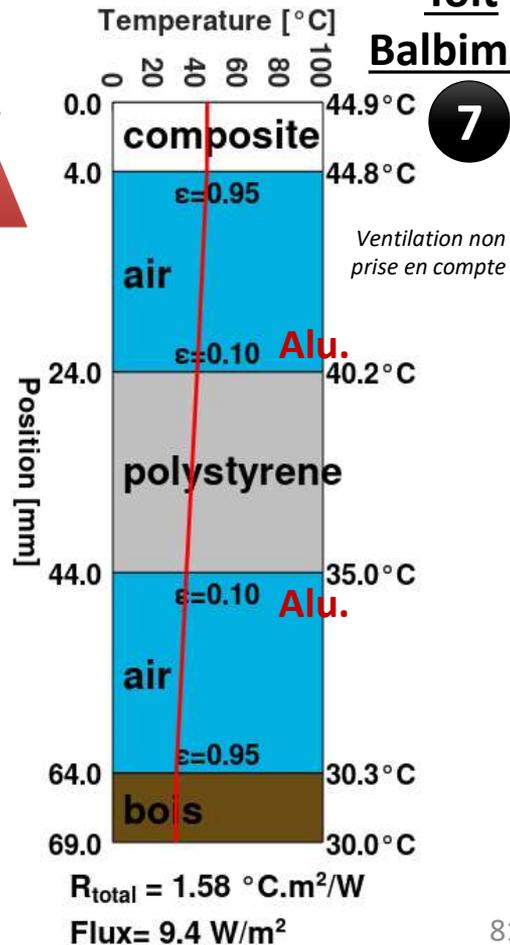
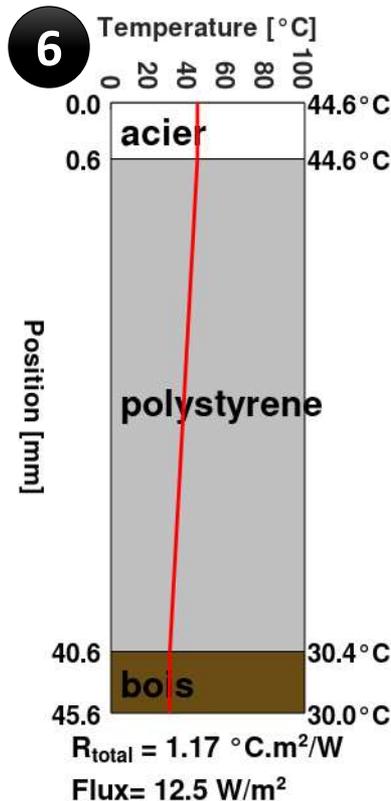
Toit

Balbimax



6

Ruche RBC poly. (4cm)

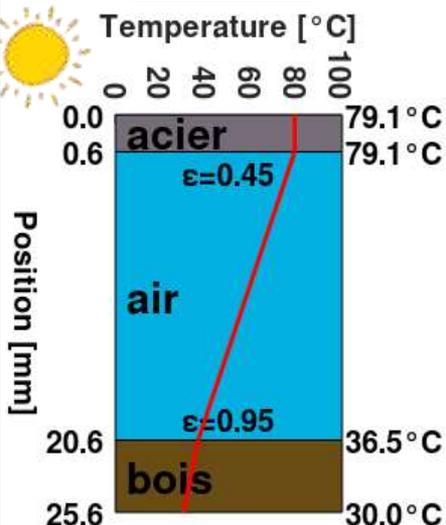


Simulations sur les toits (en été la journée)

1

Toit acier

Temperature [°C]



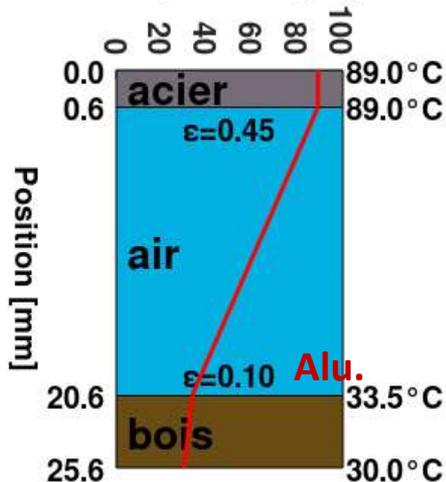
$R_{total} = 0.23 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$

Flux= 210.9 W/m²

8

**Toit acier
+ aluminium**

Temperature [°C]



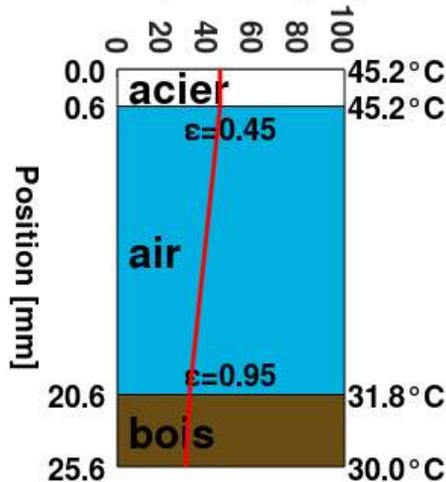
$R_{total} = 0.53 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$

Flux= 110.7 W/m²

9

**Toit acier
peint en blanc** !

Temperature [°C]



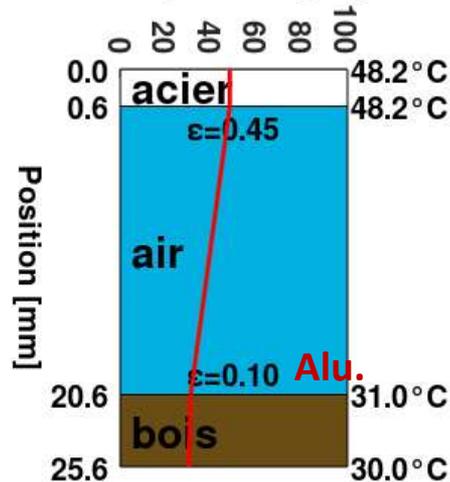
$R_{total} = 0.23 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$

Flux= 65.4 W/m²

10

**Toit acier
peint en blanc
+ aluminium** !

Temperature [°C]



$R_{total} = 0.53 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$

Flux= 34.2 W/m²

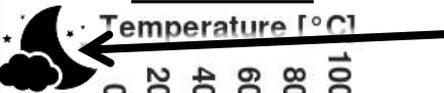
Simulations sur les toits (en hiver)

Température du toit et chaleur entrant dans la ruche

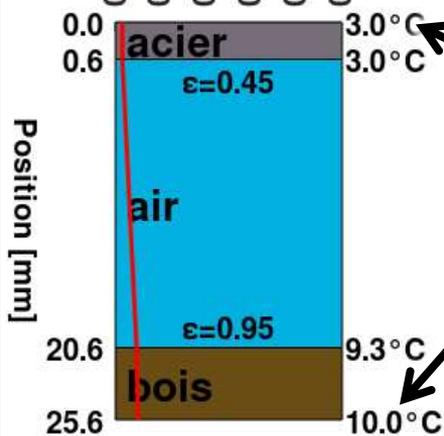
Flux solaire: $\phi = 200 \text{ W/m}^2$; Température air $T_{air} = 0^\circ\text{C}$; Température ambiante de rayonnement $T_{rad} = 0^\circ\text{C}$
 Coefficient d'échange convectif $h = 5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$; Paroi inférieure: température imposée à 10°C
 Emissivité solaire acier: $\epsilon = 0,7$

11

Toit acier



La nuit est le plus critique en hiver, c'est donc les conditions que l'on simule ici



Température du toit inférieure à la température de la ruche.

La chaleur va du chaud vers le froid, ce qui explique **la quantité de chaleur négative**.

Pour se mettre dans des conditions plus réalistes de l'hiver, je suppose que le haut du corps est à 10°C

Résistance thermique plus élevée qu'en été, car les transferts par infrarouge sont plus faibles (du fait des $T^\circ\text{C}$ plus basses)

$R_{total} = 0.32 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$

Flux = -21.3 W/m^2

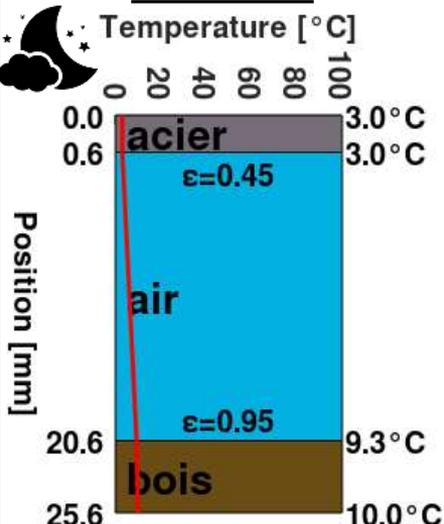
Quantité de chaleur négative ? La ruche perd de l'énergie

Simulations sur les toits (en hiver)

11

Toit acier

Temperature [°C]



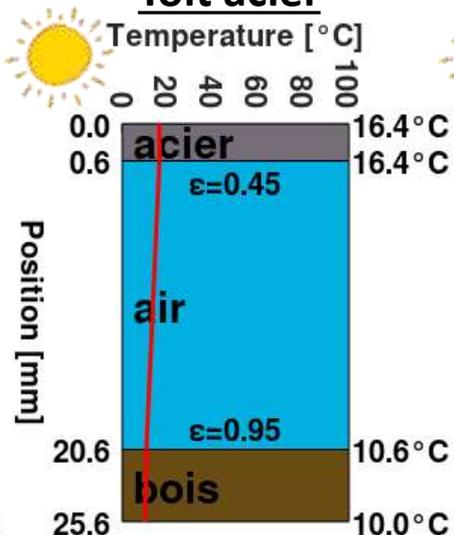
$$R_{\text{total}} = 0.32 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

$$\text{Flux} = -21.3 \text{ W/m}^2$$

12

Toit acier

Temperature [°C]



$$R_{\text{total}} = 0.31 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

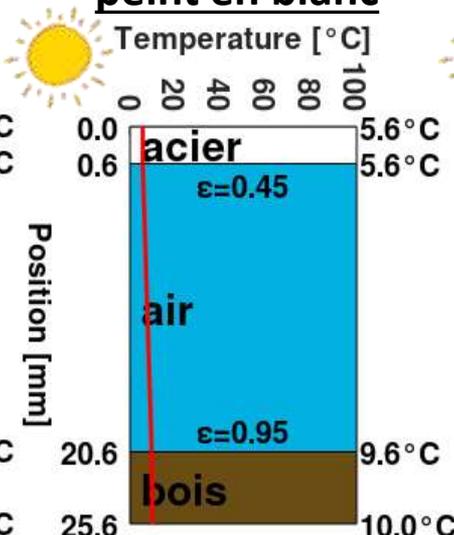
$$\text{Flux} = 19.6 \text{ W/m}^2$$



13

Toit acier peint en blanc

Temperature [°C]



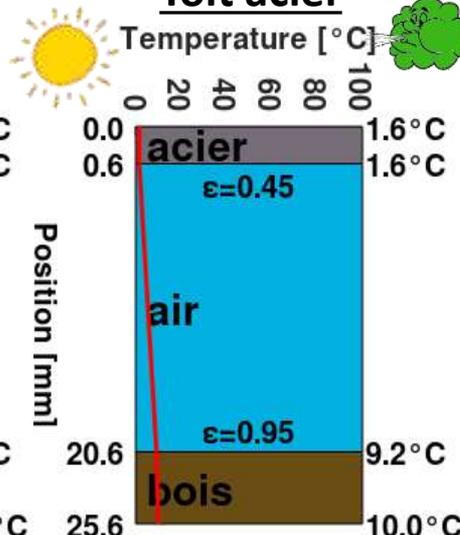
$$R_{\text{total}} = 0.32 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

$$\text{Flux} = -13.4 \text{ W/m}^2$$

14

Toit acier

Temperature [°C]



$$R_{\text{total}} = 0.32 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

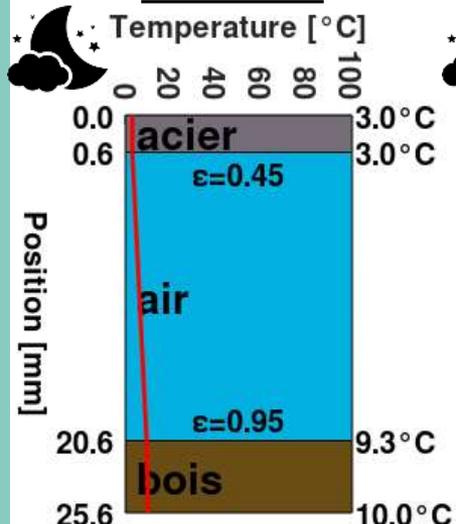
$$\text{Flux} = -25.8 \text{ W/m}^2$$



Simulations sur les toits (en hiver)

11

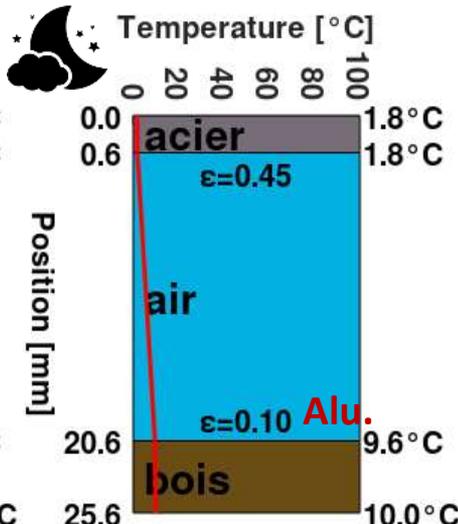
Toit acier



$R_{total} = 0.32 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$
 $\text{Flux} = -21.3 \text{ W/m}^2$

15

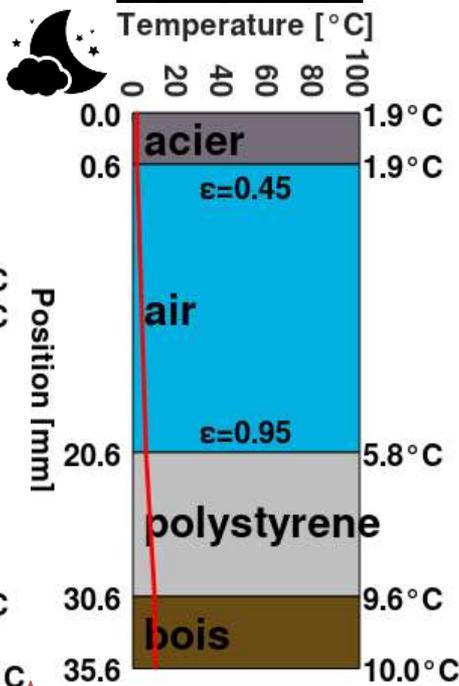
Toit acier
+alu



$R_{total} = 0.62 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$
 $\text{Flux} = -13.0 \text{ W/m}^2$

16

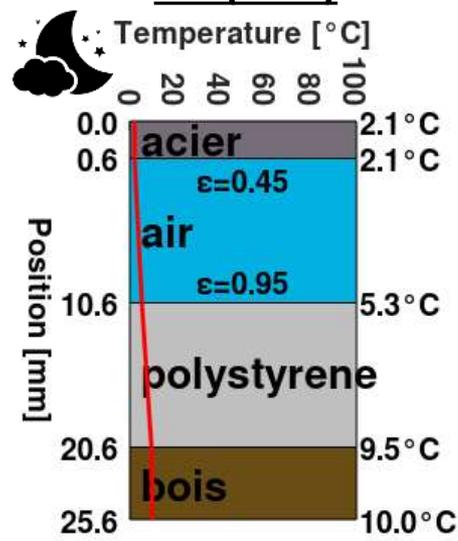
Toit acier
+ poly (1cm)



$R_{total} = 0.61 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$
 $\text{Flux} = -13.2 \text{ W/m}^2$

17

Toit acier
+ poly (1cm)
Air (1cm)



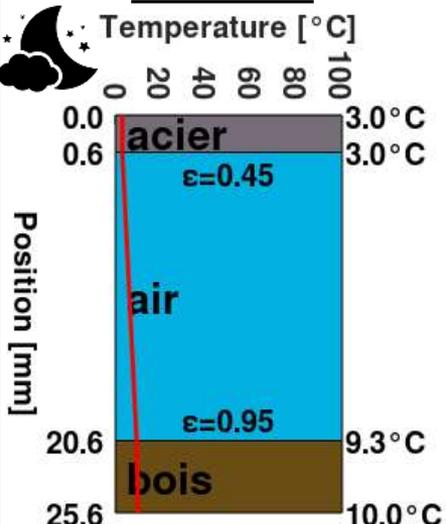
$R_{total} = 0.53 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$
 $\text{Flux} = -14.8 \text{ W/m}^2$

Simulations sur les toits (en hiver)

11

Toit acier

Temperature [°C]



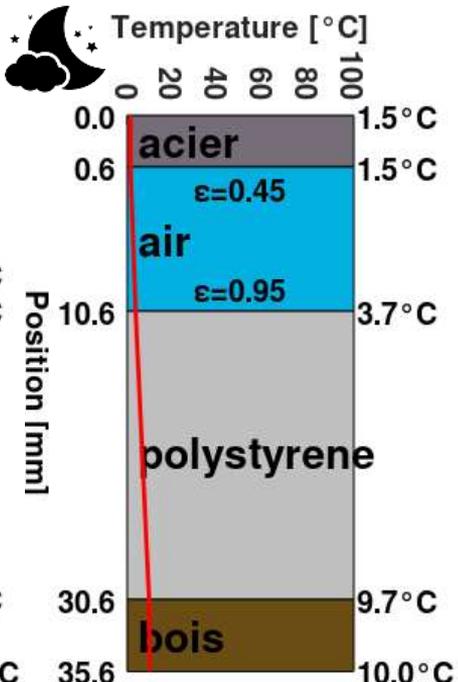
$$R_{\text{total}} = 0.32 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

$$\text{Flux} = -21.3 \text{ W/m}^2$$

18

Toit acier + poly (2cm)

Temperature [°C]



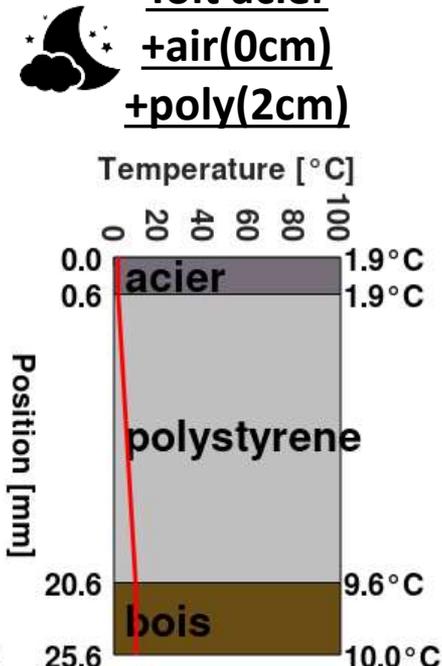
$$R_{\text{total}} = 0.82 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

$$\text{Flux} = -10.4 \text{ W/m}^2$$

19

Toit acier +air(0cm) +poly(2cm)

Temperature [°C]

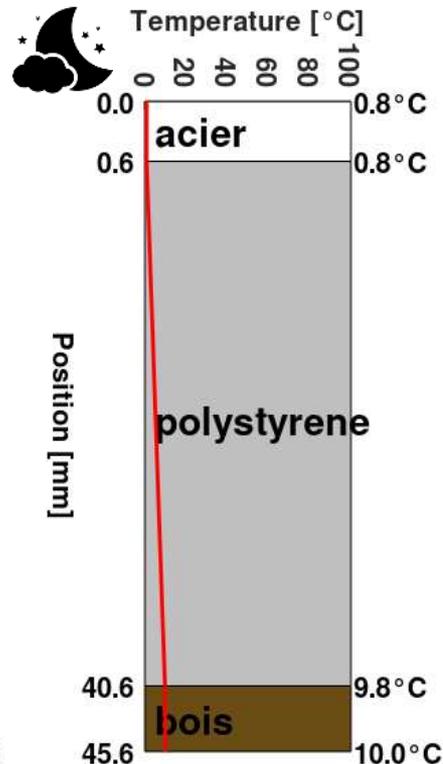


$$R_{\text{total}} = 0.60 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

$$\text{Flux} = -13.4 \text{ W/m}^2$$

Ruche RBC+Poly(4cm)

Temperature [°C]



$$R_{\text{total}} = 1.17 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

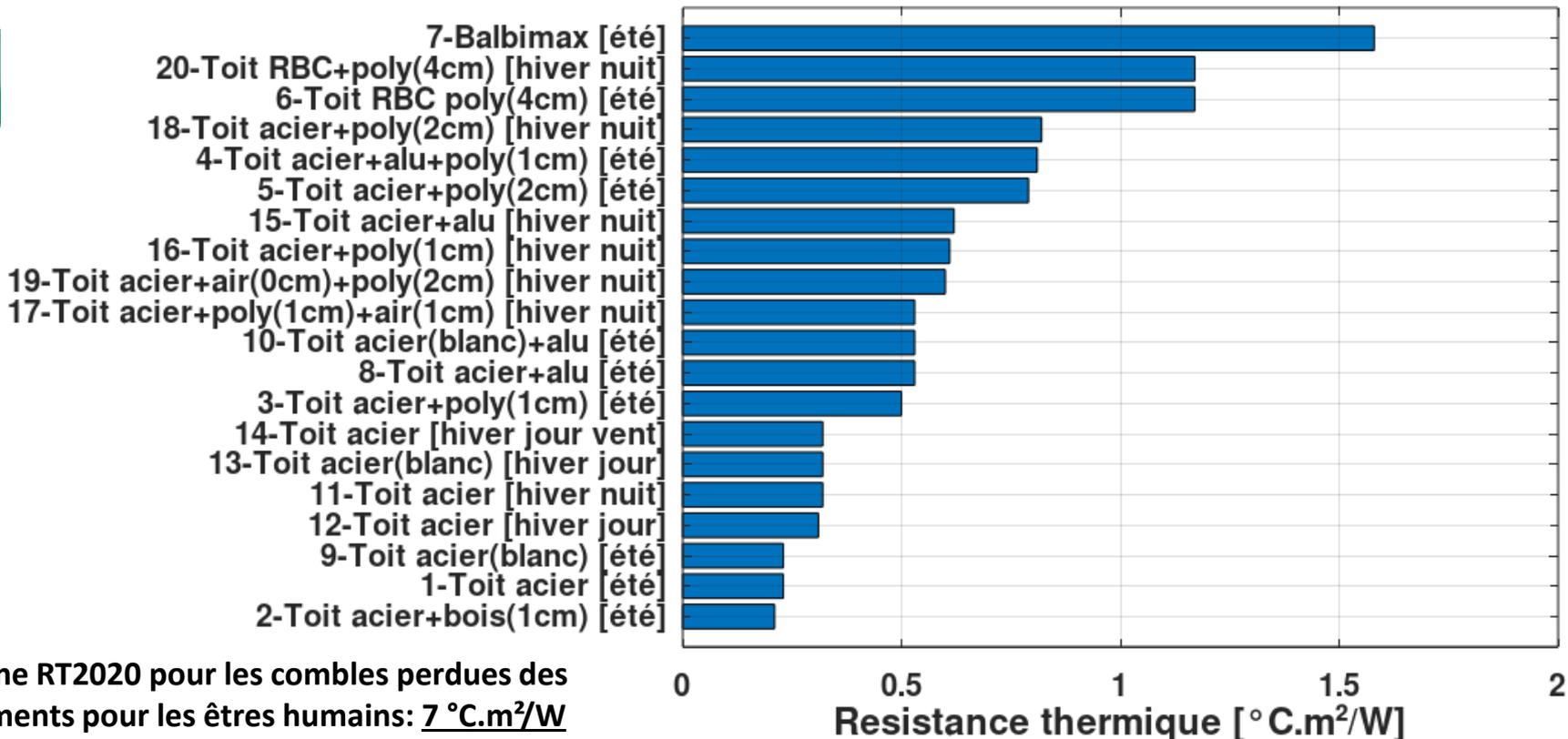
$$\text{Flux} = -7.8 \text{ W/m}^2$$

20



Résistance thermique des toits

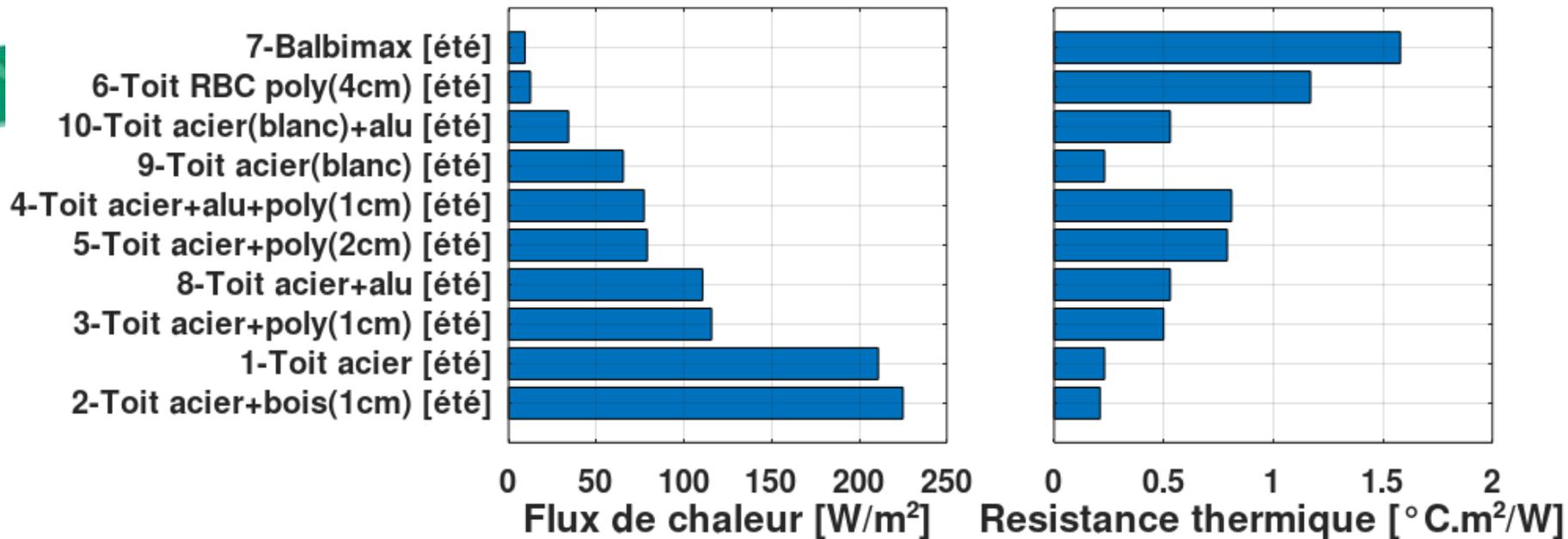
Grande résistance thermique = Peu de chaleur traverse le toit



Norme RT2020 pour les combles perdus des bâtiments pour les êtres humains: 7 °C.m²/W

Flux de chaleur à travers les toits

En été

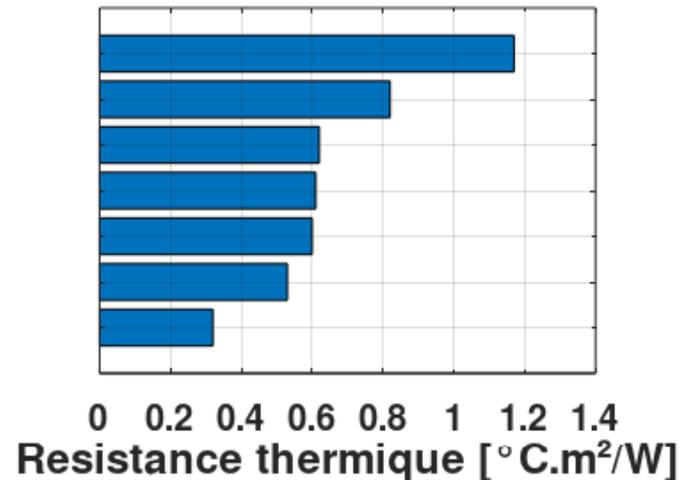
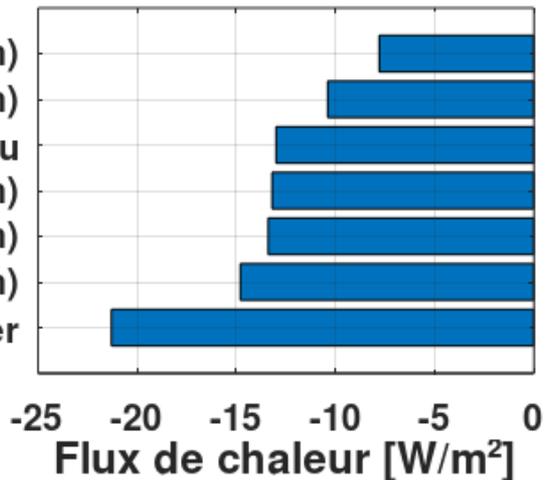


➡ Le flux de chaleur qui traverse le toit dépend de la résistance thermique, mais aussi de la couleur du toit (modifie l'énergie solaire absorbée)

Flux de chaleur à travers les toits

En hiver, la nuit

- 20-Toit RBC+poly(4cm)
- 18-Toit acier+poly(2cm)
- 15-Toit acier+alu
- 16-Toit acier+poly(1cm)
- 19-Toit acier+air(0cm)+poly(2cm)
- 17-Toit acier+poly(1cm)+air(1cm)
- 11-Toit acier



➔ **En absence de soleil, une grande résistance thermique implique un faible flux de chaleur**

Quelques matériaux isolants/prix

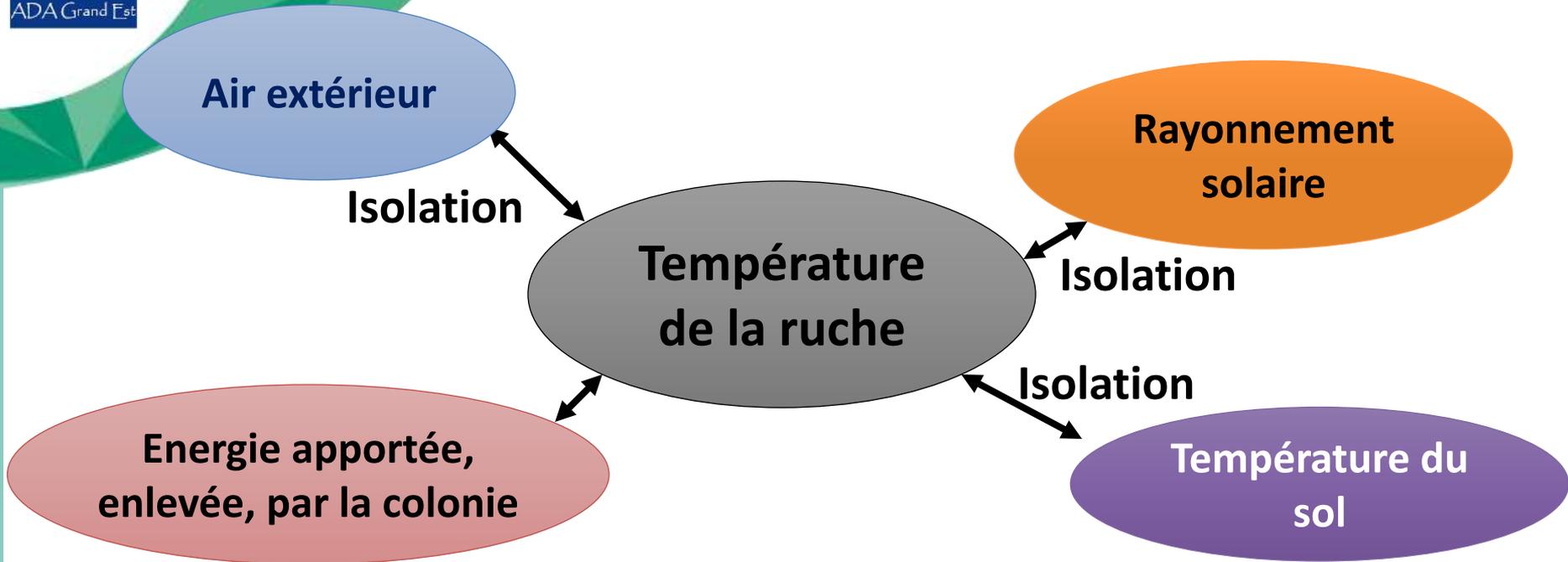
Catalogues des distributeurs habituels

Moins chers

Matériau	Prix / résistance thermique	Remarques - Epaisseur
Fibre de bois	≈1,90 €/ruche pour R=1	A découper – 40mm
Apifoam	≈4,50 €/ruche pour R=0,5 ≈9,00 €/ruche pour R=1	Prédécoupé – 20mm Prédécoupé – 40mm
Phaltex - Isolant fibre bois	≈8,20 €/ruche pour R=0,6 ≈3,15 €/ruche pour R=0,6 ≈4,86 €/ruche pour R=0,73	Prédécoupé – 32mm A découper – 30mm A découper – 38mm
Polystyrène expansé	≈2,50 €/ruche pour R=1 ≈2,10 €/ruche pour R=0,75	A découper – 40mm A découper – 30mm
Liège	≈16,10 €/ruche pour R=0,6	A découper – 30mm

Date: 12/2024

La température d'une ruche: un équilibre



- ❖ La température est un équilibre entre plusieurs sources de chaleur/température
- ❖ Suivant les types de ruche, les isolations, les pratiques, on favorise une ou l'autre

Cas de la ruche RBC

Cf. Damini Mérit, Marc Guillemain, Jean Riondet

~~Air extérieur~~

Grande isolation

~~Rayonnement solaire~~

Grande isolation

Température de la ruche

Grande isolation

Energie apportée, enlevée, par la colonie

~~Température du sol~~

Suppression de toute dépendance à l'environnement



La température du couvain est imposée par les abeilles

Du côté de AltRD

Actions pour 2025

Sur les ruchers:

- **Mesures expérimentales des résistances thermiques** globales à l'aide de chauffage commandée placé dans des ruches vides
- **Impacts des planchers ouverts/fermés**
- **Impacts des trous d'aération**
- **Impacts des partitions/isolées (PIHP)**

En laboratoire:

- **Revêtements aluminisés:** mesures de l'absorptivité spectrale en fonction du degré d'usure

Au bureau:

- Développement **des modèles informatiques**
- Développement **des appareils de mesure**

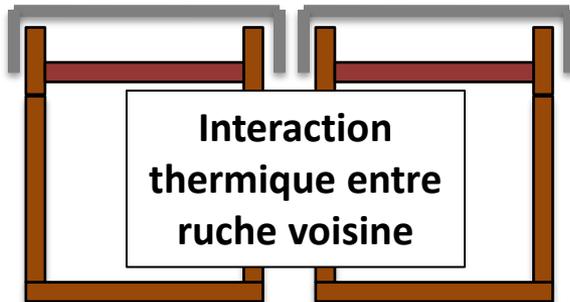
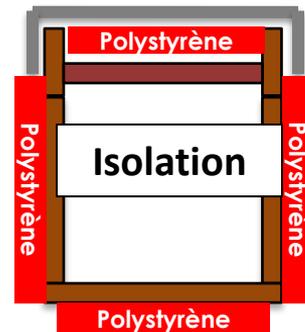
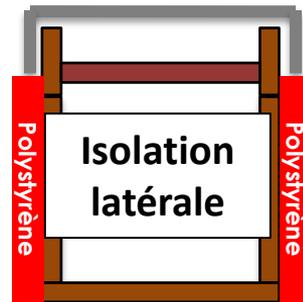
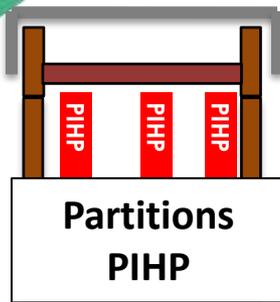
Disque d'aluminium chauffée par une résistance électrique



Chauffage commandée pour chauffer les disques d'aluminium

Du côté de AltRD

Mesures des résistances thermiques



Merci de nous communiquer des suggestions d'essais à réaliser

Conclusion

- ▶ La thermique de la ruche est gouvernée essentiellement par:
 - **L'air extérieur** : Leviers : ajout d'isolants
 - **Le rayonnement solaire** : Leviers : modifier les revêtements, ajout d'isolants

Maintenir la chaleur dans la ruche:

▶ **Résistance thermique de la ruche « R »**

(du toit, des parois, du plancher)

$$R = \frac{\textit{épaisseur}}{\textit{conductivité}}$$

▶ Deux leviers d'action:

- Réduire la **conductivité thermique**
- Augmenter l'épaisseur
- Réduire le rayonnement infrarouge

▶ **Résistance d'un empilement = somme des résistances**



$$R_{\text{total}} = R_{\text{bois}} + R_{\text{polystyrene}}$$

Stabiliser la température

▶ **Temps de réaction de la ruche**

(du toit, des parois, du plancher)

$$t_c = \textit{Masse thermique} \times \textit{Résistance thermique}$$

▶ Trois leviers d'action:

- Augmenter la **masse** (par le bas, le plancher)
- Augmenter la **résistance thermique**

▶ **Choix de la ruche RBC:**

- Diminuer la masse (facilite le travail des abeilles)
- Augmenter la résistance thermique

Conclusion

- ▶ **Films réfléchissants en aluminium, isobulle ?**
 - ▶ Réticence à mettre de l'aluminium dans les ruches (faible durabilité)
 - ▶ Au contact ou non des abeilles
 - ▶ La ruche RBC en fait un usage important. Mesures à réaliser pour essayer d'en estimer l'importance.
 - ▶ Il ne faut pas surestimer son effet. Dans la ruche RBC c'est d'abord le polystyrène qui isole.
 - ▶ Il semble peu utile de mettre de l'aluminium sur une paroi chaude.

Conclusion

► L'isolation thermique devrait être un processus dynamique

Dépend des situations, des facteurs environnementaux, des objectifs

Exemple: refroidir la ruche en hiver pour provoquer l'arrêt de ponte.

► L'apiculture professionnelle préfère le processus statique

Réduction du nombre d'interventions sur les ruchers

Ok pour une isolation adaptée au climat, mais pas à la saison ?

► L'isolation du toit semble bénéfique toute l'année:

En hiver:

- C'est la face sud qui reçoit le plus d'énergie du soleil
- Garde la chaleur dans la ruche
- Evite la condensation du couvre-cadre
- La quantité de chaleur qui traverse le toit est plus faible car les écarts de température ruche<->toit sont plus faibles

En été:

- Deux approches: revêtements et/ou isolants
- Stabilise les températures
- Evite les surchauffes et fontes de cire
- Toit peint en blanc + film d'aluminium => Division par 8 de la chaleur entrante dans le corps (200W/m² -> 25W/m²)
- Présence des hausses

Pour nous contacter:
emmanuel.ruffio@alt-rd.com
anna.dupleix@alt-rd.com
anne.lavalette@alt-rd.com



Remerciements



'This work was supported by the Better-B project, which has received funding from the European Union, the Swiss State Secretariat for Education, Research and Innovation (SERI) and UK Research and Innovation (UKRI) under the UK government's Horizon Europe funding guarantee (grant number 10068544).'

'Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union, European Research Executive Agency (REA), SERI or UKRI. Neither the European Union nor the granting authorities can be held responsible for them.'

Project funded by



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,
Education and Research EAER
State Secretariat for Education,
Research and Innovation SERI



**UK Research
and Innovation**

Historique des versions

06/02/2025: Version 1.0

07/02/2025: Version 1.1: Correction d'une erreur de calcul pour les configurations de toit en conclusion. Reconstruction de toutes les figures et mise à jour des graphiques
Ajout des « bar plot » montrant l'évolution du flux/résistance thermique en fonction de la configuration en été. Idem pour l'hiver.
Correction du commentaire « Les valeurs de résistance thermique (R_{total}) peuvent changées entre l'été et l'hiver lorsqu'il y a une couche d'air. Les échanges par infrarouges sont plus faibles à basse température » car la résistance dépend en réalité de la température (du fait du rayonnement)
Ajout des commentaires sur les quizzes des diapos 53 et 54 pour une consulation hors-ligne.