

Effets de différents revêtements sur la température au sein de la ruche

La météo est une préoccupation majeure des apiculteurs depuis toujours car elle conditionne les récoltes ; pluie ou sécheresse au mauvais moment et les fleurs seront soit rincées, soit sans nectar... Ces dernières années ont vu les phénomènes météorologiques extrêmes s'aggraver : comme des niveaux de température pouvant entraîner la fonte des rayons de cire au sein de la ruche. Un projet de recherche européen « Better-B » s'intéresse aux moyens que les apiculteurs peuvent mettre en œuvre pour limiter l'effet des fortes chaleurs/températures sur les colonies d'abeilles.

1. Enjeux et origines des variations de température dans une ruche

La ruche

La température dans une ruche dépend de l'activité des abeilles mais aussi de l'environnement. La température interne d'une ruche vide est le résultat d'un équilibre thermique entre la ruche et son environnement qui fait intervenir trois (ou quatre) éléments (voir Figure 2 dans l'encadré) :

- ① l'échange d'énergie avec l'air extérieur (on parle de convection) ;
- ② l'énergie provenant du rayonnement solaire et absorbée par la ruche ;
- ③ les échanges d'énergie par rayonnement infrarouge avec les objets environnants (ciel, nuages, sol, ruche voisine...) ;
- ④ pour certaines ruches, le contact direct avec le sol fait intervenir la conduction thermique).

Les travaux que nous vous présentons ici sont réalisés avec des ruches non peuplées. Nous avons étudié quelques aspects relatifs à l'énergie provenant du rayonnement solaire absorbé par la ruche et les échanges d'énergie par rayonnement infrarouge entre la ruche et les objets environnants.

Plus particulièrement, nous avons quantifié l'effet de certains revêtements (peintures) ou matériaux sur la température interne d'une ruche Dadant. Le terme « revêtement » sera pris au sens large. Par exemple, poncer les parois de la ruche revient à changer son revêtement. En modifiant l'état des surfaces ou en appliquant une peinture sur le toit ou les parois de la ruche, on modifie les échanges d'énergie entre la ruche et son environnement, et donc la température dans la ruche. Suivant les régions et les saisons, on peut ainsi à moindre coût augmenter la température de la ruche en hiver et/ou l'abaisser en été.

Le changement climatique

Les simulations climatiques à l'échelle du siècle en France semblent suggérer que les températures extrêmes ne changeront pas significativement (Figure 1) en France par rapport à aujourd'hui, même avec le pire des scénarios (RCP8.5) envisagés par le GIEC (groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

Pour le scénario médian (RCP4.5), l'augmentation moyenne de température est de 1.5 °C à 2 °C. Les températures maximales suivent la même tendance. Toutefois, dès aujourd'hui à certaines de nos latitudes, maîtriser certains phénomènes thermiques de la ruche peut améliorer la santé de la colonie en lui épargnant le besoin de réguler la température de la ruche.

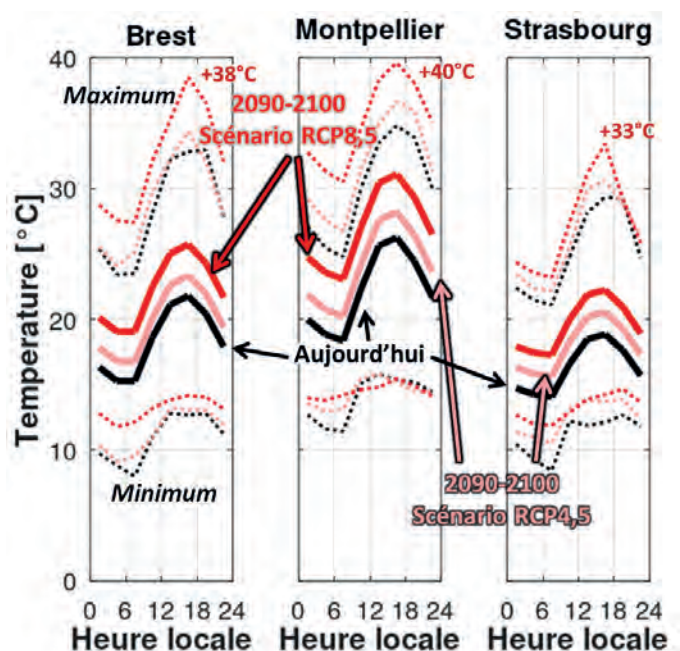


Figure 1 : Températures simulées moyennes et maximales aujourd'hui et en 2100 au cours d'une journée, à Brest, Montpellier et Strasbourg.

Description du rucher expérimental

Notre rucher se situe dans les Cévennes, à Cros (Gard). Il est placé sur le flanc sud d'une colline et se compose de 5 ruches, 2 ruches Dadant en bois, 1 ruche plastique, une ruche dite « Tronc » et une ruche « lunaire » octogonale dotée de parois faites de trois couches et d'un isolant intermédiaire.

Entre 5 et 25 capteurs sont installés dans chaque ruche. D'autres capteurs sont placés dans l'environnement pour mesurer toutes les grandeurs physiques nécessaires.

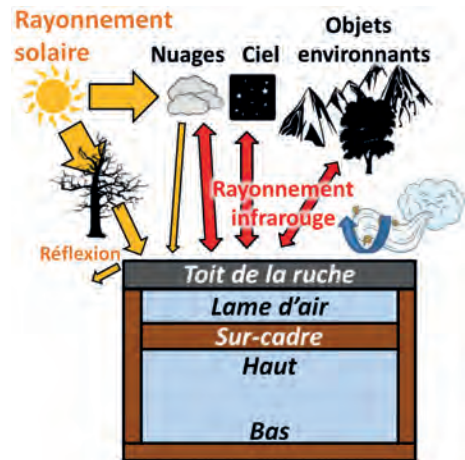
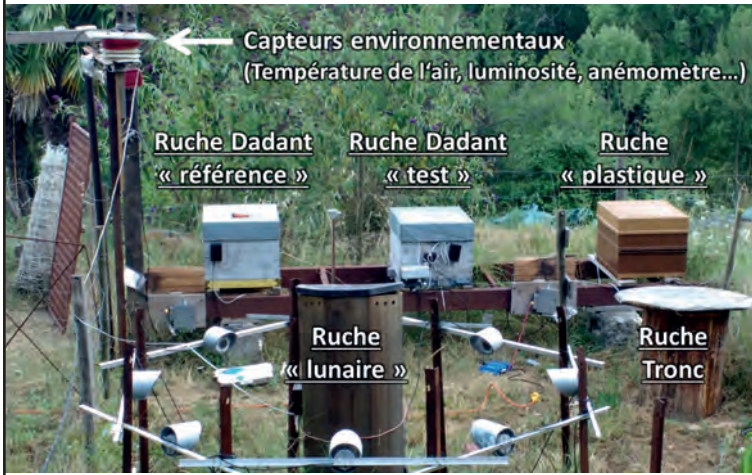


Figure 2 : Transferts thermiques entre le toit de la ruche et l'environnement

2. La température dans la ruche Dadant

La température d'une ruche évolue en permanence du fait des variations météorologiques. Ces variations sont exacerbées dans une ruche vide du fait de l'absence d'inertie thermique à l'intérieur (cadres, miels...). L'inertie thermique joue en effet le rôle « d'amortisseur » en s'opposant aux variations rapides de température.

La Figure 3 présente l'évolution de la température en plusieurs points d'une ruche Dadant. Nous proposons 6 points d'attention (numérotés de 1 à 6 sur la Figure 3 par ordre d'importance) :

Au mois de mars, lors d'une journée ensoleillée, le toit atteint la température de 50 °C vers 12h00 (point 1, ligne grise claire). À mesure que l'on descend (sur-cadre → haut du corps → bas du corps → sous la ruche), la température diminue. Le soleil est ici clairement la source majeure des variations de température et l'alternance jour/nuit est manifeste. Au mois d'août, le toit atteint 70 °C à 12h00 et la température en haut du corps de la ruche atteint 53 °C (point 2). En présence d'une colonie et de cadres (remplis), la masse thermique de ces derniers s'opposerait à une montée aussi soudaine de la température. Notons que la température extérieure n'est ici que de 30 °C. En cas de canicule intense, avec de l'air à 40 °C, toutes les températures seraient approximativement 10 °C plus élevées. L'inertie thermique de la ruche et de son contenu aura alors un rôle majeur dans la survie de la colonie.

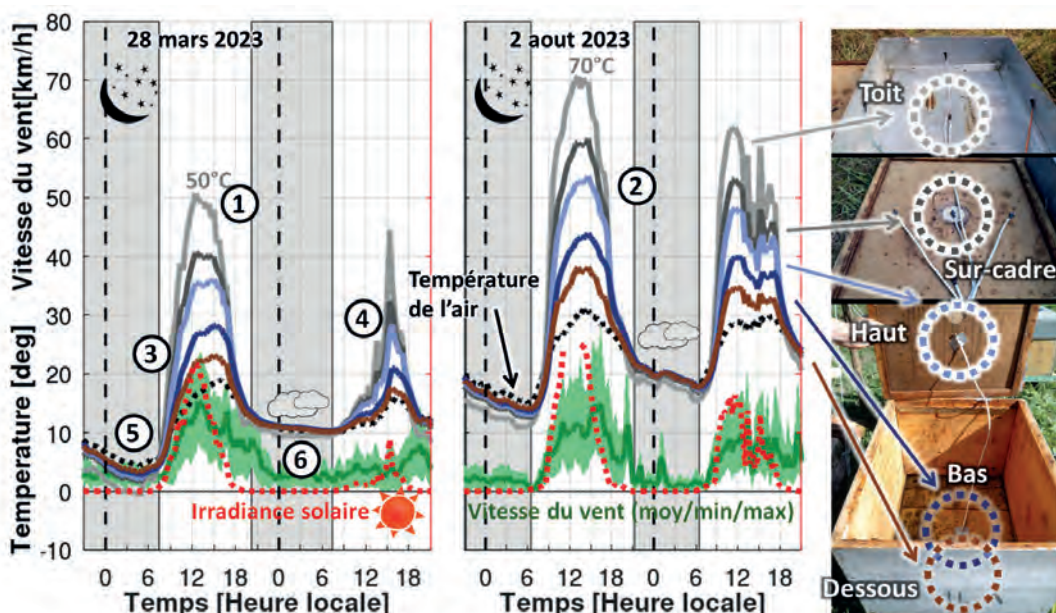


Figure 3 : Températures à différentes positions dans une ruche Dadant en mars (à gauche), en août (à droite). La position des capteurs est indiquée sur les photos à droite.

Le point 4 montre la grande réactivité de la ruche aux conditions extérieures. Le point 5 met en lumière les échanges radiatifs entre la ruche et l'atmosphère. La nuit, le toit de la ruche est ainsi 5 °C plus froid que l'air ambiant (courbe noire en pointillés). Ce phénomène est caractéristique d'un ciel clair : en absence de nuage, l'atmosphère émet peu d'infrarouge du fait de sa basse température et apparaît froide : la ruche, et en particulier le toit, émet plus de rayonnement infrarouge qu'il n'en reçoit et donc se refroidit.

dit. Ce phénomène dépend du revêtement. Il sera moins fort si le toit de la ruche est neuf et s'accroît à mesure que le toit s'oxyde ou se salit. D'autres facteurs peuvent limiter ou supprimer ce refroidissement nocturne : l'emplacement (ex. : la ruche est sous un arbre) ou les conditions météorologiques (des nuages sont présents). Le point 6 montre les températures nocturnes de la ruche en présence de nuages.

3. Quels effets des revêtements sur la température au sein de la ruche ?

Afin de mesurer l'influence des revêtements, nous avons utilisé deux ruches Dadant identiques : une ruche dite « référence » et une ruche « test » (voir encadré). Chaque semaine, nous avons modifié cette dernière en changeant un revêtement (*Figure 4*). Sur les configurations 1 à 3, les parois latérales ont été peintes respectivement en noir, en blanc, et en Thermopeint®. L'usage d'un film plastique s'impose ici pour pouvoir remettre la ruche dans son état initial. L'idéal est de peindre directement les parois, mais afin de pouvoir tester plusieurs peintures avec la même ruche, nous avons en réalité peint un film plastique que nous avons collé sur la ruche. S'il est correctement collé, un tel film plastique ne modifie pas la résistance thermique des parois. Concernant les configurations 4 à 6, le toit est respectivement recouvert d'une peinture noire, blanche et remplacé par un toit multicouche isolé (toit polymère + lame d'air ventilée + 2 cm d'isolant aluminisé, fabriqué par la société BALBImax). Ici, l'utilisation d'un film plastique sur la fine tôle galvanisée n'est pas possible car il perturberait excessivement le comportement thermique du toit. Deux toits ont donc été peints.

Prenons par exemple la configuration (5) du toit blanc : pour mieux visualiser l'effet du revêtement, on calcule l'écart de température entre la ruche et l'air extérieur. La *Figure 5* compare ainsi la ruche « référence » et la ruche « test ». L'écart de température est négatif (point 1) lorsque la température du capteur est inférieure à la température de l'air extérieur. On constate (point 2) que la peinture blanche a considérablement réduit la température de l'ensemble de la ruche : le toit a perdu 27 °C en pleine journée. Le corps de la ruche a quant à lui perdu de 4 °C à 12 °C (point 3). Au point 4, on constate que la peinture blanche n'a pas d'effet pendant la nuit puisque la différence de température entre les deux ruches est nulle. Remarquons enfin que l'anomalie de température visible entre 7h et 9h (point 5) n'est pas due à la peinture blanche car nous l'avons aussi observée avant de peindre le toit. Cette anomalie provient d'une perturbation de l'environnement thermique et vraisemblablement de l'ombrage au petit matin de la ruche « référence » sur la ruche « test ».

Rappelons que les ruches ici sont vides et donc très réactives face aux modifications thermiques. Si nous remplaçons le toit, nous verrons un effet notable sur les températures dans l'heure suivante. Dans le cas d'une ruche pleine, l'effet de la peinture blanche sera difficile à mesurer immédiatement car l'inertie thermique de la ruche va amortir toutes les variations. Il faudra plusieurs jours avant que la peinture fasse pleinement effet. Il sera dès lors difficile de distinguer l'effet de la météo et l'effet de la peinture. Comment alors calculer l'effet de la peinture sur une ruche pleine à partir des résultats obtenus avec une ruche vide ? On calcule la moyenne sur une journée. On en conclut alors qu'en été dans les Cévennes, la peinture blanche sur le toit abaisse les températures de 1.5 °C (en bas) à 4.5 °C (en haut de la ruche).

Les parois



1) Film noir



2) Film blanc



3) Film thermopeint

Le toit



4) Toit noir



5) Toit blanc



6) BALBImax (isolé)

Figure 4 : Ensemble des configurations de ruche testées

Intéressons-nous maintenant aux 5 autres configurations. Comme précédemment, la *Figure 6* montre la différence de température entre la ruche « test » et la ruche « référence » pour chaque configuration.

Lorsque le soleil est « rasant » (par rapport à la paroi de la ruche), davantage de rayonnements sont réfléchis comparé au toit brut non poncé de la ruche « Référence ». Il est même probable que la peinture noire réfléchisse davantage que le bois brut dans ces conditions. L'utilisation d'un film provoque un changement considérable de l'état de surface. Si la peinture était appliquée directement sur les parois non poncées, les températures pourraient légèrement augmenter puisque la réflexion serait plus faible du fait des aspérités.

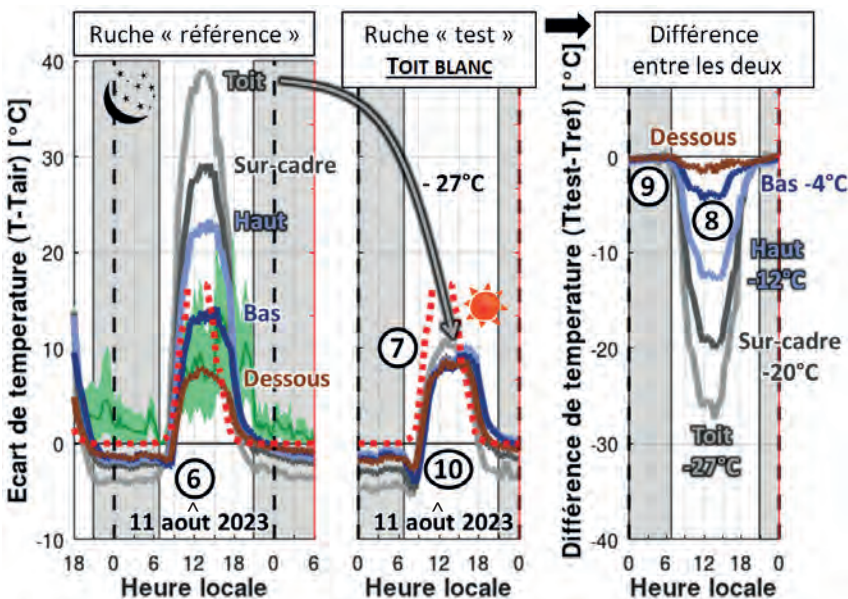


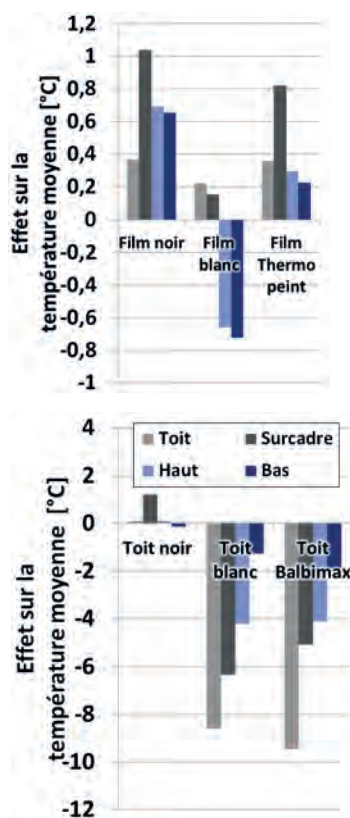
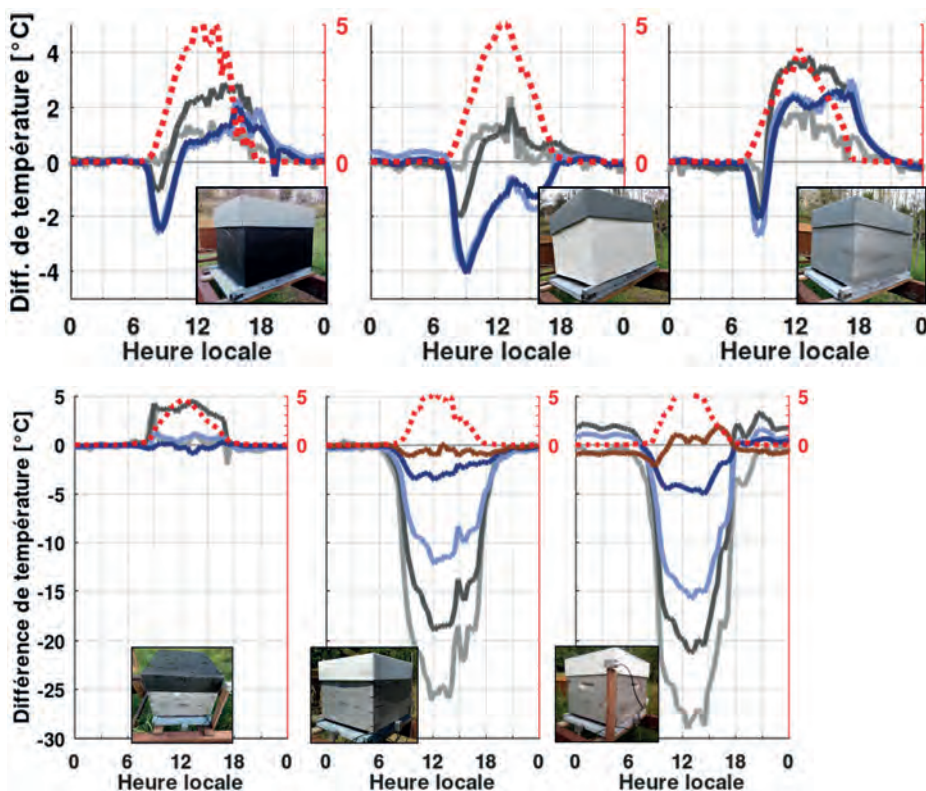
Figure 5 : Comparaison entre la ruche « référence » (à gauche), la ruche « test » (au centre) avec un toit blanc et la différence de température entre les deux (à droite)

Les films sur les parois - Un premier constat s'impose : **peindre les parois latérales n'a que peu d'effet comparé à peindre le toit.** Le film blanc permet bien de baisser la température de la ruche entre 7h et 12h mais l'effet reste inférieur à 4 °C. On note aussi que la température du toit et du couvre-cadres augmente légèrement vers 12h. Toutefois, l'effet n'est pas significatif et peut être provoqué par d'autres perturbations, comme une différence structurelle entre les 2 ruches (épaisseur des parois ou matériaux légèrement différents, etc.). Les films noir et Thermo peint® semblent provoquer une légère hausse de température en moyenne (voir histogramme). Entre 8h et 9h, on observe une baisse de la température de 2 °C.

Peinture sur le toit - Pour le toit blanc, nous retrouvons les résultats commentés précédemment. Le toit BALBImax donne des résultats comparables : le haut de la ruche voit sa température baisser de 15 °C autour de 12h (contre 12 °C pour le toit blanc). Toutefois, ce toit provoque une augmentation de quelques degrés la nuit si bien qu'en moyenne sur une journée, l'histogramme à droite montre que les deux toits ont un effet très similaire sur le corps de la ruche. Comment expliquer que le toit BALBImax augmente la température de la ruche de 2 à 3 °C la nuit ? La couche d'isolant (comparable au polystyrène) incluse dans ce toit s'oppose à tout transfert d'énergie si bien que l'effet refroidissant du rayonnement infrarouge avec le ciel est bloqué.

Le toit noir quant à lui ne modifie absolument pas les températures dans la ruche. Ce résultat (contre-intuitif ?) révèle simplement les propriétés radiatives particulières de la tôle galvanisée (et des métaux en général). Remarquons aussi que le couvre-cadres subit une augmentation de 4 °C mais il s'agit sans doute d'une perturbation liée au toit utilisé. Il est possible que, malgré nos précautions, la face intérieure de ce toit soit davantage oxydée que les autres, ce qui favorise l'échauffement du sur-cadre par rayonnement infrarouge. Des mesures complémentaires seraient nécessaires ici.

Figure 6 (histogramme) : Influence des différentes configurations sur la température d'une ruche Dadant



Comment expliquer l'effet si important de la peinture blanche par rapport à un toit en tôle (acier) galvanisé ou l'absence d'effet de la peinture noire ?

Pour connaître l'effet d'un revêtement sur la température interne d'une ruche (à la hausse ou à la baisse), il faut mettre en balance l'absorption solaire qui va chauffer le revêtement (Figure 2) et l'émission infrarouge du revêtement qui va généralement le refroidir (si l'environnement infrarouge est plus froid). Plus précisément, il s'agit de comparer le coefficient de d'absorption des rayonnements visibles et le coefficient d'émission (appelé « émissivité ») des rayonnements infrarouges. Ces mesures ont été réalisées au laboratoire Cemhti à Orléans grâce à deux spectromètres équipés d'une sphère intégrante, l'un pour les rayonnements infrarouges et l'autre pour les rayonnements visibles). Ces mesures feront l'objet d'une prochaine publication, cependant nous pouvons en extraire les informations principales suivantes.

Les résultats sont les suivants : seulement 10% du rayonnement solaire est absorbé par la peinture blanche. Les 90% restants sont réfléchis dans l'environnement. À l'inverse, la peinture noire absorbe 95% du rayonnement solaire et réfléchit 5%. Dans l'infrarouge, les peintures blanche et noire sont identiques et ont une émissivité proche de 1 (le maximum possible). Cela signifie que les échanges d'énergie par rayonnement infrarouge avec l'environnement sont maximums. Si l'environnement de la ruche est plus froid, le rayonnement infrarouge contribue à refroidir la ruche (et inversement, à la réchauffer). En pratique, les choses sont plus complexes puisque l'environnement n'a pas une unique température : le sol, la végétation, la ruche voisine, les nuages, le ciel, tous ces éléments ont une température propre, c'est pourquoi on développe des modèles informatiques pour prendre en compte cette complexité. Terminons avec la tôle galvanisée : elle absorbe 60% du rayonnement solaire mais n'émet aussi que 65% du rayonnement infrarouge de la peinture noire. Le rapport des 2 valeurs est proche de 1 ($\approx 60/65$). Il est en de même pour la peinture noire ($95/95 \approx 1$) si bien que les deux revêtements exposés au soleil, et en l'absence de vent, ont sensiblement la même température.

Financiers : Better-B, Fondation Agropolis

Remerciements : Aude VALADE (chercheuse au CIRAD, UMR Ecologie Fonctionnelle et Biogéochimie des Sols et Agroécosystèmes) pour les données relatives aux simulations climatiques. Olivier ROZENBAUM et Domingos De SOUSA MENESES (chercheurs au CEMHTI, UPR3079 CNRS, Site Haute Température, Orléans) pour les absorptions spectrales des matériaux.

Ce travail a été soutenu par le projet Better-B, qui a reçu un financement de l'Union européenne, du Secrétariat d'État suisse à l'éducation, à la recherche et à l'innovation (SERI) et de UK Research and Innovation (UKRI) dans le cadre de la garantie de financement Horizon Europe du gouvernement britannique (numéro de subvention 10068544)



4. En conclusion

Une ruche est soumise à des variations météorologiques importantes et la température d'une ruche ne dépend pas que de l'air extérieur mais aussi (et plus encore) du rayonnement.

Pour développer une isolation efficace, il est important de savoir de quoi on veut l'isoler : du soleil ou de l'air froid hivernal ? Les réflexions et les méthodes peuvent être différentes. Dans cette étude, nous avons voulu mettre en lumière la propagation de la chaleur par rayonnement (solaire et infrarouge). Nous avons vu comment le revêtement peut réduire ou augmenter l'absorption solaire et le rayonnement infrarouge avec l'environnement et par voie de conséquence, la température interne de la ruche.

Un toit peint en blanc a un effet très significatif sur la température (-4.5 °C en moyenne en haut du corps). À l'inverse, un toit (en tôle galvanisée neuve ou oxydée) est sensiblement équivalent à un toit peint en noir.

Les parois latérales de la ruche ont un effet plus marginal. Peintes en blanc, elles abaissent la température moyenne de 0.6 °C. Comme les modifications sont cumulatives, peindre le toit et les parois en blanc abaissera la température moyenne de la ruche d'environ 5 °C.

Il semble contreproductif d'ajouter un isolant thermique solide sous le toit pour isoler la ruche en été. L'air est déjà un très bon isolant thermique. En journée l'été, le toit sera (beaucoup) plus chaud que le couvre-cadres et cette lame d'air sera un très bon isolant thermique. La nuit, ce sera l'inverse : le toit sera plus froid si bien que l'air sous le toit se mettra en mouvement, du fait de la convection naturelle, ce qui favorisera le refroidissement de la ruche. Cela s'ajoutera au rayonnement infrarouge entre le toit et le couvre-cadres. Toutefois, cette remarque ne vaut qu'en été puisqu'en hiver, le toit doté d'un isolant solide sera plus performant.

Les chercheurs ont aussi réalisé des mesures expérimentales comparant différents types de ruches : ruche Dadant, ruche tronc, ruche lunaire (ruche de biodiversité) (cf. Encart description du rucher expérimental p.10). Ceci pourra donner lieu à un prochain article. Les premiers résultats ont été officiellement présentés lors des journées de l'Ada Occitanie, fin novembre. ●