



**HAL**  
open science

## **Biomimétisme et impression 3D : que peut-on apprendre des abeilles ?**

Hajar Arrazki, Baptiste Beaumal, Emmanuel Chailleux, Xavier Chateau,  
Vincent Gaudefroy, Jean Michel Torrenti

► **To cite this version:**

Hajar Arrazki, Baptiste Beaumal, Emmanuel Chailleux, Xavier Chateau, Vincent Gaudefroy, et al.. Biomimétisme et impression 3D : que peut-on apprendre des abeilles ?. DiXite3dPrint : Fabrication Additive pour la Construction. Quelle Actualité Nationale ?, École des Ponts ParisTech, Jan 2019, Champs-sur-Marne, France. hal-02119411

**HAL Id: hal-02119411**

**<https://enpc.hal.science/hal-02119411>**

Submitted on 3 May 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Biomimétisme et impression 3D : que peut-on apprendre des abeilles ?**

### *Biomimetics and 3D printing: what could we learn from bees?*

**Hajar Arrazki<sup>2</sup>, Baptiste Beaumal<sup>1</sup>, Emmanuel Chailleux<sup>1</sup>, Xavier Chateau<sup>2</sup>,  
Vincent Gaudefroy<sup>3</sup>, Jean Michel Torrenti<sup>4</sup>**

1 : IFSTTAR, MAST, MIT, F-44344 Bouguenais, France  
e-mail : emmanuel.chailleux@ifsttar.fr

2 : Université Paris-Est, Laboratoire Navier (UMR 8205), CNRS, Ecole des Ponts ParisTech, IFSTTAR,  
F-77455 Marne-la-Vallée, France  
e-mail : [xavier.chateau@enpc.fr](mailto:xavier.chateau@enpc.fr)

3 : IFSTTAR, MAST, MIT, F-44344 Bouguenais, France  
e-mail : vincent.gaudefroy@ifsttar.fr

4 : Université Paris-Est, MAST, IFSTTAR, F-77447 Marne-la-Vallée, France  
e-mail : jean-michel.torrenti@ifsttar.fr

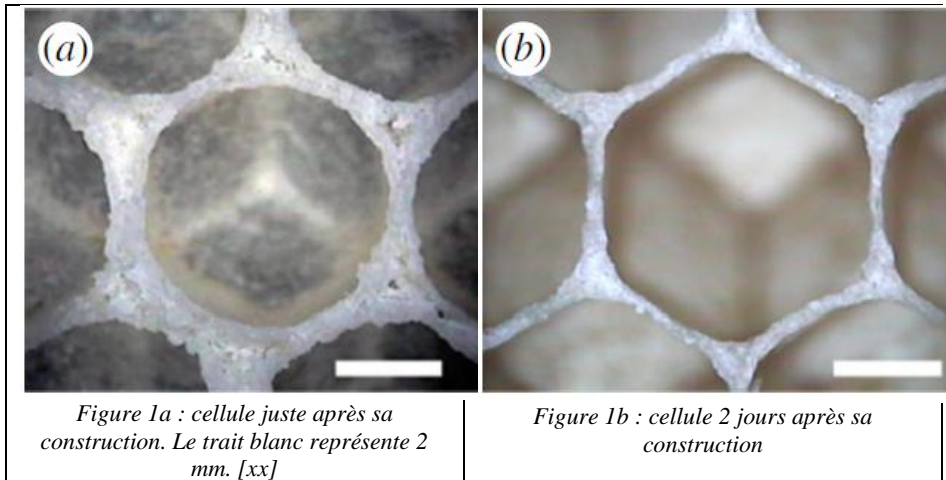
La construction additive connaît un développement très rapide y compris dans le domaine des constructions en béton [1, 2]. Pour le moment, la majorité des applications utilise l'extrusion d'un matériau cimentaire disposé en couches au moyen d'un bras robotisé pourvu d'une buse. D'autres techniques sont cependant envisageables comme l'utilisation d'une technologie de type jet d'encre et la collaboration d'essaim de robots (swarm approach [1]).

L'observation de la nature, le biomimétisme, peut souvent aider à la compréhension des phénomènes et faire émerger des solutions constructives [3]. Dans le cas d'une fabrication additive au moyen d'un essaim de robots, il apparaît intéressant de regarder comment les abeilles font pour construire les alvéoles des ruches. En effet, c'est clairement une construction additive collaborative qui présente plusieurs caractéristiques intéressantes :

- Les alvéoles des ruches sont un remarquable exemple de structures optimisées. On peut en effet montrer très facilement que le pavage d'un espace avec une figure géométrique régulière de surface donnée est optimal avec un hexagone régulier. C'est cette forme qui conduit à l'usage optimal des matériaux. Ce résultat a même été étendu à des formes quelconques de pavage [4].
- Les abeilles cirières déposent des particules de cire comprises entre 10 et 100 µm pour construire les alvéoles. Au départ ces alvéoles sont cylindriques (c'est la forme la plus simple à construire pour l'abeille, figure 1a) et les parois sont poreuses. Mais, au bout de 48h, on peut voir (figure1b) que la porosité diminue et que les alvéoles ont pris une forme hexagonale [5]. Toutefois, la manière dont s'effectue le passage de la forme cylindrique aux hexagones n'est pas encore tranchée. Plusieurs hypothèses sont mises en avant : des effets mécaniques exercés par les abeilles sur la structure, l'effet des tensions de surface sur un matériau visco-élastique avec un couplage avec la température, avec ou pas des effets de composite solide-liquide [5].

Le projet BioAdd cherche donc à la comprendre la construction des alvéoles des ruches dans l'objectif d'une possible transposition à la construction additive. Ce projet comprend deux parties : une première expérimentale organisée autour de la caractérisation rhéologique de la

cire et des propriétés interfaciales. Les propriétés viscoélastiques linéaires en fonction de la température et de la fréquence ont été mesurées à l'aide d'un dispositif cône-plan thermo-régulé et les propriétés interfaciales à l'aide d'un tensiomètre à goutte thermo-régulé. La seconde partie, utilisant les résultats expérimentaux précédents, a montré qu'il paraît difficile d'expliquer le phénomène de transformation des alvéoles dans le cadre d'une modélisation thermomécanique du comportement de la cire prenant en compte l'action des tensions de surface régnant aux interfaces cire-air et les propriétés thermomécaniques de la cire. Un phénomène de frittage lié à la température à l'intérieur des ruches paraît davantage expliquer le phénomène.



En conclusion, les premiers résultats du projet BioAdd donnent une possible explication à la transformation naturelle des alvéoles des ruches. La transposition de ces résultats à la construction additive demandera encore un effort de recherche à la fois sur les matériaux et sur les méthodes constructives elles-mêmes.

#### Remerciements

Le projet BioAdd, soutenu par l'I-SITE FUTURE, a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'ANR au titre du programme investissements d'avenir (ANR-16-IDEX-0003).

#### Références

- [1] N. Labonnote, A. Rønquist, B. Manum, P. Rüther, Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities, *Automation in Construction*, 72, 2016.
- [2] T. Wangler et al., Digital concrete: opportunities and challenge, *Rilem technical letters* 1:67-75, 2016
- [3] Knippers and Speck, Design and construction principles in nature and architecture, *Bioinspiration and Biomimetics*, 7 (2012), doi:10.1088/1748-3182/7/1/015002
- [4] Hales, the honeycomb conjecture, *Discrete Comput Geom* 25:1-22, 2001
- [5] Karihaloo et al., Honeybee combs: how the circular cells transform into rounded hexagons, *R Soc Interface* 10: 20130299. Doi: 10.1098/rsif.2013.0299, (2013).