

Contexte

A l'heure actuelle, 1/3 de la population mondiale habite en Asie du Sud-est dans des conditions climatiques difficiles. Ces zones sont généralement soumises à :

- de fortes humidités (>80%) ;
- des températures moyennes avoisinant les 30°C ;
- de très fortes précipitations en été ;

Dans un contexte de développement durable, la bio-économie prend une ampleur croissante, le bio-mimétisme est par conséquent une source d'innovation grandissante. Ainsi le projet Air Roof intervient en proposant une toiture biomimétique. Par définition, ce terme désigne un processus d'innovation et une ingénierie. Il s'inspire des formes, matières, propriétés, processus et fonctions du vivant.

PROBLEMATIQUE

ETUDE ET CONCEPTION D'UNE TOITURE BIOMIMETIQUE

BIOMIMETISME

Par définition, ce terme désigne un processus d'innovation et une ingénierie. Il s'inspire des formes, matières, propriétés, processus et fonctions du vivant.

Le biomimétisme comporte trois niveaux différents :

- **un niveau morphologique**: Copie les formes et structures d'un élément du vivant, dans un but alliant esthétique et/ou fonctionnalité.
- **un niveau fonctionnel**: Imité les processus naturels de conception de la nature
- **un niveau écosystémique**: S'inspire du fonctionnement d'un écosystème, en copiant les relations qu'entretiennent ses différents éléments entre eux, assurant de ce fait sa pérennité.

L'objectif serait de parvenir à combiner ces 3 technologies pour créer un élément de toiture biomimétique possédant des propriétés d'aération, d'hydro-responsivité et d'étanchéité.

NOTRE BIOINSPIRATION

LA POMME DE PIN

Pour se protéger des agressions extérieures et protéger ses graines, la pomme de pin change de morphologie lors de variations de climat.

Dans un environnement humide celle-ci se ferme, tandis que dans un environnement sec, ses écailles s'ouvrent pour libérer ses graines.

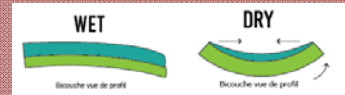
Cette action d'ouverture/fermeture est totalement réversible.



TECHNOLOGIE BIOMIMETIQUE PROPOSEES

L'écaille d'une pomme de pin est composée de deux couches de même matière et de structures différentes :

- une couche extérieure, ou couche active ;
- une couche intérieure, ou couche passive.



Ces deux couches ont leurs fibres orientées dans des sens différents. Le retrait de la couche active est plus important que celui de la couche passive, impliquant une action mécanique d'ouverture. Lors du séchage, cette couche se rétracte. Quand l'humidité ambiante augmente, l'écaille se gonfle et se referme.

Afin de mimer cette technologie, nous disposons de tuiles d'épaisseur 0.5 mm de bicouche érable/okoumé, plans de coupe orientés perpendiculairement. Nous avons essayé de mettre en évidence la réponse à l'humidité de ces tuiles, disposées sur une toiture, et d'étudier la réponse en fonction des différentes formes. D'autres plaques de bois de fournisseurs différents sont en cours d'acheminement.

Les propriétés de canalisations de l'eau de la feuille de thuya seraient intéressantes à utiliser afin d'éliminer un maximum l'eau en cas de fortes pluies, et protéger nos tuiles hydro responsives. Il est possible de modéliser sa géométrie afin de réaliser des tuiles en impression 3D.

D'après les travaux réalisés par Rowan M. von Spreckelsen et al : Bioinspired Breathable Architecture for Water Harvesting, il est possible d'évacuer en superposant deux tuiles 95 % de l'eau qui tombe à sa surface.

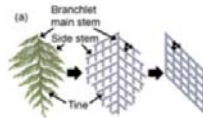
Pour l'impression, nous utilisons un matériau biodégradable et biosourcé, le PLA (poly lactic acid). Les paramètres de fabrication sont les suivants :

- Taille des pores : 4mm
- Angle des pores : 45° et 135°
- Angle de la tuile avec la surface : 45°

Le rôle de cet ensemble serait donc de venir s'adapter à la toiture principale comme un élément de sur toiture.

LA FEUILLE DE THUYA

Le thuya est un conifère qui présente des propriétés remarquables de canalisation de l'eau. D'après l'article *Bioinspired Breathable Architecture for Water Harvesting* écrit par R.M. von Spreckelse, la morphologie du thuya est biomimée afin de reproduire son comportement à l'écoulement d'eau.



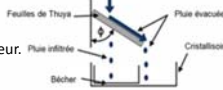
ESSAIS EXPERIMENTAUX ET ANALYSES

LA FEUILLE DE THUYA

La feuille de thuya a des caractéristiques d'étanchéité importante (>95 %)

Plusieurs test de simulation de pluie ont été expérimentés pour déterminer l'étanchéité de notre toit.

La figure ci-contre présente un simulateur.



Le tableau ci-dessous synthétise l'ensemble des expériences menées pour différents débits d'eau et différentes configuration de tuile de thuya.

Etanchéité du toit en fonction de différentes précipitations

| | Expérience | Précipitation | | Eau infiltrée | | Eau évacuée | |
|--|-----------------------|-------------------------------|----|---------------|----|-------------|--|
| | | L/min/m² | % | % | % | | |
| Ciel Mouillé 2 feuilles non espacées | Expérience 1 | 0.144 | 69 | 31 | | | |
| | Expérience 2 | 0.344 | 20 | 80 | | | |
| | Expérience 3 | 0.517 | 15 | 85 | | | |
| Ciel Mouillé 3 feuilles espacés de 4mm | Expérience 1 | 1.633 | 5 | 95 | | | |
| | PUBLI | Débit d'eau de la publication | 23 | 5 | 95 | | |
| DOUCHE | Débit d'eau très haut | 264 | 5 | 95 | | | |

Conclusion

La configuration optimale est dans notre cas 3 feuilles de thuya espacées de 4mm une à une.

VARIDIM

L'appareil VARIDIM© permet de mesurer la variation dimensionnelle du matériau sous une humidité contrôlée.

Résultats obtenus

Érable couché avec PBAT (sans couchage): la variation de longueur en SM de l'érable est de 0,3% et 0,5% en ST.

VARIMASS

L'appareil VARIMASS© permet de mesurer la prise ou la perte de masse d'un matériau sous une humidité contrôlée. Les échantillons ont été étudiés à HR 80% durant 4h

Résultats obtenus

| Dimension | masse (g) | Prise d'eau (en mg) |
|-----------|-----------|---------------------|
| 6x12cm | 1,09 | 65 |
| 10x20 | 2,9 | 120 |

Conclusion

La variation de masse d'eau de l'échantillon (80%HR) est de 6,1%. Le coefficient de retrait $\alpha = \Delta H / e$ du bois d'érable en SM est de 5,6% contre 7,4% en ST.

CURVE

L'appareil de mesure du curve permet d'étudier le rayon de courbure du matériau pour une humidité relative donnée en mm.

Deux conditions d'humidité ont été étudiés: 20% et 50%
Les matériaux testés sont des bicouches essence de bois/PBAT

| humidité relative (en %) | RAYON DE COURBURE (mm) | | POURCENTAGE D'OUVERTURE | |
|--------------------------|------------------------|-------|-------------------------|--------|
| | HR 50 | HR 20 | HR 50 | HR 20 |
| ERABLE WET (moyenne) | 32 | 20 | 89,33% | 93,33% |
| ERABLE DRY (moyenne) | 192 | 22 | 36,00% | 90,67% |
| BOULEAU WET (moyenne) | 54 | 28 | 82,00% | 92,67% |
| BOULEAU DRY (moyenne) | 176 | 32 | 41,33% | 89,33% |

L'exploitation des rayons de courbures nous permet d'avoir un pourcentage d'ouverture de tuile lors d'un retrait à HR 20%.

Conclusion: La configuration Erable/PBAT couché en humide donne un meilleur retrait.