

Modélisation du climat à l'intérieur des ruches

Etudiant : FALQUET Léo
 Tuteur: JULLIEN Delphine
 Partenaires : Alt R&D

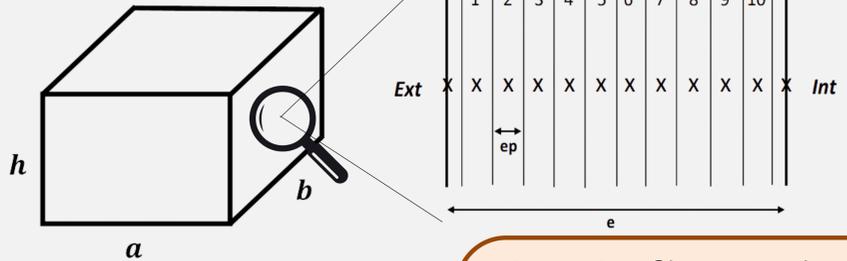


Contexte

La température d'une ruche est un élément clé dans la production de miel. Le couvain de la ruche doit être maintenu entre 34 °C et 35 °C. En dessous de cette plage de température, les abeilles doivent battre des ailes pour réchauffer la ruche, et au-dessus, elles doivent aller chercher de l'eau à l'extérieur et la pulvériser en ventilant avec leurs ailes. Toutes ces actions les empêchent cependant de produire du miel. C'est pourquoi il est important de comprendre le comportement thermique de la ruche, et d'être capable de savoir quels sont les paramètres les plus influents sur sa température dans le but d'optimiser la production de miel.

Modèle numérique

La ruche est d'abord modélisée numériquement sous forme d'une boîte vide à six parois. Sur la paroi du dessus, une plaque d'acier (le toit) est ajoutée. Chaque face de la ruche ne se comporte pas de la même façon de part ses propriétés physiques et son orientation face au soleil.



3 types de flux de chaleur ($\varphi [W \cdot m^{-2}]$) :

- Conduction : $\varphi = S \cdot \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$
- Convection : $\varphi = S \cdot h \cdot (T_{paroi} - T_{fluide})$
- Rayonnement : $\varphi = S \cdot \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$

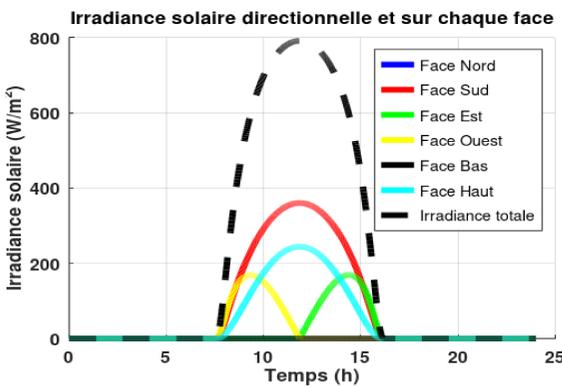
Équation de la chaleur

$$\rho \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} = \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$



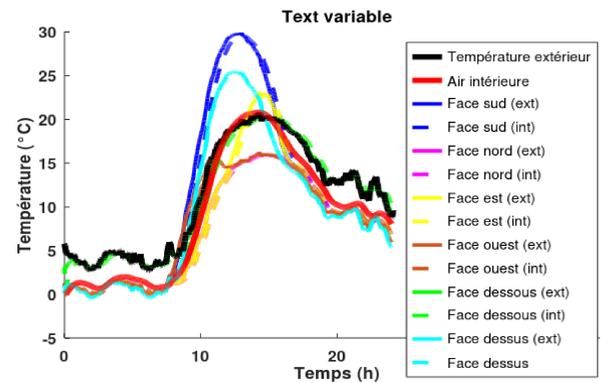
Chaque paroi est discrétisée en plusieurs couches pour pouvoir prendre en compte l'inertie thermique. De cette façon, la température ne traverse pas toute la paroi instantanément mais doit traverser chaque couche avant d'atteindre l'intérieur.

Irradiance solaire



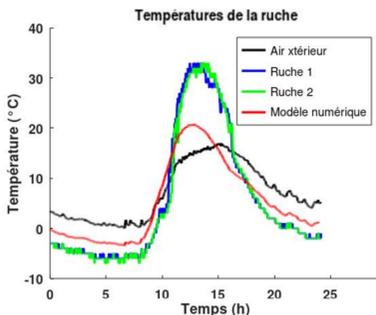
Le soleil joue un rôle prépondérant. Il transmet un flux de chaleur par rayonnement qui varie en fonction du temps et de la position de la ruche sur Terre.

En prenant en compte tous les flux thermiques, puis en résolvant l'équation de la chaleur sur chaque couches, la température à plusieurs endroits de la ruche peut être représentée.



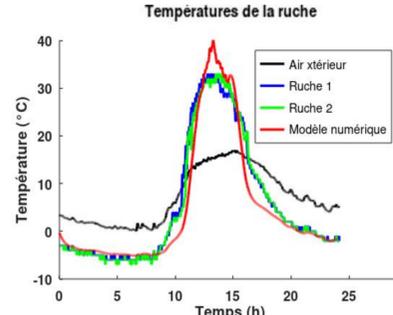
Dispositif expérimental

La deuxième partie consiste à instrumenter la ruche de plusieurs capteurs de température et vérifier que le modèle théorique corresponde aux mesures expérimentales.



Ici, la température de la ruche a été mesurée. Le modèle numérique et les mesures expérimentales suivent les mêmes tendances mais ne concordent pas. Cette différence vient de l'estimation du rayonnement.

Pour mieux prendre en compte ce dernier, la luminosité est mesurée puis multipliée par des coefficients prenant en compte l'angle du soleil et les caractéristiques des matériaux de la ruche. Le nouveau modèle numérique est beaucoup plus proche des mesures expérimentales.



Analyse des sensibilités

En disposant d'un modèle numérique fiable, il est maintenant possible de réaliser une analyse des sensibilités. Cette analyse consiste à repérer quels sont les paramètres les plus influents au cours de la journée.

Sensibilité réduite d'un paramètre p

$$S(t) = p \cdot \frac{\partial T}{\partial p} \approx \frac{T(\dots, p \cdot (1 + \epsilon)) - T(\dots, p \cdot (1 - \epsilon))}{2 \cdot \epsilon}$$

Ici sont tracées les sensibilités de quelques paramètres. L'émissivité des matériaux, c'est-à-dire leur capacité à absorber les rayons lumineux, est prépondérante aux moments de fort rayonnement. La capacité thermique des parois a aussi une influence importante lors des changements de température.

