

Un îlot de fraîcheur dans l'espace public : expérimentation et intention didactique

Texte : Raphaël Compagnon et Jean-Michaël Taillebois



Le pavillon installé en septembre 2021 sur le campus UNI-FR+HEIA-FR de Péroles à Fribourg. Cet emplacement très minéral est connu pour devenir particulièrement chaud en période estivale. (RAPHAËL COMPAGNON, HEIA-FR)

UN DÉMONSTRATEUR DE SIMPLICITÉ

Après les deux premiers articles de la rubrique *Tout se transforme*, qui avaient pour thème la rénovation énergétique, cette troisième contribution introduit le thème de la transformation de l'espace public face aux enjeux climatiques. Le pavillon présenté ici n'est pas à considérer comme un but en soi ou une solution « clé en main » pour résoudre le problème d'espaces asphaltés surchauffés mais bien comme un moyen de démontrer l'efficacité de mesures « simples » et relativement passives, souvent inspirées de techniques ancestrales qui pourraient être généralisées dans la conception des bâtiments et des espaces publics.

Le pavillon contribue à faire comprendre que la plus grande source de surchauffe en ville est due à l'absorption du rayonnement solaire par des surfaces minérales et qu'une plus grande surface de pleine terre ainsi qu'une prise en compte des logiques hydrographiques sont prioritaires. Cette compréhension appelle à penser des stratégies de transformation de nos villes de plus en plus denses pour les rendre plus résilientes et vivables.

Le comité éditorial *Tout se transforme*

Comment explorer les mécanismes à l'œuvre pour lutter contre les îlots de chaleur ? Conçu à la HEIA-FR, le pavillon DEMO-MI2 a été pensé aussi bien comme dispositif expérimental low-tech à l'attention des professionnel·les que comme démonstrateur visant le grand public et sa perception du phénomène.

Les zones urbaines sont de plus en plus sujettes à des canicules qui affectent sérieusement la qualité d'usage de l'espace public extérieur et la santé des habitant·es. Ce phénomène d'îlot de chaleur urbain, déjà identifié depuis quelques décennies dans le domaine scientifique et renforcé par l'effet du réchauffement climatique, fait désormais partie des préoccupations majeures des collectivités qui cherchent des moyens de le contraindre.

C'est dans ce contexte que nous avons entrepris en 2020 la conception et la construction d'un pavillon destiné à procurer un « îlot de fraîcheur » aux passant·es lors des canicules par des moyens essentiellement passifs. Ce pavillon a été expérimenté sur quelques espaces publics de la ville de Fribourg durant les étés 2021 puis 2022.

Concevoir et réaliser un démonstrateur

Il existe déjà plusieurs références de constructions procurant un îlot de fraîcheur en période estivale. Trois réalisations ont plus particulièrement guidé nos choix de conception :

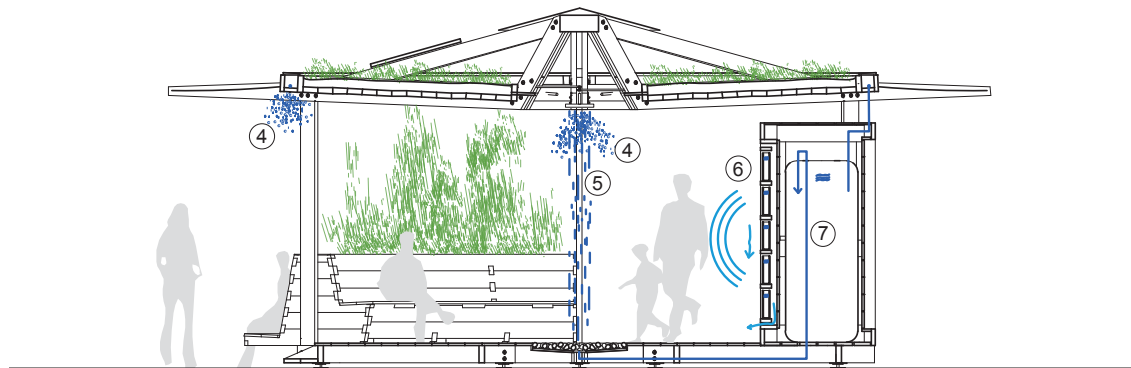
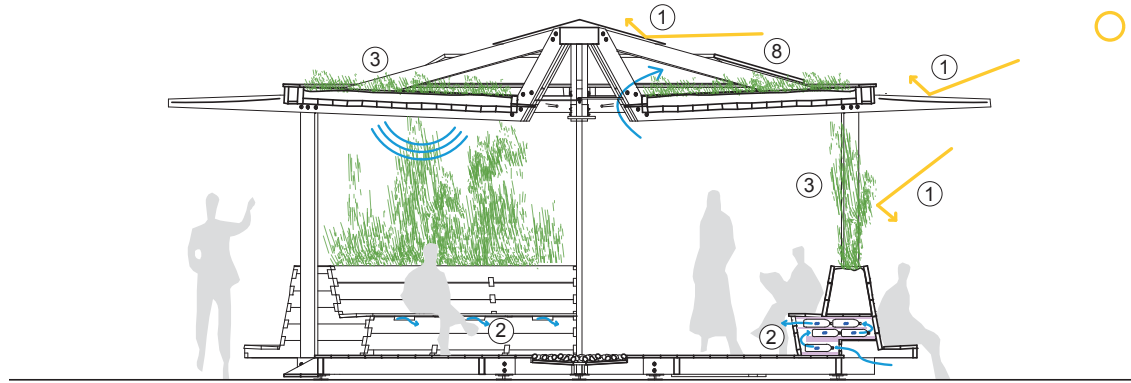
- la « Bioclimatic Rotunda »² réalisée en 1991 pour l'exposition universelle de 1992 à Séville, une grande toile de tente tendue autour d'un cylindre vertical dans lequel s'écoule, par gravitation, l'air pris au sommet et refroidi par brumisation ;
- la « mobile forest AiRSHIP 01 »³ expérimentée en Italie en 2016, une forêt miniature entourée d'une tenture circulaire, conçue comme une version mobile du pavillon autrichien de l'exposition universelle de 2015 à Milan ;
- le pavillon « Cool Tree Lite »⁴ développé par une entreprise japonaise en 2018, une construction carrée en lattes de bois.









De ces exemples, nous avons notamment retenu :

- l'aspect général plus proche d'un mobilier urbain que d'un bâtiment ;
- la forme géométrique simple construite autour d'un axe central favorable à une construction modulaire facilement déplaçable ;
- l'ombrage par un élément de toiture prolongé de toiles tendues ;
- la présence de végétation ;
- la brumisation (pour abaisser la température de l'air par évaporation).

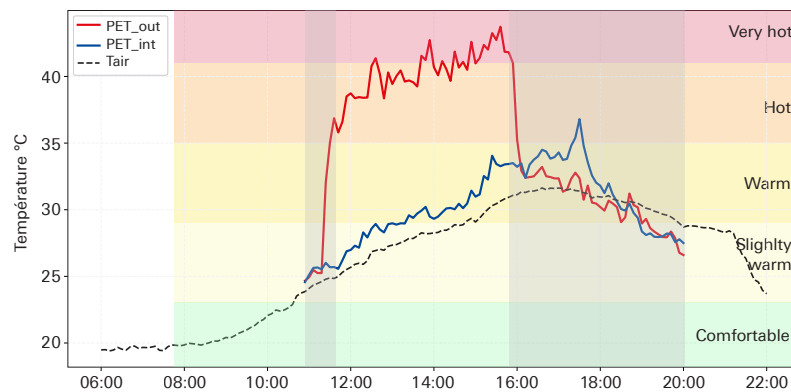
A contrario de la seconde référence, nous avons pris l'option de ne pas complètement clôturer l'intérieur du pavillon afin de favoriser son usage public.

Le pavillon DEMO-MI2 est constitué de plusieurs éléments modulaires en bois disposés en plan en forme d'hexagone. Les pans de la toiture végétalisée sont légèrement inclinés vers une ouverture centrale pour que l'eau de pluie récoltée chute par gravitation au niveau du socle où elle est récupérée. La toiture est portée par des poteaux placés aux sommets de l'hexagone ainsi qu'un assemblage de fermes inclinées et reliées au centre. Sur trois arêtes, la structure est contreventée par deux paires de bancs dos à dos et un local technique. Les trois arêtes restantes sont totalement dégagées. Ce choix, qui prêterait à priori le maintien de conditions climatiques stables dans le pavillon (l'air rafraîchi pouvant facilement s'échapper à l'extérieur), vise à inciter les passant·es à le visiter.



-  ① ombrage
-  ② utilisation de la fraîcheur nocturne
-  ③ végétalisation
-  ④ brumisation
-  ⑤ chute d'eau intermittente
-  ⑥ paroi d'oyas
-  ⑦ circulation et stockage de l'eau
-  ⑧ panneaux photovoltaïques

Coupes schématiques du pavillon et de ses dispositifs (UHI.SMARTLIVINGLAB.CH)



Mesures de la température physiologique équivalente (PET) l'après-midi du 12 août 2021 dans le pavillon (en bleu) et à proximité de celui-ci (en rouge) devant le bâtiment de l'Ancienne Gare à Fribourg. La température de l'air sur le site est indiquée en gris. Les zones colorées du diagramme correspondent aux sensations indiquées à droite en anglais. On constate que la PET dans le pavillon est réduite de 10,7° C par rapport à celle qui règne en plein soleil à l'extérieur. Entre 11 h et 11 h 30 ainsi que de 15 h 50 à 20 h (zones légèrement grisées sur le diagramme), les deux courbes PET se rejoignent car, à ces moments-là, le lieu où les mesures extérieures sont collectées est ombré par les bâtiments environnants.



Le pavillon installé en juillet 2021 sur la place Python à Fribourg. Diamètre de la toiture avec le prolongement des toiles d'ombrage : 10 m, hauteur entre le plancher et la toiture : 2,5 m, hauteur maximale : 3,8 m. Sa structure modulaire permet de le démonter, le transporter puis le remonter sur un nouvel emplacement en ~1,5 jours. (JEAN-MICHAËL TAILLEBOIS, HEIA-FR)

LES PARAMÈTRES PHYSIQUES DÉTERMINANT LE CONFORT THERMIQUE EXTÉRIEUR

Bien que la température de l'air soit le premier paramètre auquel on pense, l'exposition au rayonnement solaire ainsi que les températures de toutes les surfaces situées dans l'entourage affectent bien plus le confort ressenti. Ceci est dû aux échanges thermiques par rayonnement. L'importance de ces échanges est prise en compte par la « température radiante moyenne » mesurée indirectement à l'aide d'un petit globe de couleur foncée (balle de ping-pong).

La vitesse de l'air affecte également le confort ressenti car plus elle augmente, plus l'évaporation de notre transpiration peut rafraîchir notre peau. L'humidité de l'air joue aussi un rôle, mais moins important tant qu'elle reste comprise entre 30 % et 70 % d'humidité relative.

La température physiologique équivalente (PET) indique une température ressentie qui intègre l'effet de tous ces paramètres physiques. C'est un indicateur de confort thermique couramment employé pour les espaces extérieurs¹. Par rapport à d'autres indicateurs du même type, la PET a l'avantage d'être plus facilement compréhensible par le grand public. ▮

1 Höpfe, P. « The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment », *Int J Biometeorol* 43, 71–75 (1999)

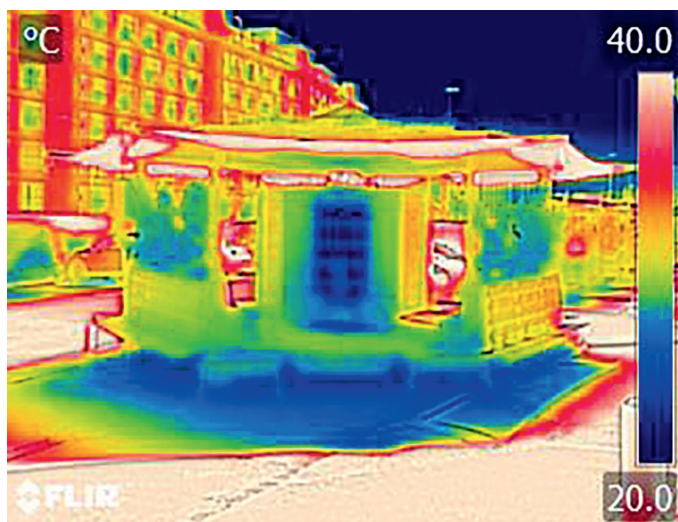
Au-dessus des bancs, une végétalisation grimpante procure un ombrage supplémentaire qui joue aussi un rôle d'écran frais entre les occupants du pavillon et les surfaces environnantes (sol, façades des bâtiments) qui s'échauffent en absorbant le rayonnement solaire. La paroi du local technique orientée vers le centre du pavillon est recouverte par une série d'oyas (pots réalisés en céramique poreuse) dont les surfaces refroidissent lorsque l'eau qu'elles contiennent s'évapore. C'est là aussi un moyen de réduire la « température radiante moyenne ».

Les cavités situées sous les deux bancs contiennent de nombreuses bouteilles d'eau ainsi que des panneaux en plâtre intégrant un matériau à changement de phase. Ce dispositif sert de « stock de fraîcheur nocturne ». La nuit, lorsque la température de l'air est inférieure à celle du stock, des ventilateurs font passer un flux d'air de façon à le refroidir. Le matin suivant, les ventilateurs sont déclenchés dès que la température de l'air dépasse celle du stock. Plus tard dans la journée, quand la température de l'air dépasse un seuil ajustable (typiquement 26° C), les ventilateurs pulsent l'air à travers le stock pour le refroidir et le souffler par une fente à l'arrière des genoux des personnes assises. L'effet escompté n'est certainement pas de « climatiser » l'intérieur du pavillon mais plutôt d'induire un sentiment de fraîcheur par ce courant d'air facilement ressenti car dirigé sur les articulations.

Par intermittence, l'air est également refroidi par évaporation, soit par une chute de gouttelettes d'eau au centre du pavillon (même cheminement que l'eau de pluie récupérée), soit par 13 buses de brumisation réparties sous le plafond.

Afin de faciliter l'installation du pavillon sur divers emplacements sans raccordement électrique ni alimentation permanente en eau, le local technique abrite quatre batteries raccordées à autant de modules photovoltaïques en toiture, un tableau électrique piloté par un mini-ordinateur, un réservoir d'eau de 1000 litres, des électrovannes, deux pompes avec filtres ainsi que le système de brumisation.

Plusieurs choix ont été faits pour limiter l'impact écologique de cette construction : le bois d'origine locale n'est pas traité et les assemblages sont uniquement boulonnés, l'étanchéité de la toiture est réalisée par une membrane en caoutchouc posée



La thermographie montre que le mur recouvert d'oyas, le gravier mouillé par la chute intermittente de gouttelettes d'eau ainsi que la végétation grimpante au-dessus des bancs procurent des surfaces nettement plus fraîches que l'environnement et abaissent ainsi la température radiante moyenne. (MATIAS CESARI, HEIA-FR)

Paramètre mesuré	À proximité du pavillon	Dans le pavillon	Effet résultant sur la PET
Température et humidité relative de l'air	29,4° C 50 %	27,8° C 55 %	-1,2° C
Température radiante moyenne	64,6° C	33,9° C	-10,6° C
Vitesse de l'air	1,59 [m/s]	0,77 [m/s]	+3,5° C
Effet combiné des variations de tous les paramètres mesurés			-10,7° C

Valeurs moyennes des mesures réalisées le 12 août 2021 entre 11h30 et 15h50. La dernière colonne indique, pour chaque paramètre mesuré, la variation qu'il procurerait individuellement sur la PET à l'intérieur du pavillon par rapport à celle observée à l'extérieur. On constate que c'est la réduction de la température radiante moyenne qui fait le plus diminuer la PET. La vitesse de l'air réduite à l'intérieur du pavillon provoquerait par contre une élévation de la PET! Ces résultats ne peuvent être obtenus que par calcul puisque, dans la réalité, c'est uniquement l'effet combiné de ces paramètres qui affecte la PET. Cet effet combiné correspond à une différence de -10,7° C.

DÉMONSTRATEUR MOBILE DE MESURES DE MITIGATION MICROCLIMATIQUE ESTIVALE À L'ÉCHELLE DE LA RUE (DEMO-MI2)

Projet de recherche appliquée conduit par la HEIA-FR et soutenu par la Ville de Fribourg de 2020 à 2022.

Équipe porteuse du projet :

Matias Cesari, Raphaël Compagnon, Jean-Michaël Taillebois, Marc Vonlanthen (HEIA-FR) / Noémie Dick, Aline Hayoz-Andrey (Ville de Fribourg)

Financement :

Fond de recherche Smart Living Lab de la HEIA-FR, 10 sponsors institutionnels et privés ainsi qu'une campagne de financement participatif via la plateforme wemakeit.com

Déroulement du projet :

Automne 2020 : conception du pavillon, recherche de sponsors, campagne de financement participatif.
Printemps 2021 : réalisation dans l'atelier pop-up du Smart Living Lab
Été 2021 : installations successives sur quatre emplacements à Fribourg
Été 2022 : nouvelles installations sur deux emplacements à Fribourg ainsi qu'à l'EPFL dans le cadre du projet « Campus Piéton »

sans collage, plusieurs composants de l'installation électrique et de commande sont de récupération. L'ensemble du pavillon est donc complètement démontable pour un réemploi possible de ses différents éléments.

Le pavillon dans l'espace public

Durant les étés 2021 et 2022, le pavillon a été ouvert au public successivement sur cinq emplacements dans la ville de Fribourg. Dès l'inauguration du pavillon, le public a montré un vif intérêt lors des nombreuses visites guidées. Les dispositifs passifs (en particulier la paroi d'oyas) et l'architecture du pavillon ont suscité bien plus de curiosité que son infrastructure technique. La fréquentation spontanée et régulière montre que le pavillon a aussi bien été apprécié pour séjourner dans l'espace public et comme lieu de rassemblement.

L'effet de rafraîchissement a été quantifié par des mesures de paramètres physiques affectant le confort thermique dans et autour du pavillon. L'analyse de nos observations permet d'essuyer quelques améliorations et simplifications notamment le recours à une végétalisation plus abondante, ainsi que l'abandon de la brumisation dont l'effet s'est révélé moins convaincant qu'initialement espéré. Le besoin en électricité ainsi économisé pourrait avantageusement servir à générer des courants d'air.

Une question d'échelle

Les techniques relativement simples employées dans notre pavillon peuvent être considérées comme des mesures locales d'« adaptation » (pour emprunter un terme souvent employé dans le domaine du réchauffement climatique). Toutefois, pour contrer véritablement l'effet d'îlot de chaleur à l'échelle urbaine, ce sont plutôt des mesures d'atténuation recourant aux mêmes principes physiques qui devraient être réalisées, à grande échelle. Par son effet de démonstration, notre projet cherchait aussi à contribuer à la vulgarisation et l'acceptation de ce type de mesures qui se traduisent par des prescriptions déjà en vigueur ou envisagées⁵, comme la végétalisation systématique des toitures plates, la limitation de l'imperméabilisation des parcelles par exemple par l'interdiction des « jardins de pierres »⁶, l'imposition d'un taux minimal de surfaces « vertes »⁷. C'est dans cette perspective de sensibilisation et de pédagogie que nous comptons poursuivre nos travaux de recherche appliquée. ▸

Raphaël Compagnon est ingénieur physicien EPFL, professeur associé à la HEIA-FR.

Jean-Michaël Taillebois est architecte MA HES-SO, collaborateur scientifique à l'institut Transform.

- 1 Comme l'a fait par exemple la Ville de Sion avec le projet Acclimatation, antérieur à notre projet : sion.ch/acclimatation
- 2 Alvarez, S. & al. (1991) : Full-Scale Experiments in EXPO'92. The Bioclimatic Rotunda, Proc. PLEA '91, Architecture and Urban Space, Seville, Spain.
- 3 Breathe Earth Collective, AiRSHIP 01 – mobile forest, Graz, décrit sur le site breatheearth.net, 2020 : tinyurl.com/dm2ref3
- 4 A Wooden Zero-Energy Cool Spot, décrit sur le site nikken.co.jp, 06.16.2020; tinyurl.com/dm2ref4
- 5 Ce document présente toute une palette de mesures : OFEV (éd.) 2018 : Quand la ville surchauffe. Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement, n° 1812
- 6 Un récent rapport du Conseil fédéral sur ce sujet : Communiqué « Le Conseil fédéral adopte le rapport sur l'empiérement des espaces verts », 16.12.2022, bafu.admin.ch : tinyurl.com/dm2ref6
- 7 Le coefficient de Biotope par Surface : un outil intéressant déjà appliqué dans quelques grandes villes européennes : adaptation-changement-climatique.gouv.fr : tinyurl.com/dm2ref7

La rubrique *Tout se transforme* est un partenariat entre la revue *TRACÉS*, l'Institut TRANSFORM et la filière d'architecture de la HEIA-FR de la HES-SO.