

# Les Fiches du **BIOMIM' CITY LAB**

Des outils d'aide à la  
conception d'habitats  
bio-inspirés & régénératifs  
pour la maîtrise d'oeuvre  
& la maîtrise d'ouvrage.

## Réinventer la ville par & pour le vivant

Notre capacité à réinventer des espaces de vie propices à la vie dépendra de notre capacité à penser, créer et agir ensemble. S'adapter au réchauffement climatique, accueillir la biodiversité, accompagner une démarche de résilience des territoires, repenser le cycle de l'eau en milieu urbain... sont des actions que souhaite porter le Biomim' City Lab.

Conçues comme des guides accessibles à tous, les fiches « thématiques » du Biomim' City Lab accompagnent MOA et MOE pour une transition écologique au sein des équipes de conception.

2023



## Une série de documents du Biomim'City Lab

### Édition & rédaction, Ceebios :

- Cécile Dupuch
- Chloé Lequette
- Delphine Mathou
- Lucile Roux

### Collaboration :

- Béchu & Associés - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- Ceebios - *pilote & membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- Cerema
- Comité Ouvrier du Logement
- Eiffage - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- Elan-France - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- In Situ Architecture - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- Mu Architecture
- Nobatek/INEF4 - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- Rougerie+Tangram Architectes - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*

*Toute reproduction interdite sauf autorisation.*

# 1 ASSURER UN CONFORT D'ÉTÉ

Quelles pistes nous offre la bio-inspiration pour des bâtiments moins énergivores, adaptés au réchauffement climatique ?



## Objectif

Explorer le potentiel du vivant pour répondre à l'enjeu du confort d'été dans le bâtiment.

## Introduction

Dans un contexte d'accélération et d'intensification des vagues de chaleur, réduire les consommations d'énergie finale et émissions de gaz à effet de serre devient une nécessité urgente. Il convient de s'intéresser à des moyens plus sobres et efficaces afin de favoriser le confort d'été dans le bâtiment.

De son côté, le vivant a éprouvé de nombreuses stratégies sur plus de 3,8 milliards d'années pour réguler la température au sein d'un habitat ou d'un organisme. L'activité biologique de tous les organismes (animaux, végétaux, champignons...) est impactée par la température.

## Définition

Le **biomimétisme** est à la fois une philosophie, une approche scientifique rigoureuse et une méthode qui consiste à s'inspirer des modèles biologiques pour concevoir des solutions innovantes répondant aux problématiques environnementales.

## Quelques chiffres

Le secteur du bâtiment consomme **44% de l'énergie finale** en France ([www.ecologie.gouv.fr](http://www.ecologie.gouv.fr), 2020).

La **climatisation** est responsable d'environ **5% des gaz à effets de serre** et de **8,5% de la consommation d'énergie mondiale** (ADEME, 2021).

L'utilisation des **climatiseurs** engendre une **augmentation des températures de 0,25 et 1°C**. En 2030, s'il y a deux fois plus de climatiseurs, l'augmentation serait de 0,5 à 3°C supplémentaires à Paris (ADEME, 2021).

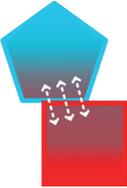
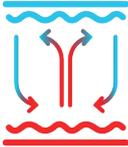
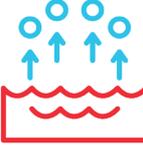
En 2020, **25% des ménages** et **40% des entreprises tertiaires** étaient équipés d'un climatiseur en France (ADEME, 2021).

Les **canicules** seront, d'ici 2050, **deux fois plus fréquentes et/ou intenses** à cause du changement climatique provoqué par l'activité humaine (CNRS, 2021).

L'augmentation de température a pour corollaire une augmentation des **risques sanitaires** indirects et directs — noyades, crampes, hyponatrémie, déshydratation, problèmes respiratoires... ([www.sante.gouv.fr](http://www.sante.gouv.fr), 2021).

En 2021, durant les vagues de chaleur, **1 décès sur 6** était en excès par rapport à la mortalité attendue ([www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr)).

# LES BASES DE LA THERMODYNAMIQUE

<p><b>Conduction</b></p>  <p>La chaleur se transmet dans la matière par contact entre les atomes</p>	<p><b>Convection dans un fluide</b></p>  <p>Le mouvement d'un fluide (air ou eau) au contact d'une paroi engendre un transfert de chaleur</p>	<p><b>Rayonnement</b></p>  <p>Un matériau ou une paroi émet un rayonnement, absorbé ou réfléchi par les autres parois rencontrées</p>	<p><b>Changement d'état</b></p>  <p>Un changement d'état de la matière est accompagné d'un transfert d'énergie thermique</p>
---	--	---	---

## LES STRATÉGIES OBSERVÉES DANS LE VIVANT

### 1. Réduire

Diminuer la température du métabolisme et ajuster sa température à l'environnement

En **dissipant l'énergie thermique** interne grâce à une grande surface d'échange spécifique et un fluide caloporteur, par convection.

*Exemple : le lièvre, le toucan, l'éléphant.*

En **générant des écoulements thermiques** grâce à un rayonnement différentiel qui induit un phénomène de convection.

*Exemple : le zèbre, l'écorce du séquoia, les plantes xérophytes à côtes.*

### 2. Conserver

Rester froid, s'isoler

En **limitant la conduction** grâce à une petite surface d'échange spécifique ou en compartimentant le contenu.

*Exemple : le manchot, le rhododendron.*

En **isolant** grâce à une couche de graisse ou d'air piégé.

*Exemple : l'escargot du désert, le caribou, l'opuntia à poils*

En **réfléchissant** grâce à une couleur claire.

*Exemple : la fourmi argentée, le dromadaire, les feuilles.*

En **diffusant** grâce à un écran thermique (diffusion dans le réseau de poils).

*Exemple : l'ours polaire.*

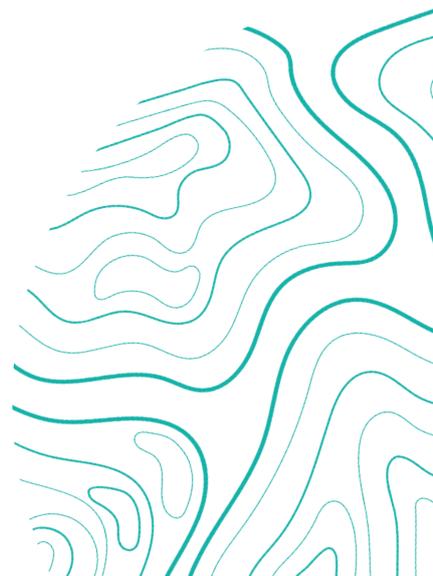
### 3. Dissiper

Les excédents de chaleur

En **réalisant des changements d'état** pour provoquer une réaction exothermique (processus physico-chimique produisant de la chaleur).

*Exemples pour dégager de la chaleur :*

- Les stomates permettent l'évapotranspiration de la plante et la capture du  $\text{CO}_2$  environnant. La plante rafraîchit l'air autour d'elle en régulant l'hygrométrie ambiante.
- L'évaporation de la sueur chez l'humain rafraîchit la peau et fait baisser la température du corps.



# ZOOM SUR DES MODÈLES BIOLOGIQUES D'INTÉRÊT

## Le vivant nous inspire...

Les êtres vivants soumis à de fortes chaleurs dans leur milieu de vie naturel sont très bien adaptés aux contraintes du réchauffement climatique.

Voici quelques exemples de modèles biologiques inspirants et des modes d'application de leur stratégies, pour des habitats bio-inspirés assurant un confort en été.

## 1 - Les plantes des milieux arides



L'oyat, plante des dunes adaptée au climat sec

### Stratégie 1, morphologie

Les cactus se développent selon une morphologie globulaire leur permettant de stocker l'eau. Ces formations compactes limitent la surface exposée au soleil et les pertes hydriques. D'autres plantes, comme l'oyat, se recroquevillent, créant un microclimat et des zones d'ombre.

### Stratégie 2, structure

De nombreuses plantes des milieux arides présentent des poils à la surface des feuilles qui permettent de maintenir une atmosphère humide à proximité de la feuille (à quelques millimètres). Cette structure protège la plante des températures diurnes élevées et nocturnes très basses, caractéristiques des milieux désertiques.

### Stratégie 3, propriétés optiques

Certaines plantes ont développé une couleur argentée sur la face externe de leurs feuilles pour refléter la lumière du soleil et éviter l'accumulation de chaleur.

## Stratégie 4, cire protectrice

Les plantes cailloux, ou lithops, se protègent par une couche translucide de cellules. Cette cire marbrée filtre la chaleur et leur permet de se fondre dans leur habitat par mimétisme.



Lithop, plante caillou

## Applications possibles



Arrêt des radiations solaires  
Création de zones d'ombre



Filtre des rayons UV  
et de la lumière naturelle

## 2 - Les arbres



### Stratégie 1, propriétés optiques

Les arbres des climats chauds réfléchissent une plus grande part de la lumière incidente que les arbres des climats froids. Ils maximisent les émissions de chaleur par rayonnement grâce aux tanins.

### Stratégie 2, structure

L'écorce des arbres est formée de couches de matériaux isolants (30-50 cm d'épaisseur pour les séquoias résistant au feu).

La présence d'une lame d'air entre les plaques d'écorce de certains arbres réduit la conduction de chaleur et les protège des températures élevées.

### Stratégie 3, morphologie

Dans les canopées, la réflexion de la lumière incidente et les turbulences de flux d'air rafraîchissent l'air ambiant. La forme circulaire des troncs permet de minimiser leur surface et ainsi l'influx de chaleur de l'extérieur vers le tronc. L'évapotranspiration, transfert de vapeur d'eau de la plante vers l'atmosphère, est accompagnée d'un transfert de chaleur rafraîchissant le végétal.

#### Applications possibles



• Filtre des rayons UV et de la lumière naturelle



• Isolation thermique par une lame d'air



• Création d'un mouvement d'air par convection  
Ex. : *toiture fractale, Satoshi Sakai*  
utilisée par *Shigeru Ban*



• Rafraîchissement par évapotranspiration

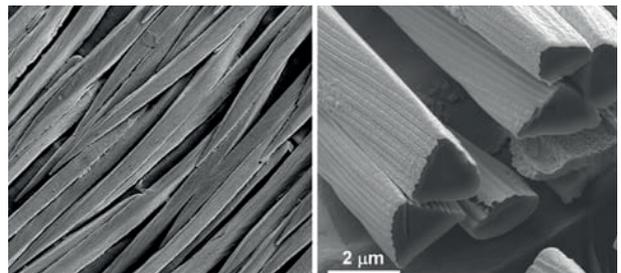
## 3 - La fourmi argentée



Fourmi argentée du Désert du Sahara

### Stratégie, propriétés optiques

Les poils de la surface de ces fourmis possèdent une section triangulaire avec deux surfaces striées. Ils se comportent comme de parfaits réflecteurs de lumière. Totale, cette réflexion permet au corps de n'absorber aucune énergie radiative.



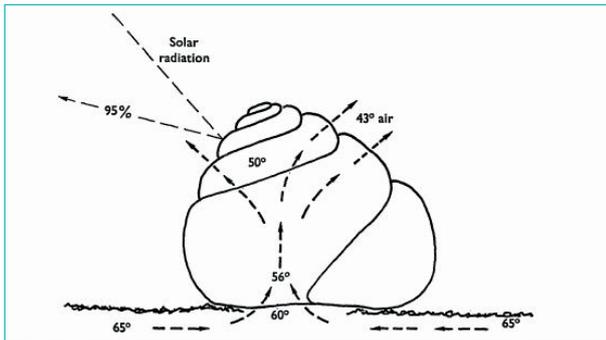
Images microscopiques des poils d'une fourmi argentée  
© AskNature

#### Applications possibles



• Filtre des rayons UV et de la lumière naturelle

## 4 - L'escargot du désert



© Journal of Experimental Biology 1971  
Desert snails: problems of heat, water and food.  
K. Schmidt, Nielsen C. Taylor, A. Shkolnik

L'escargot du désert vit dans un environnement où la température peut atteindre 70°C. Il a développé des stratégies pour éviter la mort thermique à 55°C.

### Stratégie 1, propriétés optiques & convection

La coquille réfléchit 90% de l'énergie radiative solaire incidente (visible et infrarouge). Ainsi, la température maximale mesurée sur l'animal est de 50°C, 5°C en-dessous de la température létale. De plus, l'air ambiant moyen étant de 43°C, un flux de chaleur s'effectue par convection de l'escargot à l'air ambiant.

### Stratégie 2, isolation physique

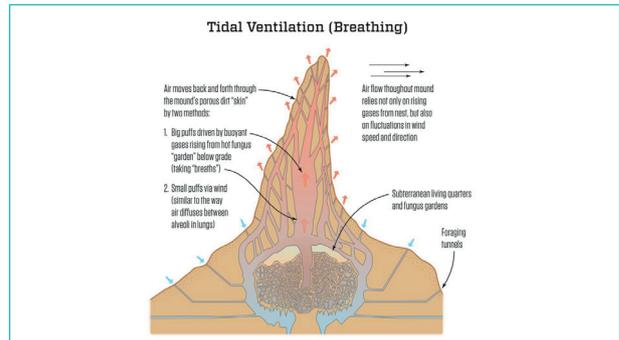
La coquille de l'escargot est en contact direct avec le sol seulement en quelques points. Une couche d'air isole donc le reste de la coquille du sol brûlant. L'escargot étant retiré dans les loges inférieures de la coquille, il est isolé de l'air ambiant par la grande loge supérieure remplie d'air.

#### Applications possibles



- Réflexion des rayons UV
- Structure isolée du sol
- Isolation thermique par lame d'air

## 5 - La termitière



© Tim Healey « Termite HVAC (Passive Mound Ventilation) » - JLCOnline.com

La termitière conserve une température quasi constante (variation inférieure à 5°C), malgré les fortes variations de la température extérieure (15 à 20°C d'amplitude), grâce à une ventilation naturelle passive.

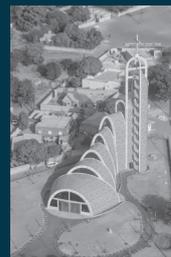
### Stratégie structure

Une cheminée interne relativement protégée de l'environnement est reliée à de multiples canaux de diamètre plus faible en périphérie. À la base de la cheminée centrale se trouve le nid, lieu de culture de champignons. Plus la différence d'altimétrie entre la base et le haut de la cheminée est importante, plus la ventilation est efficace.

### Fonctionnement

- **Pendant la nuit** : l'air chaud résiduel de la journée remonte la cheminée et tire l'air plus frais de l'extérieur.
- **Le matin** : l'air chauffé de la façade Est tire l'air plus frais du reste de la termitière, qui entre par la base de la structure.
- **L'après-midi** : l'air chaud de la façade Ouest monte par la cheminée et tire l'air plus frais entrant à la base de la termitière.

#### Applications possibles



- Ventilation naturelle passive dans le bâtiment par tirage thermique  
Ex. : Eastgate Building, Mike Pearce  
Eglise de Nianing, InSitu Architectes
- Inertie du matériau

# EXEMPLES DE BÂTIMENTS BIO-INSPIRÉS

## Tainan Museum of Fine Art Taiwan

Shigeru Ban



© Paulo dos Sousa

### Objectifs

- **À l'échelle du bâtiment** : réguler les apports thermiques et lumineux.
- **À l'échelle urbaine** : réduire l'effet de l'îlot de chaleur urbain.

### Stratégies de confort d'été

- Reproduire un effet de canopée
- Créer des zones d'ombrage en milieu urbain

### Inspiration

La structure fractale des arbres a inspiré le système de couverture qui ombrage le bâtiment. Il reprend le système du tétraèdre de Sierpinski. Mise au point notamment par Satoki Sakai, la forêt fractale fonctionne par création de microturbulences qui dissipent la chaleur.



© Shiguri Ban Architects

## Centre International de la Recherche sur le Cancer Lyon

Art&Build Architectes, Pho'liage



Bâtiment sud-est, © Demathieu Bard

### Objectifs

- Adaptation intrinsèque du système
- Limiter le réchauffement du bâtiment
- Régulation thermique et lumineuse

### Stratégies de confort d'été

#### Façades intérieures

Brise soleil adaptatif composé de fleurs métalliques à mémoire de forme.

#### Façades extérieures

Régulation thermique et lumineuse grâce à des lames de verre thermochromiques, créant une couche protectrice intégrée à la façade. Brise soleil adaptatif passif et façade Pho'liage®.

### Inspiration

La peau de certaines espèces change de couleur pour limiter les irradiations solaires. La façade Pho'liage® est inspirée de l'ouverture et la fermeture des stomates.



© ArtBuild



© ArtBuild

# EXEMPLES DE BÂTIMENTS BIO-INSPIRÉS

## Lycée de Malicounda Nianing, Senegal In Situ Architecture



© In Situ Architecture

### Objectifs

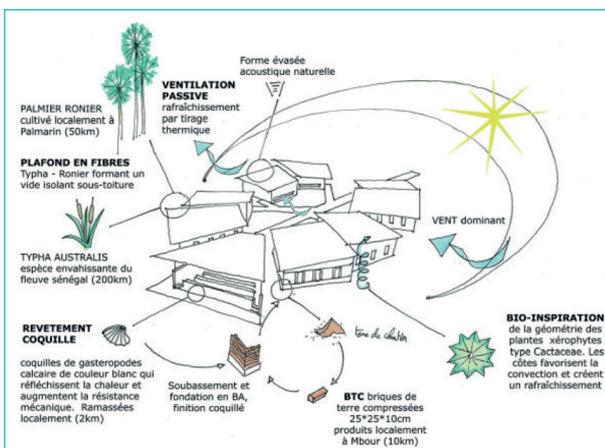
- Limiter le réchauffement du bâtiment
- Régulation thermique et lumineuse

### Stratégies de confort d'été

- Ventilation naturelle passive par tirage thermique
- Limiter la charge thermique de l'enveloppe des bâtiments

### Inspiration

- Morphologie des plantes à cotes xérophytes
- Couleur claire, utilisation de coquilles de gastéropodes



© In Situ Architecture

### Résultats

- Débit d'air = 3708 m<sup>3</sup>/h
- Température ressentie = 3°C de moins

## MIMESIS (projet non construit) Nice, France Béchu & associés

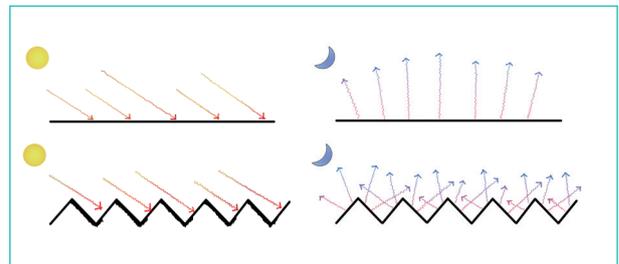


© Bechu & Associés

### Objectifs

- Limiter les apports solaires
- Créer un îlot de fraîcheur (coef 0.26 atteint)
- Créer une façade protectrice, bioclimatique et maîtrisée

### Stratégies de confort d'été



© Bechu & Associés

- **En journée** : le crénelage, doublé de masques solaires horizontaux réduit de 70% les apports solaires grâce aux ombres portées sur les surfaces vitrées.

- **De nuit** : le linéaire de façades, plus important, permet des échanges thermiques plus importants et une meilleure décharge de température.

### Inspiration

- Morphologie en crénelage du ferocactus

# POUR ALLER PLUS LOIN

## Les principaux défis à relever

### Besoin d'une approche systémique

La régulation thermique doit être traitée de manière holistique, c'est-à-dire :

- penser et explorer des solutions pour la régulation thermique en été et en hiver
- prendre en compte le cycle de vie des solutions proposées
- penser les interrelations entre bâtiments, quartiers et villes
- penser une architecture symbiotique

### Développer les connaissances biologiques

Les connaissances en biologie sont souvent superficielles au sein des équipes. Elles sont pourtant fondamentales pour le développement de projets biomimétiques rigoureux. Avoir des équipes multidisciplinaires (écologues, biologistes...), formées dans les sciences du vivant ainsi que des outils pour faciliter l'intégration du biomimétisme est essentiel. Ce besoin est évident dans un contexte de concours où le temps de conception y est très limité.

## Des opportunités à explorer

### Le *low tech*

Le vivant peut nous inspirer avec des solutions très simples et **frugales**. Une solution bio-inspirée pour la régulation thermique ne nécessite pas forcément un haut développement technologique. Les solutions *low-tech* ont aussi la caractéristique d'être généralement plus vertueuses en terme d'impact environnemental.



La Tiny House du Low Tech Lab

### Suivi de la performance

Le suivi des performances (énergie économisée ou évaluation du bilan carbone par exemple) est essentiel pour prouver et convaincre sur la **pertinence du biomimétisme** comme approche d'écoconception. **L'impact** du projet **post construction** devrait être étudié et divulgué pour essayer ses principes souvent simples de bon sens !

« La pensée **low-tech** permet de **vivre mieux avec moins**. Nous en sommes convaincus. Et si elle était plus largement connue, acceptée et adaptée, elle permettrait de lutter efficacement contre les maux tant environnementaux que sociaux et sociétaux du XXI<sup>e</sup> siècle ».

Clément Chabot et Pierre-Alain Levêque ont porté un projet de *tiny house* en 2018, éprouvant l'habitat low tech au fil des saisons. Ils ont pu évaluer l'impact environnemental, l'intérêt financier et économique, l'ergonomie des systèmes.



**Biomim'  
CITY  
LAB**



**INTÉRESSÉ  
PAR LA  
DÉMARCHE ?**

## Qui sommes-nous ? Le Biomim' City Lab

Nous sommes un collectif créé en 2019 et coordonné par Ceebios, engagé pour le développement de la ville régénérative par le biomimétisme. Nous sommes +10 acteurs de la ville, architectes, maîtres d'ouvrage, bureaux d'études, promoteurs...

## Nos contributions

- Manifeste du Biomim'City Lab
  - *État des lieux des projets urbains bio-inspirés français*
- Guide *Évaluer la qualité technique d'opérations bio-inspirées*

## Des formations

Ceebios propose une formation de deux jours pour initier la maîtrise d'oeuvre et la maîtrise d'ouvrage à la conception d'un projet urbain bio-inspiré et régénératif.

<https://ceebios.com/2022/11/04/formation-projet-urbain-bio-inspire-regeneratif/>

## Le grand défi

Notre capacité à réinventer des espaces de vie propices à la vie dépendra de notre capacité à penser, créer et agir ensemble, à mêler nos savoirs et passions, à nous écouter, à animer cette confluence des talents, finalement à stimuler notre intelligence collective au service de notre communauté de destins.

## Nos engagements

- Faciliter le partage de bonnes pratiques
- Développer ensemble de nos outils
  - Faire évoluer les pratiques
  - Partager notre expertise

## En savoir plus

Site internet Ceebios

<https://ceebios.com>

## Merci aux membres du Biomim'City Lab



ROUGERIE+TANGRAM

**Participez ! Rejoignez-nous !**

[contact@ceebios.com](mailto:contact@ceebios.com)

# RÉFÉRENCES

- ArchDaily. « **Shigeru Ban to Construct Tainan Museum of Fine Arts** », 15 septembre 2014. <https://www.archdaily.com/548292/shigeru-ban-to-construct-tainan-museum-of-fine-arts>.
- Art Build. « **Pho'liage ®** ». Consulté le 7 mars 2023. <https://www.artbuild.com/lab/pholiage>.
- aujardin.info. « **Les plantes xérophytes** ». Consulté le 16 mai 2023. <https://www.aujardin.info/fiches/plantes-xerophytes.php>.
- « **Canicule intense et durable de juillet 2022 : que faut-il retenir ? | Météo-France** ». Consulté le 18 avril 2023. <https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/actualites/canicule-intense-et-durable-de-juillet-2022-que-faut-il-retenir>.
- CRUZ, Estelle. « **Caractérisation multi-critères des enveloppes biologiques : vers la conception de façades multi-fonctionnelles** », Thèse co-dirigée par Fabienne Aujard (MECADEV) et Kalina Raskin (Ceebios), 4 février 2021.
- Franceinfo. « **“L’air frais produit à l’intérieur rejette du chaud à l’extérieur” : une étude affirme que les climatiseurs augmentent la température en ville** », 30 juillet 2018. [https://www.francetvinfo.fr/meteo/canicule/l-air-frais-produit-a-l-interieur-rejette-du-chaud-a-l-exterieur-une-etude-affirme-que-les-climatiseurs-augmentent-la-temperature-en-ville\\_2873627.html](https://www.francetvinfo.fr/meteo/canicule/l-air-frais-produit-a-l-interieur-rejette-du-chaud-a-l-exterieur-une-etude-affirme-que-les-climatiseurs-augmentent-la-temperature-en-ville_2873627.html).
- « **Hair Helps Cool the Body — Biological Strategy — AskNature** ». Consulté le 13 juin 2023. <https://asknature.org/strategy/hair-helps-cool-the-body/>.
- « **Leaf Color and Shape Enhance Cooling Effect — Biological Strategy — AskNature** ». Consulté le 13 juin 2023. <https://asknature.org/strategy/leaf-color-and-shape-enhance-cooling-effect/>.
- Mail Online. « **Thermal-imaging zoo pictures reveal animals’ hot and cold secrets** ». Consulté le 6 mars 2023. <https://www.dailymail.co.uk/news/article-512436/Thermal-imaging-zoo-pictures-reveal-animals-hot-cold-secrets.html>.
- Maison, Minutes. « **Lithops, plante caillou : culture, multiplicaton et entretien** ». Minutes Maison, 8 octobre 2020. <https://maison.20minutes.fr/mm10387-lithops-plante-caillou-culture/>.
- « **Mound Facilitates Gas Exchange — Biological Strategy — AskNature** ». Consulté le 13 juin 2023. <https://asknature.org/strategy/mound-facilitates-gas-exchange/>.
- « **Oyat** ». In Wikipédia, 11 juin 2023. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Oyat&oldid=205079263>.
- Sakai, S., M. Nakamura, K. Furuya, N. Amemura, M. Onishi, I. Iizawa, J. Nakata, K. Yamaji, R. Asano, et K. Tamotsu. « **Sierpinski’s Forest: New Technology of Cool Roof with Fractal Shapes** ». Energy and Buildings, Cool Roofs, Cool Pavements, Cool Cities, and Cool World, 55 (1 décembre 2012): 28-34. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.052>.
- « **Shell Protects From Heat — Biological Strategy — AskNature** ». Consulté le 13 juin 2023. <https://asknature.org/strategy/shell-protects-from-heat/>.
- th\_rhododendrons. « **La protection hivernale** ». Société des rhododendrons du Québec (blog), 28 avril 2019. <https://rhododendronsquebec.org/la-protection-hivernale/>.
- Xavier, par. « **Lithops (lithope, plante caillou) : culture, entretien, arrosage** ». Cactus Encyclo, 13 septembre 2020. <https://www.cactus-encyclo.com/lithops-plante-caillou/>.

