

Cycle de conférences du CARI
14 janvier 2020



Température et isolation des ruches



LABORATOIRE
de MÉCANIQUE
et GÉNIE CIVIL

LMGC, Laboratoire de Mécanique et Génie
Civil, Equipe-bois, Montpellier



Anna DUPLEIX
Post-doctorante, LMGc
anna.dupleix@umontpellier.fr



Delphine JULLIEN
Maître de conférence, LMGc



INSTITUT DE
MÉCANIQUE
ET D'INGÉNÉRIE



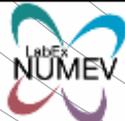
I2M-TREFLE, Laboratoire Transfert-Fluide-
Energétique, Bordeaux



Emmanuel RUFFIO,
Chercheur associé, TREFLE
Emmanuel.ruffio@gmail.com



Jean-Luc BATTAGLIA,
Professeur, TREFLE



MONTPELLIER UNIVERSITÉ D'EXCELLENCE

LABORATOIRE DE MÉCANIQUE ET GÉNIE CIVIL - UM/CNRS

Plan

Contexte

Qu'en est-il de la mesure de température dans les ruches ?



Le matériau de la ruche

Comparaison bois/polystyrène



La structure de la ruche

Calculs des pertes thermiques



L'environnement de la ruche

Influence sur la température



Critiques des produits commerciaux d'isolation de ruche



Partie I

Contexte

Qu'en est-il de la mesure de température dans les ruches ?



Pourquoi s'intéresser à la température dans la ruche?

Pour les abeilles:

« 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)

- Parmi les éléments qui stressent les abeilles, peu de choses ravagent plus les colonies que le temps qu'il fait (Erickson 1990).
- Des conditions climatiques hivernales sévères sont identifiées comme le quatrième facteur de mortalité hivernale le plus important aux États-Unis (Meixner 2010)
- 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)

Pour les apiculteurs:

« La mesure de température est une méthode de surveillance à distance du processus d'hivernage » (Stalidzans 2017).

Pour les chercheurs:

- Retrouver dans la ruche les conditions des habitats naturels (gradient max. 30° C, Owens 1971) :
 - Limiter les pressions sur les ressources physiologiques de l'abeille
 - Diminuer le taux métabolique de la colonie lié à la thermorégulation
 - Accroître la production par la division du travail
- La température n'a pas une incidence directe (puisque les abeilles la régulent) mais indirecte sur l'humidité de la ruche (Anderson 1948)

Pourquoi s'intéresser à la température dans la ruche?

Pour les abeilles:

« 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)

- Parmi les éléments qui stressent les abeilles, peu de choses ravagent plus les colonies que le temps qu'il fait (Erickson 1990).
- Des conditions climatiques hivernales sévères sont identifiées comme le quatrième facteur de mortalité hivernale le plus important aux États-Unis (Meixner 2010)
- 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)

Pour les apiculteurs:

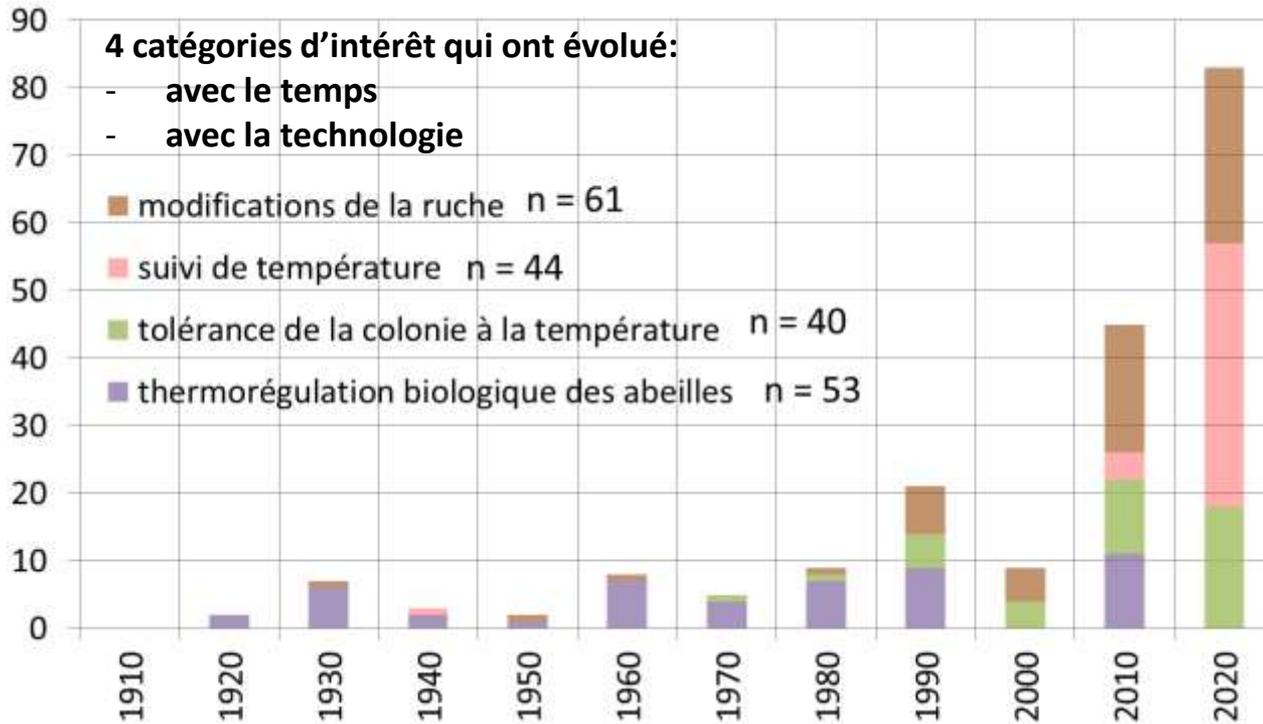
« La mesure de température est une méthode de **surveillance à distance** du processus d'hivernage » (Stalidzans 2017).

Pour les chercheurs:

- Retrouver dans **la ruche** les conditions des habitats naturels (gradient max. 30° C, Owens 1971) :
 - Limiter les pressions sur les **ressources physiologiques** de l'abeille
 - Diminuer le taux métabolique de la colonie lié à la **thermorégulation**
 - Accroître la production par la division du travail
- La température n'a pas une incidence directe (puisque les abeilles la régulent) mais indirecte sur l'**humidité de la ruche** (Anderson 1948)



198 publications abordent le sujet de la température dans la ruche

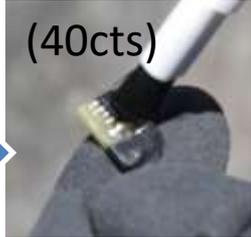


thermomètres

électronique

Microélectronique

- miniaturisation
- wireless
- capteurs bon marché



Des travaux qui apportent des modification aux ruches

- Ombrage
 - Orientation
- Son environnement**
- Hivernage à l'intérieur

- Ses caractéristiques**
- Isolation
 - matériau de construction
 - enveloppe
 - toit
 - Volume
 - Couleur
 - Taille de l'entrée
 - Entrée supplémentaire
 - Plancher



- Présence de miel
- Son contenu**
- Systèmes chauffe/ventilation internes



Remplacer l'énergie produite par les abeilles (issu du miel) par de l'énergie électrique

Systèmes de chauffe/ventilation complexes :

- Asservis, précis
- Autonomes en énergie
- Contrôlables automatiquement à distance

Abeille au cours de sa vie

= 0.6g miel

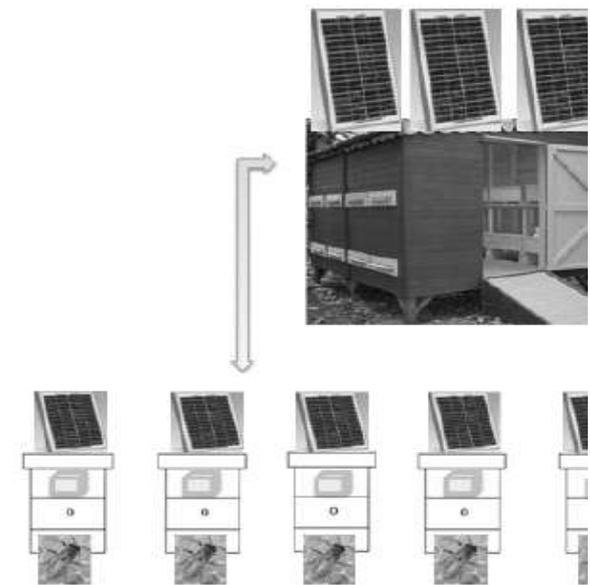
= 6840 J = 1.8 Wh

Baisse 28° C à 17° C

= 7 à 19 W/kg (Southwick 1982).



Bayir 2016, Turquie
Chauffage inter-cadre
International Journal of Computing, 5(4), 220-232.



Altun 2012, Turquie
Semi-conducteurs alimentés par énergie solaire (effet Peltier)
Inter Control Engineering and Applied Informatics



Les essais de modifications de la ruche

Tests	VS	Effets sur T°C	Effets abeilles	Saison	
Plancher ouvert	Plancher fermé	aucun	n/a	hiver	
Volume 24 L	31 L, 38 L	Max.: 38 L < 31 L < 24 L	+ prod. (miel, pollen), + couvain	hiver	
Présence de miel	Absence	Elévations de T°C retardées	+ temps pour la formation grappe	hiver	
Orientation Sud	Est, S-E	Max. Est < S-E < Sud	+ prod. (miel, pollen), + couvain	hiver	
Entrée	Taille de l'entrée	Aucun	n/a (Ruche à vide)	hiver	
	Ajout d'une entrée	Aucun	n/a (Ruche à vide)	hiver	
Couleur	Noire/ Bleue (foncée)	Blanche	T°C + élevées	+ prod. (miel), + couvain, + pop.	hiver
	Blanche (claire)	Non peint	T°C + faibles	+ prod. (miel), + couvain	été
Environnement	Ombre (arbres hauts)		Confort thermique	+ production - abandons	Été (climat semi-aride)
	Hivernage à l'intérieur			- conso. miel hivernale Pas d'effets physiologiques	hiver

Des phénomènes abordés dans la suite de cette présentation



Les essais d'isolation

	Isolation	Effets sur T°C	Effets abeilles	Saison
Toit	Plastique (PE) Amiante	n/a	+ miel Pas d'effet	hiver
	Carton lait (aluminium vers le haut)	T°C + faibles	n/a	Été (?)
	Plastique (PET) Ciment fibreux	T°C + faibles		Été
	Plâtre			
Ruche	Ciment-vermiculite	Même stabilité	n/a	Prtps/été
Parois	Mousse 0.038 W ⁻¹ K ⁻¹ Toile	Bois < Toile < Mousse	+ miel, couvain, pollen	Aut./hiver
	Nylon Jute	Humidité + élevée	- couvain	Automne
	PE (plastique)	T°C + élevées	+ miel, + couvain, + pop.	hiver
	Liège (1cm)	+ Stabilité (1.6°C vs 2.8°C)	- conso. miel hivernale (36%) Même pop. et production miel	hiver
	Sciure, Copeaux, Feuilles, Foin, Paille (10cm)	Elévations de T°C retardées T°C max pour paille	n/a (Ruche à vide)	hiver



- Abd-Elmawgood, B. H., Al-Rajhi, M. A., & El-Ashhab, A. O. (2015). Effect of the internal size and thermal insulation of the hive on bee colonies strength and productivity. *Egypt. J. Agric. Res*, 93(1), 185-195.
- Anderson, E. J. (1948). Hive humidity and its effect upon wintering of bees. *Journal of Economic Entomology*, 41(4), 608-616.
- Abou-Shaara, H. F., Al-Ghamdi, A. A., & Mohamed, A. A. (2013). Honey bee colonies performance enhance by newly modified beehives. *Journal of Apicultural Science*, 57(2), 45-57.
- Alkinani, M. A., & Al-Jassani, R. F. (2010). Effect of over wintering types on the activity of the honey bee and the infection by the fungus. *Anbar journal of agricultural sciences*, 8(1), 258-262.
- Altun, A. A. (2012). Remote control of the temperature-humidity and climate in the beehives with solar-powered thermoelectric system. *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, 14(1), 93-99.
- Aregawi, G., Tilahun, M., Gangwar, S., Gebresamuel, G., & Tesfay, G. (2014). Performance of *Apis mellifera* spp. on honey and beeswax production in different type of beehives in Enda Mekoni Woreda, Tigray region, Ethiopia. *GJBB*, 3, 324-329.
- Bayir, R., & Albayrak, A. (2016). Intelligent Control System of Intra-Frame Beehive Heater. *International Journal of Computing*, 5(4), 220-232.
- Desai, S. D., & Currie, R. W. (2016). Effects of wintering environment and parasite–pathogen interactions on honey bee colony loss in North Temperate regions. *PLoS one*, 11(7).
- Dodoglu, A., Dülger, C., & Genc, F. (2004). Colony condition and bee behaviour in honey bees (*Apis mellifera*) housed in wooden or polystyrene hives and fed ‘bee cake’ or syrup. *Journal of apicultural research*, 43(1), 3-8.
- El-Sayyad, S., El-Sharkawy, H., El-Santeel, F., & Sanad, R. (2019). Efficacy of some wintering methods on the activity of honeybee colonies (*Apis mellifera* L.). *Journal of Productivity and Development*, 24(4), 807-814.
- Erdoğan, Y. (2019). Comparison of colony performances of honeybee (*Apis Mellifera* L.) housed in hives made of different materials. *Italian Journal of Animal Science*, 18(1), 934-940.
- Erdogan, Y., Dodoglu, A., & Emsen, B. (2009). Some physiological characteristics of honeybee (*Apis mellifera* L.) housed in heated, fan wooden and insulated beehives. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(8), 1516-1519.
- Erickson, E. H. (1990). Stress and honey bees. *Glean. Bee Cult*, 118(11), 650-654.
- Jehlička, T., & Sander, J. (2018). Differential thermal regulation of the growth of the bee colonies in the early spring period. *Agronomy Research*, 16(2), 416-425.
- Lensky, Y. (1958). Some factors affecting the temperature inside hives in hot climates. *Bee World*, 39(8), 205-208.
- Lorenzon, M. C. A., Cidreira, R. G., Rodrigues, E. H. V., Dornelles, M. S., & Pereira Jr, G. (2004). Langstroth hive construction with cement-vermiculite. *Scientia Agricola*, 61(6), 573-578. Implementation of an electronic system to monitor the thermoregulatory capacity of honeybee colonies in hives with open-screened bottom boards
- Meixner, M. D. (2010). A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of invertebrate pathology*, 103, S80-S95.
- Omran, N. S. M. (2011). Wintering of honeybee colonies (*Apis mellifera* L.) by using a new technique during winter season in Sohag region, Egypt. *Journal of Applied Sciences Research*, (February), 174-182.
- Ononye, B. U., & Akunne, C. E. (2019). Microclimate, Colonization, Colony Strength and Absconding of *Apis mellifera adansonii* Reared in Hives with Modified Entrances. *Journal of Apiculture*, 34(2), 117-123.
- Sánchez, V., Gil, S., Flores, J. M., Quiles, F. J., Ortiz, M. A., & Luna, J. J. (2015). Implementation of an electronic system to monitor the thermoregulatory capacity of honeybee colonies in hives with open-screened bottom boards. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 209-216.
- Sander, J., & Jehlička, T. (2018). Differential thermal regulation of the growth of the bee colonies in the early spring period.
- Satta, A., & Floris, I. (2004). Effects of the cork on the thermal insulation and the thermoregulation of beehive [Sardinia]. *APoidea-Rivista Italiana di Apicoltura* (Italy).
- Souza, M. D. F., Turco, S. H., Silva, E., Costa, D. D. S., & Freire, M. S. (2015). Internal ambience of beehives *Apis mellifera* with different colors and roofing materials in the sub middle of the São Francisco Valley. *Engenharia Agrícola*, 35(4), 625-634.
- Stalidzans, E., Markovics, Z., Krauze, A., Bilinskis, V., & Berzonis, A. (2007). Modelling of bee wintering building profitability. *J. Apic. Sci*, 51, 39-45.
- Stalidzans, E., Zacepins, A., Kviesis, A., Brusbardis, V., Meitalovs, J., Paura, L., ... & Liepniece, M. (2017). Dynamics of weight change and temperature of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) colonies in a wintering building with controlled temperature. *Journal of economic entomology*, 110(1), 13-23.
- Sudarsan, R., Thompson, C., Kevan, P. G., & Eberl, H. J. (2012). Flow currents and ventilation in Langstroth beehives due to brood thermoregulation efforts of honeybees. *Journal of theoretical biology*, 295, 168-193.
- Wineman, E., Lensky, Y., & Mahrer, Y. (2003). Solar heating of honey bee colonies (*Apis mellifera* L.) during the subtropical winter and its impact on hive temperature, worker population and honey production. *American bee journal*, 143(7), 565-569.

Variabilité des méthodologies de mesure de températures

Difficile de :

- de comparer les études entre elles
- d'en tirer des résultats généralisables

- Emplacements, précision des **capteurs**
- **Fréquences** d'acquisition
- **Périodes** de l'année : **hiver, été, année (hiver: température; au printemps/été, caractères physiologiques)**
- Ruches **peuplées** ou **vides**
(Anderson 1948: "Les colonies vivantes n'ont pas été utilisées car l'effet des variations de température externe sur les températures internes des ruches pouvait être déterminé avec plus de précision dans des ruches vides, exemptes **des facteurs inconnus introduits par les abeilles**".)
- En fonction du **climat extérieur** ou d'une production artificielle de **chaleur interne**
(Anderson 1948, mesure de conservation de la chaleur dans ruche vide)

Les mesures de température sont couplées avec d'autres mesures liées à la vie de la colonie:

Développement de la colonie:

Surface de couvain (ouvert/fermé) (cm²)

Développement de l'abeille adulte (Nb de cadres couverts)

Activité de vol (Nb d'abeilles butineuses)

Productivité:

Production de miel en saison (Prise de poids pendant la période de nectar (kg) ou Nb cadres de corps, dans les hausses)

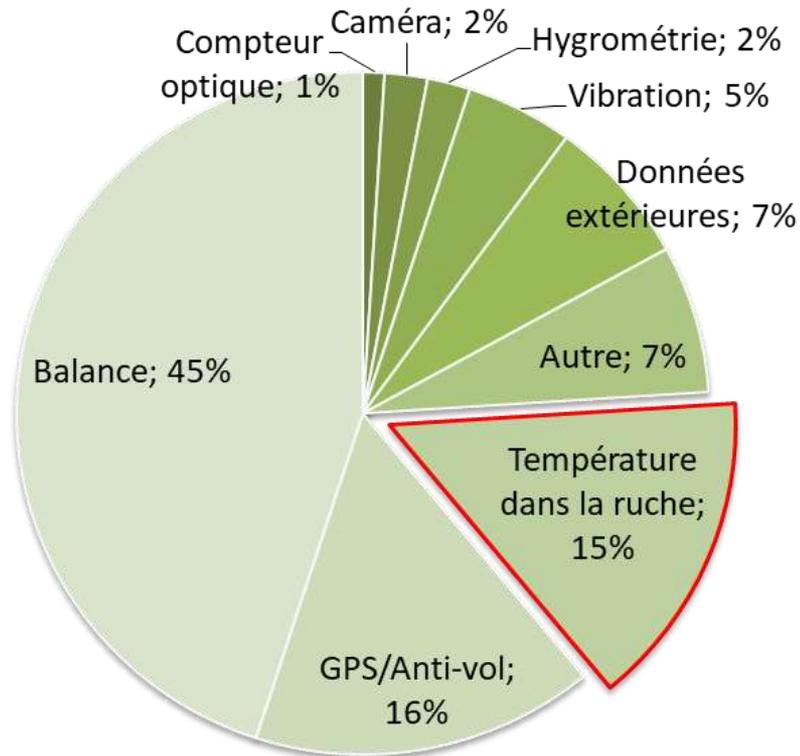
Production de pollen en saison (Nb dans les cadres de corps)

Consommation:

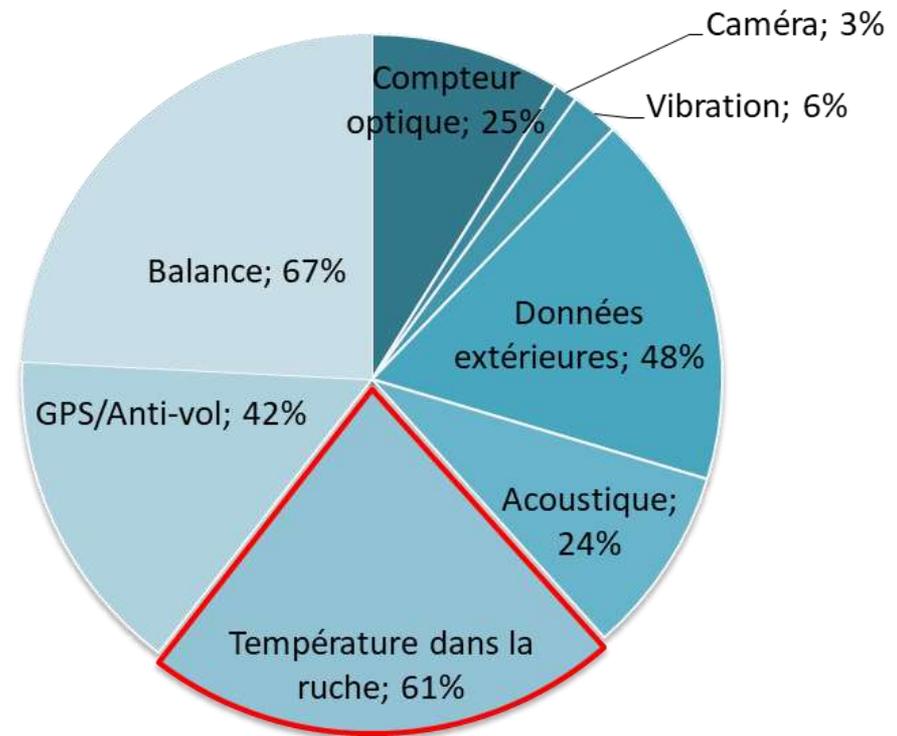
Consommation hivernale de miel (kg)

La surveillance des ruches par mesures de températures

- Outils **autrefois** réservés aux **chercheurs**
- **3^{ème}** **grandeur mesurée** utilisée dans le quotidien des **apiculteurs connectés** (France)
- **2^{ème}** **grandeur mesurée** fournie par les **ruches connectées** commercialisées (monde)



Répartition en % des outils utilisés par 386 apiculteurs Français connectés interrogés en 2018 (source: Lettmann, M., & Chauzat, M. P. (2018). Les outils connectés en apiculture: Evaluation de leurs application auprès des apiculteurs français. ANSES)



Répartition en % des grandeurs mesurées fournies par 32 ruches connectées dans le monde (source: données élaborées à partir de <https://colonymonitoring.com/current-sensors/>)

Les mesures de température dans la ruche, un indicateur de la santé des abeilles?

Arguments de vente des sites de ruches connectées (avec température) commercialisées (dans le monde)

Hive Health and Production Monitoring

ModuSense

Monitor hive health

Hivemind

We have been working closely with industry leaders to provide Beehive Health Monitoring solutions

on building their hive. Hives that are struggling and require intervention are quickly identified, minimising loss of bees.

The BuzzBox Mini is your smart hive monitoring assistant. We use artificial intelligence to inspect your hive's health and report updates to your mobile.

Much as EKGs help doctors better understand the stresses of their patients, our equipment reveals the health metrics of bee hives. This allows the beekeeper to make hive adjustments based on facts, not hunches. BROODMINDER

osbeehives

All the data gathered from these sensors are used by our algorithms to understand your hives and send you suggested actions for improved colony health.

ApisProtect

ornia

Better Knowledge for Bee Health

otherwise unattainable.

Using Beebot you are joining the era of digital beekeeping by collecting valuable data, easily accessing it from anywhere on any device and even sharing with advisors and customers. Bee smart and keep healthy bees with Beebot!

pollenity

Brood chamber temp.

sensor wolfwaagen



nectar



Raise healthier bees

Make more informed decisions leading to lower mortality and higher frame counts.

Les données, collectées toutes les heures par les capteurs, sont consultables via une application dédiée. Hygrométrie, température... ces informations offrent la possi

hostabee

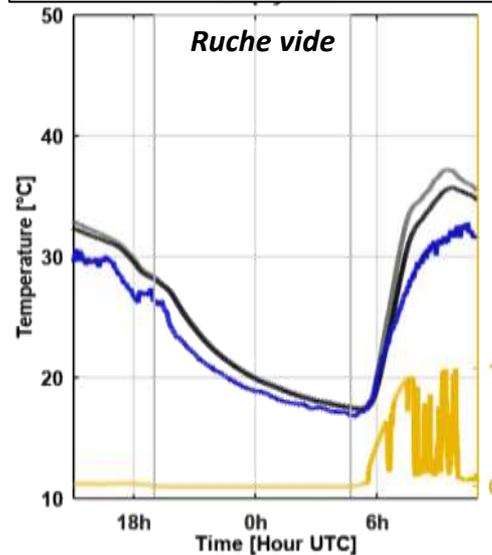
La température est citée dans l'index de l'EFSA pour évaluer la santé de la colonie

Indicator (definition)	Criteria	Rationale
Thermoregulation (the process of warming and cooling the hive to maintain a good brood temperature)	Variable	<ol style="list-style-type: none"> 1) The number of workers engaged in heating or cooling behaviours 2) In-hive temperature 3) In-hive relative humidity.
	Evidence link with bee health	<ol style="list-style-type: none"> 1) Honeybees can regulate the temperature inside the hive; in addition, temperature measurements can help detect events like increased food consumption, the start of brood rearing, the death of the whole colony (Zacepins and Karasha, 2013). Brood volume and winter cluster volume can also be identified by monitoring colony temperature (Zacepins et al., 2015). 2) Numerous studies have demonstrated that either high or low levels of humidity affect the health of the brood and adult bees, either directly, for example at levels < 50% relative humidity in the brood cells no eggs hatch (Doul, 1976), this being particularly relevant for small nuclei, or indirectly by favouring the development of pathologies. For example, raising the humidity from 68% to 87% increases the percentage of brood mummification caused by the chalk brood virus by 8%. <i>Varroa destructor</i> and <i>Nosema</i> reproductive rate falls with increasing humidity. Thermoregulation and nectar concentration are also intricately linked with humidity levels in the hive (MD Ellis, 2008). 3) Bees normally heat the colony to keep the in-hive temperatures stable for the brood. Additionally, bees may fan to cool the hive. Thermoregulation behaviour will therefore depend on location, weather and season, and would be meaningful evidence of colony health (Seeley, 1985; Fahrenholz et al., 1999).
	Technical feasibility	<ol style="list-style-type: none"> 1) The low cost of data collection, processing and data transfer from temperature measurement systems facilitates many applications of temperature measurements in beekeeping (Zacepins and Karasha, 2013). 2) Compared with temperature sensors, humidity sensors are more expensive and have to be kept clean and protected from bees because water vapour cannot overcome wax or propolis to reach the sensing element (Zacepins et al., 2015). 3) Specific sensors can be used to measure this factor. 4) Beekeepers can use a temperature probe, but this gives evidence of temperature, not thermoregulation behaviour. Instead, a true measure of thermoregulation behaviour requires real-time assessment of heating and cooling behaviours of the workers. This assessment can be done in experimental settings but not in field surveys.

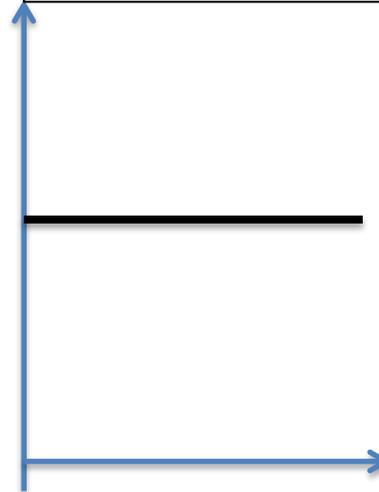
EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW). (2016). Assessing the health status of managed honeybee colonies (HEALTHY-B): a toolbox to facilitate harmonised data collection. *Efsa Journal*, 14(10), e04578.

Distinguer les variations de température

Ruche où il ne se passe rien:
20°C de variation !



Variation de masse
d'une ruche vide



Toute variation de masse est
imputable aux abeilles.
Pas pour la température

Intérêt de la température ? Capteurs robustes et (très) bon marché
MAIS grande variabilité de la température

Pour évaluer l'effet des abeilles, il faut pouvoir distinguer:

- Les causes naturelles (environnement)
- Les variations dues à l'activité des abeilles.

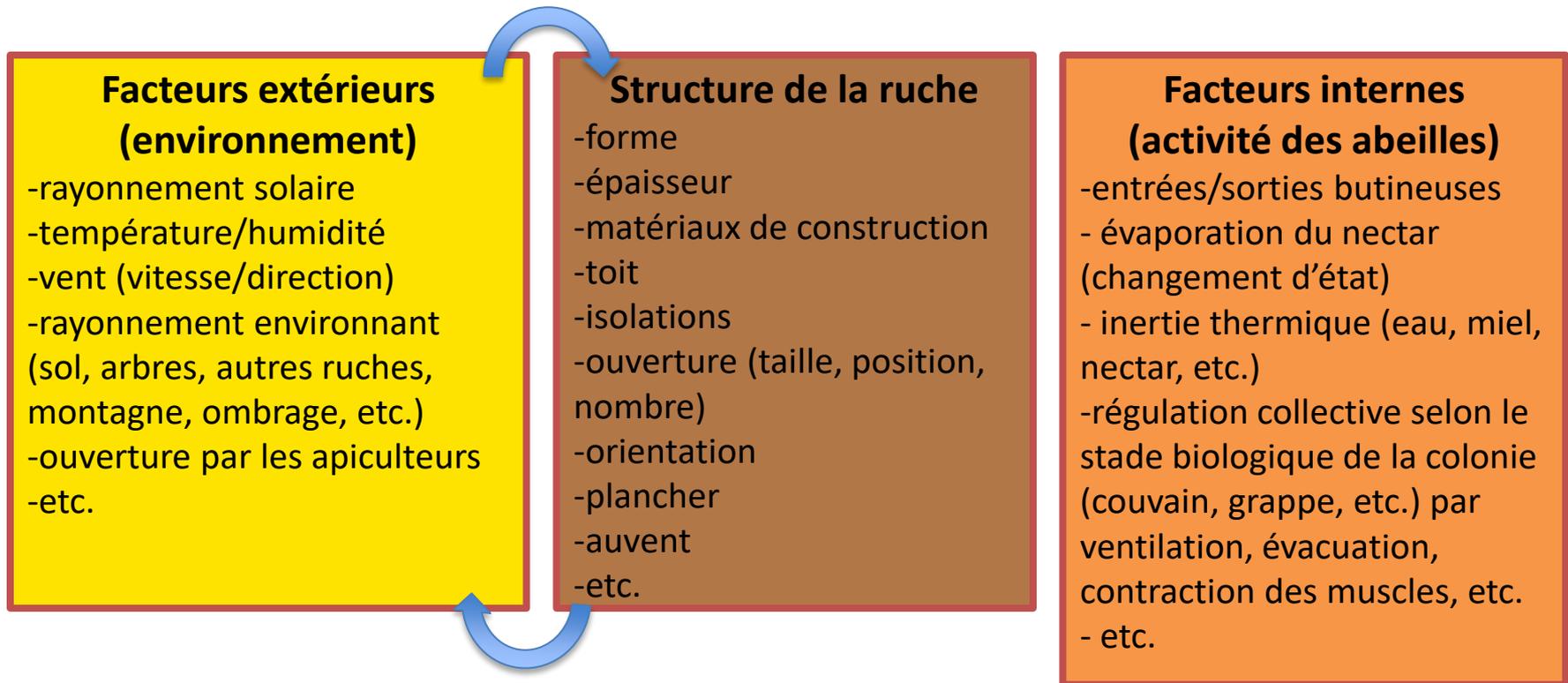
Besoin d'un modèle thermique (mathématique) de la ruche vide
C'est notre travail depuis 2018

« Isolation » ?

Que veut-on dire par « isoler » ?

« Action de protéger une pièce contre la chaleur, le froid, le bruit » (Le Petit Robert)

Thème de cet exposé: « **isolation thermique** », ~~hygrométrique, phonique, chimique...~~



Isoler = agir sur la ruche pour contrôler l'influence des facteurs extérieurs

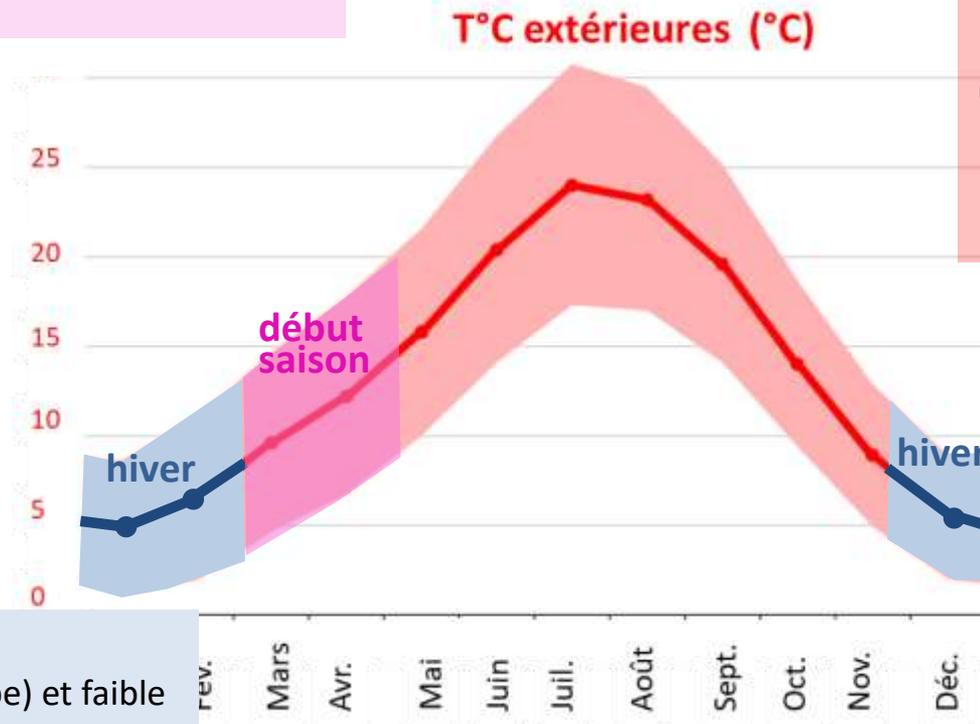
L'isolation de la ruche suivant les saisons

Début de saison

- Développement tôt couvain/colonie
- Bénéficier de l'augmentation de la T°C journalière au max.

En saison

- Protéger des T°C extrêmes pour limiter l'énergie consommée pour la thermorégulation
- Permettre une T°C interne élevée pour diminuer le métabolisme des abeilles (Harrison and Fewell)



Hiver:

- Colonie inactive (grappe) et faible conso. miel
- T°C stable et tampon des T°C extrêmes

NB: L'hivernage n'est pas directement influencé par le climat ext. (mais par santé et approvisionnement en nourriture)

Quelle isolation pour quelle saison ?

Quelle courbe idéale pour la température dans la ruche ?



Partie II

Le matériau de la ruche

1654: 1^{er} thermomètre gradué de l'histoire par Ferdinand II de Medicis (duc de Toscane). (Alcool avec 50 graduations).

En hiver: jusqu'à 7 degrés

En été: jusqu'à 40 degrés.

Glace fondante: 13,5 degrés.

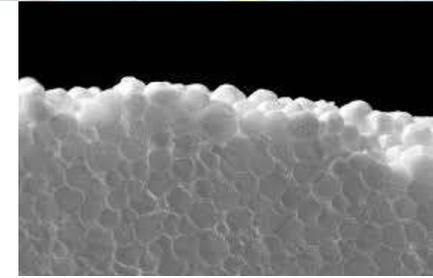
-> Grandeur physique récente qui mesure l'énergie (ou chaleur)



Convictions autour du polystyrène

« Une **isolation** 8 fois supérieure aux ruches en **bois traditionnelles**. »

<https://www.achardapiculture.fr/presentation/les-avantages/>



« La **conductivité thermique** du polystyrène (0,035 W/mK) est 5 fois plus faible que le bois (0,15 W/mK) donc c'est 5 fois plus **isolant** »

Résultats d'enquête, Dupleix, A., Jullien, D., Moity-Maizi, P., & Schatz, B. (2020). Practices and knowledge of beekeepers and beehive suppliers regarding the wood material in the South of France. Journal of Rural Studies, 77, 11-20

« **l'isolation** est bien meilleure et les **consommations hivernales** s'en ressentent »

« A part la **légèreté**, les ruches et ruchettes en polystyrène expansé offrent plusieurs avantages aux apiculteurs grâce à **l'isolation** thermique qui est bénéfique sous tous les climats »

<https://www.polycoq.com/fr/polystyrene-pour-lagriculture/21-ruche-et-ruchette.html>

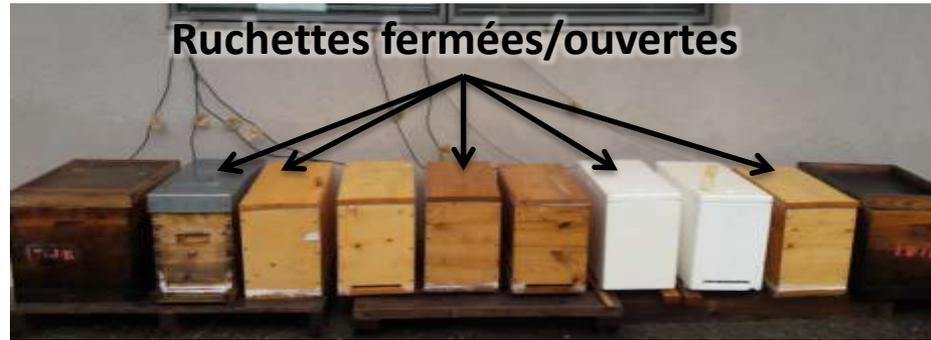
« The **insulation** provided by the **polystyrene** keeps the internal hive **temperature far more constant** than with wood »

« The **amount of insulation** provided by **Polystyrene** far outweighs a **conventional wooden beehive** keeping the bees warm throughout the winter months , so the colony doesn't need to **consume** as much honey for survival, whilst **shielding** the colony from heat during the summer » months.”

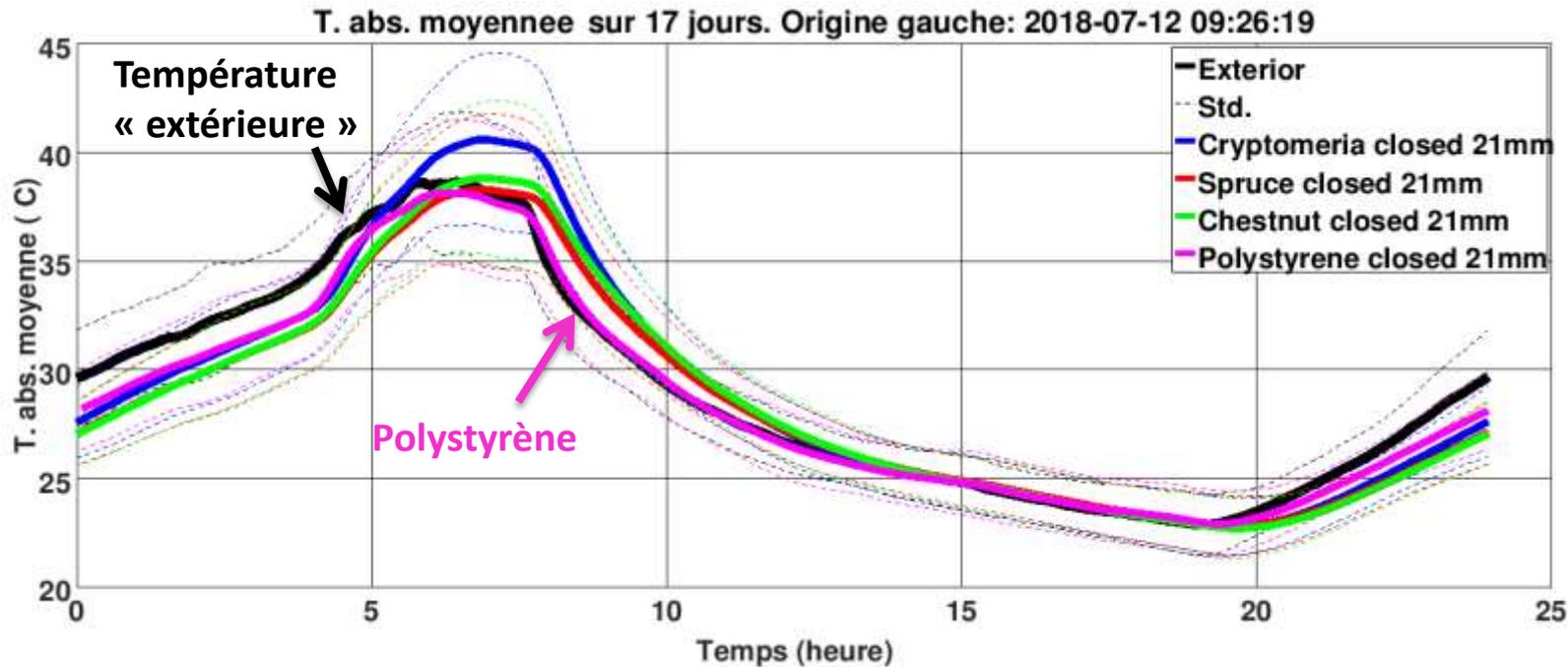
<https://www.ebeehq.com/polystyrene-beehives/>

Comparaison polystyrène-bois

Matériau:
Polystyrène
Châtaigner
Epicea
Cryptomeria



Polystyrène (frigo-lite), meilleur isolant que le bois ?

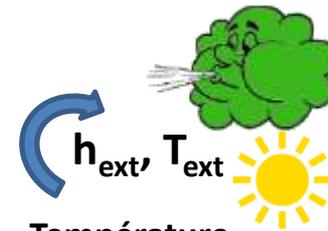
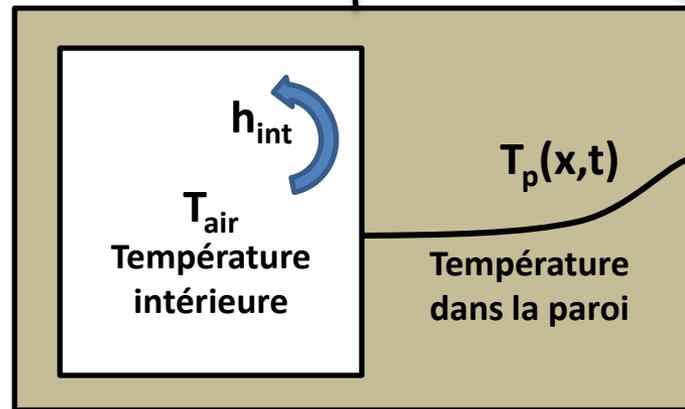


Modèle thermique d'une ruchette

Modélisation thermique basique d'une ruchette



Zoom de la paroi



Température extérieure

Mécanismes physiques (ou modes) de transfert de l'énergie

Convection
(transfert air-paroi)

Conduction

Convection
(transfert air-paroi)

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = h_{int}(T_{air} - T_p)$$

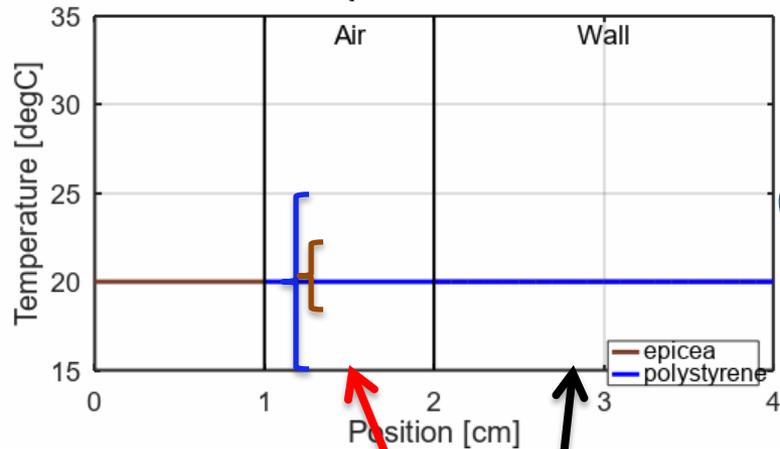
$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = h_{ext}(T_p - T_{ext})$$

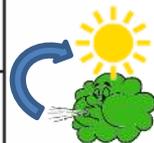
Simulation: température de l'air dans la ruche

Variation **lente** (Période > 2h)

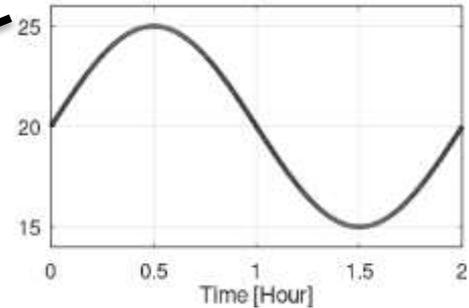
Temps = 00h00m00s



Air extérieur



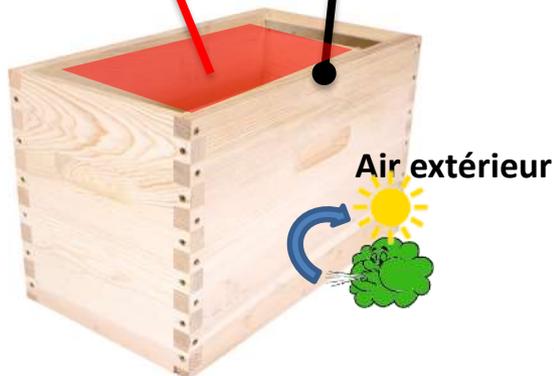
Température de l'air extérieur



La variation s'étale sur 2 heures

Exemple:

- Alternance jour/nuit
- Alternance saisonnière



Air extérieur

Quel est l'effet
de la **température extérieure**
sur la **température de l'air dans la ruche** ?

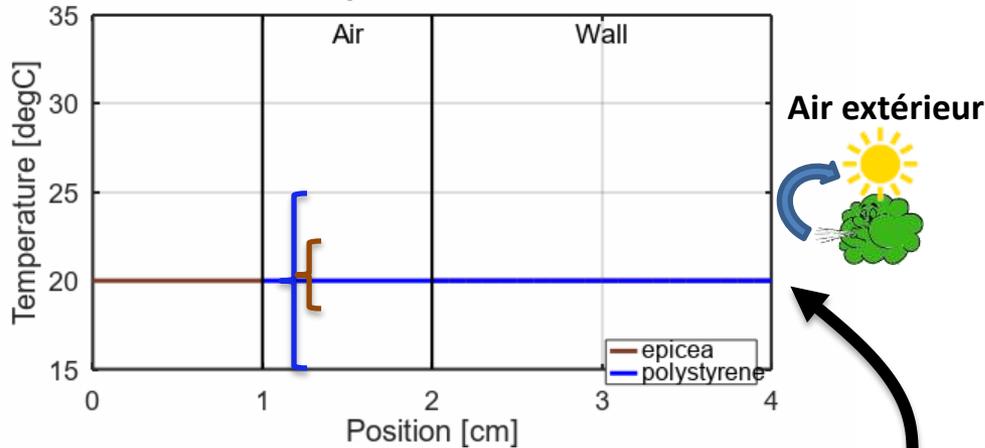
Polystyrène: variations plus grandes de la température dans la ruche
Cause ? La température se propage plus vite dans le polystyrène

Bois: variations réduites de moitié
Cause ? Propagation plus lente de la température

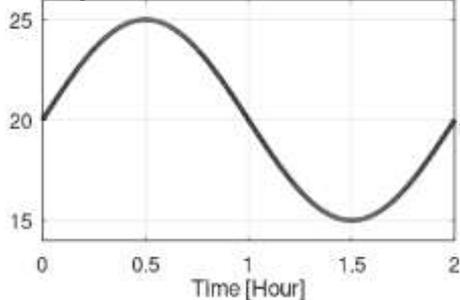
Simulation: température de l'air dans la ruche

Variation **lente** (Période=2h)

Temps = 00h00m00s



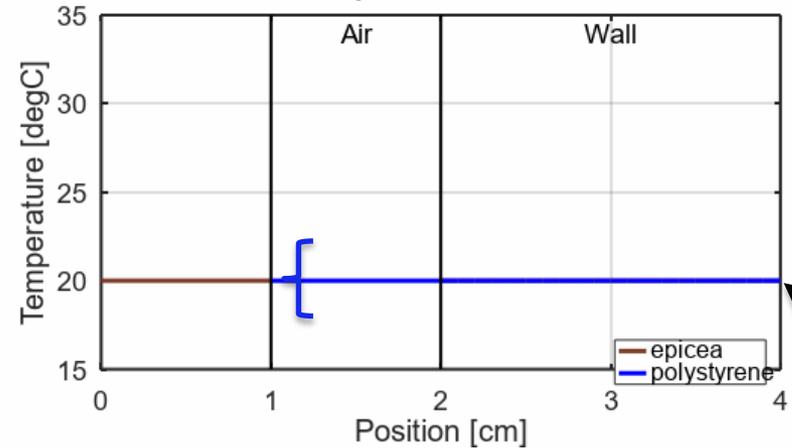
Température de l'air extérieur



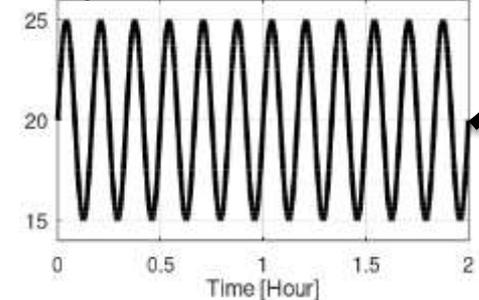
La variation s'étale sur 2 heures

Variation **rapide** (Période=10min)

Temps = 00h00m00s



Température de l'air extérieur



La variation s'étale sur 10 minutes

Exemple:
Rayonnement solaire
Couverture nuageuse
Pluie

Bois: température stable dans la ruche

Cause ? Propagation plus lente de la température

Les variations sont complètement absorbées par la paroi

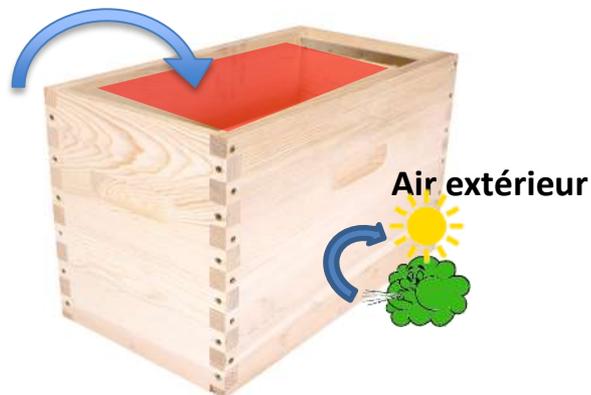
Simulation: température de l'air dans la ruche

Effet de la présence d'une masse thermique ?

Simuler la présence de miel/abeilles/nectars/cires/cadres...



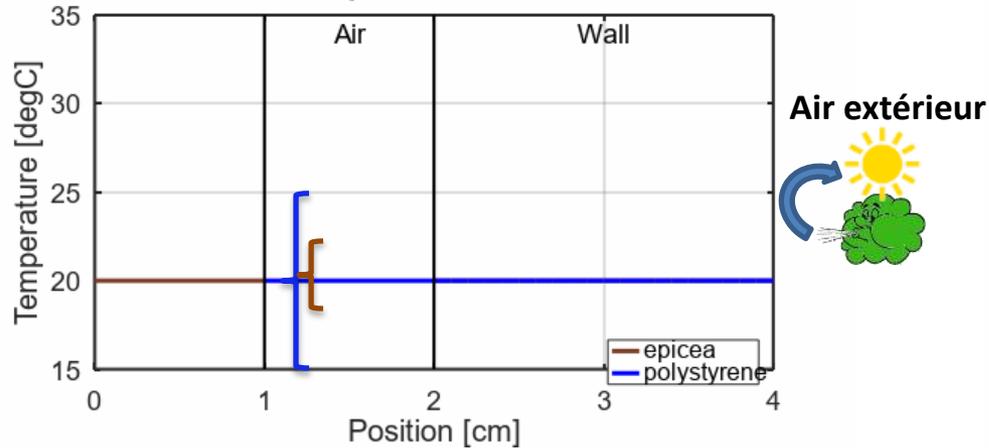
Dans la simulation, on ajoute une masse thermique équivalente



Simulation: température de l'air dans la ruche

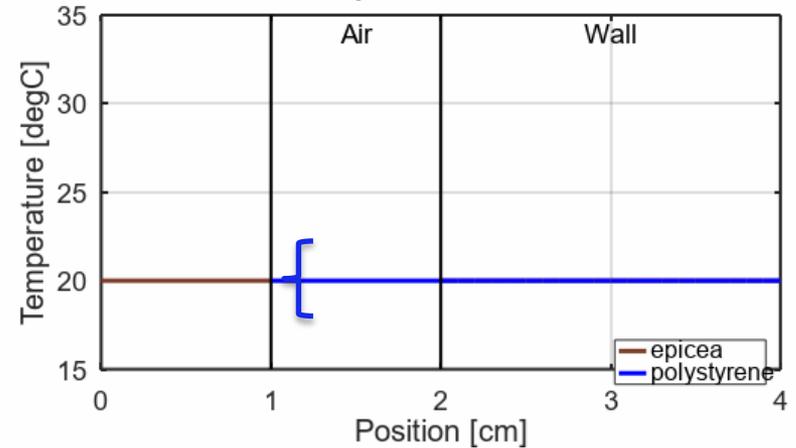
Variation **lente** (Période=2h)

Temps = 00h00m00s



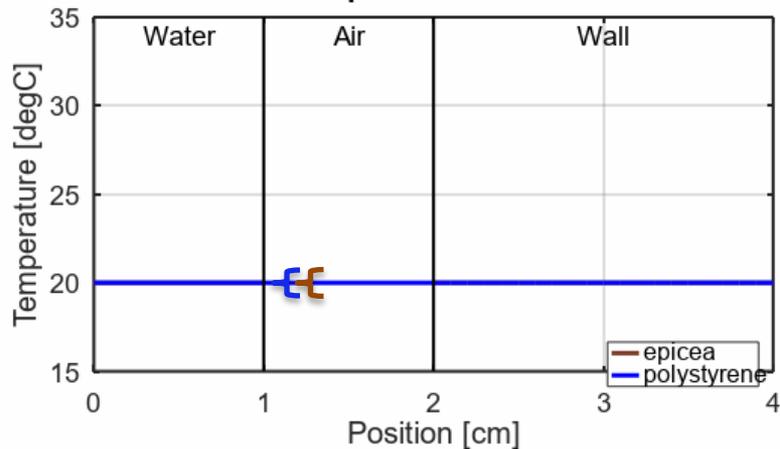
Variation **rapide** (Période=10min)

Temps = 00h00m00s

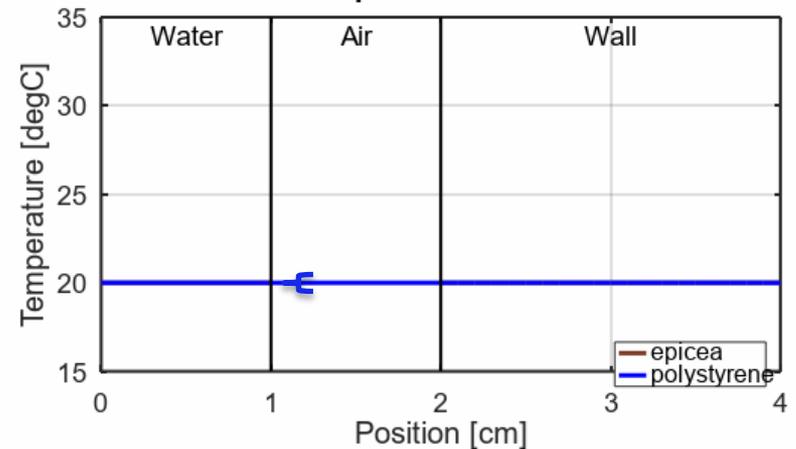


Avec une masse thermique à l'intérieur

Temps = 00h00m00s



Temps = 00h00m00s





Distinguer température et énergie (chaleur)

La conductivité thermique

$$\lambda \text{ [W/m/}^\circ\text{C]}$$

Liée à la vitesse de propagation
de l'énergie (chaleur)

Souvent le seul paramètre mentionné pour l'isolation des ruches

La diffusivité thermique

$$a \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Liée à la vitesse de propagation
de la température

	Châtaignier (12% MC)	Polystyrène	x
Conductivité thermique λ W/m $^\circ$ C	0.16	0.035	5

	Châtaignier (12% MC)	Polystyrène	x
Diffusivité thermique a mm 2 /s	0.15	1.3	10

La **température** dans le polystyrène se propage **10 fois plus vite** que dans le bois
MAIS

La **quantité d'énergie** transféré est **5 fois plus faible**

Lien entre la conductivité et diffusivité ? **La capacité thermique**

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

Quantité d'énergie qu'il faut apporter pour faire varier la température d'un matériau (bois: 50 fois plus que le polystyrène)

	Châtaignier (12% MC)	Polystyrène	x
Capacité thermique ρC MJ/ $^\circ$ C/m 3	1.1	0.026	50

Exemple du pêcheur



Lorsque la boîte est mise dans la voiture à 40°C:

Le polystyrène laisse passer très peu d'énergie, MAIS

- **Si la boîte est vide:** 5 min plus tard, il fait 40°C dans la boîte, car ce peu d'énergie suffit à réchauffer l'air.
- **Si la boîte contient des sardines:** elles vont maintenir l'intérieur au frais car ce peu d'énergie ne suffit pas à réchauffer les sardines

Si la boîte est remplie de sardines,
il faut **3500 fois** plus d'énergie pour chauffer les sardines que pour chauffer l'air
(donc 3500 fois plus de temps)

Synthèse

Meilleur isolant (point de vue thermique seulement)

		Perturbations	
		Rapides (<1h)	Lentes (>2h)
Masse thermique	Faible	Bois	Bois/Polystyrène
	Grande	Bois/Polystyrène	Polystyrène

Paroi de 21mm

Mauvaise isolation: Situation à éviter

Exemple: Rayonnement solaire
Couverture nuageuse
Pluie

Exemple: Alternance jour/nuit
Alternance saisonnière

- La ruche en bois ne protège que des variations rapides
- La ruche en polystyrène ne protège qu'en présence **d'une masse thermique**
Bouteille/bloc d'eau (le meilleur), pierre, briques, planches de bois...



Début de saison (T°C ext. en hausse) (petite colonie, peu de réserves)

▪ Ruche en bois

- - Mauvaise isolation thermique
- Température lentement variable
(ne protège pas du froid nocturne, de l'alternance jour/nuit)
- + Protège des variations rapides (1 heure) (nuages...)

▪ Ruche en polystyrène

- - Mauvaise isolation thermique
- Solution: ajouter une masse thermique*
- - - Température variable (jour/nuit)

En saison (T°C ext. clémentes et extrêmes) (grande colonie, réserves)

▪ Ruche en bois

- + + + Température très stable
- + Protège des variations rapides (1 heure) (nuages...)

▪ Ruche en polystyrène

- + + Température stable

!!! Attention aux surchauffes dues au soleil

Quelle isolation pour quelle saison ?
Quelle courbe idéale pour la température dans la ruche?

Le matériau n'est pas le seul paramètre sur lequel l'apiculteur peut jouer
(voir section III)

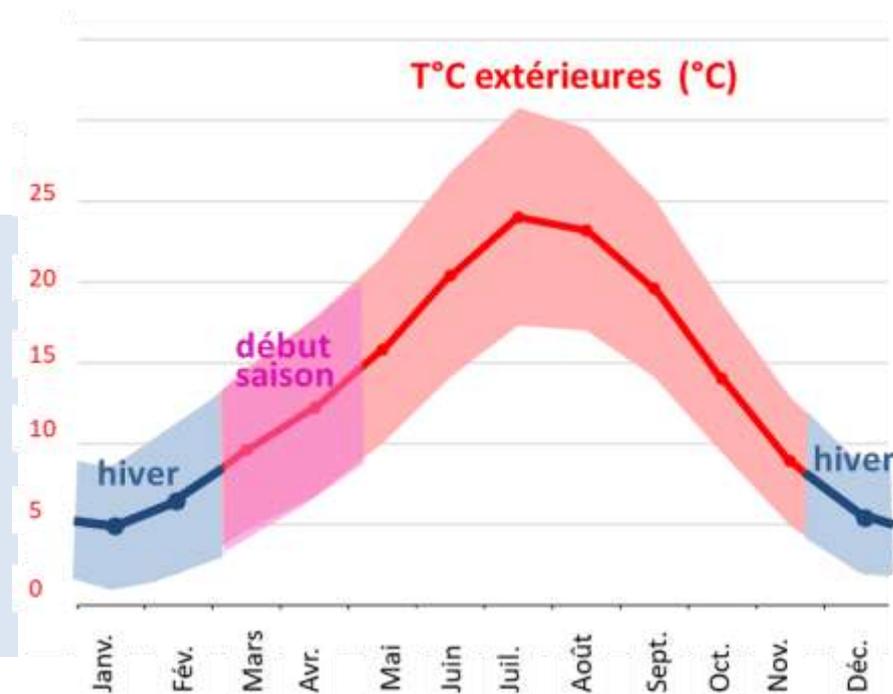
Hiver (T°C ext. faible) (grappe + réserves)

▪ Ruche en bois

- - - Mauvaise isolation thermique
- - - Plus d'énergie consommée
- + + Température stable

▪ Ruche en polystyrène

- + + + Bonne isolation thermique
- + + + Peu d'énergie consommée
- + + Température stable





Partie III

Influence de la structure de la ruche

Quelques exemples

Hypothèse de régime stationnaire: Températures constantes

(En réalité: Régime stationnaire dans chaque élément)

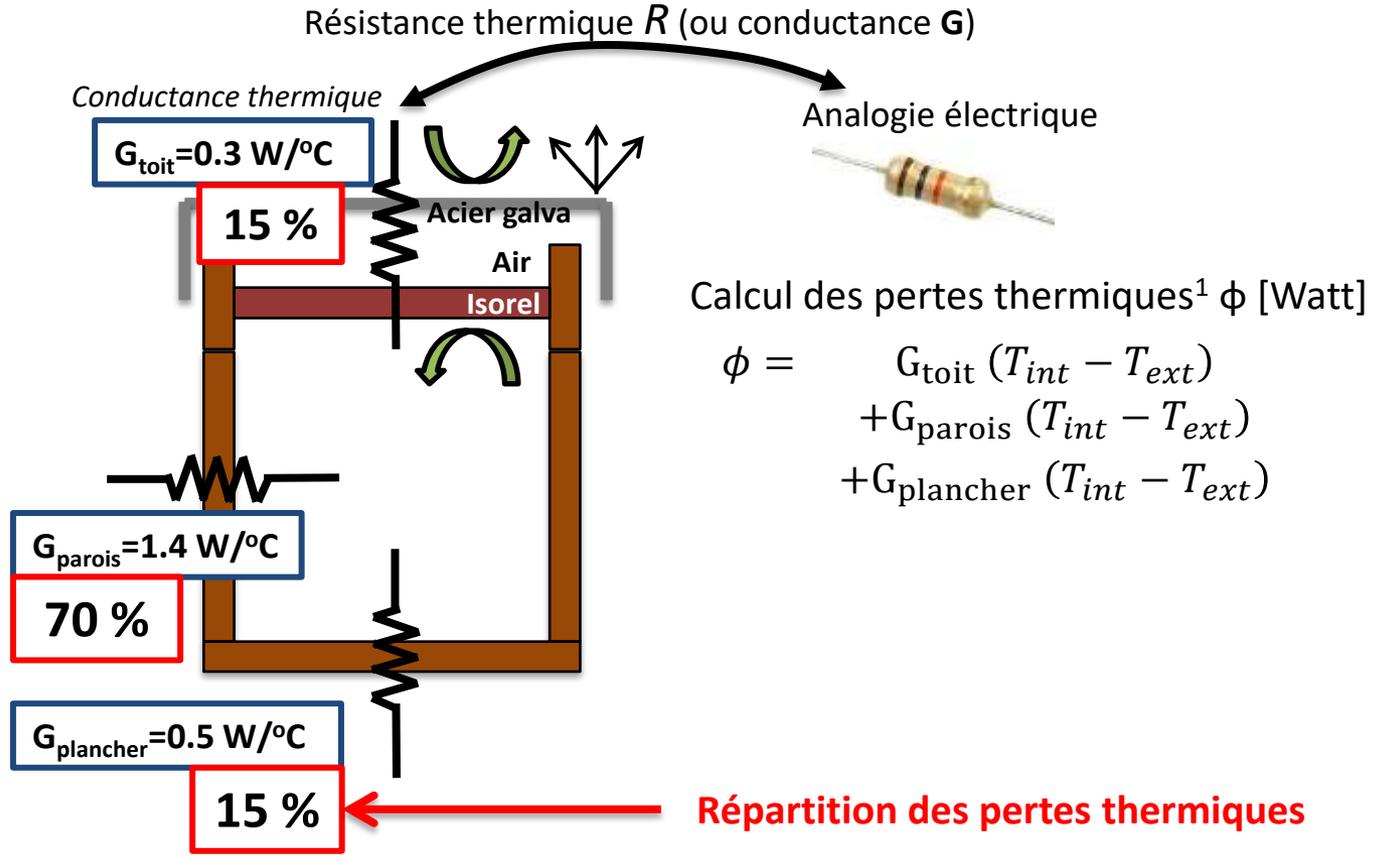
- Très simplifiée mais irréaliste (sauf cas particulier)
- Très utilisée en thermique de l'habitat humain (mais en évolution)

➡ (Très) Grande simplification des calculs

Calcul des pertes thermiques



Dimension int. : 0.5 x 0.43 x 0.34



➡ Isolons d'abord les parois !

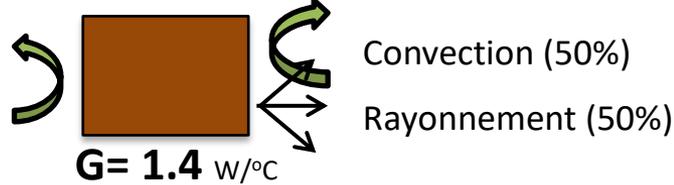
1: Dans la suite, on prend en compte une différence haut/bas dans la ruche de $\approx 5^\circ\text{C}$ => Augmente les pertes par le toit

Réduire les pertes par les parois

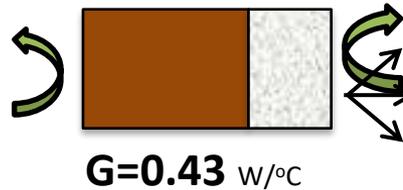
Hypothèse: intérieur à 10°C (moyenne) et extérieur à 0°C: $\phi \approx 20$ Watt

Ce que les abeilles doivent fournir pour maintenir 10°C (≈ 25000 abeilles)¹

CAS 1: Cas standard (bois seul [peinture])



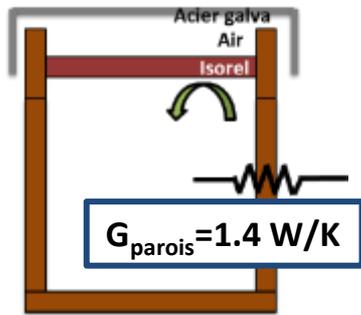
CAS 2: Réduire les pertes par conduction
2cm de polystyrène sur les parois



-46% de pertes (totales)

-52% de pertes avec 4cm

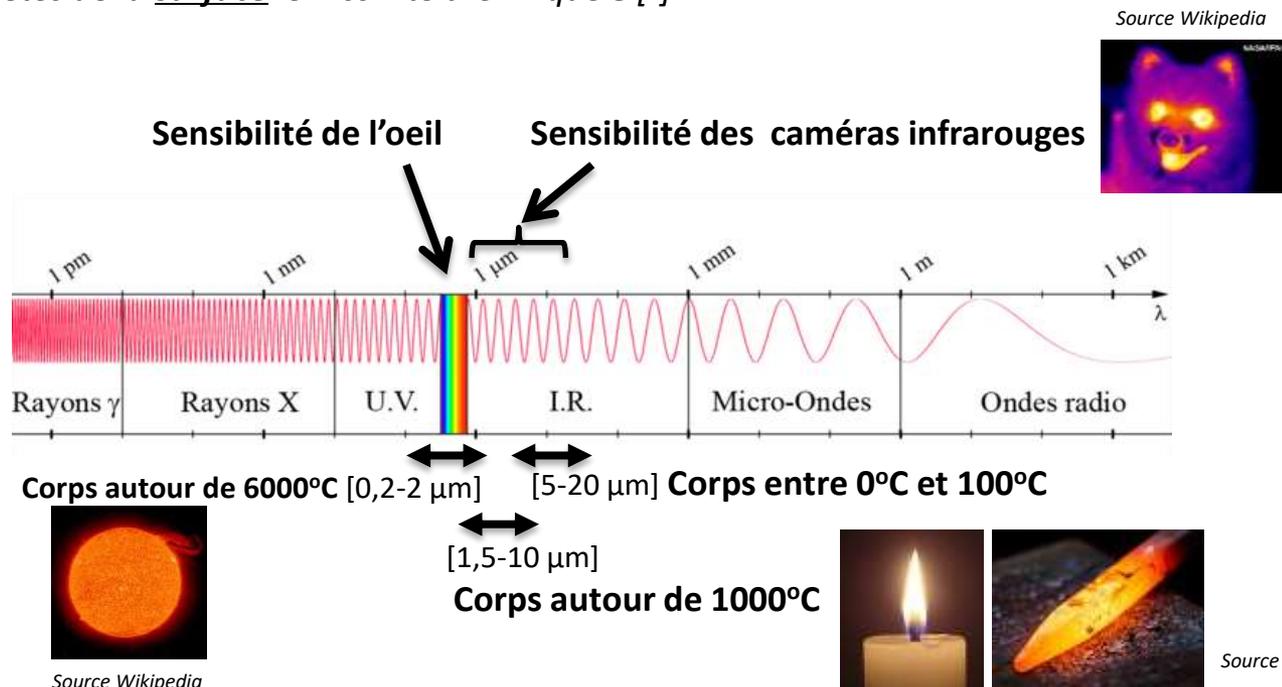
CAS 3: Réduire les pertes par rayonnement



(Parenthèse physique)

Les 3 modes de transfert:

- **Conduction:** propagation dans un milieu (solide/fluide) de l'agitation thermique
Propriétés du matériau: Conductivité thermique λ [W/m/°C] ; Capacité thermique ρC [J/m³/°C]
- **Convection:** propagation solide<->fluide (air, eau...) ou dans un fluide en mouvement
Paramètres: Coefficient de convection h [W/m²/°C]
- **Rayonnement:** tout corps émet un rayonnement en fonction de sa température
(phénomène souvent moins compris du grand public, car le moins visible)
Propriétés de la surface: émissivité thermique ϵ [-]

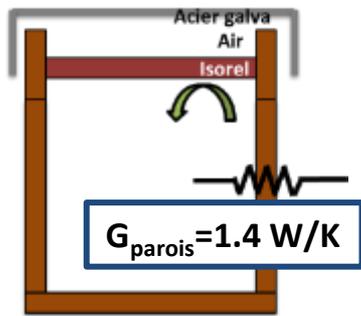




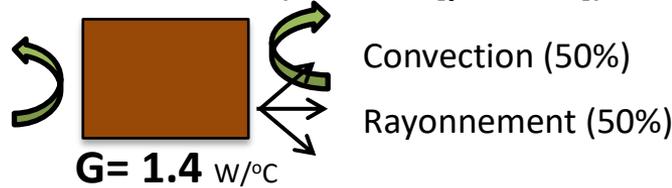
Réduire les pertes par les parois

Hypothèse: intérieur à 10°C (moyenne) et extérieur à 0°C: $\phi \approx 20$ Watt

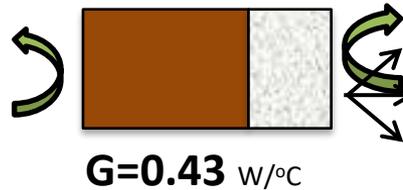
Ce que les abeilles doivent fournir pour maintenir 10°C (≈ 25000 abeilles)¹



CAS 1: Cas standard (bois seul [peinture])



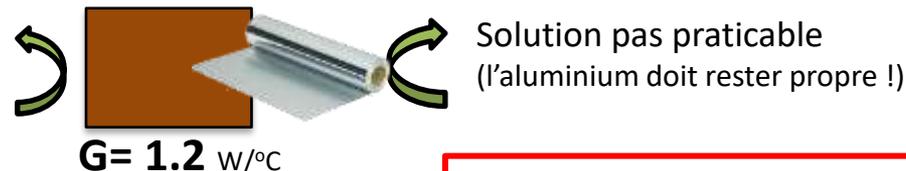
CAS 2: Réduire les pertes par conduction
2cm de polystyrène sur les parois



-46% de pertes (totales)

-52% de pertes avec 4cm de polystyrène

CAS 3: Réduire les pertes par rayonnement
Une feuille d'aluminium collée sur les parois extérieures



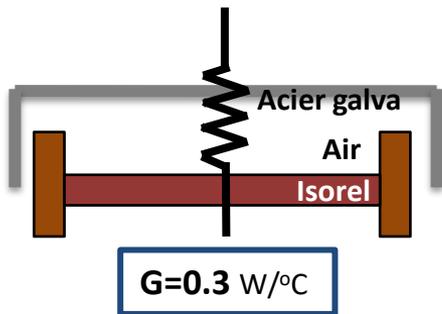
-12% de pertes (totales)



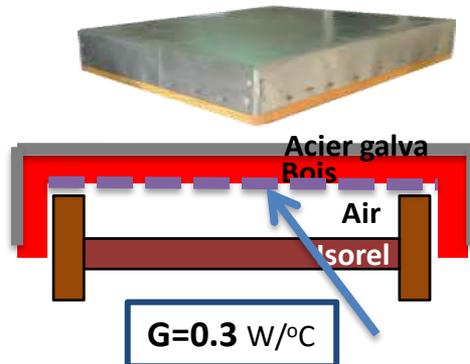
Réduire les pertes par le toit

Hypothèse: intérieur à 10°C (moyenne) et extérieur à 0°C

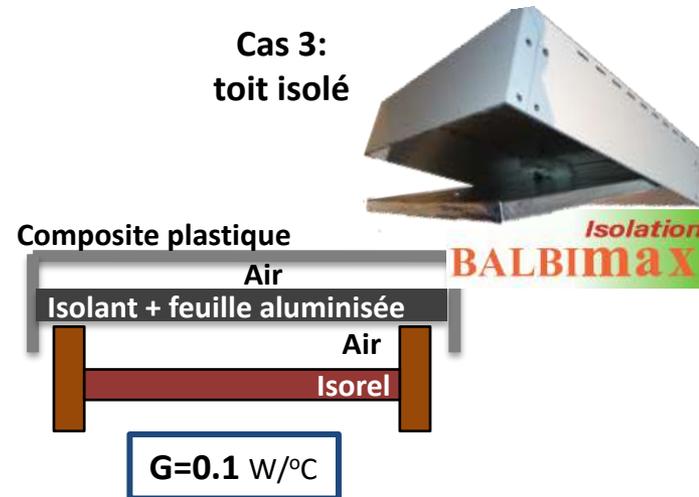
Cas 1:
toit non isolé



Cas 2:
toit avec 15mm de bois



Cas 3:
toit isolé



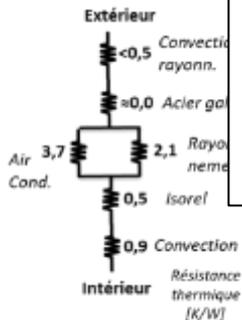
Pas d'effet ?

Le bois augmente la résistance de conduction mais augmente les transferts par rayonnement dans le toit

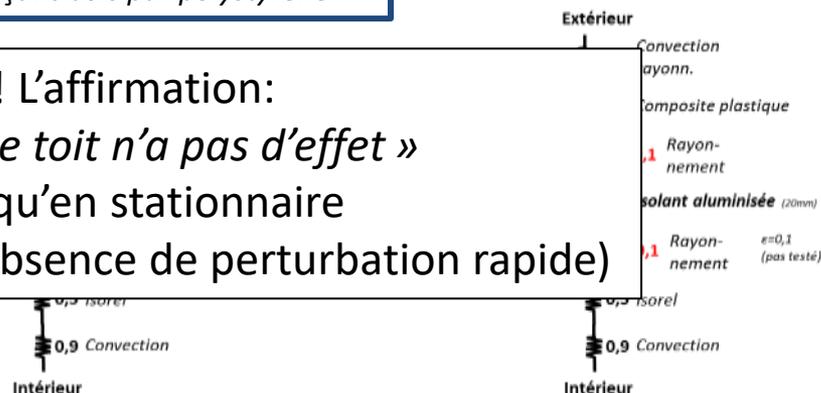
$G=0.2 \text{ W/}^\circ\text{C}$ avec aluminium collé sur le bois
 $G=0.2 \text{ W/}^\circ\text{C}$ en remplaçant bois par polystyrène



Détails du calcul



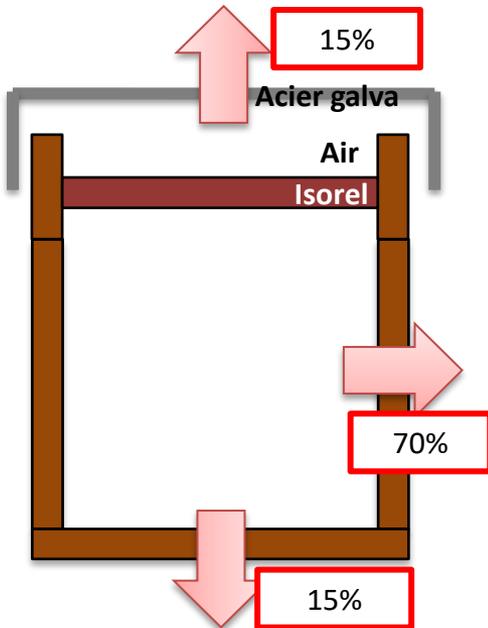
Piège ! L'affirmation:
 « le bois sous le toit n'a pas d'effet »
 n'est vrai qu'en stationnaire
 (variations lentes, en l'absence de perturbation rapide)



Isoler le toit ou les parois ou les 2?

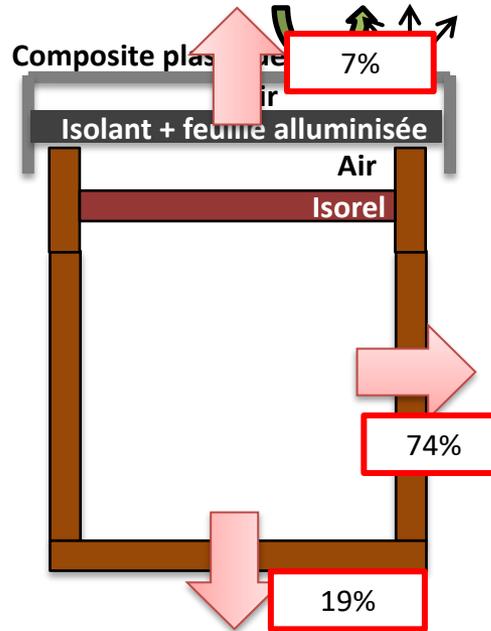
Hypothèse: intérieur à 10°C (moyenne) et extérieur à 0°C

Pertes thermiques
22 Watt



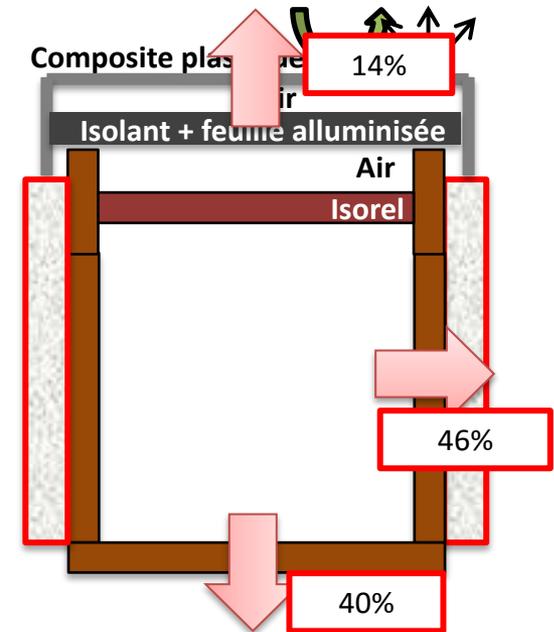
Cas 1: pas d'isolation

Pertes thermiques
19 Watt



Cas 2: toit isolé

Pertes thermiques
9 Watt



Cas 3: parois et toit isolés

➡ L'isolation du toit seul n'a pas d'effet significatif sur les pertes thermiques.
Il faut d'abord isoler les parois.

➡ Dans une ruche habitée, les pertes par les parois seraient plus faibles car les cadres ont un effet isolant (au moins dans une direction).

➡ Ces résultats sont valables pour toute variation lente de l'environnement.

Partie IV

L'environnement de la ruche



<https://blog.defi-ecologique.com/abeilles-domestiques-biodiversite-rucher/>



<https://www.label-abeille.org/fr/blog/132-ou-installer-ses-ruches-comment-organiser-le-rucher->



<https://cultivetaville.com/encyclopedie/apiculture-urbaine/installer-un-rucher-par-ou-commencer/>

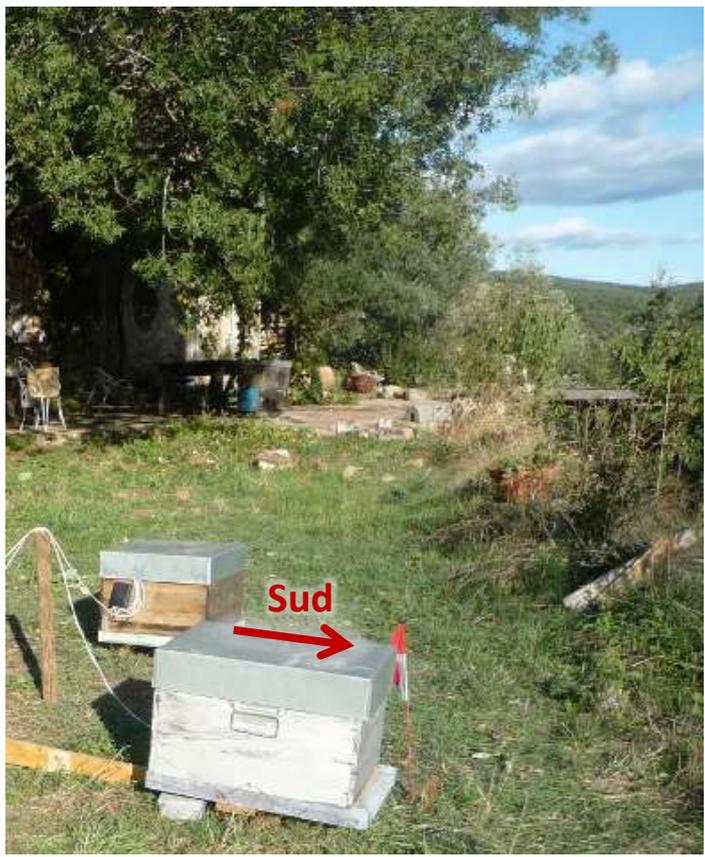
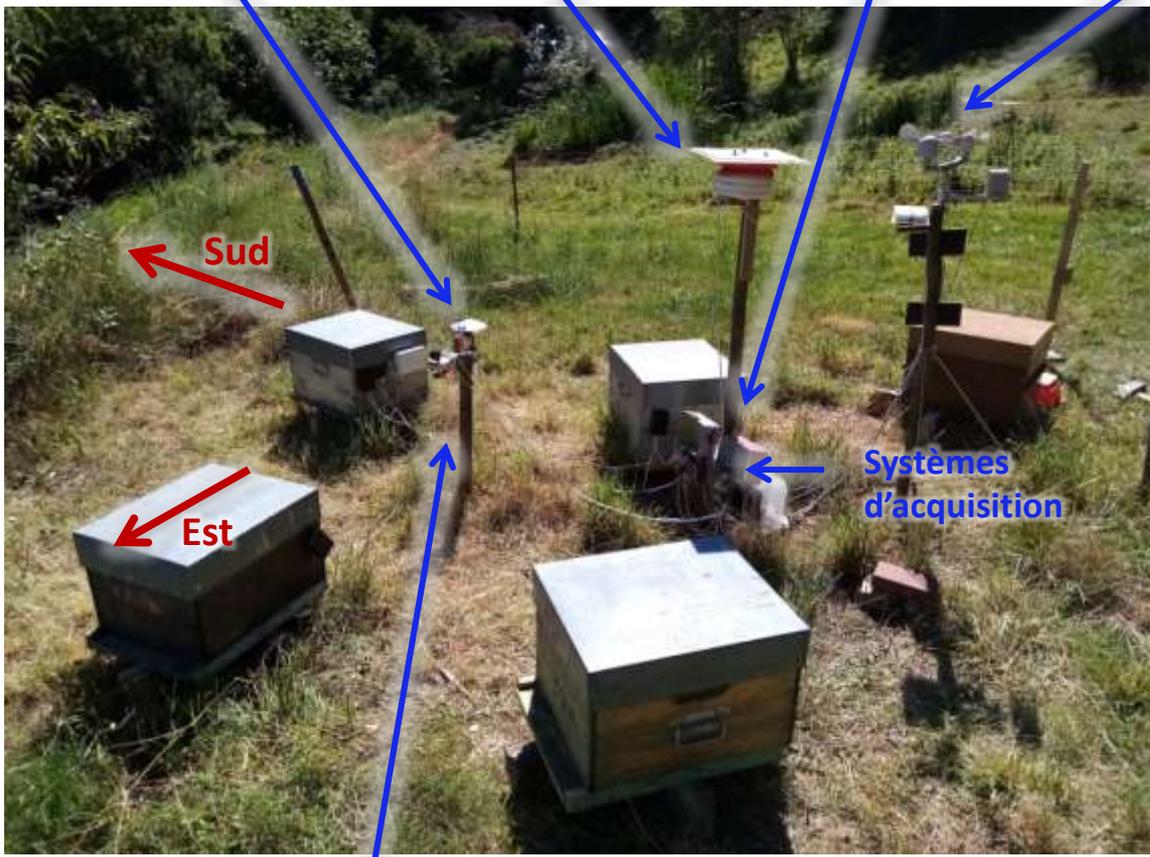


Rucher expérimental

Mesures de l'environnement

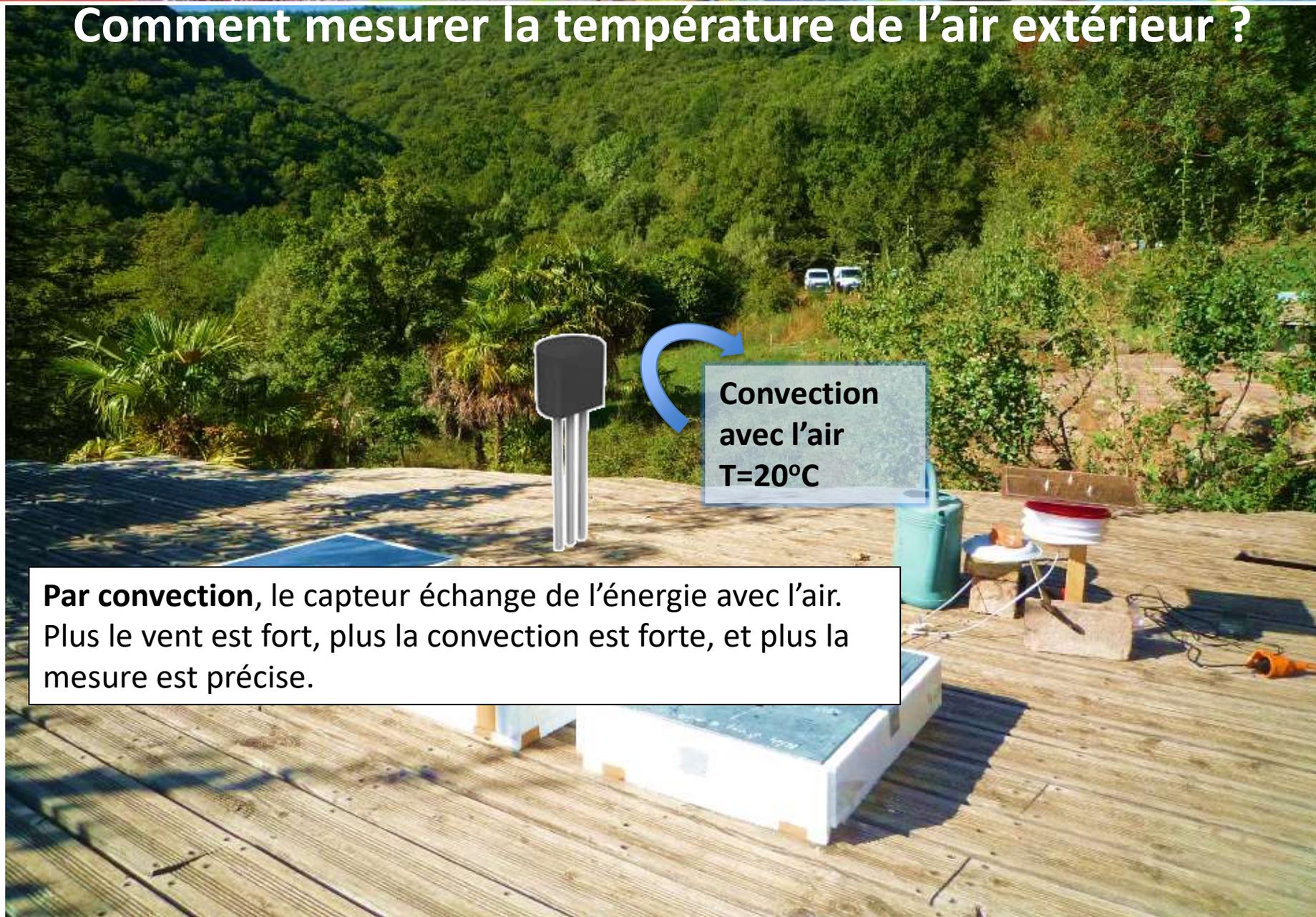
- Anémomètre/girouette
- Pluviomètre
- Luxmètre

- Pyranomètre
- T°C/humidité extérieures
- Pression atm.



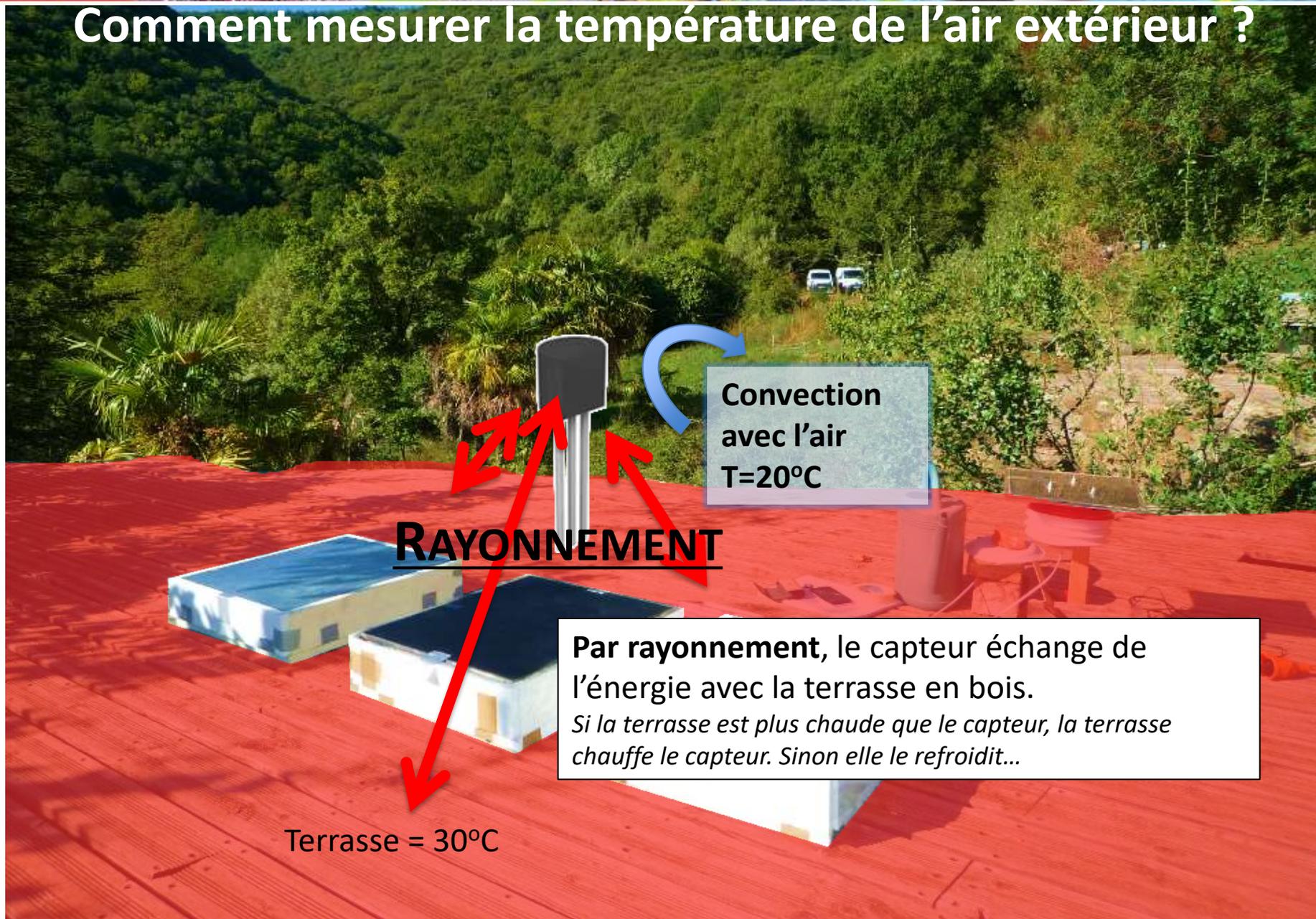
Température du sol

Comment mesurer la température de l'air extérieur ?

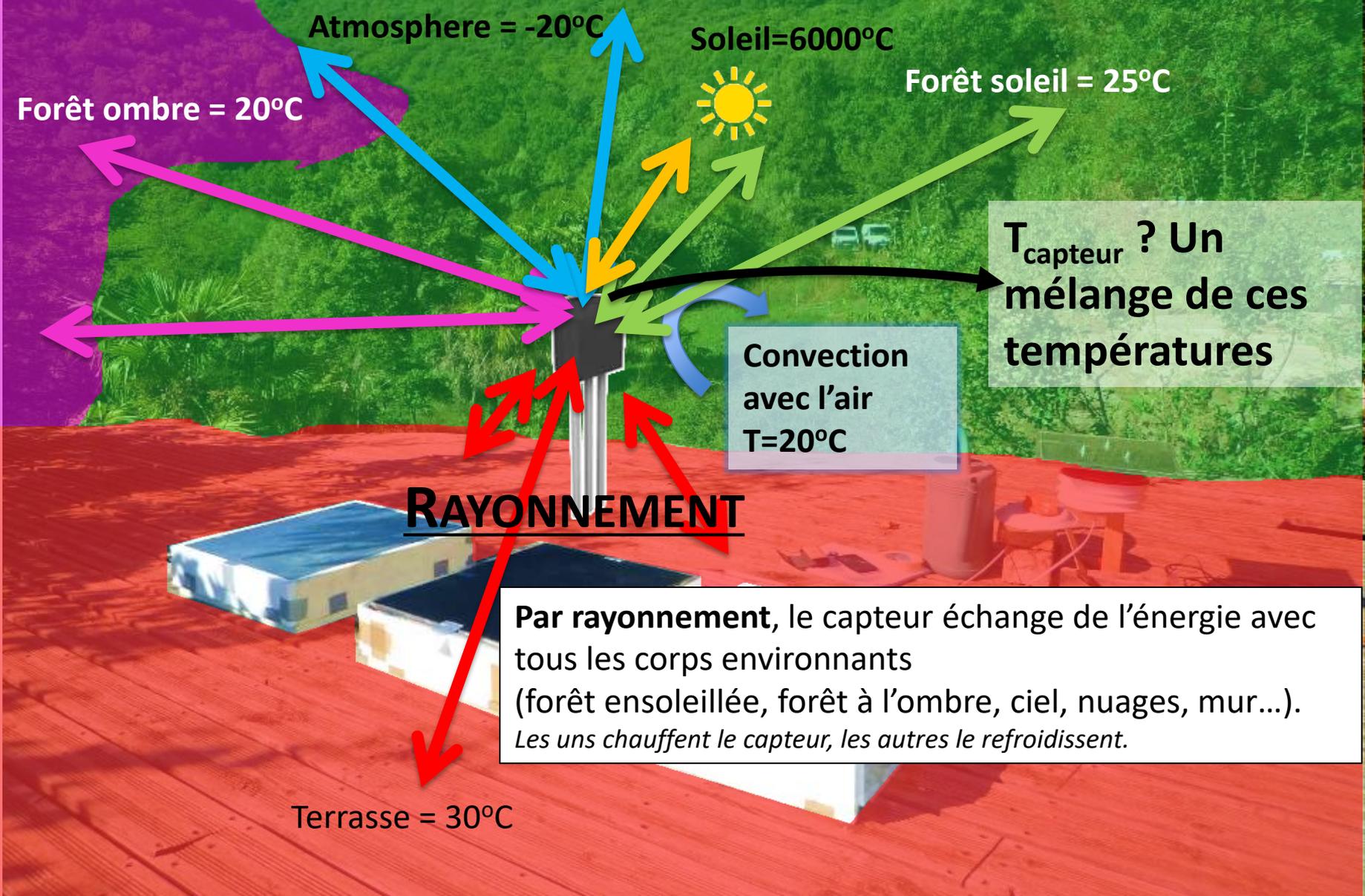


Par convection, le capteur échange de l'énergie avec l'air. Plus le vent est fort, plus la convection est forte, et plus la mesure est précise.

Comment mesurer la température de l'air extérieur ?



Comment mesurer la température de l'air extérieur ?



Comment mesurer la température de l'air extérieur ?

On utilise des « assiettes » pour créer un environnement autour du capteur à la température de l'air (seulement !)

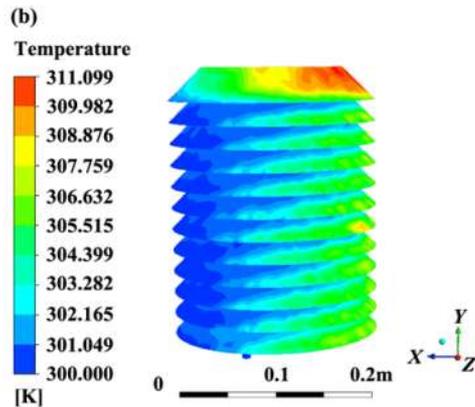
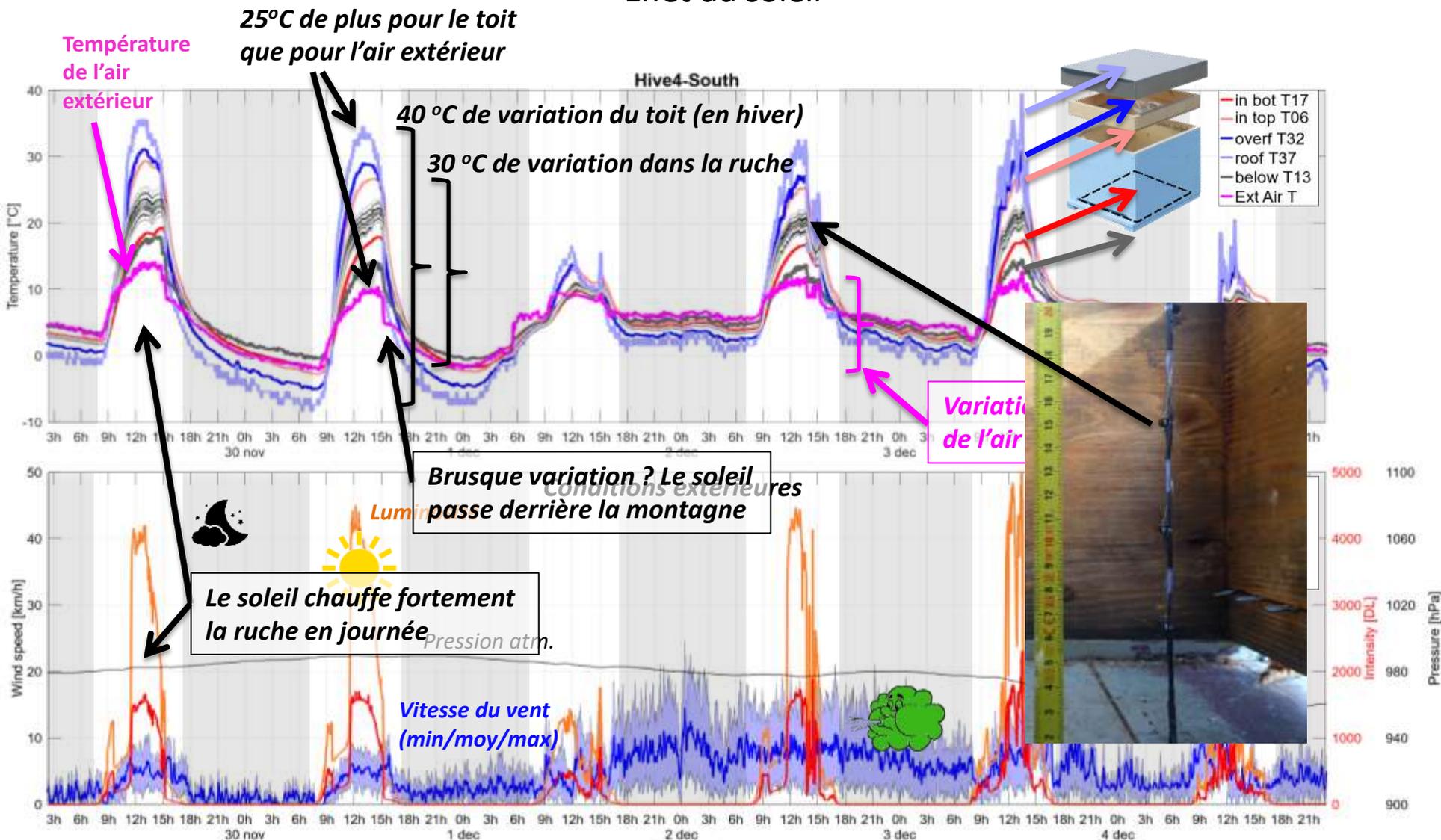


Image: Fluid dynamic design and experimental study of an aspirated temperature measurement platform used in climate observation, J. Yang, Q. Liu, W. Dai, R. Ding, Review of Scientific Instruments **87**, 084503 (2016)

Température dans une ruche

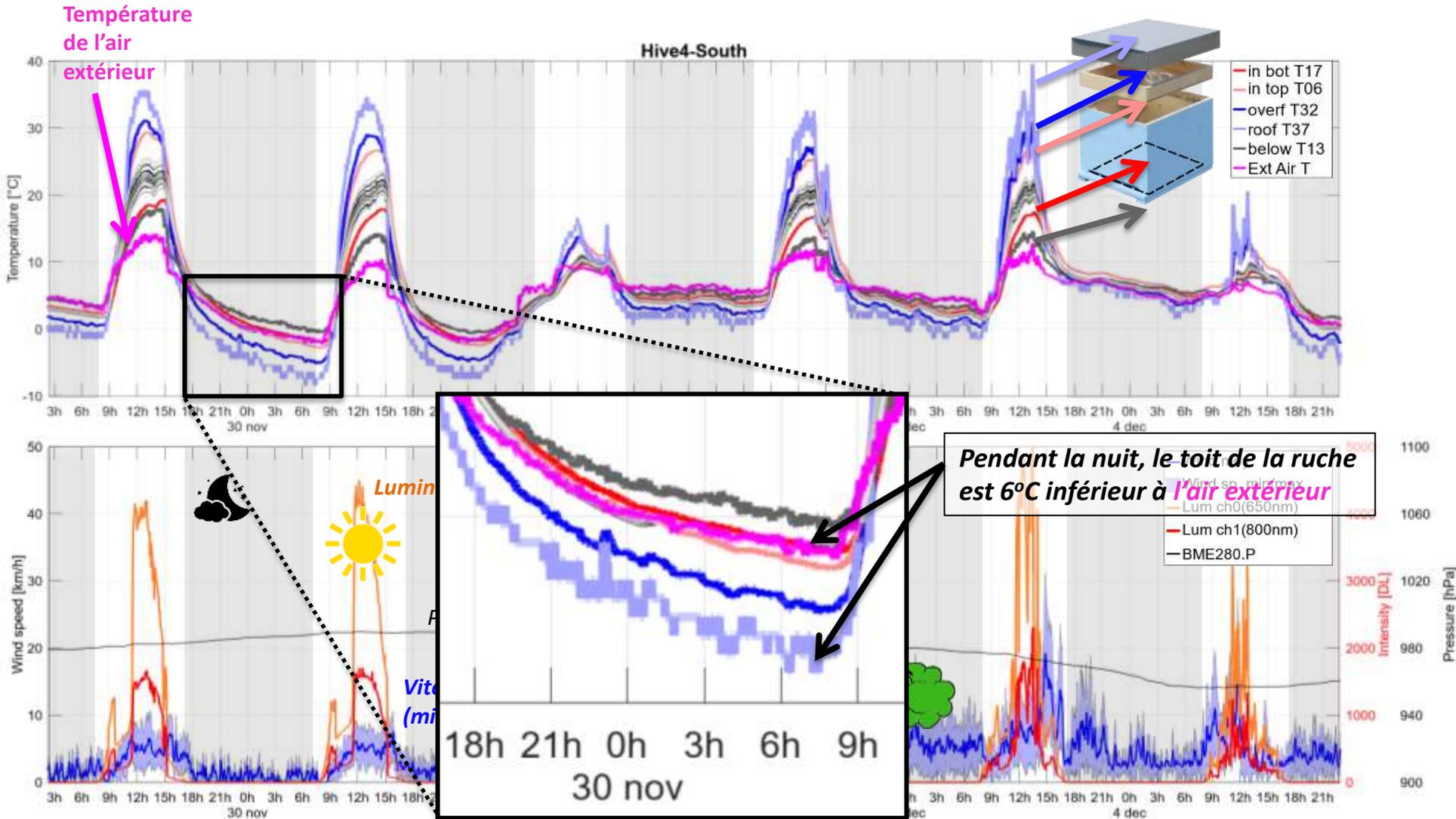
Effet du soleil



Lors de ces mesures, 1kg d'eau était présent dans la ruche sud

Température dans une ruche

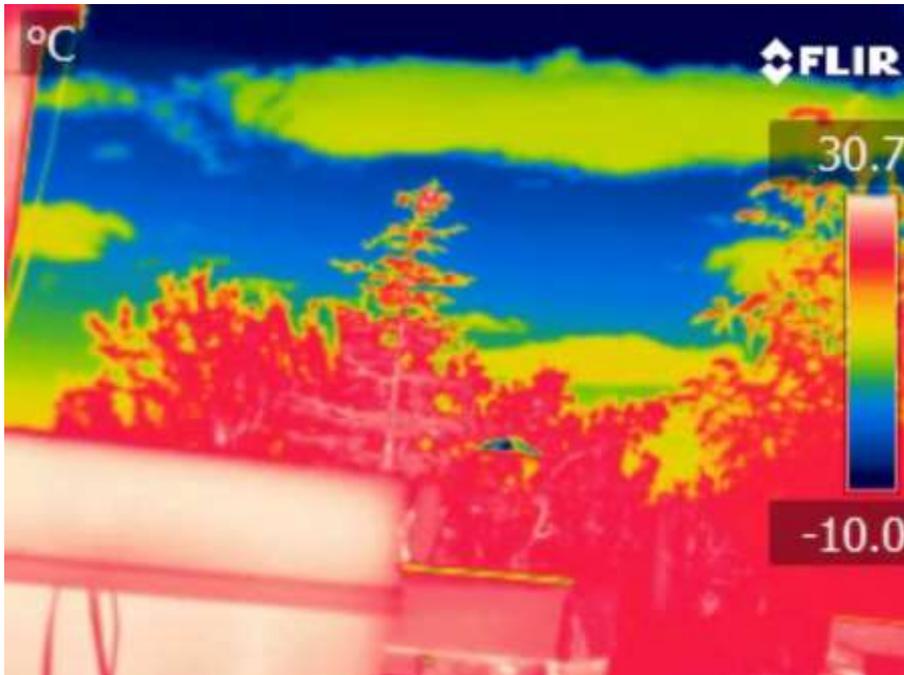
Effet de l'atmosphère froide



Lors de ces mesures, 1kg d'eau était présent dans la ruche sud

Température du ciel

Observation du rucher et de l'environnement à la **caméra infrarouge**



Le ciel s'apparente à une surface solide de -20°C
Les nuages à une surface de 5 à 10°C



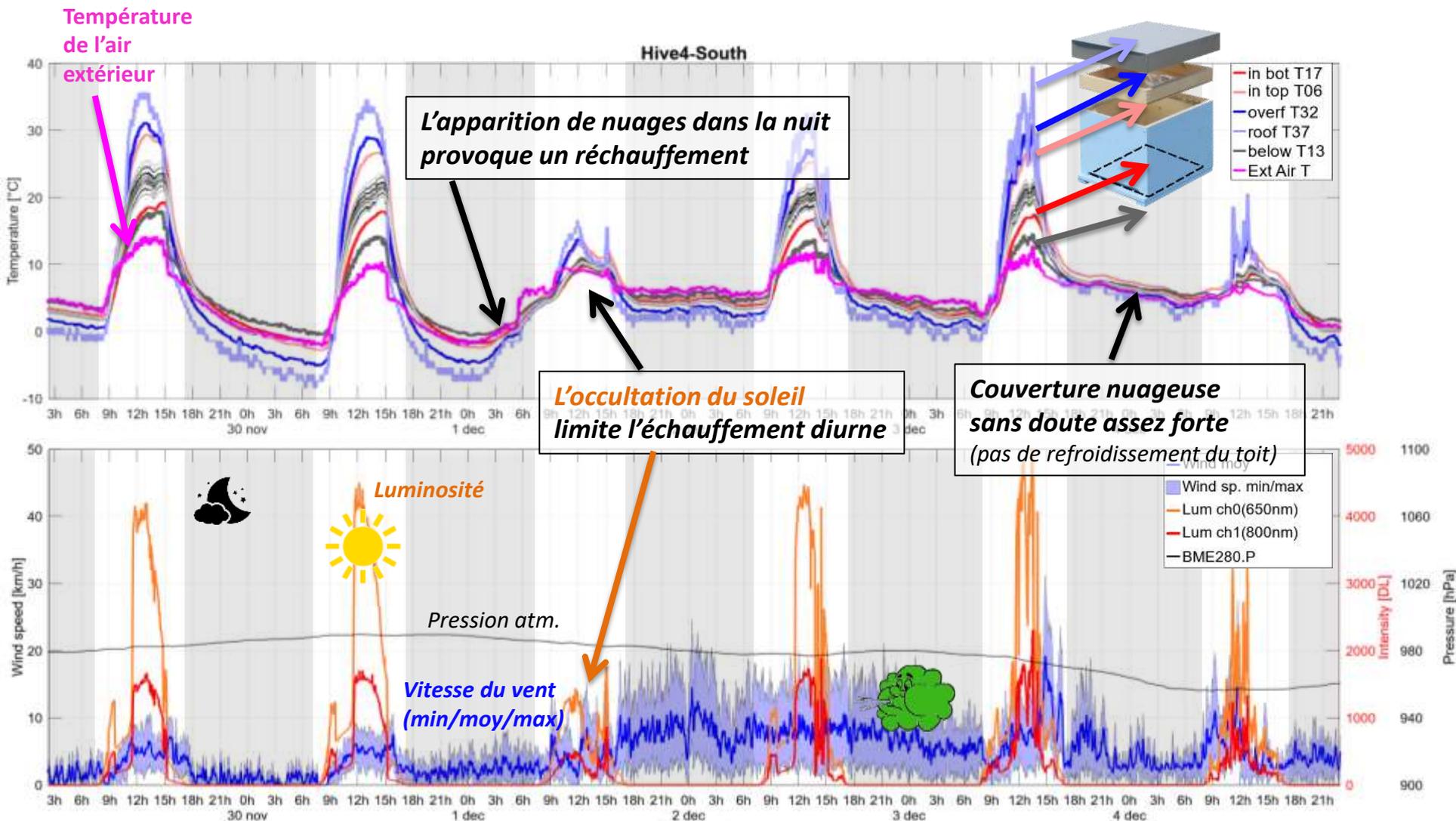
La ruche perd de l'énergie par rayonnement avec l'atmosphère
Le toit est le plus exposé à ce refroidissement



Attention à la lecture de température avec une caméra infrarouge

Température dans une ruche

Effet des nuages



Lors de ces mesures, 1kg d'eau était présent dans la ruche sud

Etude de cas pratiques



<https://blog.defi-ecologique.com/abeilles-domestiques-biodiversite-rucher/>



<https://cultivetaville.com/encyclopedie/apiculture-urbaine/installer-un-rucher-par-ou-commencer/>



<https://www.label-abeille.org/fr/blog/132-ou-installer-ses-ruches-comment-organiser-le-rucher->

- Sol sec réfléchissant qui amplifie les effets du rayonnement solaire
- Exposition à l'atmosphère froide
- Exposition à la chaleur du soleil

- Exposition à l'atmosphère froide
- Exposition aux vents
- Echauffement du sol avec le soleil

- Ombrage permanent qui protège de l'atmosphère froide et des rayons du soleil

Effet limité en hiver car feuillage non persistant, mais laisse passer le soleil

Solution (réduire les effets du soleil):

- Utiliser un toit isolé adapté et/ou avec revêtement réfléchissant (blanchir le toit, chaux...)
- Mettre un revêtement adapté sur les parois
- Coller les ruches les unes aux autres pour bénéficier de l'ombrage de la voisine
- Etc...



Influence du trou d'envol

Ouverture/fermeture périodique et automatisée du trou de vol



Résultats:

- Pas de perte thermique par le trou de vol quand l'air de la ruche est plus chaud que l'environnement (chauffage interne de 10 W)
- Légères pertes thermiques lorsque l'air de la ruche est plus froid que l'environnement (bloc d'eau congelée)

En Hiver:

Le trou de vol en bas permet à l'air chaud de rester dans la ruche



En Eté:

L'air frais a tendance à sortir de la ruche par le trou de vol



**Est-ce significatif ?
Quid avec un 2^{ème} trou d'aération ?
(travail en cours)**



Partie V

Revue de quelques
matériels apicoles

Isolation de toit

Mousse, fibres de bois, polystyrène -> Idem

Qu'en est-il de la condensation ?



Un isolant disposant d'une protection thermique élevée ($\lambda = 0.038$ w/m*k) est idéal pour vos ruches !

APIFOAM est une mousse isolante à positionner sous le toit de votre ruche.



Le PHALTEX est obtenu par feutrage et séchage de fibres de bois résineux imprégnées de bitume en cours de fabrication.

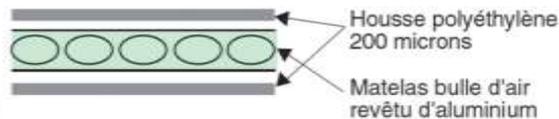
Le panneau isolant Phaltext est un isolant pour ruche qui s'encastre dans le couvre-cadres ou le toit.



Isolant de 20mm polystyrène intégré.

Un peu plus performant (voir l'épaisseur)

Isolant avec paroi aluminium



L'Isoruche est un matelas isolant

Matelas bulle d'air

A priori efficace, peut-être multiplier les couches



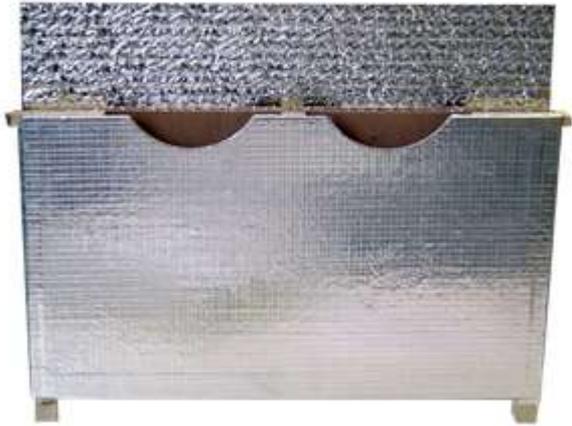
Isoruch est un couvre-cadres isolant pour ruche, idéal pour apporter du confort et de la chaleur à vos abeilles. Ce matelas "bulle d'air", revêtu d'aluminium procure une isolation équivalente à 80 mm de laine de verre.

Toit avec couche d'air suppl. et isolant aluminisé et anti-condensation



Isolation
BALBIMAX

Partitions isolantes



<https://www.naturapi.com/nourrisseur-partition-cadre-dadant-corps-bois-super-isolante-avec-isolant-recouvrant-445-465-280mm.html>

Cadre nourrisseur isolant

Masse thermique importante une fois rempli



<https://www.naturapi.com/partition-dadant-superchaud-452-320mm.html>

Partition isolante

Etanchéité ?

Utiliser deux partitions

Réduit la surface de paroi non isolée

Attention à l'épaisseur

Attention portée par le fabricant au **caractère réfléchissant** (mais salissant) de la paroi pour réduire les transferts par rayonnement

Isolation intérieure: Attention à la condensation sur les parois de la ruche ?

Conclusion

Les questions à se poser:

Isoler, oui mais contre quel phénomène ?

Comment varie ce phénomène ?

Phénomènes lents (saisons, semaines) \neq Phénomènes rapides (soleil, nuages...)

Ces deux catégories nécessitent des pratiques d'isolation différentes en général élémentaires et peu coûteuses.

Pas vraiment de pratique **universalisable**.

Solutions particulières à un **environnement**.

La thermique n'est qu'un point de vue particulier.

Les autres domaines de connaissance ont aussi leur mot à dire.



Température et isolation des ruches

Contacts: anna.dupleix@umontpellier.fr
emmanuel.ruffio@gmail.com



Thanks for your attention!
Thanks to all the team!

Merci de citer ces travaux si vous les utilisez:

Dupleix A., Ruffio E., 2021, Temperature et isolation des ruches, Conférence du CARI, 14/01/2021