

# WEBINAIRES AVITEM-EUROMEDITERRANEE

## #5 : Quand le vent façonne la ville : de l'échelle urbaine à l'échelle bâtie

25 juillet 2022



### INDEX

- Page 2 : Pierre Massis – Directeur des Partenariats ; AVITEM
- Page 2 : Salma Khoudmi – Chargée de la qualité architecturale, urbaine, paysagère et environnementale ; EPA Euroméditerranée
- Page 8 : Mathieu Lucas – Architecte DE, Paysagiste concepteur ; Studio Mathieu Lucas
- Page 15 : Nasreddine Sakhri – Chef de département travaux neufs ; Maître-assistant ; Université Tahri Mohammed Béchar-Laboratoire ENERGARID



## **Pierre Massis – Directeur des Partenariats ; AVITEM**

Force de Coriolis, Effet Venturi, cabines à vent, bâdgirs... Toutes ces expressions se rapportent à une seule et même énergie : le vent. Nous allons nous interroger sur la relation complexe qu'entretient l'homme avec le vent. Tentons avant cela un rapide tour d'horizon sur les données déjà connues à propos du vent :

- c'est une force invisible, mais fortement ressentie. Le vent peut être doux, léger, sec, humide, fort ou encore cinglant. C'est aussi une énergie que l'homme cherche à maîtriser depuis toujours. La relation de l'homme avec le vent est ambiguë car il cherche en même temps à le domestiquer et à s'en protéger, à le connaître et à le maîtriser. On le craint, tout en cherchant simultanément à s'appuyer sur sa puissance ;
- bénéfique ou destructeur, le vent transporte, façonne les paysages... Formation et déplacements des dunes et des vagues, érosion, dispersion des particules, pollinisation... Le vent façonne la terre et crée des paysages insolites !
- la relation de l'homme avec le vent se traduit par de nombreuses actions : le mesurer, le prévoir, l'écouter s'en protéger, le capter, naviguer sous son emprise, le domestiquer... Au siècle du numérique et des satellites, notre culture reste encore marquée par les messages et les représentations du vent.

Nous allons approfondir cette vision ce matin avec nos trois orateurs. Ils vont nous expliquer comment le vent continue à façonner non seulement la physionomie de nos cités mais aussi leur identité. Il est en effet symptomatique de notre relation au vent d'observer comment architectes, bâtisseurs, urbanistes et paysagistes utilisent cette force invisible pour aérer, refroidir, évaporer, sécher, conserver : des tours à vent aux éco-quartiers modernes, observons comment les hommes exploitent le vent dans leur vie quotidienne.



## **Salma Khoudmi – Chargée de la qualité architecturale, urbaine, paysagère et environnementale ; EPA Euroméditerranée**

Le vent est une thématique qui nous intéresse de plus en plus, particulièrement à Marseille où il a une place importante, voire « mythique ». Nous travaillons quotidiennement avec cet aspect dans la conception des quartiers aménagés. Marseille recense plusieurs jours de vent dans l'année, parfois très forts.

### ***Marseille, ville de mistral***

**2020** : 92 jours de vents > 57km/h

**2021** : 90 jours de vents > 57km/h

**2022** : 50 jours de vents > 57km/h

Source : infoclimat.fr. Données pour Marignane

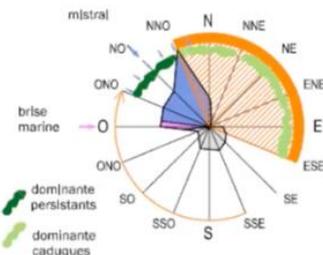
## Composition urbaine et formes bâties : de l'échelle du quartier à celle du bâtiment

### Typologie de l'îlot ouvert

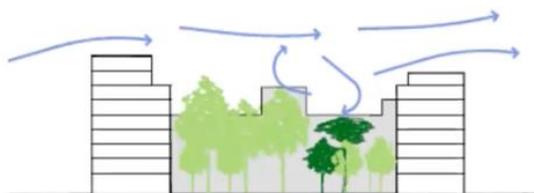
Euromed I - Parc habité



Les plantations ont un rôle essentiel pour réguler les micro climats : protection solaire, protection aux vents, évapotranspiration.



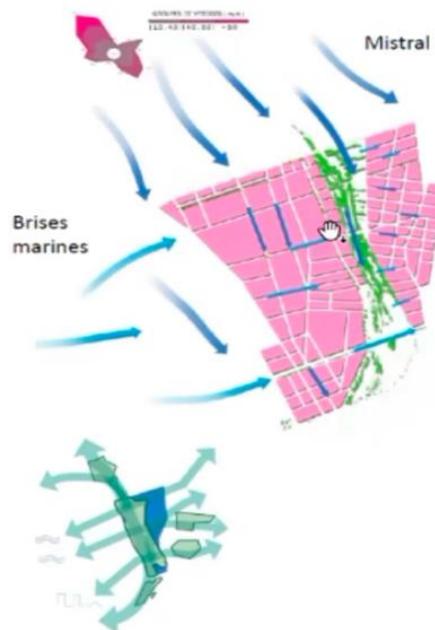
Nous avons des exemples de périmètres opérationnels qui se situent dans le cadre d'Euroméditerranée. Le parc habité permet, à travers la typologie urbaine de l'îlot ouvert, de traiter ce mouvement du vent de manière à briser sa vitesse, favorisant le rafraîchissement des cœurs d'îlot. L'intégration des filtres végétaux contribue, quant à lui, à atténuer le passage du vent.



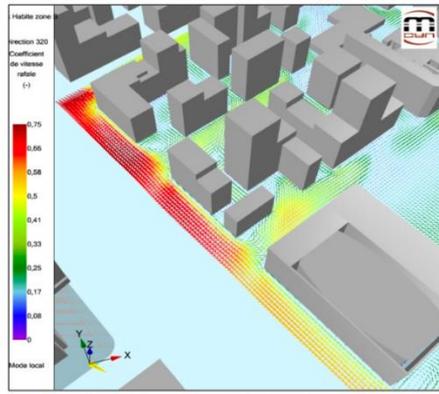
L'aménagement de canopées végétale en cœur d'îlot permet une bonne protection aux retombées de vent

Le mistral, vent dominant du nord-ouest, est pris en compte à l'échelle du quartier qui a été pensé de manière à tempérer l'effet du vent tout en favorisant son rafraîchissement, cela, en prenant en compte d'autres types de vent à l'instar des brises marines infiltrées au sein du quartier.

### Se protéger du vent tout en garantissant le rafraîchissement Euromed II

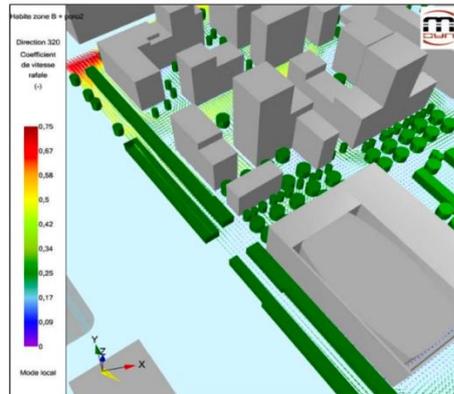


Des études plus localisées sont élaborées afin d'adapter la morphologie des constructions en tenant compte de l'exposition au vent.



Carte d'écoulement du vent en coefficients de vitesse rafale, direction 320°

**Simulation aéraulique – parc habité**



Carte d'écoulement du vent en coefficients de vitesse rafale, direction 320°, avec végétation

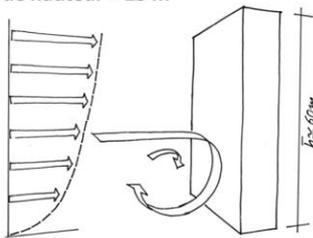
**Facteurs limitant l'inconfort lié au vent**

- Implantation des bâtiments
- Impact de la végétation
- Dispositifs brise-vent
- Etc.

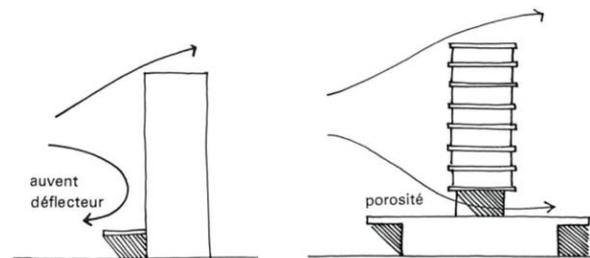
Des simulations permettent de mesurer et d'établir les formes urbaines les plus adaptées au vent, selon le projet, bien que des écarts entre projection et réalité demeurent.

**Morphologie des bâtiments, hauteur & implantation**

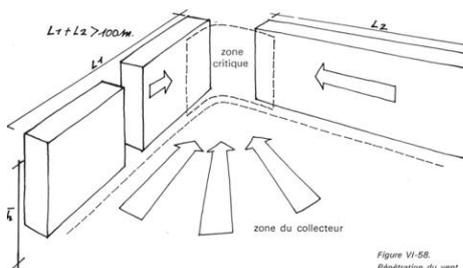
**Inconfort au pied des immeubles de hauteur > 15 m**



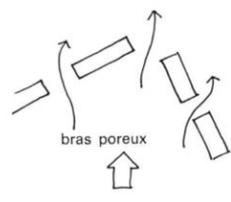
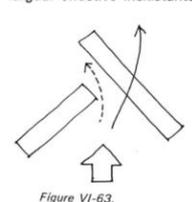
**Dispositifs architecturaux de protection aux vents**



**Effet Venturi**



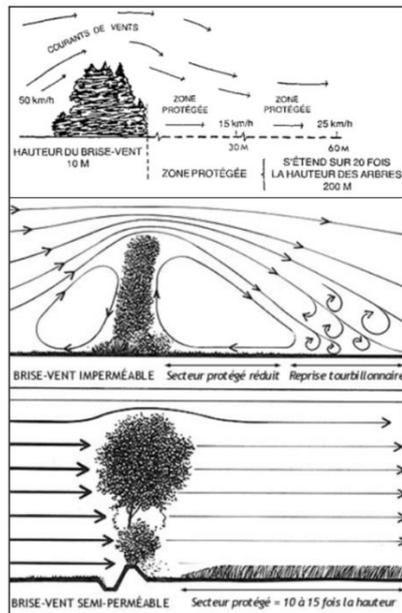
largeur effective inexistante



**Effets aérauliques urbains**

Source : Gandemer, J. et Guyot, A. (1976). Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti.

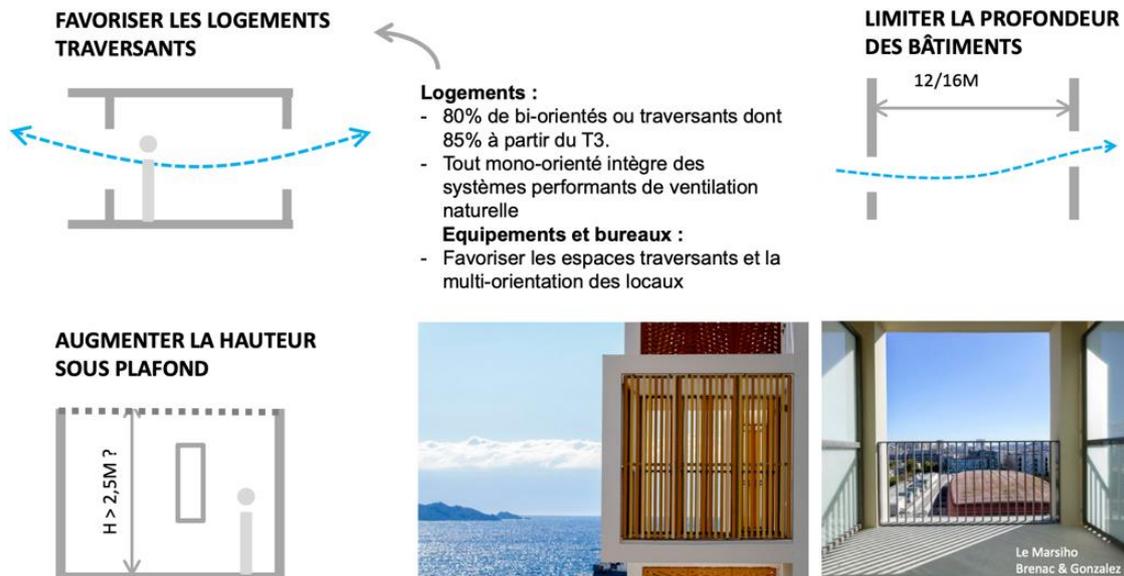
Les schémas présentés ici montrent l'élaboration des projets qui inclut la question de l'exposition aux vents forts, à l'échelle des îlots et des bâtiments, de manière à les façonner en fonction de leur implantation, leur forme, leur hauteur, leur porosité, etc.



### Effet brise-vent

Source : [www.fao.org](http://www.fao.org) et "L'arbre et la haie" de Dominique Soltner

Le schéma ci-dessus témoigne de la capacité de l'implantation végétale à atténuer ce rapport au vent.



A l'échelle du bâtiment et de l'habitat, des prescriptions sont établies grâce à la charte référentielle d'Euroméditerranée visant à décliner les objectifs, permettant ainsi de les appliquer dans le cadre des opérations. Nous cherchons donc à favoriser la circulation de l'air dans les logements, de manière à l'utiliser comme source de rafraîchissement pour les intérieurs, notamment à travers les logements traversants. L'épaisseur peu profonde des bâtiments participe à la circulation du flux d'air et de son passage de façade en façade. Il en va de même pour la hauteur sous plafond, que l'on cherche -de manière très mesurée- à augmenter car elle permet d'apporter une meilleure ventilation des intérieurs, plus encore dans un climat qui s'avère de plus en plus chaud. Il reste toutefois difficile de dépasser les

2,5m en termes de faisabilité. Il est pour le moment plus aisé d'y recourir dans les immeubles du tertiaire ou dans les opérations potentiellement réversibles. En réalité aujourd'hui, les approches se concentrent davantage à se protéger du vent qu'à en tirer profit.

**Questions et pistes de réflexion :**  
**Comment mieux canaliser et tirer profit du vent ?**

*Des dispositifs architecturaux à décliner*

**ANIMATION DE L'ESPACE PUBLIC**



Sculpture « jouet du vent », César Manrique  
Plage de « Las Canteras », Las Palmas de Gran Canaria



© Esculturasdegrancanaria.blogia

Nous cherchons à développer la question des usages, du confort dans cette interaction avec le vent, mais aussi en faire une identité géographique pour Marseille. C'est un élément fort qui caractérise Marseille dans sa culture, sa littérature, sa musique, etc. mais qui pourrait également caractériser son paysage et sa culture urbaine. Il y a donc un rapport aux usages

mais aussi au jeu : le vent génère des mouvements, des sons, et peut générer des espaces ludiques pour les enfants dans les espaces publics. Comme nous avons conscience du soleil, il s'agit de pouvoir prendre conscience de cet élément immatériel qu'est le vent.



Jardin de la danse et du vent. Place du Bacchut, Lyon



© D&A Design et architecture.

Les usages doivent bien sûr être pris en compte de manière pertinente dans l'aménagement urbain, comme avec des abris-vent. De cette même manière, des abris-bus, des bancs publics etc. pourraient être repensés et adaptés au vent.

**ADAPTATION DU MOBILIER URBAIN**



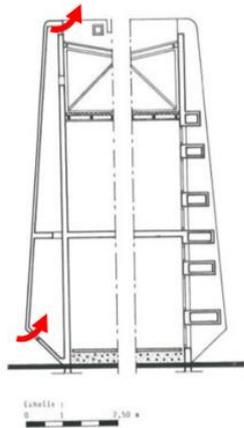
Abris vent rotatif. Blackpool Angleterre  
Arch. : Ian Mcchesney

## Le vent comme élément d'identité urbaine

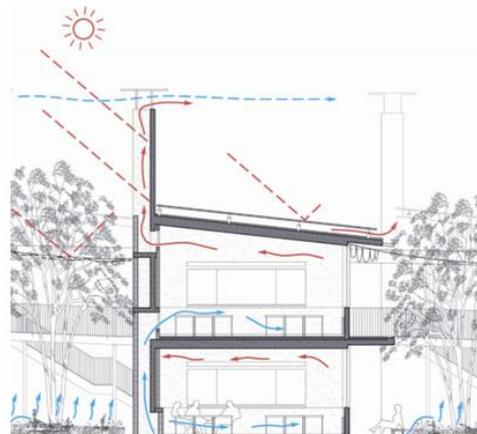
### DOUBLE MUR VENTILÉ



Office nigérien de l'énergie solaire, Niamey, Niger. 1982  
Arch. : László Mester de Parajd



### CHEMINEE A VENT

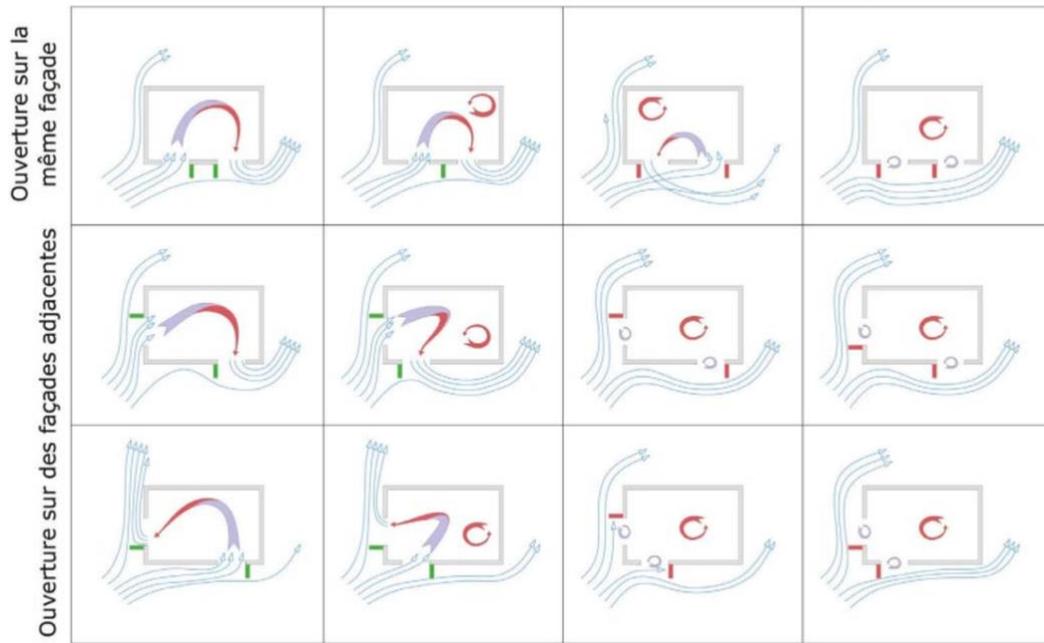


© Ateliers Lion – Lycée français à Damas

Se pose la question de la mise en scène et de la matérialité du vent, élément important dans le cheminement du piéton. Comment en faire un symbole d'identité urbaine qui puisse situer et orienter les usagers ? Cela nécessite une adaptation du design urbain à laquelle nous réfléchissons. Certains exemples de dispositifs réalisés ailleurs sont très inspirants et potentiellement répliquables à Marseille, à l'instar des doubles murs ventilés ou des cheminées à vent.

La disposition des ouvertures, encore trop peu prise en compte aujourd'hui, est également un aspect important qui permettrait de changer la donne sur notre confort intérieur. C'est particulièrement le cas des espaces mono exposés (sur une même façade) qui ne sont donc pas traversants et nécessitent des solutions alternatives afin d'avoir un intérieur ventilé.

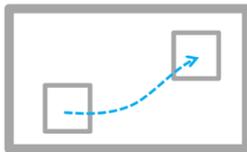
CONCEPTION DES OUVERTURES POUR FAVORISER LA VENTILATION NATURELLE NON TRAVERSANTE



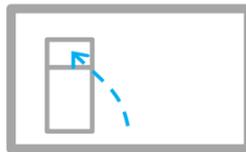
FREEVENT. « Surventilation et confort d'été, guide de conception ». Mars 2018

Le traitement de menuiseries, la hauteur des fenêtres, etc., sont d'autres dispositifs -de l'échelle de la conception du bâtiment à celle d'une fenêtre- pouvant apporter une plus-value à cette question de l'optimisation du vent.

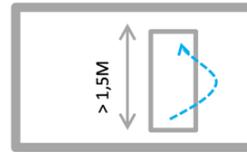
ENTREE D'AIR BASSE –  
SORTIE D'AIR HAUTE



IMPOSTE



HAUTEUR DE FENÊTRE



OUVERTURES ET VENT

Effet du vent + tirage  
ouvrants orientés idéalement

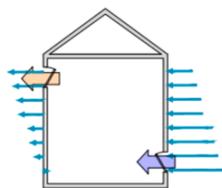


Figure 22 : vent + tirage bien orientés

Effet du vent + tirage  
ouvrants mal orientés

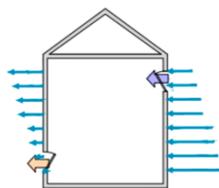


Figure 23 : vent + tirage mal orientés

Effet du vent + tirage  
ouvertures monofaçade  
(effet du vent annulé)

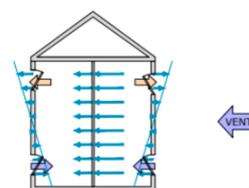


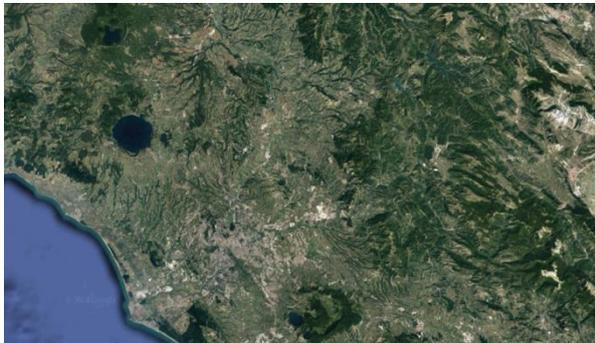
Figure 24 : monofaçade : annulation de l'effet vent

FREEVENT. « Surventilation et confort d'été, guide de conception ». Mars 2018



**Mathieu Lucas – Architecte DE, Paysagiste concepteur ; Studio Mathieu Lucas**

Merci pour cette belle invitation. Je souhaite partager avec vous une part de mes recherches effectuées à la Villa Médicis à Rome, où j'ai été en résidence en 2018-19, en essayant de parler de paysages uniquement à partir de dynamiques, de flux, d'invisibles... À Rome, je découvre ce conte qui dit que l'homme a arrêté le vent, et qu'un seul bâtiment, le *Corviale*, une barre de 1 km de long aurait réussi à stopper la brise marine de l'Ouest, le *Ponentino*, un vent caractéristique de Rome. Le *Ponentino* est un vent fondateur à Rome. C'est la raison pour laquelle les palais sont sur les hauteurs, qu'on trouve des terrasses, des tourelles... : pour attraper ce vent du soir, de *la Dolce Vita*, qui à 17h, rafraîchit la ville. Mais ce vent a arrêté de souffler dans Rome.



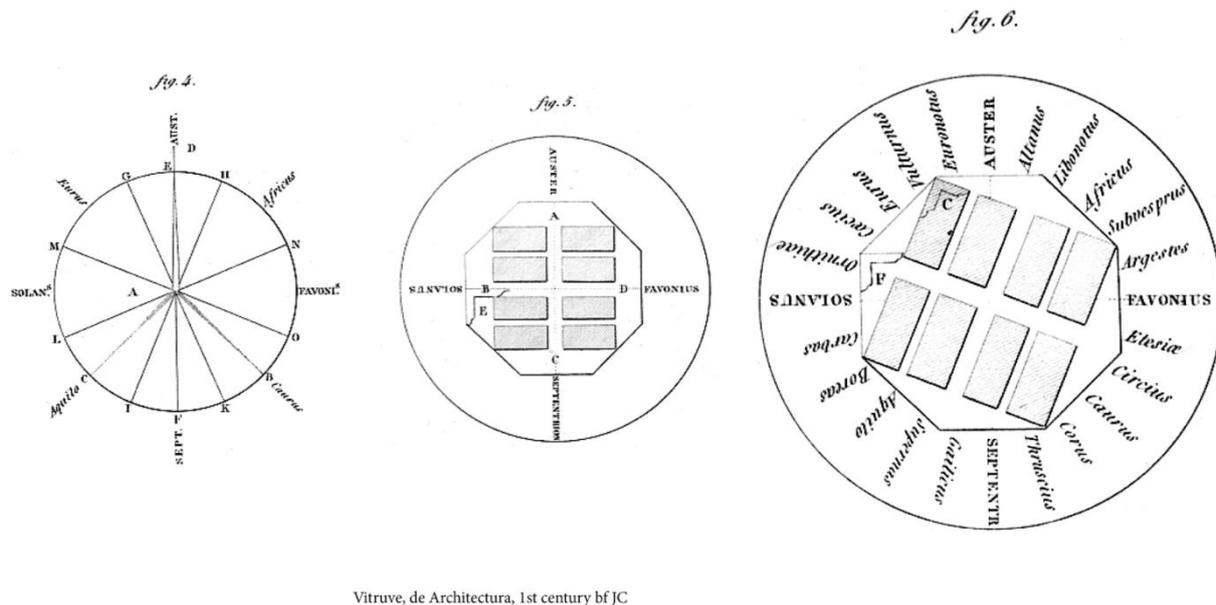
Rome est au centre de la vaste plaine, entre la mer à l'Ouest, et les *Colli Albani* à l'Est. Bien sûr, ce seul bâtiment n'a pas arrêté le vent. Mais l'urbanisation croissante entre la mer et le centre-ville a créé un dôme de chaleur, ce qui fait que ce vent n'arrive plus à perforer, à arriver au centre de Rome. Je suis donc parti explorer la périphérie romaine à la recherche de ce vent disparu. Rappelons que les hommes, surtout en Méditerranée ont toujours vécu de façon empirique avec les vents.

Une tour des vents se trouve sur le Parthénon d'Athènes : un octogone, avec ses huit côtés qui correspondent aux huit directions des vents dominants. Chaque vent est associé à une divinité qui a une personnalité en fonction de ses attributs : sa violence, sa douceur, son caractère positif ou négatif sur les habitants.

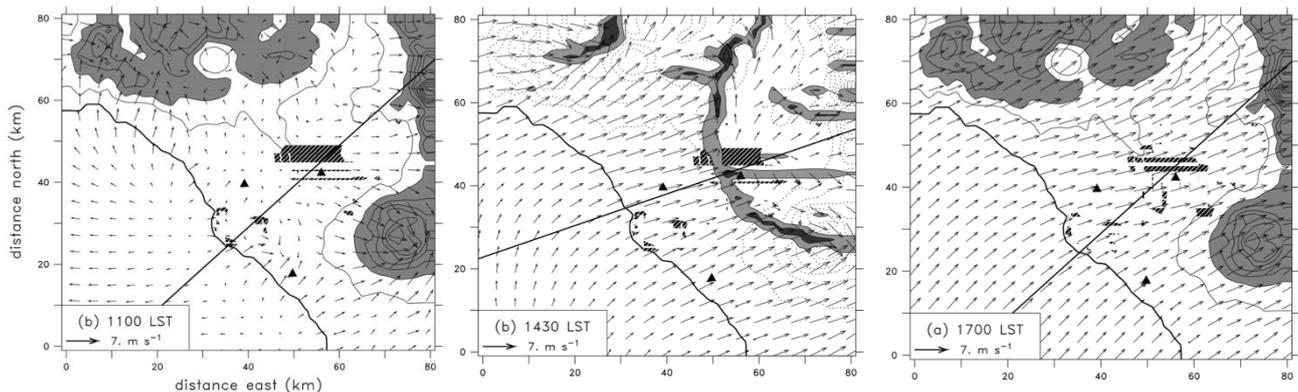


Wind towers, Athens, 1st century bc JC

Vitruve, architecte romain, expliquait comment orienter la trame urbaine pour autoriser certains événements bénéfiques au cœur de la ville, tout en en bloquant d'autres, les vents d'hiver notamment, qui pour eux apportaient la maladie. Il distinguait ainsi les vents noirs et les vents blancs.



Dès lors, comment se réapproprié cette question, en partant de nos tours à vent, de la mesure constante des données climatiques par les scientifiques ? Rencontrés à Rome, ils m'ont confirmé que le *Ponentino* ne parvenait plus à accéder au cœur de Rome. Grâce aux mesures, nous pouvons suivre sa respiration journalière, l'inspiration des vents frais de la mer pendant la journée puis l'expiration le soir presque heure par heure sur le territoire.

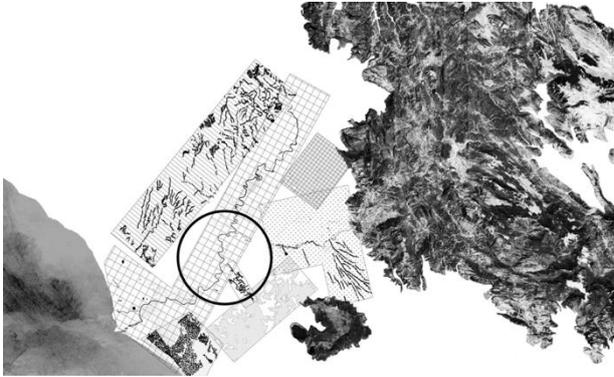


A numerical investigation of the sea breeze and slope flows around Rome  
 R. Caballero(1) and A. Lavagnini(2)  
 (1) Danish Center for Earth System Science, University of Copenhagen - Denmark  
 (2) IFACNR - Roma, Italy  
 Maggio 2002

### Géographie interne : la trame urbaine

À 11h, les terres du centre de Rome commencent à se réchauffer et il n'y a quasiment pas de mouvement sur la côte. À 14h30, le mouvement est enclenché : les terres chaudes aspirent le frais de la mer. Sur la carte du milieu, l'arc gris représente le front d'air chaud vertical colossal, produit par l'urbanisation, par la pollution, par le trafic, qui crée un dôme de chaleur sur la ville et empêche le *Ponentino* de rafraîchir la ville. À 17h, le *Ponentino* n'est pas passé dans le

centre mais a réussi à dépasser le dôme de chaleur et arrive sur les *Colli Albani*. Le soir, les températures vont s'inverser : les terres vont se refroidir et le vent va retourner vers la mer, plus chaudes que les terres, sans parvenir à rafraichir la ville. Une fois les mouvements du *Ponentino* compris, comment arriver à relire les grandes structures géographiques de la métropole en essayant d'imaginer de façon empirique d'autres dialogues, d'autres narrations avec les vents ?



#### *La côte: les plaines agricoles*

La mer à l'Ouest, les *Colli Albani* à l'Est, le vent commence à arriver sur les grandes plaines agricoles de l'estuaire du Tibre dès 11H30-12h. On sait que les vents s'accélèrent sur les espaces ouverts. On sait également que l'irrigation, lorsqu'elle est active, produit des effets de rafraîchissement à plus de 50 km. Dès lors, comment repenser les zones agricoles,

l'irrigation, les canaux, afin de pouvoir rafraîchir davantage le centre-ville ?

#### *Le fleuve*

Le vent s'engouffre ensuite sur le Tibre. Les rivières, les fleuves sont toujours des canaux où le vent s'engouffre, capables de modifier les flux. En Méditerranée, les rivières ont souvent été murées pour contrer les crues hivernales. Le Tibre est devenu un long mur. Comment repenser la totalité des berges pour marier le fleuve d'eau et le fleuve d'air afin d'imaginer un grand delta aérien capable de rafraîchir le centre de Rome ?

#### *La forêt*

À midi, le vent est confronté à une grande forêt maritime, cette grande forêt de pins caractéristiques du littoral d'Ostie. Les forêts rafraîchissent les vents, car lorsque que ces derniers tentent de perforer la forêt, les couches d'air se mélangent au-dessus des canopées et le vent se charge de l'évapotranspiration des arbres. Dès lors, comment repenser l'épaisseur et la nature de ces forêts côtières afin d'amplifier l'effet de rafraîchissement jusqu'au centre-ville de Rome ?

#### *Les reliefs*

Vers 13h-14h, le vent rencontre tout un système de petites collines et de sillons à l'est de Rome. Les collines sont un obstacle pour le vent, mais composent en même temps une série de sillons qui canalise le vent et renforce sa puissance. Il s'agit d'imaginer d'autres formes de mariage entre la topographie, l'organisation, le bâti, ces sillons... pour peut-être canaliser de nouveau, accélérer ces vents vers le centre de Rome ou profiter localement de ces effets rafraichissants. Plus loin dans la ville, La *Via Appia Antica* est un grand corridor vert au cœur de Rome jouant le rôle de refuge ; moins porté par ces dômes de chaleur, le *Ponentino* va redescendre sur la ville. Comment consolider ce rôle de refuge au cœur de la ville ?

#### *Les espaces ouverts de l'Est*

À l'Est, une grande plaine plane, sorte de grand puzzle urbain, constitué de campus, de zones pavillonnaires, de centres commerciaux, de zones économiques, de parkings, etc. Comment

remailler, retravailler toute cette zone, en partant du vide, en partant des effets d'accélération sur les espaces ouverts et de ralentissement sur les espaces urbanisés pour produire d'autres structures sur cette grande plaine à l'Est de Rome ? Comment dessiner une grande armature pour ces territoires où la géographie a disparu en partant des dynamiques aériennes ?

### *Au-delà du Centre*

Une fois que le vent, enfin, a dépassé le cœur de Rome, il atterrit dans deux autres géomorphologies, deux autres territoires : l'Anniene et ses affluents, et les territoires agricoles au nord de Rome, où il est moins question d'urbanisation que des rôles de refuge de ces espaces où le vent se fait sentir après 18h. Comment imaginer d'autres usages estivaux ? Comment y pérenniser la place de l'agriculture ? Le soir, le vent arrive sur les collines.

Tous ces territoires peuvent ainsi être repensés en fonction de leur rôle bioclimatique sur l'ensemble de la métropole. Il n'y a plus de hiérarchie entre le centre et le grand paysage mais 8 « grands jardins métropolitains » reliés par le GRA, le grand périphérique romain.

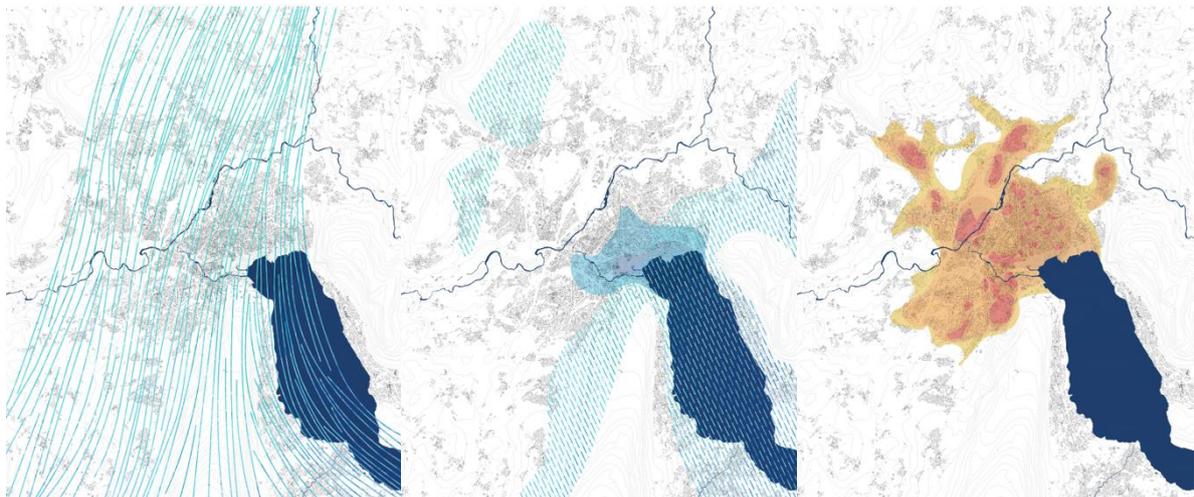
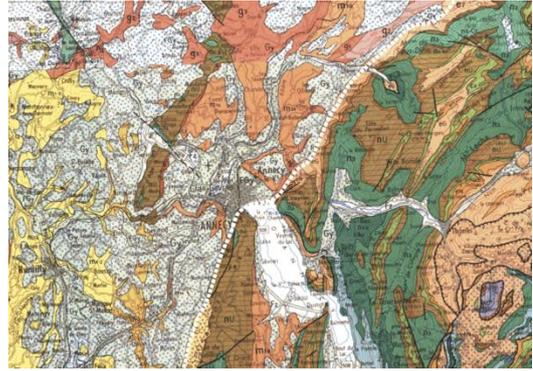


Ce qui est important avec le vent, c'est que tout à coup, nous ne nous représentons plus la ville comme un centre et des périphéries, comme des espaces urbanisés et des espaces naturels, comme du gris et du vert. Tout se raconte pour produire d'autres armatures. En suivant cette brise un peu fragile, de nouvelles narrations sont possibles entre la géographie, l'architecture, le paysage, à partir du flux. La recherche empirique menée à Rome s'accompagne d'écrits, de vidéos, comme celle où nous avons traversé le territoire en drone à la vitesse du vent pour tenter de parler de paysage uniquement en termes de textures, d'humidité, d'échanges, de minéralités, de porosité... Cette première invitation à travailler avec le vent devient maintenant opérationnelle. Nous essayons de travailler comme cela pour chacun de nos projets, quelle que soit l'échelle.



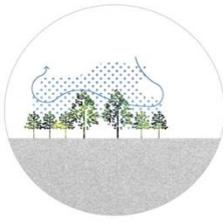
A titre d'exemple, nous continuons à le faire à Annecy dans le cadre d'un dialogue compétitif, où nous partons des dynamiques, des flux qui nous semblent fragiles pour essayer de produire d'autres formes urbaines.

Annecy est localisée à la rencontre franche entre deux systèmes géomorphologiques : les collines jurassiennes à l'Ouest et les contreforts alpins à l'Est. Cette rencontre franche produit des dynamiques climatiques précises.



Deux systèmes journaliers sont notables : les vents de vallée et les brises de lacs, tous deux issus d'une règle simple : l'air chaud s'élève et attire toujours l'air froid. Les vents froids des Alpes prennent ainsi chaque jour tout l'arc périalpin depuis Genève vers la Vallée du Rhône en passant par Grenoble. Puis des systèmes plus localisés, comme la mer à Rome, sont produits par le lac qui offre cette respiration journalière d'inspiration de l'air frais vers la ville dans la journée et d'expiration le soir. Les différentiels de température entre le haut et le bas des pentes produisent également des brises localisées au pied des massifs.

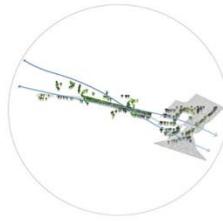
Nous travaillons dans toutes les géographies de la ville à partir d'une lecture de toutes les géomorphologies afin d'essayer d'imaginer de nouvelles interactions entre l'ombre, l'humidité, la fraîcheur et la vitesse du vent. Annecy, comme toutes les villes de l'arc alpin, sera soumise aux îlots de chaleur et à une augmentation de plus de 3° d'ici à 2050.



FAVORISER LA CIRCULATION AÉRIENNE AU CŒUR DU BÂTI



PROFITER DE L'ÉVAPORATION ET DES BRISES ISSUS DU LAC



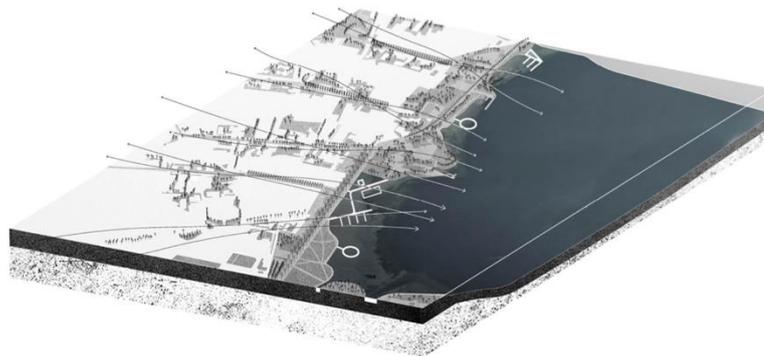
AUGMENTER LES POROSITÉS NORD-SUD DE LA PLAINE



CRÉER DE NOUVELLES AMÉNITÉS AU BORD DU LAC



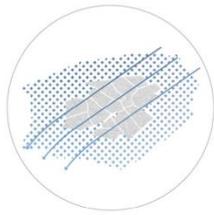
S'APPUYER SUR LES ESPACES MUTABLES, PARKINGS, ABORDS DE BÂTIMENTS POUR AUGMENTER LES SURFACES DE PARC



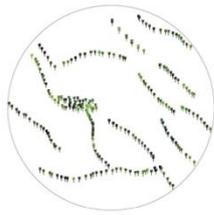
Dans le cadre d'une vision prospective (projet en cours) à Annecy, on cherche à imaginer comment pourrait être réaménagé le front de lac afin de profiter de cette respiration quotidienne. Ce sont



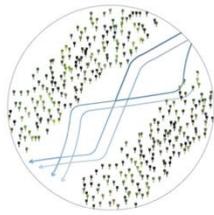
l'ombre, l'humidité et la vitesse du vent qui constituent toujours le confort urbain. Comment renforcer une ceinture de parcs au bord de l'eau afin de profiter de ces brises de lac qui arrivent et comment démultiplier les possibilités d'accès à l'eau vive pour profiter de ce refuge en soirée ? Comment travailler avec le tissu urbain pour travailler de grandes perforantes à travers tout le cœur urbain dense ? Voici par exemple ce que pourrait devenir le front de lac d'Annecy : un espace beaucoup plus ombragé, ouvert au vent, et un espace où l'on profite de l'eau vive et de cette brise de lac.



S'APPUYER SUR LE RÔLE CLIMATIQUE DES ESPACES AGRICOLES FRAGMENTÉS



RENFORCER LES STRUCTURES BOCAGÈRES



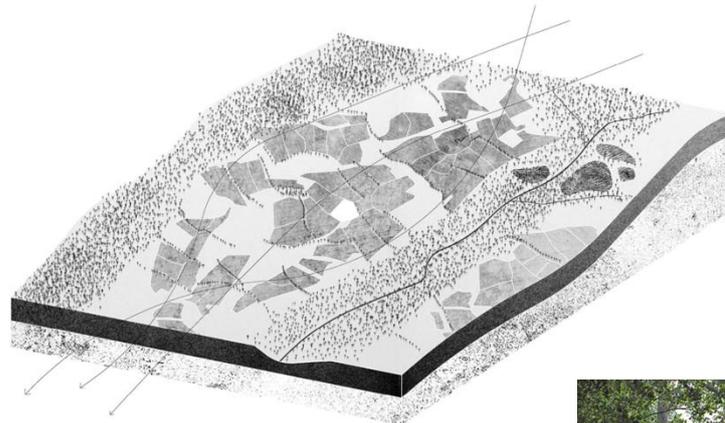
CANALISER LES BRISES DE PLAINE PAR LE RENFORCEMENT DES ÉPAISSEURS RIPISYLVES



RENFORCER LA COURONNE FORESTIÈRE AU SOMMET DES COLLINES



ANTICIPER LA DIVERSIFICATION DES PRATIQUES AGRICOLES FACE AUX MONTÉES DES TEMPÉRATURES



On travaille également sur d'autres géographies de la ville. Sur la périphérie agricole, travailler avec les vents permet de se rendre compte qu'un champ, particulièrement lorsque la végétation est haute, a des effets sur les températures à plus d'un kilomètre de sa périphérie. Dès lors, les espaces agricoles ne sont plus le devers de la métropole mais les garants du climat métropolitain. C'est ainsi préserver ces espaces ouverts qui sont les garants de la circulation de ces brises de vallée jusqu'au cœur de ville. On pourrait également travailler avec les épaisseurs des boisements, le long des voies d'eau, pour canaliser les brises vers le centre-ville. On peut travailler avec les forêts, au sommet des plateaux car on sait qu'elles protègent la ville des vents froids hivernaux. On peut travailler avec tout ce réseau linéaire fragile de lisières, de bosquets, afin de favoriser les microclimats locaux et anticiper les évolutions agricoles de ces territoires.

Ci-contre une représentation de ce que peut devenir toute cette couronne agricole à partir de ce mariage fin orienté par les vents.





Pousser toutes les morphologies de la ville permet ainsi de dessiner une nouvelle armature pour Annecy. S'en trouve un grand fond de lac renouvelé avec de longues perforantes Nord-Sud pour tenter d'associer les brises de plaines et les brises de lac ; une ceinture de parcs pour associer l'ensemble du réseau hydrographique à un système de boisements et d'espaces publics ; un système de parcs pour marier ombre, fraîcheur, humidité et vitesse de vent. Tout autour, la grande couronne agricole pourrait être renforcée et remaillée pour offrir à la ville une nouvelle armature.

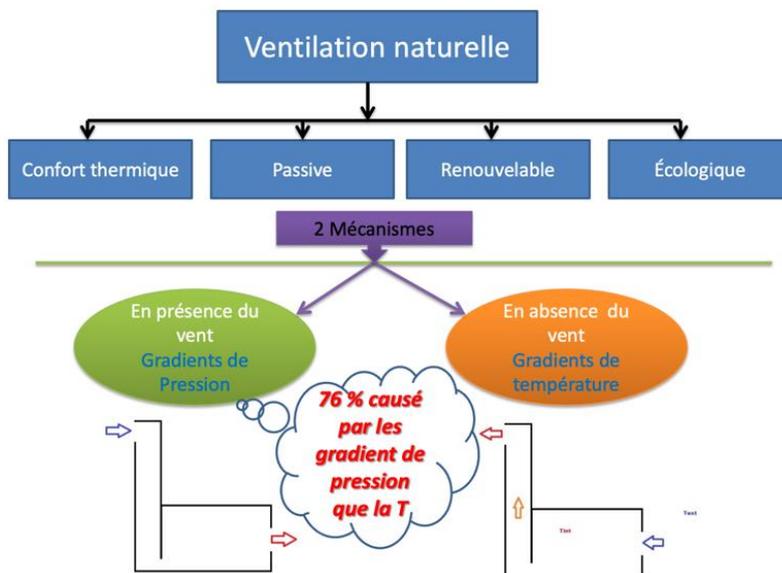
**Pierre Massis :** Merci pour ce beau voyage. Des éléments favorisent donc le confort urbain. Mais ils ne sont pas immédiatement positionnés en ville, en centre urbain : toute la périphérie prend son importance, comme l'illustrent les exemples de Rome et d'Annecy. Des éléments naturels tels que les rivières et les forêts rafraîchissent, les collines accélèrent la force du vent, les territoires agricoles permettent cette aération et cette respiration globales.

**Mathieu Lucas :** Je crois que c'est bien la plus belle leçon du vent : les territoires deviennent solidaires, c'est-à-dire que notre ressenti, à un moment donné dans la ville, ne dépend pas seulement du microclimat autour de nous mais de l'aménagement à 50 km au-delà. C'est une invitation à inventer de nouveaux dialogues dans le sens du vent, à dépasser les logiques d'aménagement traditionnels.

**Pierre Massis :** A travers votre intervention, nous prenons donc conscience que la conception urbaine n'est, finalement, pas simplement urbaine, mais a une définition beaucoup plus élargie. Cela représente un apprentissage fondamental qu'urbanistes et aménageurs doivent ainsi prendre en compte. Il s'agit d'interroger la gestion concrète d'une appropriation qui manifesterait cette solidarité aussi bien entre les territoires qu'entre leurs représentants. Le confort urbain se matérialise donc par une alliance entre l'humidité, la vitesse du vent mais aussi l'ombre, faisant du soleil un allié pour se réchauffer dont il faut toutefois savoir se protéger, au même titre que de l'humidité. Des fleuves et rivières qui traversaient autrefois la ville ont parfois été couverts -à cause de crues ou pour gagner de la place- comme ce fut le cas pour certaines villes en Bretagne (Morlaix ou Rennes) pour y construire un parking. Aujourd'hui, ces aménagements commencent à être déconstruits car on se rend compte qu'ils sont à la fois inutiles et insuffisants pour canaliser ces cours d'eau. Pour aller dans le sens de Salma, il s'agit donc d'être en mesure de faire de la vitesse du vent son alliée. La ville reçoit donc, parfois malgré elle, une identité à travers cette solidarité de territoires et cette présence invisible pourtant bien réelle du vent.

**Nasreddine Sakhri – Chef de département travaux neufs ; Maître-assistant ; Université Tahri Mohammed Béchar-Laboratoire ENERGARID**

Je suis très heureux d’être avec vous aujourd’hui pour parler d’un élément fondamental aussi bien dans l’architecture vernaculaire et traditionnelle que dans l’architecture bioclimatique : le vent. Cette intervention portera sur l’échelle du bâtiment et présentera les résultats des recherches du laboratoire ENERGARID (*Laboratoire d’études des systèmes énergétiques en zones arides*), où je travaille en tant que chercheur et maître-assistant. Les recherches se concentrent sur l’amélioration du confort thermique dans les régions arides en utilisant des techniques renouvelables, sans consommation d’énergie.



La ventilation naturelle est une technique qui assure le confort thermique d'une façon passive, renouvelable et immuable en utilisant deux mécanismes : en présence du vent, par les gradients de pression et en absence du vent par les gradients de température. 76% des forces « motrices » sont issues des gradients de pression. Pour les gradients de pression, la différence de pression [ $\Delta P$ ] se forme lorsque le vent rencontre une structure,

créant une zone de surpression en amont, une dépression en aval.

Plus on augmente la  $\Delta P$ , plus on aura de ventilation naturelle. Les gradients de température sont désignés le plus souvent sous le nom de tirage thermique. Ils représentent la différence entre la température de l'air qui se trouve dans la partie la plus basse (froide) et celle de la partie la plus haute (chaude). Elle crée un écoulement de l'air : le tirage thermique. La différence de température, c'est la force qui génère l'économie de l'air à l'intérieur de la structure.

## Gradients de pression

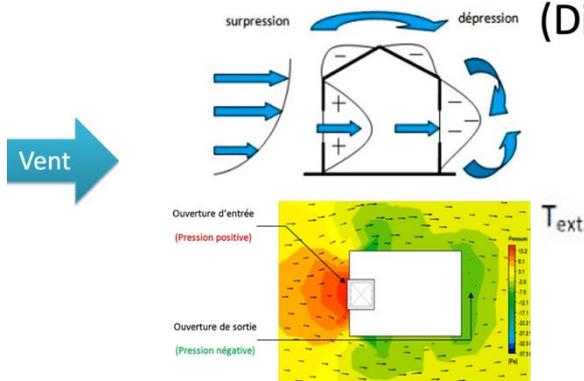


Fig.1. Gradients de pression causés par le vent sur une structure

## Gradient de température

(Différence de densité ou flottabilité)

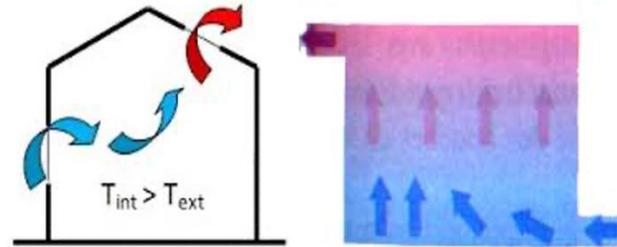


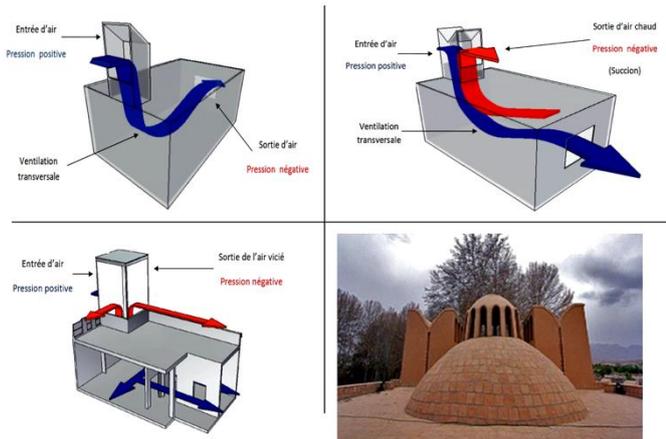
Fig.2. Tirage thermique à l'intérieur d'une structure.

Techniques renouvelables utilisées numériquement et expérimentalement

### La tour à vent



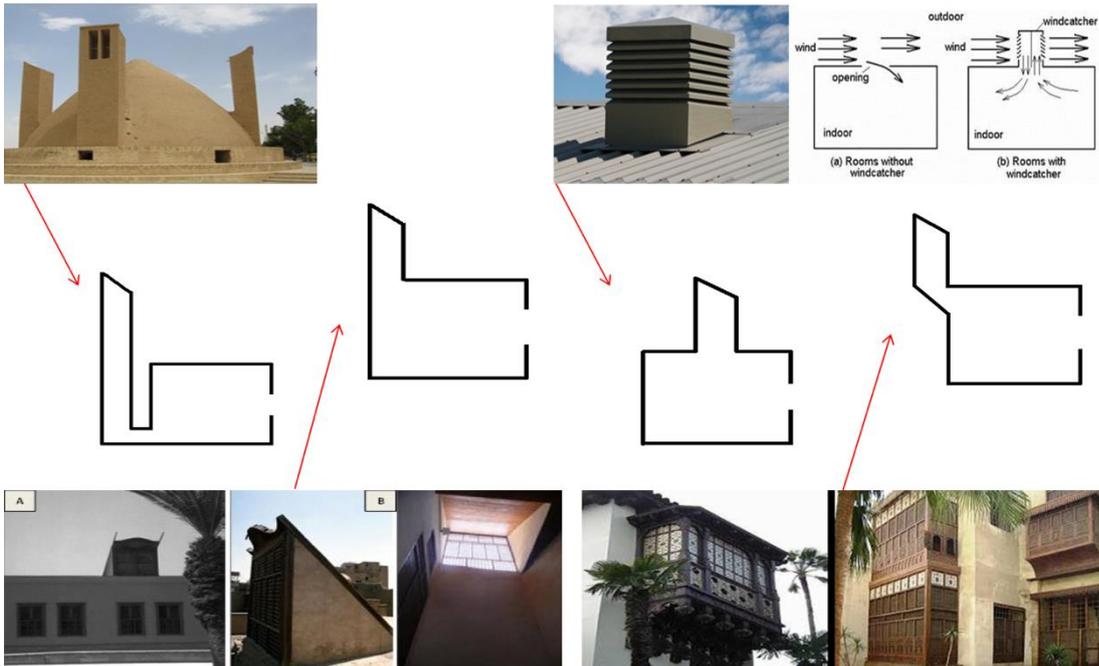
### Types de tour à vent



La tour à vent est un élément architectural qui définit la région du Moyen-Orient, notamment les pays du Golfe. Elle peut prendre une forme traditionnelle ou moderne. Il existe plusieurs types de tours à vent : mono-face, double face, à plusieurs faces, circulaire ou triangulaire... Cela dépend de la configuration et de la région où se trouve la tour à vent.

Plusieurs modèles ont été étudiés afin d'augmenter la Delta P entre l'amont et l'aval de la structure.

# Modèles étudiés



## Delta P au niveau macro

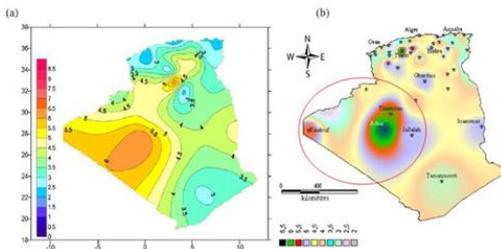
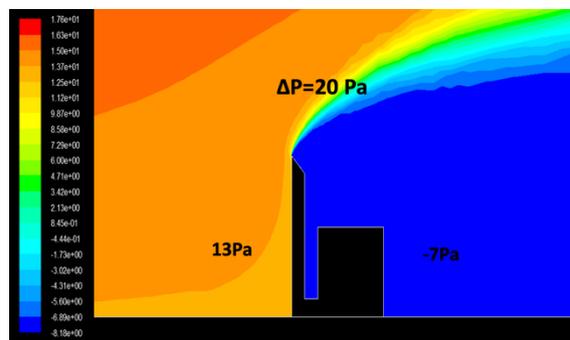


Fig. La carte des vent annuelle en Algérie à 10 m de hauteur

Nous avons essayé d'augmenter la Delta P en Algérie, plus particulièrement dans la zone de Béchar. La moyenne de vitesse du vent y est de l'ordre de 4 à 4,5 m/s.

Un premier modèle conçoit une Delta P de l'ordre de 20 Pascals (PA), 21,5 PA pour le deuxième, et 18 PA pour le troisième modèle qui utilise les tours à vent modernes installées au milieu de la structure. Le quatrième modèle proposé par le laboratoire atteint 21PA.



Fig, Pression total de l'air extérieure autour modèle traditionnelle

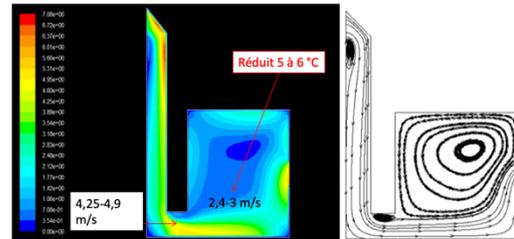
## Écoulement d'air à l'intérieur de la structure

Vitesse de l'air intérieure (ms <sup>-1</sup> )	Reduction en temperature (°C)
0,1	0
0,3	1
1	3
3	6
6,5	8

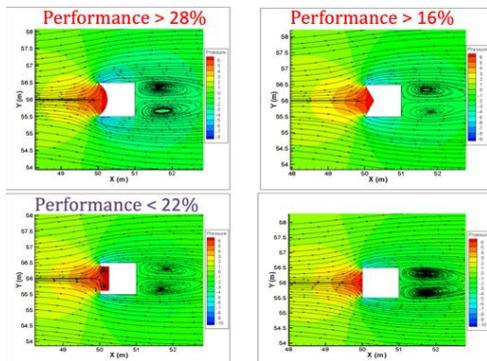
**Il existe une relation entre la vitesse et du vent et la réduction de température.** A une vitesse de vent de 6,5 m/s, la température peut diminuer jusqu'à 8°. Plus la vitesse du vent augmente, plus grand est le rafraîchissement.

Tab. 1 Relation entre la vitesse de l'air et la réduction en température [René votton, 1998].

Pour le premier modèle, la vitesse d'entrée du vent au niveau de la tour est de 3m/s, permettant une diminution de 5° à 6°. Une diminution similaire est notée pour le deuxième modèle. La tour à vent moderne du troisième modèle descend à 3°. Quant au quatrième, modèle, il peut réduire jusqu'à 7°.



Fig, vitesse de l'air intérieur et lignes de courant- modèle traditionnelle



Dans ce même objectif d'augmenter la Delta P entre l'amont et l'aval, plusieurs modèles ont été comparés : la forme circulaire, la forme triangulaire, la forme en U. La performance de la technique augmente de 28% lorsque la forme est circulaire, 16% pour la forme triangulaire.

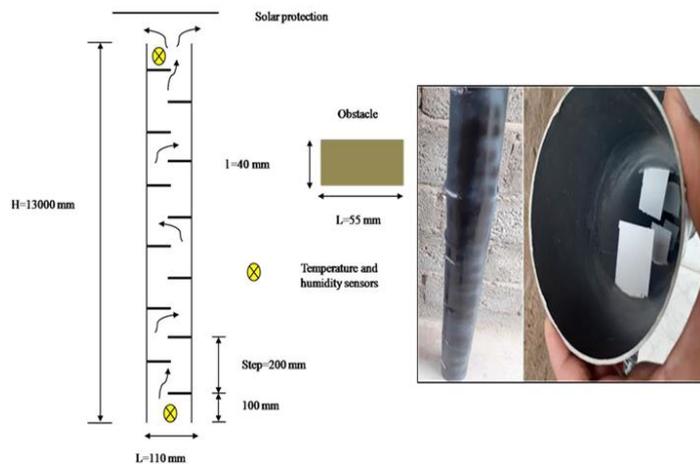


À partir de ces études, nous avons construit une tour à vent dans un cadre expérimental.

**Pierre Massis :** Pour recontextualiser, Béchar est situé dans un territoire aride où les températures estivales sont très chaudes, et les températures hivernales très froides. Votre méthodologie est intéressante car vous avez travaillé à la fois sur le rafraîchissement en été et le réchauffement en hiver. Cette vue globale et les études au Moyen-Orient sur les badguirs vous ont permis d'expérimenter des tours à vent, vous amenant par exemple à positionner les

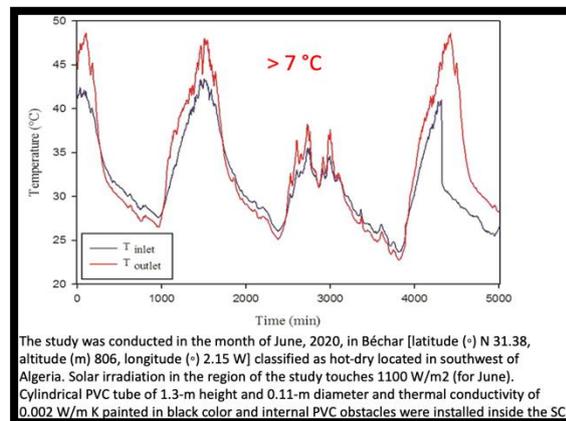
cheminées en différents endroits pour diminuer la température des courants aériens. Dans une deuxième partie qui porte sur le réchauffement, la nuit ou en hiver, entre en jeu la cheminée solaire.

**Nasreddine Sakhri** : Exact. La cheminée solaire est une technique simple qui recourt à un tuyau en PVC noir de 1 m à 1m30, et à une section transversale de 110 mm dans le but d'augmenter les gradients de température. Plus la température de l'air évacué de la structure augmente, plus fort sera le tirage thermique et donc plus frais sera l'air qui entre par les ouvertures les plus basses.



L'Algérie et Béchar disposent d'un gisement très important d'énergie solaire dont nous avons tenté de tirer profit grâce à une simple structure (ci-contre) : un tuyau en PVC dont l'intérieur est rempli d'obstacles, appelés chicanes, afin de diminuer la vitesse du vent et s'assurer que l'air s'expose au maximum aux rayons solaires.

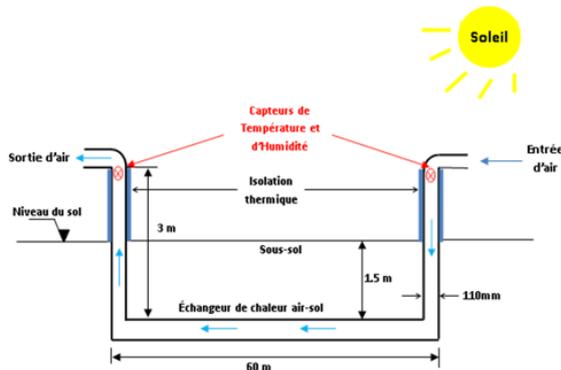
Nous sommes parvenus à une différence de 7° au niveau de la cheminée entre l'air entrant dans la structure et l'air sortant. Les effets du tirage thermique au niveau du bâtiment seront dès lors plus conséquents.



*Échangeur de chaleur air-sol*

En troisième partie, nous avons souhaité tirer bénéfice de l'énergie géothermique et avons réalisé ce qu'on appelle un échangeur de chaleur air-sol. Quatre modèles ont été utilisés pour cette technique.

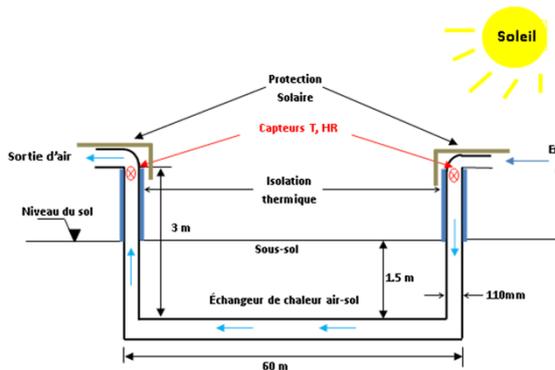
### 1-Échangeur de chaleur air-sol sans protection solaire



Heures du jour	$\Delta T (T_{\text{inlet}} - T_{\text{outlet}}) (^\circ\text{C})$								Régime
	Jours								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
00	--	-3,65	4,575	4,325	-5,78	-5,33	-4,31	-2,76	Chauffage
01	--	-4,85	4,775	4,775	-6,56	-4,44	-6,01	-5,39	
02	--	-3,542	3,12	-2,96	-7,092	1,292	-3,48	-5,3	
03	--	-0,075	0,53	-6,03	-7,04	-2,62	-5,32	-0,59	
04	--	-4,525	3,41	-5,63	-7,85	-5,76	-6,26	0,975	
05	--	-5,36	2,925	-5,26	-5,883	-9,06	-7,61	-3,658	
06	--	-5,825	2,592	-4,941	-9,41	-9,275	-5,33	-4,775	
07	--	-6,775	2,53	-6,325	-9,11	-9,65	-5,46	-6,567	
08	--	-7,775	4,883	-3,3	-2,937	-9,96	-8,56	-7,11	
09	--	5,06	5,06	-5,13	3,2	-4,78	-3,142	-0,63	
10	--	0,008	5,658	-7,48	9,483	9,092	0,6	0,42	
11	--	9,125	5,02	-5,71	11,93	19,26	-2,68	7,025	
12	--	9,6	4,56	0,966	7,25	9,933	0,42	1,825	
13	--	8,908	4,075	6,442	5,725	4,75	-0,883	1,95	
14	--	6,758	3,308	8,375	5,166	3,85	2,33	1,6	
15	--	6,93	2,56	8,642	4,792	3,36	3,775	-2,76	
16	2,2	4,116	2,45	7,51	4,7	3,51	3,066	--	
17	0,125	2,166	2,2	4,542	3,55	2,758	2,575	--	
18	-2,383	-0,41	2,7	-0,53	0,25	0,44	2,442	--	
19	-2,383	-1,9	5,83	-2,68	-2,07	-3,1	-1,72	--	
20	-2,508	-1,125	5,583	-4,933	-3,1	-3,22	-3,93	--	
21	-2,508	-1,183	5,86	-4,56	-4,16	-2,62	-3,49	--	
22	-2,025	0,6	5,91	-4,245	-5,7	-3,508	-1,983	--	
23	-2,6	3,242	5,9	-5,52	-5,13	-4,14	-1,48	--	

Le premier modèle, le plus simple, est un échangeur de chaleur air-sol sans protection solaire, seulement équipé de protections thermiques au niveau des parties exposées à l'extérieur. L'entrée d'air est orientée vers le sens des vents dominants, soit au sud-ouest pour Béchar. Le dispositif échangeur de chaleur air-sol donne deux modes. Lorsque la température extérieure hivernale avoisine les 5°, il se crée un préchauffage augmentant la température jusqu'à près de 10°. Et lorsque la température extérieure augmente, l'échangeur air-sol passe à un mode de refroidissement et on gagne une diminution allant jusqu'à près de 12°. Ce système travaille dans la même journée comme système de chauffage la nuit et de refroidissement le jour avec pour référence la température de l'air extérieur.

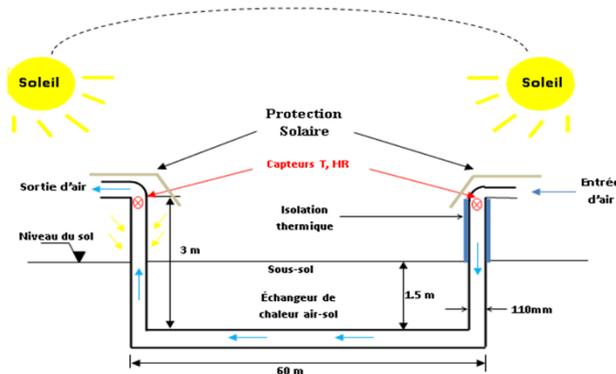
### 2-Échangeur de chaleur air-sol avec protection solaire des parties supérieures



Heures du jour	$\Delta T (T_{\text{inlet}} - T_{\text{outlet}}) (^\circ\text{C})$								Régime
	Jours								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
00	--	-3,97	-4,1	-3,683	-3,13	-2,68	-3,192	-3,528	Chauffage
01	--	-4,51	-4,33	-4,11	-3,7	-3,142	-3,07	-4,13	
02	--	-4,93	-4,85	-4,47	-4,2	-3,17	-3,72	-4,7	
03	--	-4,683	-4,742	-4,783	-4,583	-3,292	-4,23	-4,87	
04	--	-5,57	-5,42	-4,917	-4,958	-2,44	-4,842	-5,4	
05	--	-6,01	-6,15	-5,33	-4,93	-2,56	-5,29	-5,38	
06	--	-5,975	-6,425	-5,325	-5,108	-3,62	-5,775	-5,07	
07	--	-6,16	-6,63	-5,46	-5,325	-4,22	-6,13	-5,5	
08	--	1,63	-0,942	3,47	-3,066	-2,642	-2,76	2,591	
09	--	10,842	7,591	5,05	2,76	3,542	5,27	12,46	
10	--	12,558	11,4	5,917	5,492	9,43	3,8	9,05	
11	--	9,975	11,68	11,33	11,1	0,8	6,667	12,46	
12	--	8,225	7,31	9,583	9,4	-0,3	8,256	9,05	
13	--	5,308	4,542	7,341	3,9	1,47	8,44	11,72	
14	--	5,283	4,65	3,875	0,32	5,175	5,875	11,608	
15	--	4,458	4,7	2,992	-3,175	3,15	4,775	9,11	
16	1,209	2,983	0,17	-3,9	-7,6	-1,25	-1,12	-3,528	
17	-0,15	-1,53	-4,942	-9,35	7,725	-8,5	-8,325	--	
18	-3,53	-0,075	-0,3	-1,06	1,092	-0,85	-0,6	--	
19	-0,7	-1,65	-0,21	0,44	1,2	0,17	-0,07	--	
20	-0,658	-2,122	-1,283	0,08	0,292	-0,57	-0,97	--	
21	-0,75	-2,792	-1,783	-0,57	-0,375	-1,3	-1,67	--	
22	-1,725	-2,52	-2,6	-2,017	-1,36	-2,042	-2,83	--	
23	-2,966	-4,142	-3,142	-2,7	-2,16	-2,71	-2,95	--	

Le deuxième modèle utilise des protections solaires dans la partie supérieure. Le mode chauffage en saison hivernale atteint les 9° pour un refroidissement allant jusqu'à 12,46°.

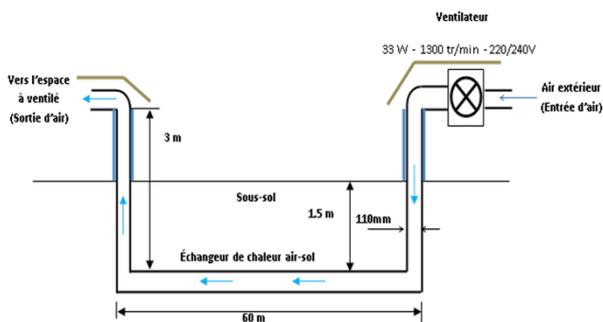
### 3-Échangeur de chaleur air-sol avec cheminée solaire



Heures du jour	$\Delta T (T_{inlet} - T_{outlet}) (^\circ C)$								Régime
	Jours								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
00	--	-3.11	-2.57	-2.6	-3.35	-3.2	-1.1	-4.15	Chauffage
01	--	-3.3	-2.71	-3.8	-3.84	-3.89	-0.675	-3.95	
02	--	-3.46	-3.3	-4.725	-3.77	-3.84	1.275	0.791	
03	--	-2.9	-3.95	-4.65	-4.36	-3.92	1.91	-1.3	
04	--	-3.32	-3.76	-4.7	-4.75	-4.1	2.72	-1.925	
05	--	-4.5	-4.025	-4.8	-5.125	-4.45	3.06	1.56	
06	--	-3.03	-4.275	-5.4	-4.42	-4.24	0.72	1.92	
07	--	0.5	-5.3	-5.53	-4.44	-4.35	-4.4	-2.99	
08	--	-2.28	-4.21	-4.36	-3.7	-4.71	-3.675	0.98	
09	--	0.31	-2.94	-4.475	-1.25	-2.72	-3.16	6.31	
10	--	2.042	-3.97	-5.825	-2.12	0.49	1.6	-3.41	
11	--	5.12	4.45	-1.425	11.6	7.675	1.64	-4	
12	--	-3.775	7.55	4.7	5.7	7.11	2.63	--	
13	4.1	-5.8	-0.3	0.95	6.44	6.4	3.06	--	
14	3.3	-1.033	-4.6	-1.41	3.72	3.46	1.23	--	
15	3.042	1.63	-2	0.53	2.32	0.775	0.6	--	
16	-1	-4.075	-11.042	-1.7	-0.125	-0.84	0.46	--	
17	-2.86	-8.075	-14.1	-7.3	-4	-1.32	-2.275	--	
18	-0.41	-1.175	-0.275	0.025	-0.81	0.92	0.875	--	
19	0.9	0.85	1.025	1.41	0	1.5	0.51	--	
20	-0.142	0.925	0.42	0.883	1.84	2.21	1.49	--	
21	-1.083	0.342	0.25	0.91	1.94	0.5	-3.74	--	
22	-1.425	1.81	1.308	2.76	-0.65	-0.33	-3.96	--	
23	-2.12	-1.68	-1.76	-0.925	-2.67	-0.02	-2.65	--	

Le troisième modèle intègre un effet cheminée solaire au niveau de la sortie d'air qui sera connectée avec le bâtiment ou l'habitat. Le mode chauffage a gagné 2° pour l'air sortant du dispositif contre 11,04° en mode refroidissement 11°.

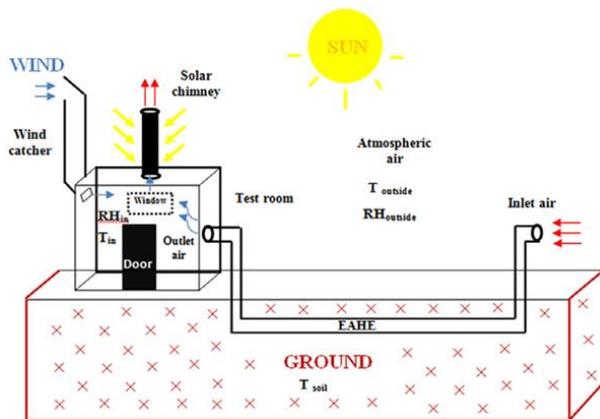
### 4-Échangeur de chaleur air-sol avec protection solaire et ventilateur extérieure



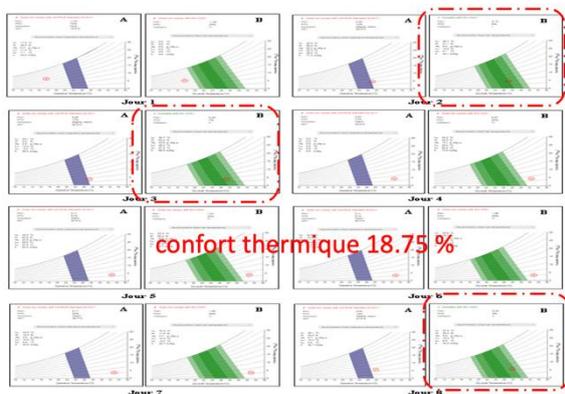
Heures du jour	$\Delta T (T_{inlet} - T_{outlet}) (^\circ C)$								Régime
	Jours								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
00	--	-10.6	-9.4	-9.06	-7.9	-5.225	-8.15	-8.075	Chauffage
01	--	-11.07	-10.36	-9.84	-8.625	-6.15	-8.225	-8.67	
02	--	-11.34	-11.11	-10.3	-9.54	-7.6	-9.73	-9.075	
03	--	-11.4	-11.42	-10.34	-9.89	-9.44	-9.925	-9.15	
04	--	-12.23	-11.77	-10.61	-9.84	-10.3	-9.925	-8.84	
05	--	-12.86	-12	-11.04	-10.56	-10.34	-10.14	-9.125	
06	--	-13.02	-12.2	-11.47	-10.38	-10.2	-10	-10.38	
07	--	-13.1	-12.27	-12.12	-11.3	-10.85	-9.8	-10.38	
08	--	-13.36	-12.43	-12.54	-11.03	-11.3	-10.82	-11	
09	--	-11	-9.71	-9.47	-9.01	-8.425	-10.74	-8.65	
10	--	-8.13	-6.49	-5.23	-4.52	-3.75	-6.95	-5.16	
11	--	-4.32	-2.14	-1.175	-0.825	-1.8	-2.725	-0.3	
12	--	-2.275	-0.4	1.7	0.775	-0.075	1.08	0.6	
13	--	-0.875	0.7	2.54	1.5	0.475	6.82	0.175	
14	--	-0.1	2.875	3.04	1.57	1.8	-5.58	--	
15	0.99	-0.175	3.51	2.65	1.825	2	6.625	--	
16	-3.3	-0.88	2.45	1.77	0.758	1.26	4.7	--	
17	-5.275	-2.8	-0.41	-0.7	-1.28	-0.38	1.97	--	
18	-4.35	-2.4	-0.51	0.39	-0.18	-1.62	0.98	--	
19	-5.29	-3.775	-2.45	-1.63	-1.96	-3.15	-3.175	--	
20	-6.65	-5.47	-4.25	-3.08	-3.21	-4.7	-4.27	--	
21	-8.04	-7.14	-6.36	-3.58	-4	-6.63	-5.65	--	
22	-9.19	-8.26	-7.13	-5.23	-4.88	-7.92	-6.76	--	
23	-9.74	-8.67	-8.63	-6.5	-5.625	-8.67	-7.375	--	

Tous ces modèles étudiés ne nécessitent pas de consommation d'énergie. Le dernier modèle intègre un petit ventilateur de 33 W, ce qui est peu. En période hivernale, le mode chauffage gagne jusqu'à 13,36°, avec un régime stable par rapport aux autres modèles utilisés, contre 6° en mode refroidissement.

## Combinaison de plusieurs techniques



Tous ces éléments renouvelables, la tour à vent, la cheminée solaire et l'échangeur versant, ont été combinés dans la même structure à ventiler.



Selon les normes A-ASHRAE 55-2017 et B-EN-15251, le confort thermique sans utilisation des trois techniques renouvelables était à 18%. Y recourir permet d'atteindre les 50%, sans aucune intervention, sans aucune consommation d'énergie.



## Conclusion

- Le vent est un élément fondamental dans la conception bioclimatique comme il l'était dans l'architecture vernaculaire et traditionnelle.
- Il améliore significativement le confort thermique.
- Plusieurs techniques renouvelables basées sur le vent existent (tour à vent, cheminée solaire ou EAHE), faciles à utiliser avec un rendement important.

**Pierre Massis** : Merci Nasreddine, ce fut très instructif. Vous avez donc rassemblé trois technologies low tech dans un modèle expérimenté dans un bâtiment que vous avez conçu et dont vous avez surveillé très attentivement les constantes de températures. Cela, afin de mettre en œuvre trois modalités différentes : les deux premières sont la tour à vent (refroidissement) et l'échangeur air-sol (chauffage et refroidissement) avec une longueur de 60 m et une profondeur de 1m50 m. Cela signifie qu'il faut pouvoir disposer d'un peu de foncier, ce qui est un peu plus compliqué en ville. À l'extérieur de la ville ou éventuellement

dans les jardins publics, on peut creuser, installer les dispositifs, surtout si c'est rafraîchi avec les arbres par-dessus, puis on recouvre avec de la terre ou du gravier. Les 60 m peuvent donc être obtenus ; en sortie et en fonction de la température extérieure, il fera frais ou chaud. Le dernier dispositif est donc la cheminée solaire avec le PVC repeint en noir, les chicanes qui permettent de ralentir le vent, le soleil qui réchauffe le dispositif, et le tout arrive dans la maison. Vous m'avez dit avoir construit une petite maison de référence qui permettait de vérifier si cela fonctionnait correctement, pouvez-vous donner quelques précisions sur la manière dont a été conçue l'expérience ?

**Nasreddine Sakhri :** Pour la maison où les trois techniques ont été rassemblées, nous avons essayé d'approcher la réalité en reprenant les dimensions d'une chambre réelle, de forme cubique.

**Pierre Massis :** Les mesures de température ont-elles été faites sur plusieurs saisons ?

**Nasreddine Sakhri :** Oui, en période hivernale et estivale. Un grand problème à Béchar est que, situé en région aride, la température extérieure peut atteindre 55° en été. Cela entraîne un recours nécessaire à la climatisation, qui consomme énormément d'énergie. Améliorer le confort thermique jusqu'à 50% grâce à ces techniques renouvelables aisément réalisables, utilisables et intégrables à la structure permet de diminuer de 50% la facture d'électricité.

**Pierre Massis :** Le dispositif concentré est-il breveté et prêt à être industrialisé ? Ou est-il encore à l'état de recherche ?

**Nasreddine Sakhri :** Le laboratoire ENERGARID se concentre principalement sur la recherche et les publications. Tous les résultats sont publiés dans des journaux internationaux. La prochaine étape est encore à déterminer, nous travaillerons d'abord à l'amélioration des résultats.