

QUAND LE VENT FAÇONNE LA VILLE

Prendre en compte le vent dans la conception de la ville :

Application au périmètre d'Euroméditerranée



© Camille Moirenc

« *La mer fraîchit, la bise est vive,
Le vent blanchit les oliviers,
Le moment est venu de cueillir mes olives
Et de porter mon huile aux moulins de janvier* »

Henri Bosco

POURQUOI CE GUIDE ?

À Marseille, la place du vent est singulière, au croisement de trois enjeux :

- **des enjeux climatiques** : Comme l'ensoleillement exceptionnel, le vent (et notamment le Mistral) caractérise la cité phocéenne. Dans un contexte de réchauffement climatique, il présente une opportunité unique pour évacuer les surchauffes en période estivale.
- **des enjeux urbains** : Le vent a façonné et continue de façonner les formes urbaines. Lorsqu'il est trop fort, on s'en protège, et on en tire parti l'été. On l'utilise toute l'année pour générer de l'énergie (force éolienne).
- **des enjeux culturels** : Le vent est ancré dans l'identité de la ville, notamment au travers de la «Fête du Vent» qui le met à l'honneur chaque année.

À Marseille, le vent est connu des acteurs locaux de la fabrique de la ville (concepteurs, bailleurs, promoteurs, aménageurs,...). **Pourtant, il présente un caractère insaisissable et immatériel difficilement appropriable dans un projet.**

Développé à l'initiative de l'Établissement Public d'Aménagement Euroméditerranée (EPAEM), le présent guide fait partie d'une étude plus large menée par le groupement TRIBU / POLYPTYQUE/ J.GUENEAU pour approfondir le sujet de la prise en compte du vent dans les projets urbains et architecturaux.

Ce guide se veut un support d'aide à la conception à destination de l'ensemble des acteurs de la fabrique de la ville.

Il encourage à se saisir du vent comme levier pour améliorer la qualité bioclimatique des projets, ne plus le considérer comme une contrainte mais comme une matière première de projet, en ouvrant le champ de l'expérimentation.

... **Il s'accompagne de :** ...



Un outil excel permettant d'approfondir certains sujets de conception.



Un poster détaillant l'analyse de sept batiments marseillais au regard des enjeux de conception bioclimatique.



Lien vers l'outil et le poster

QU'EST-CE QUE LE VENT ?

*... des directions,
... des vitesses,
... des fréquences,
... des effets de vent liés à la forme urbaine,
à la hauteur des bâtiments,
à la topographie et à la géographie.*

Le vent désigne le mouvement horizontal de l'air. Il est caractérisé par deux paramètres principaux : sa direction et sa vitesse moyenne (aussi appelée force ou intensité et généralement exprimée en m/s ou km/h). Le vent est généré par les différences de pression dans l'atmosphère et par le mouvement de rotation de la Terre.

D'autres paramètres entrent en jeu dans l'analyse des vents : la saisonnalité, la fréquence d'occurrence des directions et vitesses de vent, la turbulence*, les rafales*. Bien que les vents soient généralement identifiés par leurs caractéristiques moyennes, ils présentent aussi des changements spontanés et aléatoires.

Comme pour tout fluide, il existe deux modes d'écoulement de l'air : laminaire et tourbillonnaire. En l'absence d'obstacle et de phénomènes perturbateurs, les mouvements de l'air peuvent être représentés par des lignes de courant parallèles entre elles. L'écoulement est alors appelé laminaire : la direction, le sens, et l'intensité du vent sont stables sur une période et un espace donné.

En présence d'obstacles, tels que des bâtiments ou de la végétation, des mouvements tourbillonnaires, inorganisés, apparaissent. L'écoulement est alors tourbillonnaire, il est caractérisé par des variations rapides des directions et vitesses du vent dans le temps et dans l'espace. Ces mouvements aléatoires de l'air se superposent au mouvement moyen.

En milieu urbain, les obstacles sont nombreux. L'écoulement de l'air est souvent turbulent. Le vent est donc très changeant et imprévisible.

Écoulement laminaire du vent :

le vent a une vitesse, une direction et un sens stables.

Rafales de vent* : augmentations soudaines et passagères de la force du vent.

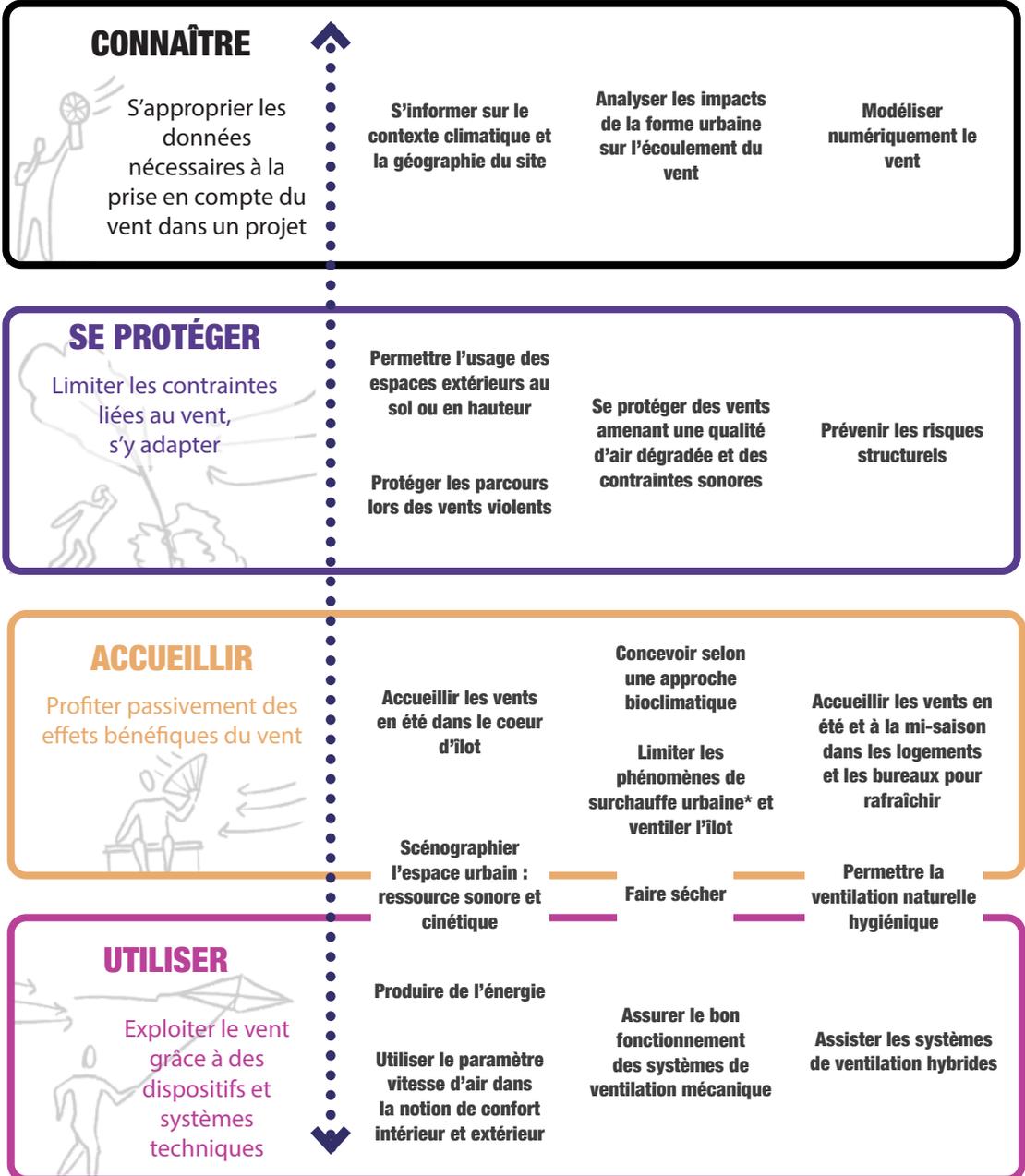


Écoulement tourbillonnaire
généralisé par la forme urbaine : les
mouvements instables et agités de
l'air sont appelés turbulences*.

© TRIBU

QUATRE POSTURES FACE AU VENT

Les acteurs de la fabrique de la ville peuvent adopter différentes attitudes face au vent: le connaître, s'en protéger, l'accueillir et l'utiliser. Mobilisée à bon escient, chacune de ces postures est indispensable à la bonne prise en compte du vent dans la conception.





SOMMAIRE

Comprendre la place du vent dans le climat Marseillais

Trois échelles de compréhension des enjeux climatiques et de confort

Les caractéristiques du vent à Marseille

Quelles données vent choisir pour un projet ?

p 8

p 10

p 16

p 20

Prendre en compte le vent dans les projets

Naviguer dans le guide

Structuration d'une fiche

Analyse et retours des projets d'Euroméditerranée

p 22

p 24

p 26

p 28

Échelle quartier : concevoir un plan guide urbain avec le vent

① Ancrer le quartier dans une trame aéraluque

② Modéliser le vent à l'échelle urbaine

Ils l'ont fait : La conception bioclimatique du secteur du Canet

p 34

p 36

p 40

p 44

Échelle îlot : adapter la morphologie urbaine au vent

③ Concevoir avec l'air, la lumière et le soleil à l'échelle de l'îlot : l'approche bioclimatique

④ Évaluer l'exposition d'un projet aux vents

⑤ Évaluer les effets de vent générés par la forme urbaine

Ils l'ont fait : L'optimisation du confort de l'îlot Smartseille face au vent

p 50

p 52

p 58

p 60

p 64

Échelle bâtiment : concevoir et construire les bâtiments avec l'air

⑥ Concevoir des prolongements extérieurs adaptés au climat actuel et futur

⑦ Croiser les contraintes liées au vent, à la pollution de l'air et au bruit

⑧ Permettre la ventilation naturelle de confort de jour comme de nuit en été

⑨ Modéliser l'air et analyser le confort intérieur

⑩ Produire de l'énergie avec le vent : le micro-éolien urbain

Ils l'ont fait : La façade filtre du Groupe scolaire Antoine de Ruffi

p 90

Ils l'ont fait : Les studios traversants de la Résidence étudiante CAZ08

p 68

p 70

p 74

p 78

p 82

p 86

p 94

Échelle espace public : concevoir les espaces publics avec l'air

⑪ Concevoir les espaces publics avec l'air, la lumière et le soleil : l'approche bioclimatique

⑫ Adapter le végétal au vent et à l'espace urbain

⑬ Adapter le mobilier urbain pour se protéger ou bénéficier du vent

⑭ Utiliser l'énergie du vent dans les espaces publics

⑮ Scénographier l'espace urbain : le vent comme ressource sonore et artistique

p 98

p 100

p 104

p 110

p 112

p 114

Le mot de la fin

p 117

Annexes

p 118

Glossaire

p 120

Bibliographie

p 122

COMPRENDRE LA PLACE DU VENT DANS LE CLIMAT MARSEILLAIS





TROIS ÉCHELLES DE COMPRÉHENSION DES ENJEUX CLIMATIQUES ET DE CONFORT

Le vent est l'un des nombreux paramètres qui permettent de caractériser le climat d'un territoire. Avant de s'intéresser spécifiquement au vent, il est donc nécessaire de comprendre son intégration dans le contexte climatique de Marseille. Plusieurs échelles d'analyse sont interconnectées :

TROIS ÉCHELLES DE LECTURE



LE CLIMAT MEDITERRANEEN

Climat et changement climatique

Ensemble de caractéristiques météorologiques (température, humidité, vent, etc.) d'une région, actuellement modifiées par les activités anthropiques.

Maps Data: Google ©2025 Google



LA VILLE DE MARSEILLE

Microclimat urbain

Climat spécifique aux villes dépendant de la forme urbaine et des activités anthropiques. La caractéristique principale du climat urbain est l'îlot de chaleur urbain*.

© 4 Vents



LES USAGERS DE LA VILLE

Confort thermique des usagers

Ressenti thermique des usagers de la ville, en intérieur ou en extérieur, dépendant de l'activité, du métabolisme, de l'habillement, des paramètres météorologiques ou de l'ambiance intérieure.

© A. Caors

• **Pour aller plus loin** •
• [ADEME. 2021. Rafraîchir les villes : Des solutions variées.](#) •
•••••

Le climat méditerranéen

Du soleil et des vents forts

Selon la classification de Köppen-Geiger, Marseille est soumise à un climat Méditerranéen chaud (Csa) (Beck et al., 2018). Ce climat se caractérise par **des hivers doux, des étés chauds et secs**, un ensoleillement important, peu de jours de pluie et **des vents violents fréquents**. En raison notamment des vents forts du Nord-Ouest et de sa latitude, Marseille est **l'une des villes les plus ensoleillées de France et d'Europe**, avec 2900 heures en moyenne annuellement. La ville peut néanmoins être frappée à l'automne par des

épisodes méditerranéens, des orages violents caractéristiques de la région méditerranéenne (Météo France, 2023).

Des organismes locaux tels que l'Institut Méditerranéen pour la Transition Environnementale (ITEM) et le Groupe Régional d'Experts Climat en Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC SUD) ont pour mission de comprendre et transmettre les données sur le climat méditerranéen afin d'adapter notre société à ses changements et limiter leurs impacts.

Quels changements pour le climat de Marseille de demain ?

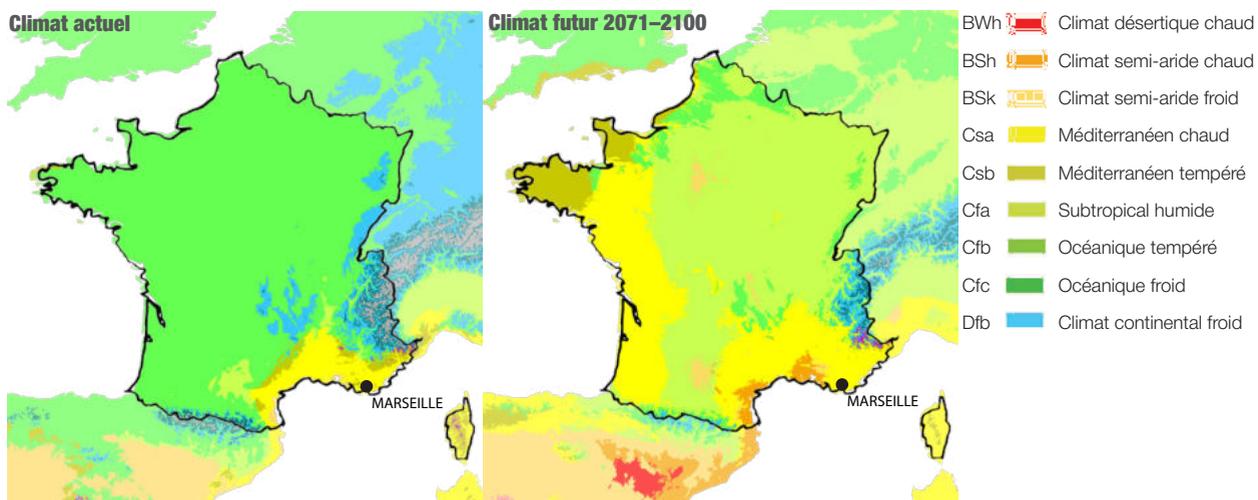
Selon la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique* (TRACC), publiée en 2023, la France métropolitaine doit se préparer à une augmentation moyenne de +2,7°C en 2050 et +4°C d'ici 2100, par rapport à l'ère préindustrielle. Pour le littoral de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, cela se traduira par **une hausse des températures de l'ordre de +2,5°C à +5,5°C en été** selon le GREC-PACA.

La région méditerranéenne sera particulièrement touchée par le changement climatique : vagues de chaleur* et journées caniculaires* étalées sur des périodes plus longues, baisse des cumuls annuels de précipitations, avec une plus forte variabilité interannuelle.

Ainsi, selon les prévisions climatiques du GIEC* visibles sur la carte ci-contre, Marseille pourrait avoir un climat semi-aride chaud (Bsh) dans 50 ans (Beck et al., 2018).

En altérant notamment les températures de l'air, l'humidité et la pluviométrie, le changement climatique aura un **impact certain sur le confort de vie des habitants de Marseille**. Il amplifiera des phénomènes météorologiques localisés tels que l'îlot de chaleur urbain (ICU)* et dégradera le confort thermique.

Concernant le régime de vent plus particulièrement, les prévisions sont aujourd'hui très incertaines. Le réchauffement de la température atmosphérique et de la température des océans va cependant certainement impacter le vent. Selon Météo France (2024), on observe déjà une augmentation des fréquences et intensités des cyclones tropicaux à plus large échelle. Certains chercheurs ont également mis en évidence l'augmentation de la fréquence et la diminution de l'intensité des brises marines en mer Méditerranée au cours des quarante dernières années, en raison du réchauffement de la mer (Bedoya-Valestt et al., 2022).



Zones climatiques selon la classification des climats de Köppen-Geiger (adapté de Beck et al., 2018).

À gauche : Climat actuel référence 1980-2016

À droite : Climat futur 2071-2100 d'après le RCP 8,5* (scénario sans politique climatique mondiale)

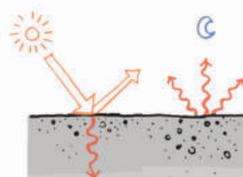
Le microclimat de Marseille

L'îlot de chaleur urbain* à Marseille

Outre le changement climatique qui affecte l'ensemble des territoires, **Marseille est soumise à un phénomène microclimatique typique des aires urbaines : l'îlot de chaleur urbain* (ICU)**. Il est caractérisé par des températures plus élevées au cœur de la ville par rapport à la campagne environnante. Il se manifeste en été comme en hiver, et **particulièrement la nuit** par vent calme et ciel clair. Une conséquence majeure de l'ICU est l'augmentation du nombre de nuits chaudes* (dont la température ne descend pas en-dessous de 20°C), dégradant le confort nocturne des habitants.

L'un des paramètres responsables de ce phénomène est le freinage de l'écoulement des vents causé par la densité de la forme urbaine, empêchant l'évacuation de la chaleur. Permettre la ventilation des tissus urbains grâce à des formes urbaines judicieuses et une trame urbaine orientée correctement est alors un levier important pour réduire l'ICU.

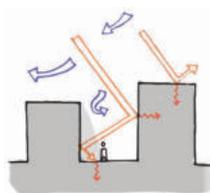
Les paramètres responsables de l'îlot de chaleur urbain* (ICU)



La forte proportion de surfaces urbaines minérales foncées.



Le trafic routier et les rejets d'air chaud vers l'extérieur liés à la climatisation en été.

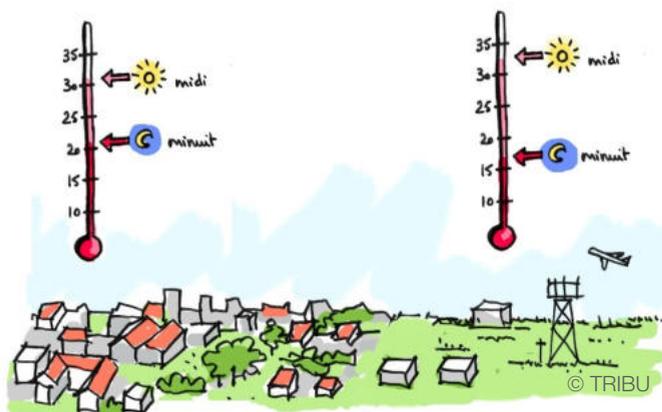


La forme urbaine densément bâtie piègeant le rayonnement solaire et limitant l'écoulement du vent.



La faible proportion de végétal, de sols perméables et d'eau.

© TRIBU



Marseille

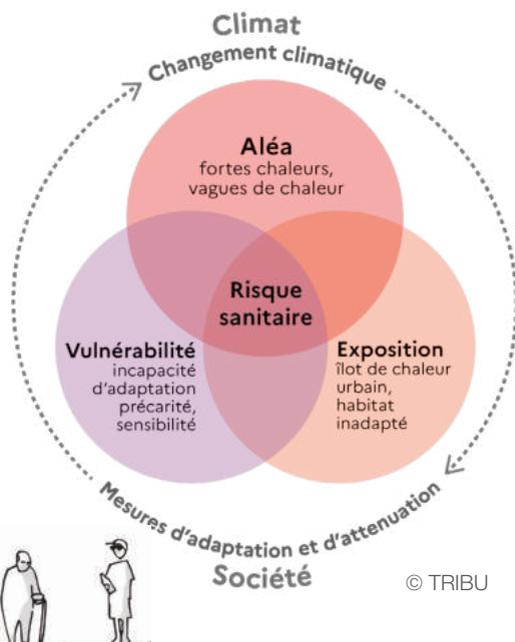
Aéroport Marignane

À Marseille, l'îlot de chaleur urbain a atteint jusqu'à +5,2°C pendant les nuits de l'été 2022 (comparaison entre la station intra-urbaine Marseille Observatoire et la station extra-urbaine Marignane selon les données horaires Météo France).

Des impacts sur la santé des habitants en période estivale

Le nombre plus important de nuits chaudes* (dont la température ne descend pas en dessous de 20°C) en ville affecte directement la santé des citoyens. À Marseille, 97 nuits chaudes ont été observées au cours de l'été 2022 (données horaires Météo France à la station Marseille Observatoire).

Tous les Marseillais ne sont pas impactés de la même façon. Certains sont plus vulnérables pour des raisons sanitaires ou économiques. D'autres sont plus exposés : ceux vivants en centre-ville, dans de petits logements, peu adaptés aux fortes chaleurs (mal isolés, mono-orientés, sans protection solaire).



Vue aérienne de Marseille. La taille de la ville, la densité bâtie, le peu de végétation et les activités anthropiques sont des paramètres qui intensifient l'effet d'îlot de chaleur urbain. © 4 VENTS

Le confort thermique des usagers

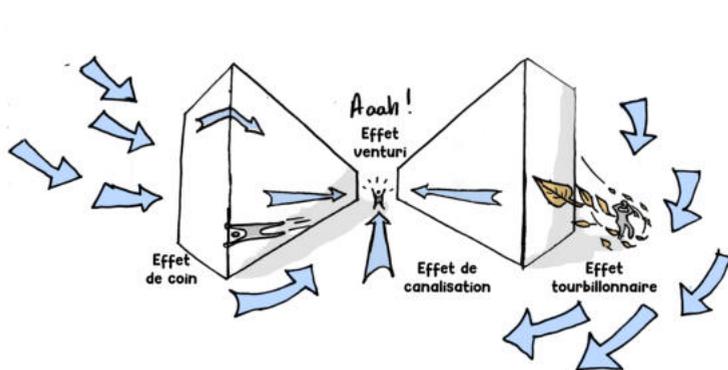
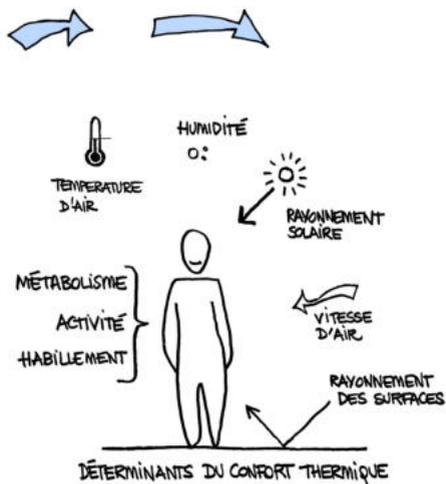
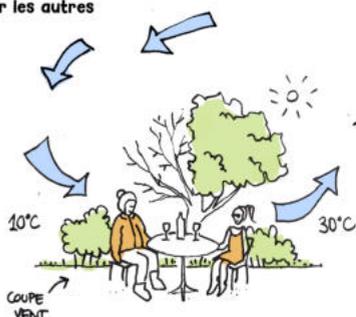
Un enjeu multiparamètres

Les paramètres du climat et du microclimat sont importants pour définir le confort des individus mais ce ne sont pas les seules variables permettant de l'évaluer. Le confort thermique dépend ainsi de la physiologie, de l'habillement, de l'activité, du rayonnement solaire, de la température de l'air, du vent, de l'humidité, du rayonnement des surfaces environnantes (ADEME, 2024).

En hiver : le vent comme facteur d'inconfort

Le vent joue un rôle majeur sur le confort thermique, en particulier en hiver, quand il souffle fort. La forme urbaine peut exacerber cet inconfort lorsqu'elle génère des effets de vent qui accélèrent et perturbent l'écoulement des vents (effet canalisation, effet venturi, etc.). Outre la sensation de froid générée par le vent, un inconfort mécanique peut aussi être ressenti. D'après les retours des usagers du quai d'Arcenc, de violentes rafales* peuvent mettre en danger les piétons et cyclistes, déséquilibrés par la force du Mistral. Les Marseillais trouvent alors des espaces et itinéraires refuges par temps de Mistral.

Le vent souffle !
Bon pour les uns,
mauvais pour les autres



Et le vent s'accélère !
Alors on évite les zones critiques,
on se protège des bourrasques,
on arrondit les angles...

En été : le vent salvateur face aux fortes chaleurs

En été, le vent améliore le confort des individus en procurant une sensation de fraîcheur grâce à l'augmentation de l'évapotranspiration à la surface de la peau. **Le tissu urbain doit donc permettre l'écoulement des vents** afin d'évacuer la chaleur et procurer cette sensation de fraîcheur dans les espaces extérieurs.

Plusieurs indicateurs permettent d'évaluer le confort thermique en extérieur en prenant en compte la vitesse du vent. Parmi les plus utilisés et complets, on retrouve l'UTCI (Universal Thermal Climate Index) et le PET (Physiological Equivalent Temperature). Ils permettent de calculer une température ressentie équivalente en fonction des données microclimatiques mesurées sur site.

Dans les espaces intérieurs, le vent permet la ventilation des bâtiments, en particulier les logements la nuit. Le choix de protections solaires perméables au vent et la conception de logements traversants sont essentiels au confort estival des habitants.



Parc Bougainville - Marseille. L'accès à des « espaces refuges » en ville en été, également appelés « îlots de fraîcheur », accessibles à tous et à proximité du logement, constitue une mesure adaptative pour assurer un réconfort thermique si le logement ou les espaces extérieurs sont jugés inconfortables voire invivables.
© Alexandre Caors

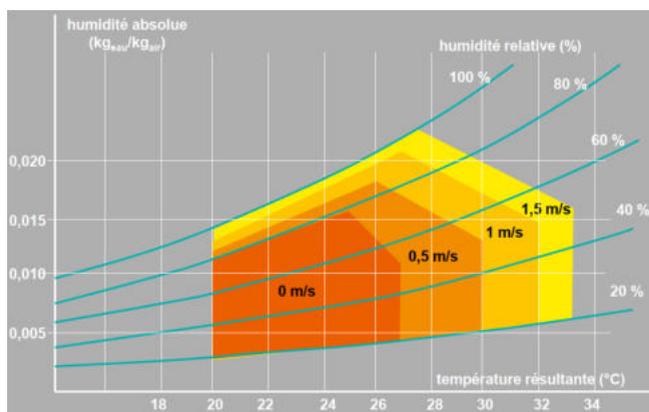


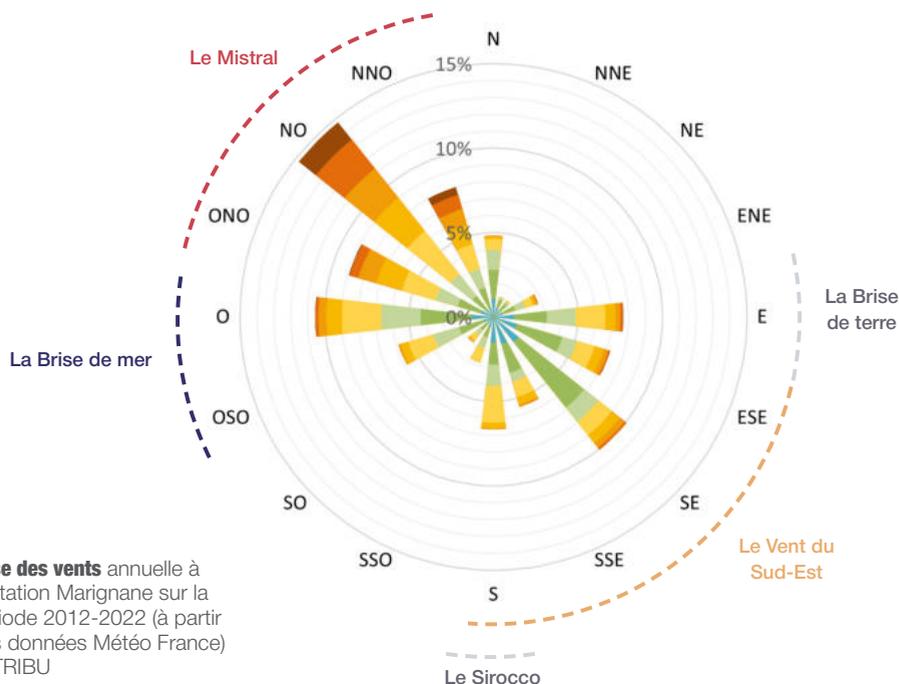
Diagramme de Givoni : les zones de différentes couleurs correspondent à des plages de ressenti thermique "confortables" pour un individu en intérieur, leur emprise correspond à des vitesses d'air différentes © TRIBU

Le diagramme de Givoni, présenté ci-contre, établit des plages de confort thermique selon la température, l'humidité et la vitesse d'air en intérieur. Il démontre qu'**une vitesse d'air plus importante permet d'amplifier les plages de confort, vers des températures et des degrés d'humidité supérieurs.** Il a été développé initialement par Baruch Givoni dans son ouvrage «L'homme, l'Architecture et le climat» publié en 1978, l'un des ouvrages fondateurs de la conception bioclimatique des bâtiments.

LES CARACTÉRISTIQUES DU VENT À MARSEILLE

Les trois vents dominants

La rose des vents ci-dessous synthétise les caractéristiques du vent à Marseille. **À Marseille, les vents dominants sont au nombre de trois : Le Mistral, le Vent du Sud-Est et la Brise de mer.** La Brise de terre et le Sirocco soufflent de manière moins fréquente.



Rose des vents annuelle à la station Marignane sur la période 2012-2022 (à partir des données Météo France)
 © TRIBU

Force de Beaufort	Vitesse du vent		Effets du vent
	en m/s	en km/h	
0 et 1	≤ 1,5	≤ 5	Calme, pas de vent sensible.
2	1,5 à 3	6 à 11	Le vent est ressenti sur le visage, les feuilles bruissent.
3	3 à 4,5	12 à 19	Les cheveux sont agités, les feuilles et les petits rameaux sont en mouvement permanents, le vent déroule de petits drapeaux.
4	4,5 à 7	20 à 28	Les cheveux sont décoiffés, la poussière et les papiers sont soulevés du sol, les petites branches s'agitent.
5	7 à 9	29 à 38	La force du vent est ressentie sur tout le corps. Les petits arbres commencent à osciller.
6	9 à 11	39 à 49	Il est difficile de marcher droit, les grosses branches se mettent en mouvement, les parapluies sont utilisés avec peine.
7	11 à 14	50 à 61	Il est difficile de marcher contre le vent, les arbres sont totalement en mouvement.
≥ 8	> 14	> 62	Tempête, la marche est entravée voire dangereuse, risque de perdre l'équilibre, les branches se cassent.

Echelle de Beaufort : échelle décrivant les phénomènes visibles du vent sur l'environnement selon sa vitesse.

Qu'est-ce qu'une rose des vents ?

La rose des vents, en météorologie, est une représentation graphique des directions de vents en fonction de leur fréquence et leur vitesse.

Le vent a longtemps été étudié par les marins pour aider à la navigation. Plusieurs représentations et outils d'analyse ont été développés au fil des siècles. Au début du XIXème siècle, l'Amiral britannique Francis Beaufort imagina une échelle de quantification du vent en mer (échelle présentée p.16).

En 1840, le météorologiste anglais Abraham Oster présente la toute première rose des vents. Par la suite, en 1874, Léon Brault, chef du Bureau météorologique au Dépôt des cartes et plans de la Marine, propose une nouvelle représentation intégrant la vitesse du vent. L'objectif était de produire des cartes climatologiques des vents sur les océans, pour les besoins de la navigation.

Voici quelques clés de lecture d'une rose des vents :

- Les points cardinaux indiquent la **direction** d'où provient le vent ;
- La longueur d'un faisceau correspond à la **fréquence d'occurrence** du vent provenant d'une direction ;
- Les bandes de couleurs correspondent aux différentes plage de **vitesse de vent**.



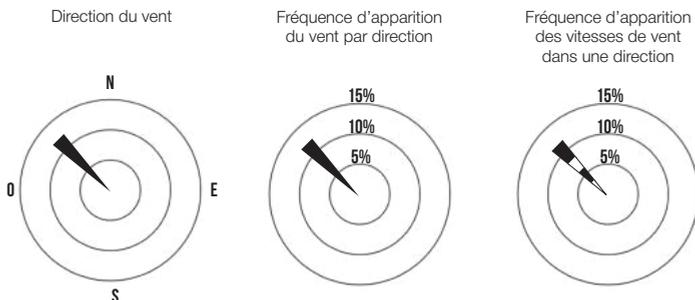
L'effet du vent sur les individus est à la fois mécanique et thermique.

- L'effet mécanique fait référence aux forces induites par le vent qui sollicitent mécaniquement le corps humain et son environnement. Il peut être quantifié grâce à l'échelle de Beaufort décrite p.16.
- L'effet thermique correspond à l'effet de rafraîchissement du vent causé par l'accroissement des échanges thermiques par convection. Il est complexe à estimer car dépendant de divers paramètres météorologiques et métaboliques.

La notion de confort est dissociée de celle de sécurité. Le seuil de sécurité est estimé en général à 15m/s, soit force 8 sur l'échelle de Beaufort, et correspond à la force à partir de laquelle un individu peut être projeté à terre à cause du vent.



Analyser le vent à Marseille



Clés de lecture
d'une rose des vents
© TRIBU

Des vents aux caractéristiques bien distinctes



Le Mistral © 2025 Google / Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, Airbus

Le Mistral : un vent violent et fréquent

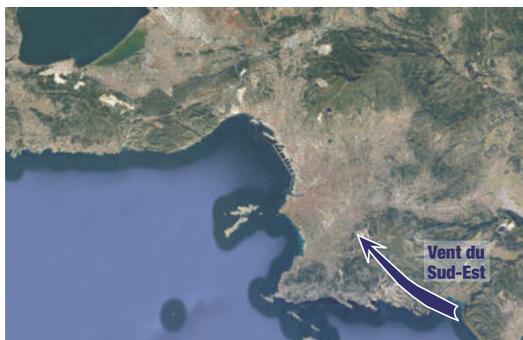
Le Mistral est un vent régional froid, généralement sec et souvent très fort. À Marseille, le Mistral souffle un tiers de l'année, en toute saison, en provenance du Nord-Ouest (300°-340°). Formé dans la vallée du Rhône, ce vent souffle en moyenne à 50 km/h avec des rafales* supérieures à 100 km/h. Il est souvent plus fort en hiver et au printemps, et peut durer plusieurs jours. En hiver, il procure une sensation de froid intense et sec. Il garantit généralement un très fort ensoleillement.



Le Brise de mer © 2025 Google / Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, Airbus

La brise de mer : un vent faible et régulier

La brise thermique de mer est un vent local qui se produit en journée lorsque l'air frais de la mer remplace l'air chaud de la terre. Ce vent est faible, froid et humide. Il est favorisé par des journées de beau temps. Il souffle un quart de l'année. Le périmètre d'Euroméditerranée est directement concerné par ce phénomène qui joue notamment un rôle important sur l'atténuation de la pollution de l'air et sur l'îlot de chaleur urbain*. Toutefois les impacts du changement climatique risquent de modifier les équilibres thermiques notamment en période de vague de chaleur* en raison du réchauffement important de la mer Méditerranée (Bedoya-Valestet al., 2022).



Le vent du Sud-Est © 2025 Google / Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, Airbus

Le vent du Sud-Est : un vent apportant la pluie

Le vent du Sud-Est est un vent généralement très humide et doux qui apporte la pluie. Il souffle de manière modérée à forte, souvent en rafales* violentes. Il tempère le climat de la zone côtière et est responsable des diminutions d'ensoleillement. Il est plus fréquent en fin d'automne, en hiver et au printemps.

Et d'autres vents moins fréquents

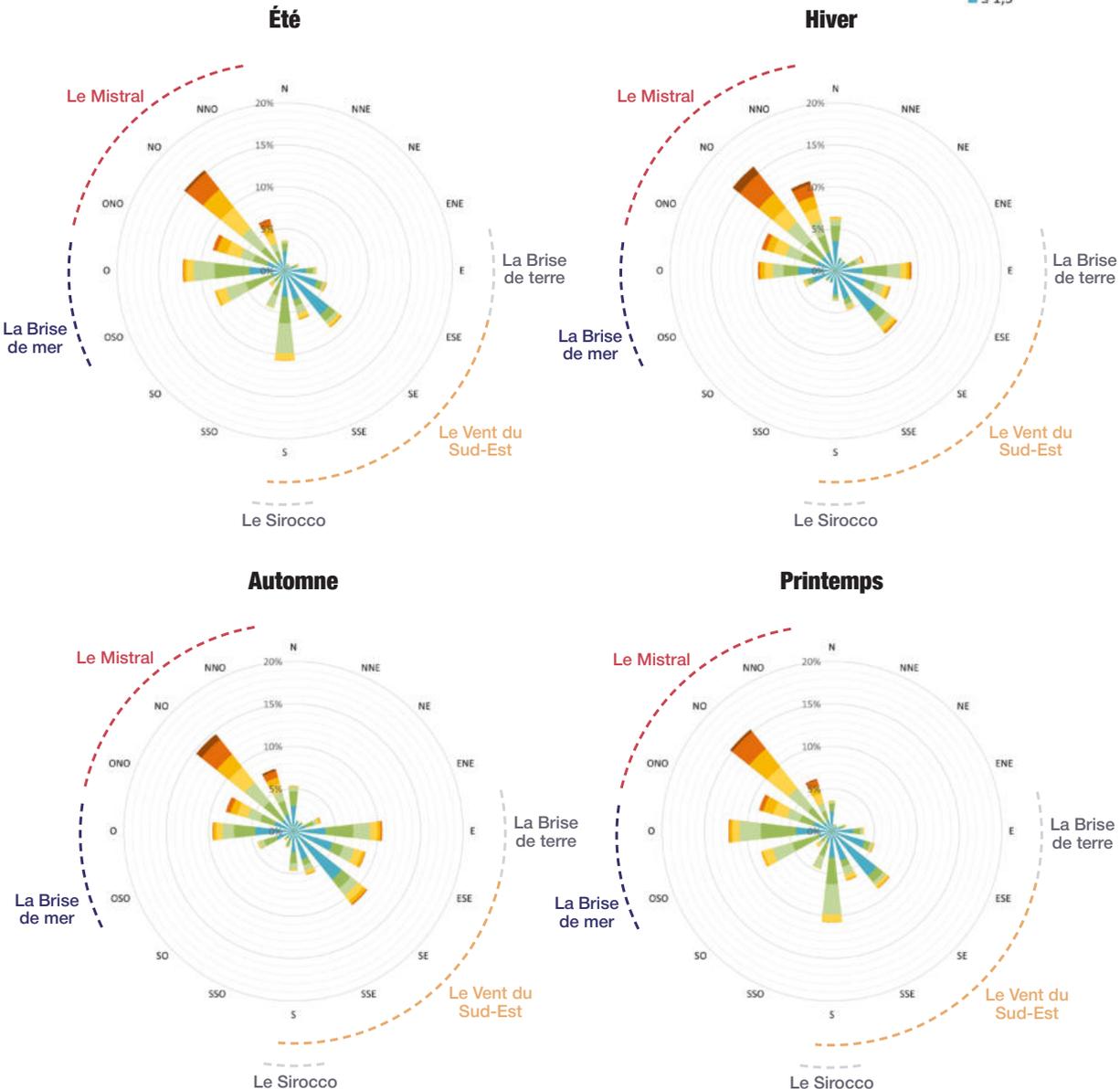
La côte marseillaise est aussi soumise à des brises thermiques de terre venant de l'est. Ce phénomène inverse aux brises de mer et moins intense apparaît lorsque la terre devient plus froide que la mer au cours de la nuit. Ponctuellement selon des phénomènes climatiques spécifiques, le Sirocco, vent de sable chaud venant du Sahara, peut souffler sur Marseille. En 2022, année record, le Sirocco a frappé la Provence à onze reprises.

Des vents saisonniers

Les vents à Marseille sont dépendants des saisons. La Brise de mer est plus présente en été, en raison de la plus grande différence de température entre la terre et la mer. Le Mistral est le plus fort et fréquent en hiver.

Vitesse du vent (m/s)

- > 11
- 9 à 11
- 7 à 9
- 4,5 à 7
- 3 à 4,5
- 1,5 à 3
- ≤ 1,5



Roses des vents saisonnières à la station Marignane 2012-2022
(Analyse des données horaires fournies par Météo France) © TRIBU

QUELLES DONNÉES VENT CHOISIR POUR UN PROJET ?

Quelles sont les stations météorologiques autour d'Euroméditerranée ?

Les données de vent sur le périmètre d'Euroméditerranée sont aujourd'hui très variées et disparates et surtout non spécifiques.

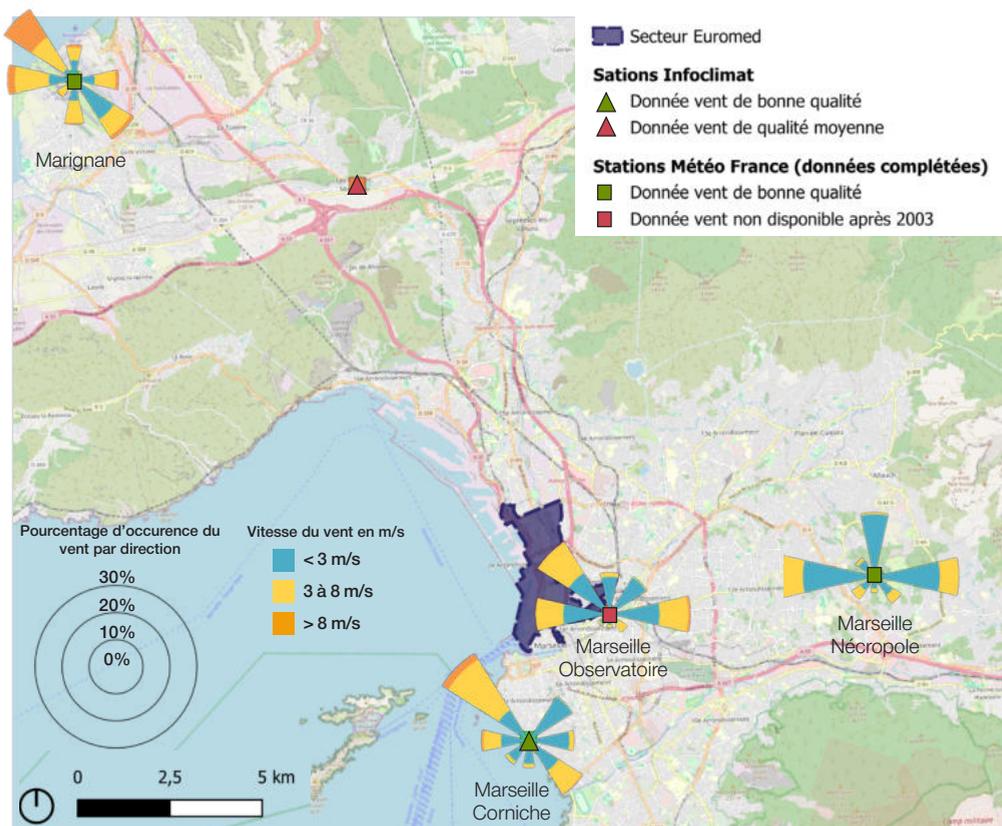
La variabilité du vent (vitesse, direction, turbulence*) demande à être très prudent quant à la façon de le mesurer et de le prendre en compte.

La station météorologique de référence pour la ville de Marseille est localisée à l'aéroport Marignane. L'analyse des caractéristiques du vent à Marseille présentée précédemment utilise les données de cette station. Cependant, cette dernière est située à 17km du périmètre d'Euroméditerranée.

Il existe d'autres stations autour et dans la ville de Marseille, plus proches d'Euroméditerranée. Elles sont présentées sur la carte ci-dessous. La fiabilité des données de vent mesurées est néanmoins variable. Elle dépend de la forme urbaine et de la topographie du terrain autour de la station.

L'analyse des roses des vents ci-dessous permet de pressentir le recalibrage des caractéristiques du vent à Euroméditerranée par rapport à la station Marignane :

- Le vent est en moyenne moins fort.
- La direction du vent du Sud-Est tend plus vers l'est.
- Les brises thermiques de terre et de mer sont plus fréquentes en raison de la proximité à la mer.



Carte des stations météorologiques des réseaux Météo France et Infoclimat autour de Marseille
© TRIBU / OpenStreetMap contributors

Quels sont les enjeux liés au choix des données de vent ?

L'acquisition de données de vent exploitables et applicables à un périmètre spécifique n'est pas aisée. L'écoulement du vent est notamment influencé par la topographie et la rugosité* du terrain, la forme urbaine et la hauteur de la station de mesure. Les stations de mesures professionnelles sont généralement localisées en dehors des villes, proches des aéroports, à 10m de haut, afin d'obtenir une donnée indépendante des effets de vent liés à la forme urbaine.



En raison de leur localisation, les stations de mesures professionnelles ne permettent pas de caractériser le vent à l'échelle locale de la ville. À l'inverse, il est impossible d'extrapoler les données d'une station située en plein cœur de la ville, pour laquelle la donnée mesurée dépend fortement de la forme urbaine à proximité immédiate.

Il est donc complexe de trouver un équilibre entre l'accès à une donnée publique indépendante de la forme urbaine et une donnée applicable à un site urbain spécifique. Quelle que soit la station choisie, la mesure du vent est ponctuelle et nécessite des hypothèses simplificatrices pour extrapoler les données à un périmètre de projet.

Quelles données vent utiliser pour un projet ?



L'installation d'un anémomètre* sur le périmètre d'Euroméditerranée permettrait à chaque concepteur d'avoir accès à des données de vent locales de qualité.

Les données mesurées directement sur site sont les plus précises pouvant être obtenues. Selon la norme météorologique professionnelle, un anémomètre* doit être situé à 10m au-dessus du sol, avec un dégagement horizontal de 10 fois la hauteur des obstacles environnants. La proximité avec le périmètre du projet est essentielle pour s'assurer de la pertinence des mesures.

Les données de vent ponctuelles de l'anémomètre* peuvent ensuite être utilisées pour modéliser le vent à l'échelle du projet.



Fiche 2 et Fiche 9

Une dernière approche, plus approximative, est d'utiliser les données vents des stations météorologiques publiques. Leur exploitation nécessite en amont un recalibrage selon les caractéristiques du tissu urbain (rugosité* et hauteur des bâtiments).



Fiche 4

• Caractéristiques des stations météo autour d'Euroméditerranée •••••

Station Marignane : station Météo-France de référence pour la ville de Marseille.

+ Grande fiabilité des données.

⚠ Localisation à plus de 15km du périmètre d'Euroméditerranée, loin de la complexité topographique de la ville de Marseille.

Station Marseille-Observatoire : station Météo-France située au plein cœur de Marseille.

+ Station la plus proche du périmètre d'Euroméditerranée.

⚠ Données de vent disponibles uniquement jusqu'en 2002.

Station Marseille-Nécropole : station Météo-France localisée dans l'est de Marseille

+ Station proche d'Euroméditerranée.

⚠ Données de vent fortement influencées par la topographie du terrain, distance à la mer (8km).

Station Marseille-Corniche : station du réseau Infoclimat située sur la côte.

+ Proximité à la mer.

⚠ Station non professionnelle.

PRENDRE EN COMPTE LE VENT DANS LES PROJETS





NAVIGUER DANS LE GUIDE

Sommaire

Échelle quartier : concevoir un plan guide urbain avec le vent

- 1 Ancrer le quartier dans une trame aéraulique
- 2 Modéliser le vent à l'échelle urbaine

Ils l'ont fait : La conception bioclimatique du secteur du Canet

Échelle îlot : adapter la morphologie urbaine au vent

- 3 Concevoir avec l'air, la lumière et le soleil à l'échelle de l'îlot : l'approche bioclimatique
- 4 Evaluer l'exposition de l'îlot aux vents
- 5 Evaluer les effets de vent générés par la forme urbaine

Ils l'ont fait : L'optimisation du confort de l'îlot Smartseille face au vent

Échelle bâtiment : concevoir et construire les bâtiments avec l'air

- 6 Concevoir des prolongements extérieurs adaptés au climat actuel et futur
- 7 Croiser les contraintes liées au vent, à la pollution de l'air et au bruit
- 8 Permettre la ventilation de confort de jour comme de nuit en été
- 9 Modéliser l'air et analyser le confort intérieur
- 10 Produire de l'énergie avec le vent : le micro-éolien urbain

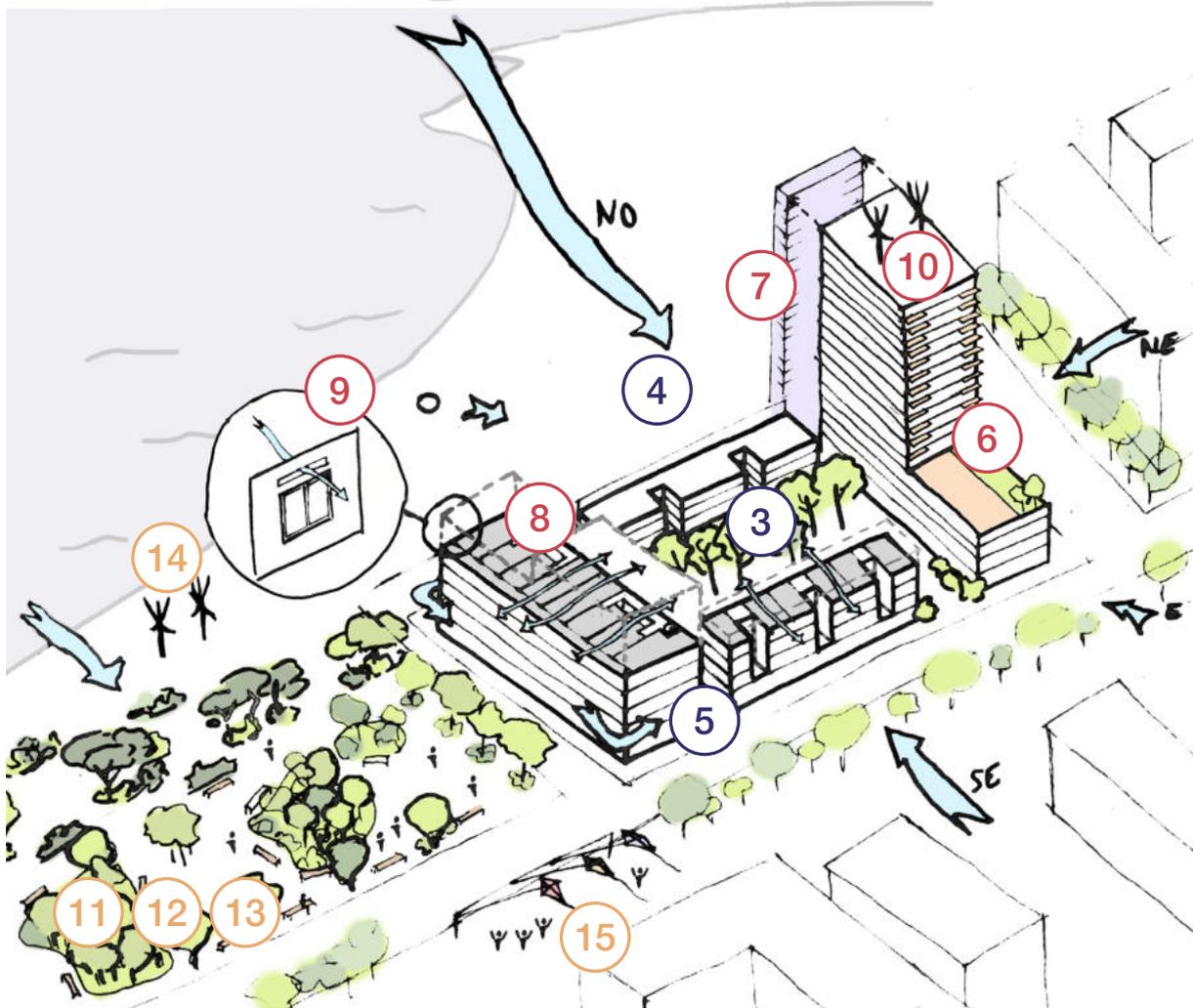
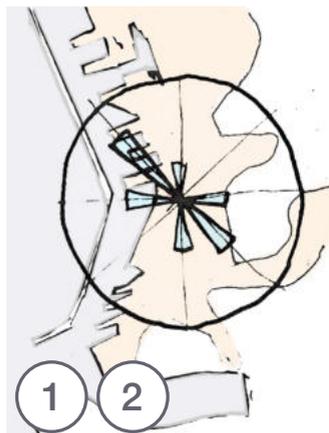
Ils l'ont fait : La façade filtre du Groupe scolaire Antoine de Ruffi

Ils l'ont fait : Les studios traversants de la Résidence étudiante CAZ08

Échelle espace public : concevoir les espaces publics avec l'air

- 11 Concevoir les espaces extérieurs avec l'air la lumière et le soleil : l'approche bioclimatique
- 12 Adapter le végétal au vent et à l'espace urbain
- 13 Adapter le mobilier urbain pour se protéger ou bénéficier du vent
- 14 Utiliser l'énergie du vent dans les espaces publics
- 15 Scénographier l'espace urbain : le vent comme ressource sonore et artistique

Cliquez sur un numéro pour naviguer !



© TRIBU

STRUCTURATION D'UNE FICHE

Les fiches thématiques

Le guide est organisé en fiches thématiques regroupées par échelle (Euroméditerranée, îlot, bâtiment, espace public). Ceci permet de feuilleter le document de manière fluide et libre

Enjeux lié au vent

Indique quels enjeux sont concernés par le thème de la fiche.

Numéro et titre de la fiche

SE PROTÉGER ACCUEILLIR UTILISER **CONNAÎTRE**

4# ÉVALUER L'EXPOSITION D'UN PROJET AUX VENTS

L'exposition d'un îlot aux vents dépend de plusieurs caractéristiques agissant à différentes échelles :

- **Rayon de quelques kilomètres** : rugosité* du terrain environnant
- **Rayon de quelques centaines de mètres** : forme urbaine et implantation de l'îlot dans la trame viaire ;
- **Proximité immédiate de l'îlot** : porosité* et hauteur des bâtiments.

Connaître et évaluer la rugosité du terrain environnant

L'écoulement du vent est influencé à grande échelle par la rugosité, c'est à dire la densité et la hauteur des obstacles présents sur le sol. Elle a un effet direct sur la vitesse et la turbulence* du vent : plus la rugosité est forte, plus le vent est décéléré et plus il est turbulent.

En zone urbaine dense ou en forêt, la rugosité est très élevée, la présence de nombreux obstacles entraîne la décélération du vent.

En zone dégagée (bord de mer) rien ne freine le vent, la rugosité est très faible et la vitesse du vent est plus élevée.

La rugosité à prendre en compte pour l'îlot considéré dépend de la hauteur des bâtiments à l'intérieur de cet îlot. Plus un bâtiment est haut, plus il est soumis à des vitesses de vents importantes issues de la faible rugosité des terrains éloignés. Le rayon d'influence considéré s'appelle la distance au vent :

- Pour un immeuble Trois Fenêtres, typique du cœur historique Marseillais, haut d'environ 20m, la distance au vent est d'environ 900m.
- Pour un immeuble plus haut de la ZAC Cité de la Méditerranée, haut de 40m, la distance au vent sera de 2km.

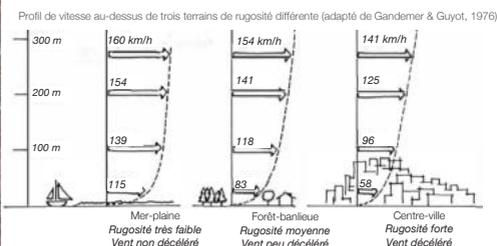
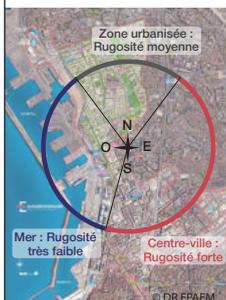
Les vents en altitude étant plus forts que ceux proches du sol, ils sollicitent considérablement les façades et les structures des grandes tours.



Dans le cas d'Euroméditerranée, au vu de la proximité de la mer, le vent d'ouest (notamment le Mistral) sera très peu décéléré par le tissu urbain. Il est donc préférable de minimiser les bâtiments de grande hauteur, et les émergences au-dessus du velum urbain*.

Préconisation appliquée au contexte Marseillais

Les paragraphes colorés mettent en évidence des préconisations, des outils de conception ou des informations à retenir.



4# ÉVALUER L'EXPOSITION D'UN PROJET AUX VENTS

îlot

Ancrer l'îlot dans la trame viaire

Connaître les vents dominants à Marseille permet de mieux comprendre l'exposition au vent de l'îlot et d'adapter ainsi sa forme afin de tirer parti des effets rafraîchissants des vents en été et de se protéger des vents forts et froids en hiver.

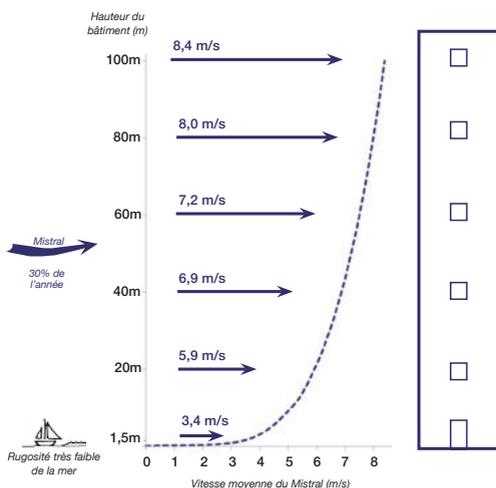
L'îlot est à analyser au regard de son implantation dans la trame viaire, pour déterminer les vents canalisés par les rues, auxquels il sera exposé, et ceux bloqués par les bâtiments avoisinants.

Fiche 1

Recalibrer les données vent en prenant compte les caractéristiques du terrain environnant



Sur le périmètre d'Euroméditerranée, l'objectif est d'éviter la canalisation du Mistral, qui génère beaucoup d'inconfort en toute saison, et de favoriser l'écoulement du vent du Sud-Est et de la Brise thermique. Pour atteindre cet objectif, les concepteurs doivent jouer sur l'orientation de l'îlot et sa porosité.



Quand le vent façonne la ville | 59 |

Echelle du projet

Les fiches sont organisées selon les quatre échelles : Euroméditerranée (gris), îlot (bleu), bâtiment (framboise), espace public (orange). Le marquage sur le côté droit de chaque fiche et le code couleur permettent d'identifier l'échelle.

Renvoi vers une autre fiche

Cette icône renvoie vers d'autres fiches du guide permettant de détailler un sujet abordé.

Lien vers l'outil vent

Un outil est associé à ce guide. Cette icône fait référence à des fonctionnalités de l'outil, en lien avec le thème abordé.

Schéma explicatif

De nombreux schémas permettent d'expliquer le fonctionnement des phénomènes, dispositifs et solutions présentés dans ce guide.

ANALYSE ET RETOURS DES PROJETS D'EUROMÉDITERRANÉE

L'opération Euroméditerranée

L'Opération d'Intérêt National (OIN) Euroméditerranée a été initiée en 1995 par l'Etat et les collectivités territoriales locales avec pour **objectif de requalifier un territoire urbain dégradé et renforcer le rayonnement de la métropole Marseillaise.**

Mené par l'Établissement Public d'Aménagement Euroméditerranée (EPAEM), le projet est composé de deux périmètres développés successivement : Euroméditerranée I et Euroméditerranée II.

La première phase, s'étendant sur 310 hectares, est composée de trois Zones d'Aménagement Concerté (ZAC) : ZAC Cité de la Méditerranée, ZAC Joliette et ZAC Saint-Charles. Une grande partie des projets est déjà livrée et en cours de réalisation. La deuxième phase, étendue sur 170 hectares et lancée en 2007, comporte la ZAC Littorale, le grand Parc du Ruisseau des Aygalades et le secteur du Canet. **Alors que les premières opérations ont été livrées récemment, une majorité est encore en phase de programmation ou de conception.**



Chaque secteur d'Euroméditerranée s'inscrit dans un contexte géographique unique ayant des conséquences diverses sur les contraintes et usages liés au vent : exposition aux vents forts, capacité à ventiler les tissus urbains et les logements, confort thermique en été comme en hiver, transport des polluants atmosphériques, amplification des nuisances sonores.





Carte des Zones d'Aménagement Concerté (ZAC) et périmètres de l'opération menée par l'EPAEM* © EPAEM



En préalable de la rédaction de ce guide, un travail d'analyse, de recherche et d'observation a été réalisé pour évaluer le niveau de prise en compte de la question du vent :

- Dans les documents cadres d'Euroméditerranée
- Sur des quartiers et secteurs identifiés (Cité de la Méditerranée, Joliette, ZAC Littoral et secteur du Canet)
- Dans des projets d'aménagements et de constructions déjà réalisés (des îlots, des bâtiments et des espaces publics) à l'aide d'indicateurs spécifiques.

Un questionnaire a également été diffusé aux concepteurs et maîtres d'ouvrage des projets menés sur le territoire d'Euroméditerranée.

Les grandes idées et enseignements tirés de cette analyse, résumé ci-contre, ont permis d'alimenter ce guide.

L'objectif du questionnaire était de faire un état de des pratiques, retours d'expériences et besoins pour prendre en compte le vent dans la production de la ville. 17 personnes ont répondu au questionnaire : 10 concepteurs (architectes, urbanistes, bureaux d'études) et 7 maîtres d'ouvrage. Par la suite, plusieurs concepteurs ont été contactés pour détailler certaines de leurs opérations.

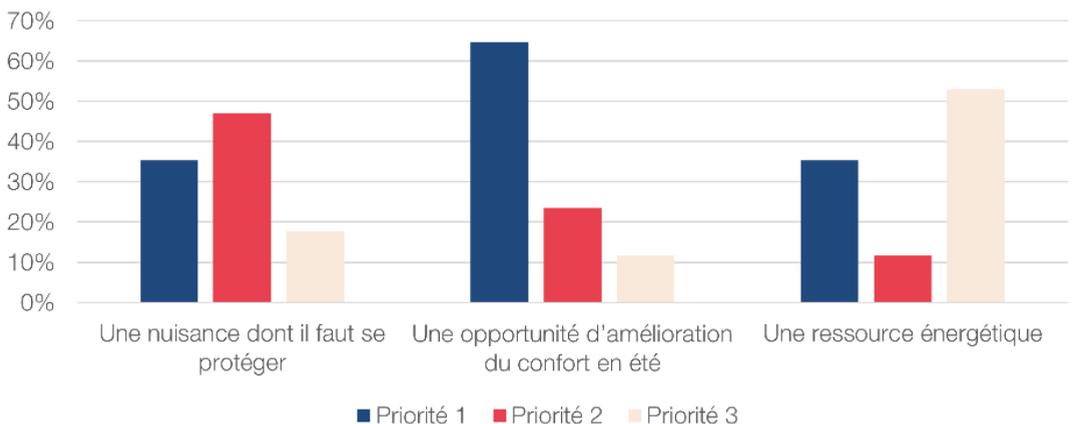
Des documents cadres qui intègrent certains enjeux liés au vent

Les plans guides et/ou documents-cadres de l'EPAEM* intègrent déjà une approche bioclimatique au sens large et abordent la question du vent de manière plus ou moins directe : protection du Mistral, confort des coeurs d'îlot et des espaces publics, choix des végétaux, confort des toitures, capacité à ventiler naturellement les logements, etc.

Le vent comme opportunité pour le projet et pas uniquement comme nuisance

Les acteurs interrogés ont une bonne connaissance du vent sur le territoire marseillais, en particulier du Mistral, mais aussi de la brise thermique de mer, tandis que le vent du Sud-Est reste en revanche moins cité. Par ailleurs, comme en témoigne le schéma ci-dessous, une majorité des répondants considère que **le vent est avant tout une opportunité d'améliorer le confort d'été, et dans un second temps une nuisance dont il faut se protéger.**

Les enjeux prioritaires liés au vent selon les acteurs interrogés à travers le questionnaire ©TRIBU.



L'îlot, une échelle clé pour la prise en compte du vent : une approche d'abord empirique

La majorité des concepteurs interrogés dans le questionnaire affirment prendre en compte le vent au travers d'**un diagnostic bioclimatique global du site** (vent, soleil et lumière) et la **moitié indique optimiser le plan masse pour se protéger** et pour limiter les effets de vent inconfortables et assurer la ventilation du cœur d'îlot.

Les concepteurs interrogés dans le cadre du questionnaire envisagent le vent **majoritairement de manière empirique**. L'utilisation de modélisation aéraulique spécifique, quelque soit l'échelle, reste rare voire inexistante.

L'analyse d'îlots et de bâtiments sur le périmètre d'Euroméditerranée a fait ressortir l'importance de la conception du plan masse à l'échelle de l'îlot. La porosité*, la densité, les hauteurs des bâtiments, l'épannelage, les formes urbaines doivent être pensés au regard du vent, dès les phases amonts d'un projet.



© Alexandre Caors

Un plan d'étage courant et des dispositifs permettant une ventilation naturelle estivale

Dans un contexte de réchauffement climatique, il convient de renforcer la capacité des bâtiments à être ventilés naturellement. Les documents cadres d'Euroméditerranée incitent à maximiser les logements traversants et bi-orientés et à installer des protections solaires poreuses permettant la ventilation naturelle. Le modèle traditionnel marseillais de l'îlot Trois Fenêtres, analysé au cours de l'étude préalable, est pensé pour **optimiser la ventilation naturelle des logements en période estivale**. Cette capacité à ventiler commence à être intégré dans les projets mais mériterait d'être renforcée, en particulier pour les petits logements souvent plus vulnérables.



© Alexandre Caors

Le confort d'usage des espaces publics et des coeurs d'îlot

Plusieurs espaces extérieurs ont été analysés afin d'évaluer le confort d'usage en toute saison, au regard de l'ensoleillement et du vent.

Le vent joue un rôle prépondérant dans le confort des espaces extérieurs à Marseille. Selon les usagers interrogés dans le périmètre d'Euroméditerranée, certains espaces sont très exposés au Mistral et soumis à de tels effets de vent que les piétons et cyclistes peuvent être mis en danger. Les usagers trouvent alors des espaces refuges pour se protéger du Mistral.

En période estivale, le vent est au contraire recherché (lorsqu'il n'est pas trop violent). Il apporte aux individus une sensation de fraîcheur qui est essentielle à leur confort thermique.

La végétation joue un rôle clé dans le confort des espaces extérieurs, en toute saison. Il a été observé que les espaces les plus minéraux et proches de la mer sont les plus vulnérables au Mistral et les plus exposés au soleil en été. La présence de strates basses et buissonnantes permet de freiner les vents forts et indésirables, tout en les laissant ventiler le tissu urbain. Les arbres permettent quant à eux d'apporter de l'ombrage en été.

Jardin des Archives à Marseille.

Espace public analysé dans le cadre de l'étude préalable : le mur entourant le jardin protège le lieu des vents forts et la végétation permet d'apporter l'ombrage nécessaire au confort d'été © TRIBU





Malgré la sensibilisation des acteurs du territoire aux enjeux liés au vent, deux besoins principaux émergent des réponses au questionnaire :

- Des informations objectivées et localisées à l'échelle du quartier sur le comportement du vent face aux formes urbaines (modélisation aérodynamique sur les plans guides)
- Une formation sur les spécificités des différents vents pour les utiliser comme ressources.

L'étude préalable menée en amont est remobilisée tout au long de ce guide et notamment dans les fiches ci-dessous :

Analyse des secteurs d'Euroméditerranée :

Fiche 1 - Ancrer le quartier dans une trame aérodynamique

Analyse d'îlots :

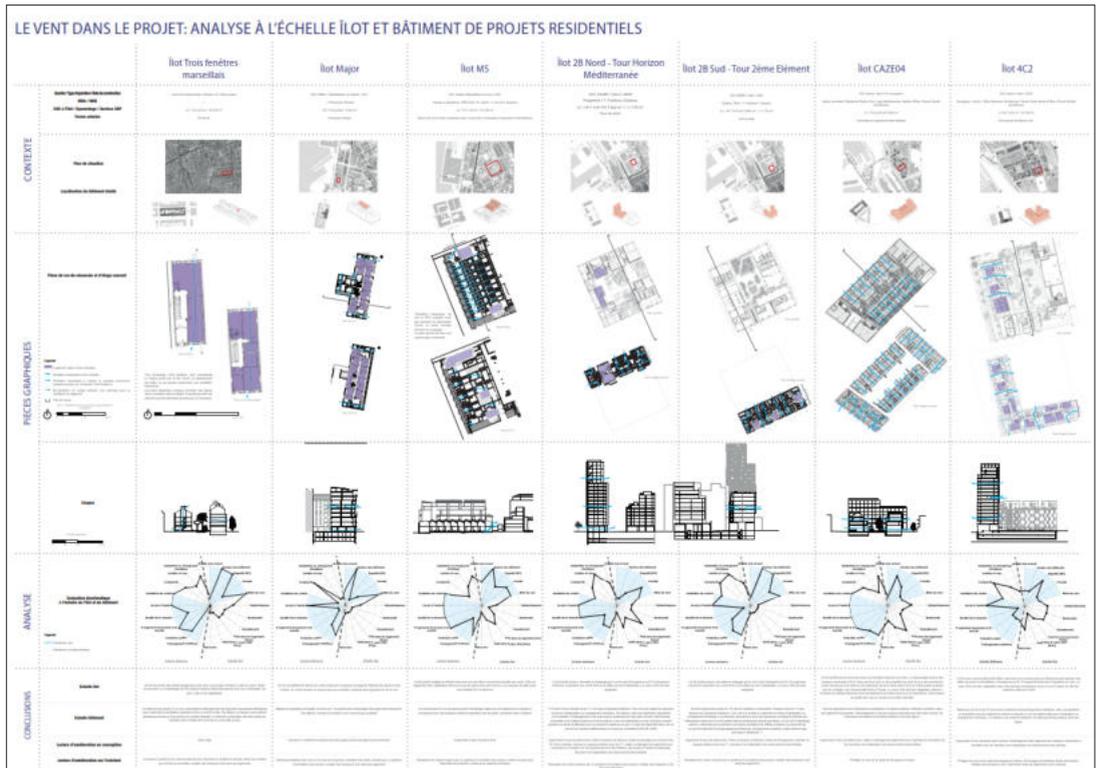
Fiche 3 - Concevoir avec l'air, la lumière et le soleil à l'échelle de l'îlot : l'approche bioclimatique

Analyse d'espaces extérieurs :

Fiche 5 - Evaluer les effets de vent générés par la forme urbaine

Ce guide a pour ambition d'apporter des éléments de réponse à ces deux besoins mais également de permettre à l'ensemble des acteurs une meilleure prise en compte du vent dans leurs projets. L'idée est également de pouvoir ouvrir la voie à d'autres utilisations du vent telles que le micro-éolien ou la scénographie de l'espace urbain par exemple.

Pour aller plus loin : une restitution synthétique de l'analyse à l'échelle des îlots et des bâtiments est proposée sous forme de poster en annexe.



Poster synthétique de l'analyse aux échelles îlot et bâtiment (voir Annexe) © TRIBU



ÉCHELLE QUARTIER : CONCEVOIR UN PLAN GUIDE URBAIN AVEC LE VENT

L'intégration des enjeux liés au vent dès la conception d'un quartier permet de mettre en place une stratégie cohérente sur l'ensemble du territoire. Les bénéfices sont nombreux et se répercutent à chaque échelle des projets : ventilation du tissu urbain, confort d'usage des espaces publics et des coeurs d'îlot, limitation de l'exposition des îlots aux vents forts et aux effets de vent indésirables, confort en toute saison à l'intérieur des bâtiments, réduction des consommations énergétiques liées à la ventilation, etc.

La proximité du quartier à la mer et les trames viaires dans lesquelles il s'implante vont conditionner l'exposition du territoire au vent. Sur un territoire soumis à des vents forts et fréquents comme celui d'Euroméditerranée, le plan guide urbain joue un rôle clé dans la prise en compte du vent dans les projets.

En complément d'une analyse empirique sur plan, la modélisation aéraulique est un outil précieux pour atteindre ces objectifs. Un processus itératif doit être mis en place pour perfectionner le plan guide.

Échelle quartier : Concevoir un plan guide urbain avec le vent

- ① Ancrer le quartier dans une trame aéraulique
- ② Modéliser le vent à l'échelle urbaine

Ils l'ont fait : La conception bioclimatique du secteur du Canet

1# ANCRER LE QUARTIER DANS UNE TRAME AÉRAULIQUE

Il est essentiel de bien comprendre le contexte géographique d'un secteur afin de prendre en compte le vent dans la conception des îlots, bâtiments et espaces extérieurs. **Cette fiche présente les critères d'analyse bioclimatique des quartiers à prendre en compte dans la conception d'un projet.**

Proximité au port et à la mer

Le périmètre d'Euroméditerranée est caractérisé par sa proximité immédiate à la mer à l'ouest et au centre-ville de Marseille au sud-est. Ces deux caractéristiques, qui sont des atouts clés du projet, ont des implications conséquentes sur son exposition aux vents dominants. Les quartiers les plus à l'ouest du secteur sont fortement exposés au Mistral, un vent fort et froid. A l'inverse, le tissu urbain très dense au sud-est ralentit l'écoulement des vents essentiels à la ventilation de la ville en saison estivale.

Adaptation de la forme urbaine aux contraintes de qualité de l'air et de bruit

Le vent a une influence sur la dispersion des polluants atmosphériques et nuisances acoustiques. Dès l'échelle urbaine, la forme urbaine et la programmation doivent être adaptées afin de limiter l'impact sur la santé des usagers et habitants du quartier.

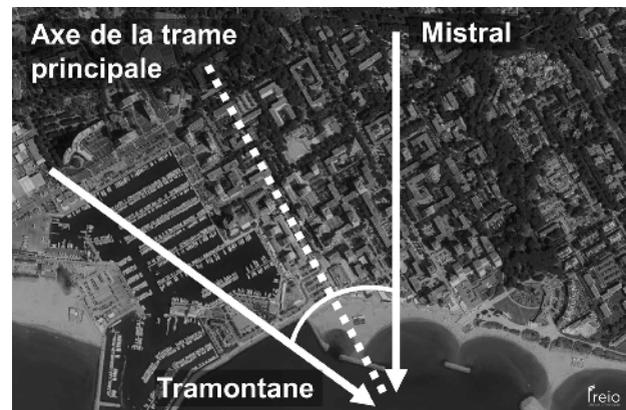


Fiche 7 - Croiser les contraintes liées au vent, à la pollution de l'air et au bruit

Orientation des rues par rapport aux vents dominants

Le climat et le microclimat local ne sont pas toujours pris en compte dans la conception des villes, pourtant, la trame viaire d'un quartier impacte le potentiel de canalisation des vents. Dans les régions ventées comme à Marseille, **une trame orthogonale majoritairement orientée dans la direction des vents dominants, telle que la trame Mirès, établie au XIX^{ème} siècle, et sur laquelle s'est développée la ZAC Cité de la Méditerranée, va fortement canaliser les vents forts et générer de l'inconfort voire du risque.**

La ville de la Grande-Motte est un bon exemple de conception bioclimatique à l'échelle urbaine. Construite à partir d'une page vierge pendant la deuxième moitié du XX^{ème} siècle par l'architecte Jean Balladur, la Grande-Motte bénéficie d'une trame viaire adaptée aux vents dominants : le Marin, la Tramontane et le Mistral. Pour protéger la ville des vents forts, l'architecte a conçu une trame principale selon la bissectrice de l'angle formé par la Tramontane et le Mistral.



Prise en compte des vents dominants dans la conception de la trame viaire de la Grande Motte
© Clément Gaillard, d'après Géoportail

Proximité des grands parcs

Les grands parcs et grands espaces verts permettent d'apporter non seulement un point de fraîcheur au coeur des villes soumises à la surchauffe urbaine* mais influencent également le microclimat à proximité immédiate.

Les effets rafraîchissants d'un parc sur l'environnement dépendent de plusieurs critères (ADEME et TRIBU, 2021) :

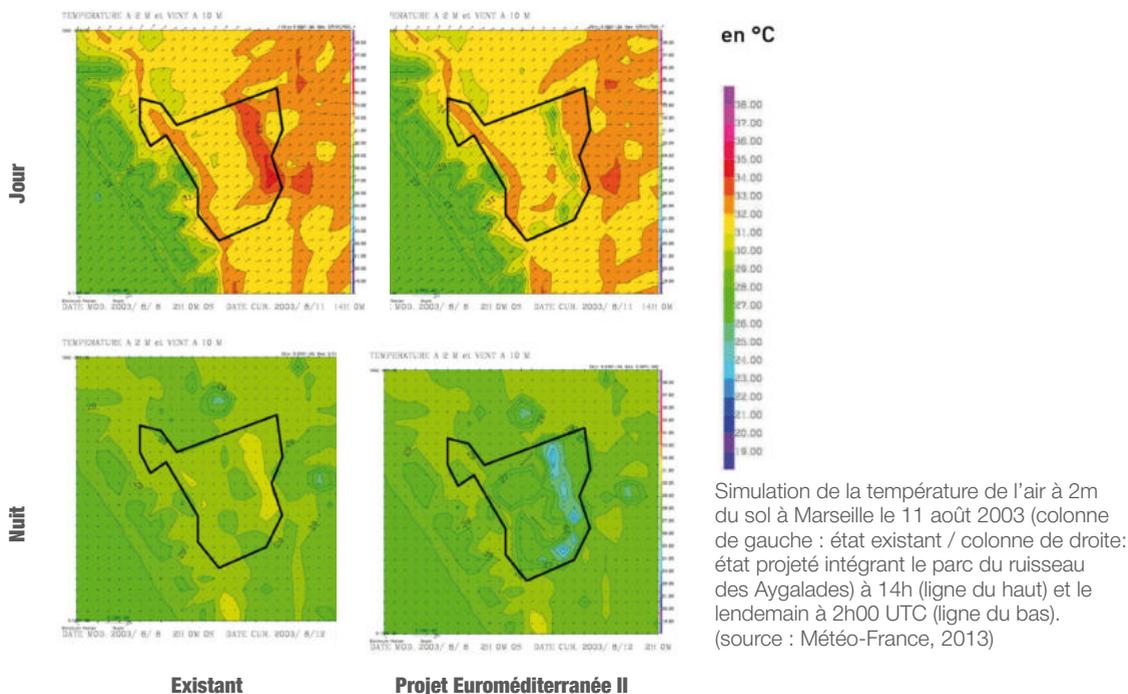
- La couverture arborée qui permet d'augmenter la distance de rafraîchissement autour du parc ;
- La taille du parc influençant l'intensité du rafraîchissement ;
- La géométrie du parc : l'effet de rafraîchissement est généralement plus intense et plus étendu dans la direction de la plus grande largeur du parc.

Le Parc du Ruisseau des Aygaldes

Le projet du Parc du Ruisseau des Aygaldes est un projet d'aménagement urbain d'Euroméditerranée II. Il prévoit l'aménagement d'un vaste espace de nature de 16 ha autour de la renaturation du fleuve côtier des Aygaldes, en lieu et place d'un site ferroviaire existant. Il est en continuité du parc Bougainville (4 ha), qui propose lui aussi la renaturation d'un tronçon du cours d'eau.

L'EPAEM* a commandé en 2012 à Météo-France une étude, dont les résultats sont présentés ci-dessous, visant à quantifier les effets climatiques induits par le projet.

Si l'on compare les prévisions obtenues pour le stade actuel et le stade projet, les différences les plus importantes sont observées au niveau du parc urbain (voir figure ci-dessous), avec un rafraîchissement moyen d'environ 4°C et un maximum de 6,5°C la nuit. La forme allongée du parc, dans l'axe du Mistral permet au secteur au sud du parc de bénéficier aussi de cet effet rafraîchissant.



Analyse des différents secteurs d'Euroméditerranée



Les secteurs d'Euroméditerranée ont été évalués au regard de certains critères d'analyse bioclimatique évoqués dans la double page précédente.

On distingue les données d'entrée intrinsèques au projet :

- Proximité au port et à la mer
- Accès à l'effet rafraîchissant d'un grand parc

Des choix de conception qui en découlent :

- Orientation des rues par rapport aux vents dominants



Les quartiers les plus proches de la mer sont fortement exposés au Mistral, la conception de la trame viaire est donc décisive sur le confort futur de ces espaces.

Elle doit également permettre de favoriser l'écoulement des vents rafraîchissants, tels que la brise thermique et le vent du Sud-Est, ainsi que l'ouverture sur les grands parcs.

Une fois la trame viaire dessinée, le végétal peut jouer un rôle majeur dans l'atténuation des vents violents. Il doit cependant aussi permettre la circulation des vents rafraîchissants en été. Ces réflexions sont aujourd'hui menées par les concepteurs du secteur du Canet et du Parc du Ruisseau des Ayalades.



Fiche 12 - Adapter le végétal au vent et à l'espace urbain



Ils l'ont fait : le secteur du Canet

1# ANCRER LE QUARTIER DANS UNE TRAME AÉRAULIQUE

ZAC CITÉ DE LA MÉDITERRANÉE

QUARTIER RÉALISÉ

Proximité au port et à la mer

- Proximité immédiate du port pour les îlots les plus à l'ouest : forte exposition au Mistral, mais accès à l'effet rafraîchissant de la brise de mer.

Orientation des rues par rapport aux vents dominants

- Une partie nord ancrée dans la trame Mirès, orientée face au Mistral (NNO-SSE / OSO-ENE) : canalisation du Mistral (inconfort en hiver comme en été), mais accueil de la brise thermique et du vent du Sud-Est (confort estival). Une partie sud linéaire et très exposée au Mistral.

Accès à l'effet rafraîchissant d'un grand parc

- Nouvelle proximité avec le parc de Bougainville et future proximité du Parc du Ruisseau des Aygalades pour la partie nord de la ZAC. Pas de grand parc à proximité immédiate pour la partie sud.

ZAC JOLIETTE

QUARTIER RÉALISÉ

Proximité au port et à la mer

- Proximité immédiate du port, obstacle créé par les Docks : forte exposition au Mistral, mais accès à l'effet rafraîchissant de la brise de mer.

Orientation des rues par rapport aux vents dominants

- Un quartier avec une trame viaire double. Une orientation NNE-SSO le long du quai, opposée aux vents dominants. Une orientation suivant la trame Mirès dans la partie intérieure de la ZAC (canalisant les vents dominants) : meilleure protection du Mistral et canalisation du vent du Sud-Est.

Accès à l'effet rafraîchissant d'un grand parc

- Proximité modérée avec le parc de Bougainville et le futur Parc du Ruisseau des Aygalades.

ZAC LITTORALE

EN COURS DE RÉALISATION

Proximité au port et à la mer

- Proximité de la mer pour la partie ouest mais éloignement pour la partie est : exposition plus modérée au Mistral et à l'effet rafraîchissant de la brise de mer.

Orientation des rues par rapport aux vents dominants

- Cohabitation de deux trames viaires, redressées vers le nord, permettant de moins canaliser le Mistral tout en laissant la brise thermique et le vent du Sud-Est s'écouler.

Accès à l'effet rafraîchissant d'un grand parc

- Future proximité avec le Parc du Ruisseau des Aygalades.

SECTEUR DU CANET

EN COURS DE CONCEPTION

Proximité au port et à la mer

- Un quartier moins proche de la mer : plus faible exposition au Mistral et à la brise de mer.

Orientation des rues par rapport aux vents dominants

- Un plan guide urbain conçu de manière bioclimatique : canalisation des vents rafraîchissants pour un meilleur confort estival et exposition modérée au Mistral pour limiter l'inconfort qu'il génère.

Accès à l'effet rafraîchissant d'un grand parc

- Proximité immédiate avec le Parc du Ruisseau des Aygalades.

État des lieux au regard des critères bioclimatiques

- Très défavorable
- Défavorable
- Moyen
- Favorable
- Très favorable

2# MODÉLISER LE VENT À L'ÉCHELLE URBAINE

L'intégration de la modélisation aéraluque dans les projets

1- L'analyse empirique

L'analyse empirique de l'exposition aux vents dominants et des effets de vent (📄 Fiche 5) sur le site de projet, selon la saison, est un préalable essentiel pour permettre d'identifier le niveau d'enjeu et cibler les objectifs de la modélisation :

- Repérage sur le plan guide ou le plan masse des éventuels masques et porosités* (bâti et végétal) désirables ou indésirables pour le confort toute saison ;
- Identification des effets de vent potentiels générés par les formes urbaines, impactant le confort piéton mais aussi le confort des prolongements extérieurs sur les bâtiments, notamment pour les émergences au-dessus du velum urbain.

2- Le choix de la donnée de vent

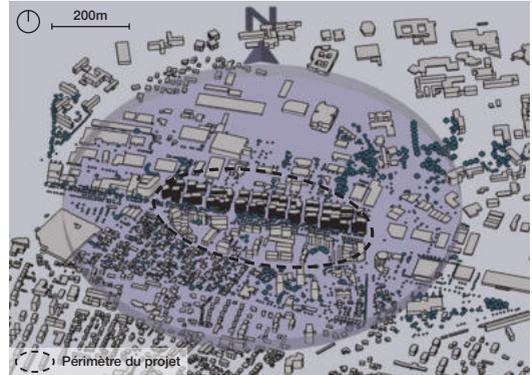
Sur le périmètre d'Euroméditerranée, la station Marignane est la station de référence. Étant cependant située à 15km, il est pertinent de préférer des données plus locales. L'installation d'un anémomètre* sur le périmètre du projet, pendant au moins une année, permettrait d'obtenir des données plus fiables. En l'absence d'un tel dispositif, la station Marseille Observatoire représente une alternative adaptée, même si les données de vent ne sont plus mesurées depuis 2003, cette station fournit des données locales.

3- Le choix de l'outil de modélisation

Il existe différents logiciels sur le marché permettant de faire de la modélisation aéraluque :

- Pour les échelles urbaines : Simscale, TRNFLOW, UrbaWind, ...
- Pour les échelles plus fines, autour des bâtiments : Design Builder, ...

Peu importe l'outil choisi, le calibrage du modèle est essentiel : étendue de la zone à modéliser autour de la zone d'étude pour gérer les conditions aux limites, définition de la rugosité* du terrain environnant, caractéristiques des arbres.



Vue de la zone d'intérêt sur une modélisation aéraluque : rayon de 500m autour du projet. Évaluation urbaine et environnementale du projet urbain Gabriel Péri à Saint-Martin-d'Hères. © TRIBU / Simscale

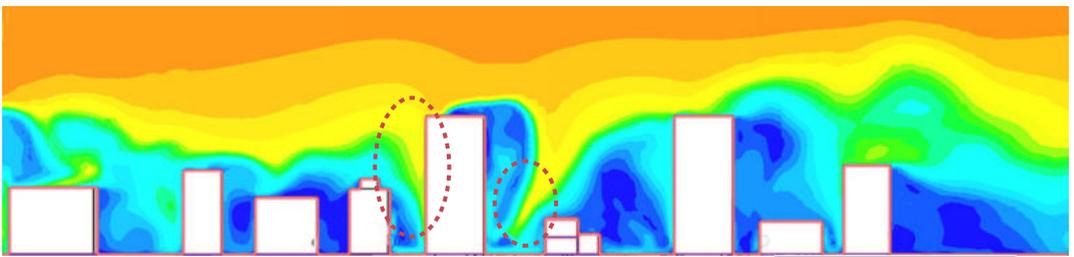
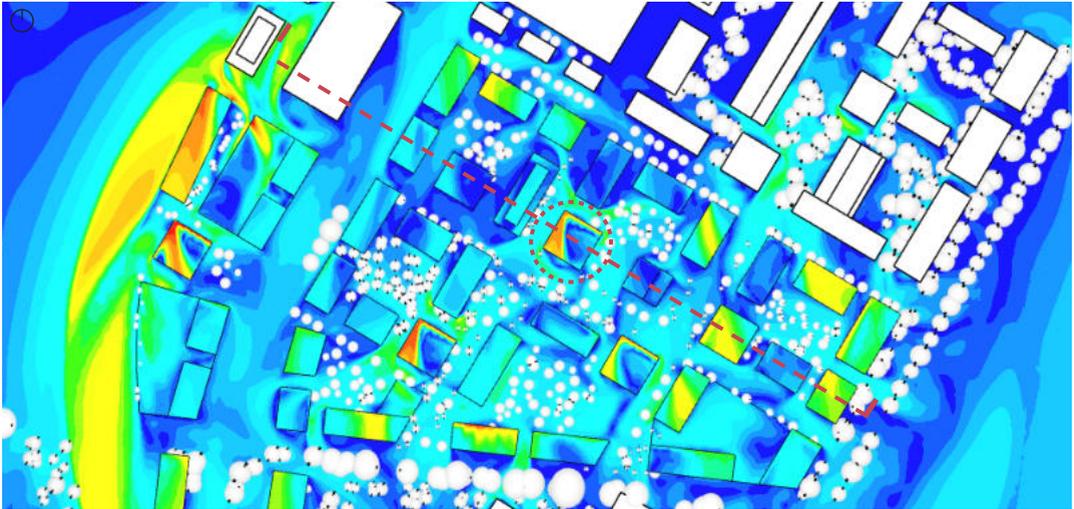
4- La modélisation à l'échelle du quartier

Sur le périmètre d'Euroméditerranée, au vu de l'exposition aux vents, la modélisation aéraluque est un outil particulièrement intéressant à utiliser à grande échelle, à savoir celle du quartier. Elle sert en premier lieu d'outil de conception et d'évaluation du plan urbain (📄 REX Canet). Ensuite, l'étude peut être appropriée par les futurs concepteurs à l'échelle des îlots, des bâtiments et sur les espaces publics comme donnée d'entrée à intégrer dans les projets.

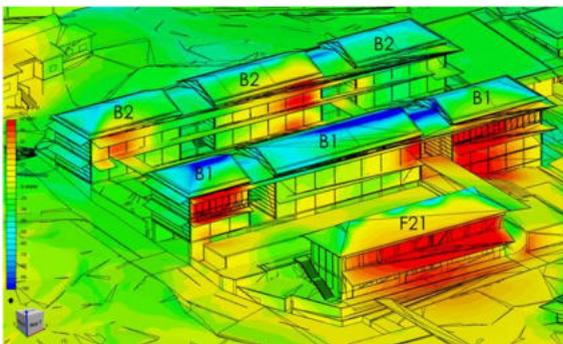


À l'échelle du quartier, il s'agit principalement de valider et de préciser les effets de vent pressentis dans l'analyse empirique selon les vents dominants et la saison. Les résultats doivent permettre de visualiser les vitesses d'air :

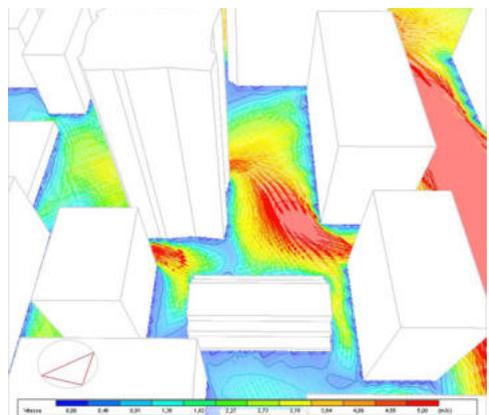
- sur le plan au niveau du sol pour analyser le confort des espaces extérieurs
- en coupe pour observer la manière dont les façades des bâtiments seront sollicitées et avoir un premier aperçu des potentiels inconforts au niveau des prolongements extérieurs.



Vitesse moyenne du vent du Nord à Lyon-Confluence en hiver à hauteur du piéton (1,70m) et sur les toitures. © TRIBU 2023 / Simscale



Etude des pressions sur les façades d'un bâtiment en phase Projet. © TRIBU / Simscale



Etude de la direction et des vitesses de vent au sol dans le coeur d'îlot A3 à Lyon-Confluence, pour un vent du Nord-Nord-Ouest. La simulation permet d'identifier des zones de perturbations, turbulences* et accélérations qui peuvent générer de l'inconfort pour les piétons. © TRIBU 2023 / Simscale

À l'échelle de l'îlot et de l'espace public, une modélisation plus fine est essentielle dans le cas de formes générant une exposition à des fortes vitesses de vent, comme des hauteurs de bâti importantes.

5- La modélisation sur l'espace public

L'enjeu de la modélisation aéraluque sur les espaces publics est d'évaluer le confort au regard des usages projetés. Pour cela, il existe différents indicateurs (Lawson, Davenport, CSTB, NEN8100...) croisant vitesses de vent, fréquences d'occurrence et activités des piétons (station assise, debout, marche, course, etc). La vitesse effective du vent considérée est fonction d'une vitesse de vent moyenne, d'un facteur de pointe (prise en compte des rafales*) et de l'écart-type de la vitesse du vent. Le coefficient affecté au facteur de pointe est un des éléments différenciants entre les indicateurs. L'activité de l'individu est un facteur décisif pour exprimer les fréquences d'inconfort acceptées par les usagers. Ainsi, **le seuil d'inconfort doit être associé à une fréquence de dépassement.** Les seuils ainsi que les fréquences de dépassement varient d'un critère à un autre.

6- La modélisation à l'échelle de l'îlot

À cette échelle, **l'analyse porte plus précisément sur le confort des espaces extérieurs aux étages** (balcons, loggias, terrasses) (📄 Fiche 6) **et sur les pressions exercées sur les façades**, notamment pour évaluer le potentiel de ventilation naturelle (VNAT) (📄 Fiche 8). Pour les prolongements extérieurs, les critères de confort mentionnés précédemment peuvent également être utilisés.

7- L'analyse croisée

Au-delà de la question du vent, il s'agit de proposer une analyse croisée de la notion de confort. Il convient à minima de **croiser les résultats aéraluques avec les usages et les analyses d'ensoleillement.**



Coût de la modélisation aéraluque : entre 10 000 € et 30 000 €. Le chiffrage va dépendre de l'échelle et du niveau d'analyse souhaité.



Quel critère de confort choisir ?

Les critères de confort définissent pour une activité donnée une vitesse de vent seuil et une fréquence d'occurrence à ne pas dépasser.

Il en existe plusieurs plus ou moins exhaustifs. L'un des plus utilisés à l'international est le critère de Lawson LDDC.

En France, c'est le critère du CSTB* qui est généralement utilisé. Il prend en compte la vitesse moyenne du vent, ainsi que les rafales*. Le seuil de vitesse est estimé à 3,6 m/s.

*Centre scientifique et technique du bâtiment

Vitesse du vent	Fréquence	Activité de confort
3,6 m/s	< 5%	S'asseoir ou rester debout 
3,6 m/s	< 10%	Marcher tranquillement 
3,6 m/s	< 20%	Marcher rapidement 
3,6 m/s	≥ 20%	Inconfortable quelque soit l'activité 

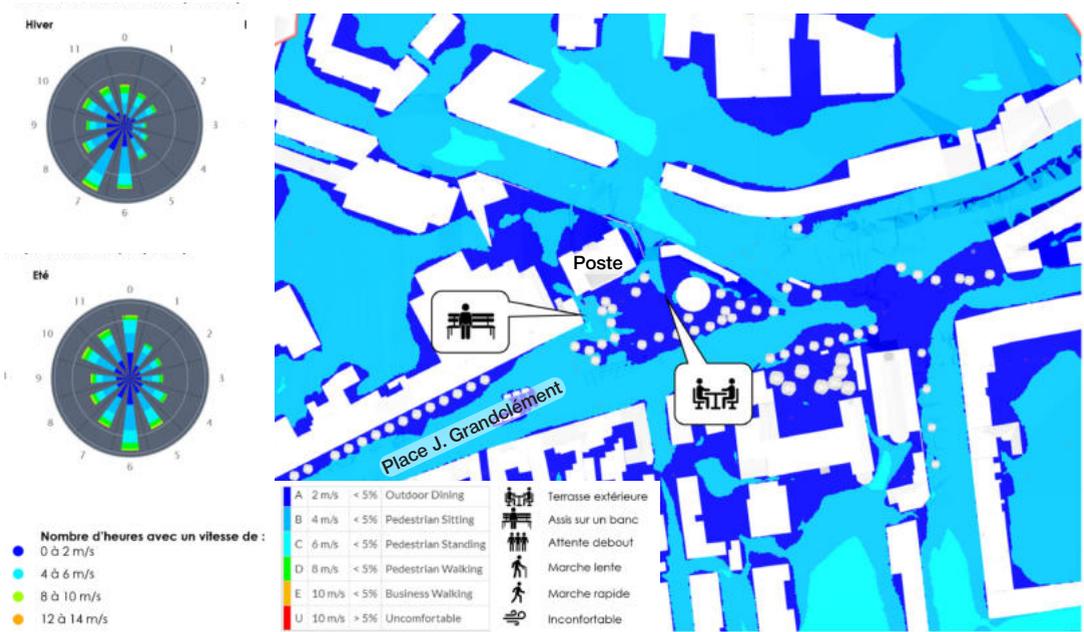
Critère de confort du CSTB © TRIBU

Zone A : si le seuil de 3,6m/s est dépassé moins de 5% du temps, l'espace est confortable pour une situation assise ou debout statique.

Zone B : si le seuil de 3,6m/s est dépassé moins de 10% du temps, l'espace est confortable pour une situation de promenade.

Zone C : si le seuil de 3,6m/s est dépassé moins de 20% du temps, l'espace est confortable pour une situation de marche rapide.

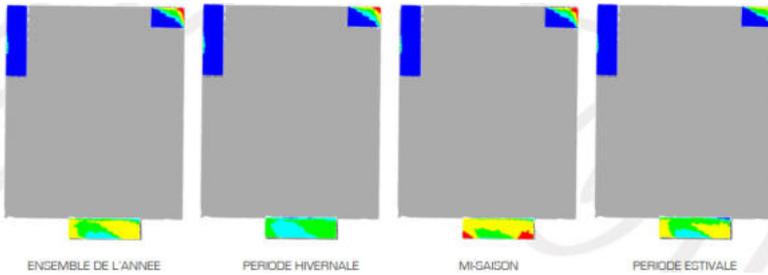
Zone D : si le seuil de 3,6m/s est dépassé plus de 20% du temps, l'espace est inconfortable même en situation de marche rapide.



Etude aéroulque sur l'espace public de Grandclément, en hiver, selon le critère de confort Lawson LDDC, avec le logiciel SImSCALE. Le projet participe à réduire l'écoulement des vents. L'escalier implanté à l'est de la Poste crée une accélération des vents. On constate un point d'accélération sur le pignon à l'ouest de la poste où est envisagé un banc. L'alignement d'arbres plantés au nord de la place Jules Grandclément, dans l'alignement de la rue Jean-Jaurès limite l'accélération des vents.

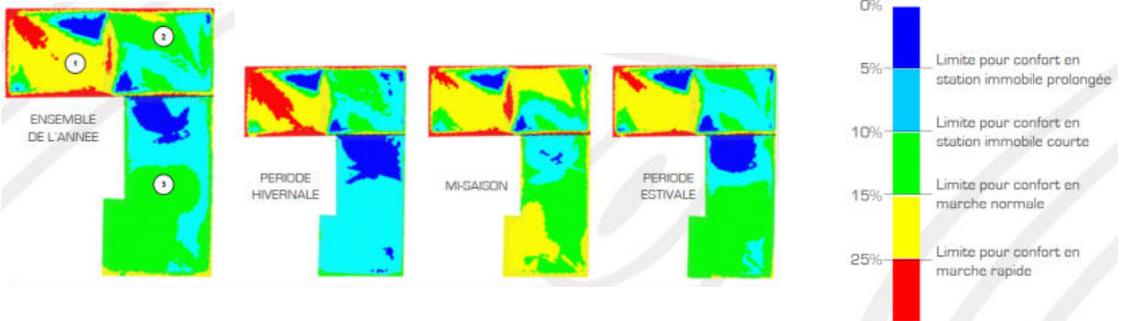
© TRIBU 2020 / SImSCALE

Confort au vent des loggias et balcons de la tour de l'îlot C (15ème étage)



Extrait de l'étude aéroulque sur les espaces extérieurs privés (en haut) et collectifs (en bas) de l'îlot Smartseille dans le cadre de l'opération Euroméditerranée II à Marseille.
© OPTIFLOW 2014

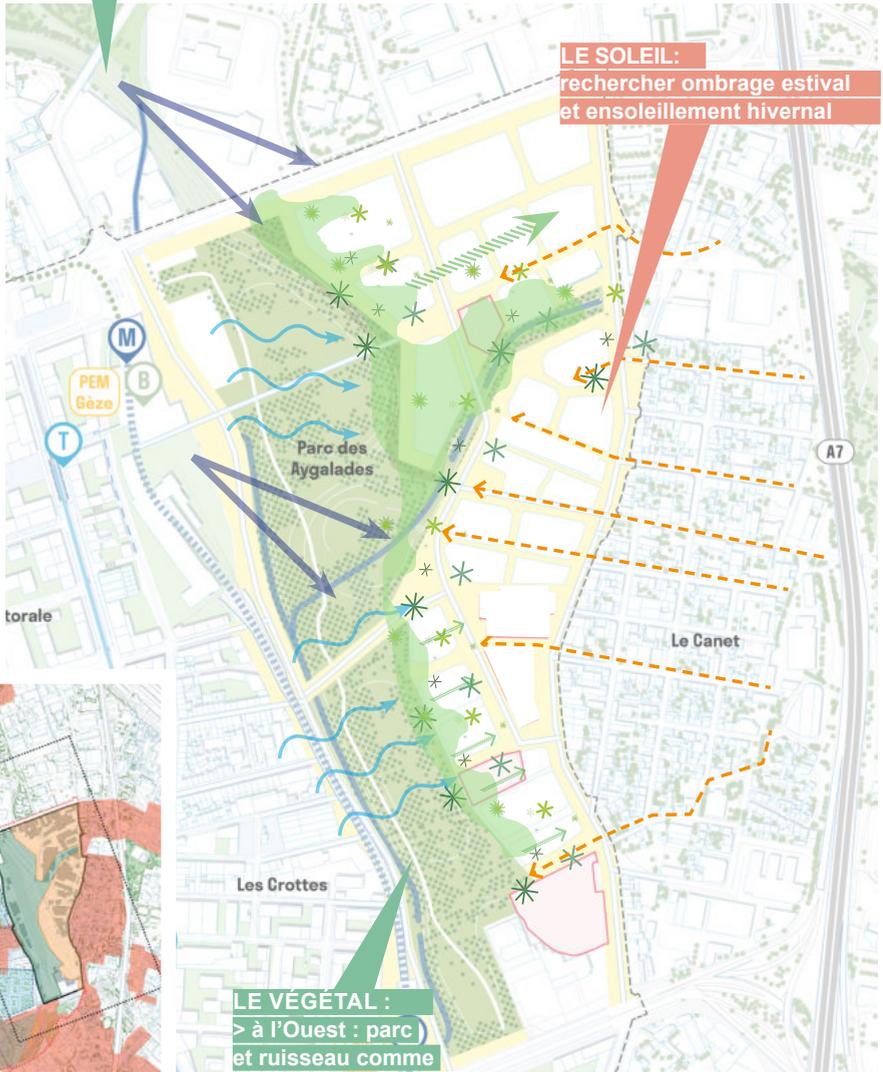
Confort au vent des terrasses en toiture de l'îlot D



ILS L'ONT FAIT : LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU SECTEUR DU CANET

LE VENT :
se protéger du mistral
s'ouvrir à la brise marine

LE SOLEIL :
rechercher ombrage estival
et ensoleillement hivernal



LE VÉGÉTAL :
> à l'Ouest : parc
et ruisseau comme
climatiseurs urbains -
infiltration dans la trame
urbaine

Localisation et principes bioclimatiques © DR EPAEM

FICHE D'IDENTITÉ DU SECTEUR URBAIN

- **Localisation** : Périmètre Euroméditerranée II - entre l'ancienne gare du Canet à l'ouest, le boulevard Danielle Casanova, l'A557 et le boulevard Capitaine Gèze au nord.
- **Maîtrise d'ouvrage** : EPA Euroméditerranée
- **Maîtrise d'oeuvre urbaine** : Leclercq Associés (Urbaniste-concepteur), BASE (Paysagiste), SETEC Hydratec (Ingénierie), EODD
- **Ingénierie spécialisée en conception bioclimatique** : Atelier Franck Boutté
- **Programme** : Mixte bureaux et logements
- **Superficie** : 24 ha
- **Niveau d'avancement** : études pré-opérationnelles

Le contexte de l'étude

Le projet propose de transformer une zone d'activités, aujourd'hui située en zone inondable, en un secteur urbain mixte destiné à accueillir 2 600 logements, des équipements publics et de nouveaux emplois. Il est situé dans un environnement urbain en forte mutation dans lequel de nombreux projets sont en phases d'études ou opérationnelles : les ZAC Cité de la Méditerranée et ZAC Littorale, le réaménagement du boulevard Gèze, le Parc Bougainville et le futur Parc du Ruisseau des Ayalades (16 ha), le prolongement des lignes de tramway au Nord.

Ce nouveau secteur urbain viendra étirer et désenclaver le faubourg du Canet, actuellement isolé entre l'autoroute et une zone d'activités, en le connectant au futur Parc du Ruisseau des Ayalades et, au-delà, aux principaux pôles multimodaux (Bus/Métro/Tramway).

Enjeux du site liés au vent

Le secteur du Canet est légèrement plus éloigné de la mer par rapport à la ZAC Littorale par exemple. La prise en compte du comportement aéralique du site reste néanmoins un enjeu tout aussi important pour optimiser les qualités d'usage des espaces extérieurs au regard des confort thermique (été) et aéralique (hiver). Elle permet également de limiter le recours énergivore à la climatisation.

La méthodologie et les outils mis en place pour concevoir un plan masse bioclimatique

Etude bioclimatique du plan masse

L'étude bioclimatique du plan masse est réalisée en première approche par **l'analyse croisée de son exposition au rayonnement solaire et de son régime aéralique**. La conception du plan masse vise à établir la cohérence entre la **spatialisation des usages et les microclimats observables sur les différents espaces du site**.

Etudes vent / ensoleillement

Le modèle 3D du projet est réalisé avec **RHINO 3D**, intégrant la topographie et les morphologies urbaines. Les études d'ensoleillement et du régime aéralique du site sont réalisées avec **Forma de Autodesk**, logiciel de modélisation tridimensionnel couplant plusieurs modèles physiques pour assurer la prise en compte de **l'ensemble des interactions entre les sous-systèmes du milieu urbain : l'atmosphère, le sol, les bâtiments, les végétaux**.

Points clés de l'étude pour la prise en compte du vent dans la conception de la trame viaire, de la forme urbaine et des espaces publics

Etape 1 : Le diagnostic climatique

Une étape préalable d'analyse approfondie du climat local du site dans son contexte urbain permet d'identifier la nature et l'importance des contraintes et opportunités climatiques présentes sur le site

L'analyse fine du régime aéroulque permet d'identifier les directions/orientations des vents qui doivent être ralentis (vents violents - confort aéroulque) et celles des vents dont la circulation doit être favorisée (brises marines, autres). La rose des vents ci-contre détaille le régime des vents auquel est soumis le secteur du Canet.

Etape 2 : Stratégie morphologique & paysagère

La lecture croisée du régime aéroulque du site dans son contexte urbain et des morphologies urbaines du plan masse initial du projet permet de spatialiser les fonctions bioclimatiques qui doivent être intégrées à la conception de ce plan masse pour optimiser les qualités bioclimatiques des espaces extérieurs.

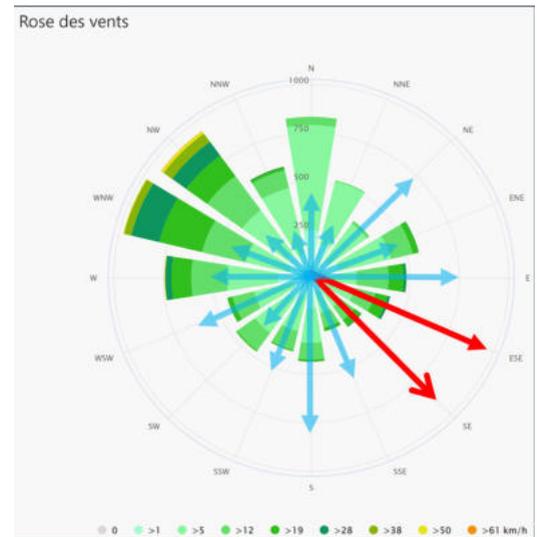
Une cartographie de la porosité* aéroulque favorable au projet peut être établie (voir page ci-contre).

Etape 3 : Modélisations – Phase 1

La première phase des études de modélisation est réalisée en intégrant la topographie, les morphologies urbaines (contexte, projet). **La végétation n'est pas intégrée à cette première évaluation pour permettre d'intégrer les fonctions bioclimatiques en amont de la conception paysagère** (voir figure ci-contre).

L'approfondissement de la conception bioclimatique du projet est guidé par l'analyse croisée des résultats des deux champs d'études détaillées générés aux échelles des sous-espaces du projet global.

À l'échelle du plan masse, ces premiers résultats permettent de confirmer et d'affiner la stratégie paysagère à l'échelle du site, et de détecter les optimisations morphologiques du projet urbain.



Etape 1 : Rose des vents extraite du Plan Guide CANET / MS12 - Phase 1 : Approche bioclimatique - échelle globale / conception aéroulque © Atelier Franck Boutté

— : vents violents (> 10 m/s) que la conception du projet doit chercher à ralentir pour préserver les qualités d'usage des espaces extérieurs et des interfaces bâties (balcons, vérandas, serres, etc)

— : vents faibles et modérés (< 10 m/s) que la conception du projet doit chercher à laisser circuler pour favoriser le confort thermique estival des espaces extérieurs et des espaces bâties.

Les flèches indiquent la direction dans laquelle les vents soufflent, leur longueur est proportionnelle à la fréquence d'occurrence.



Etape 2 : Cartographie extraite du Plan Guide CANET / MS12 - Phase 1 : Approche bioclimatique - échelle globale / conception aéralique © Atelier Franck Boutté

■ : fronts bâtis du projet exposés aux vents forts (Mistral), à protéger par des fronts végétaux composés de strates arbustives et arborées, et positionnées en amont aéralique des fronts bâtis.

■ : fronts bâtis du projet exposés aux vents faibles et marins, à rendre perméable sur le plan aéralique pour favoriser le confort d'été

■ : porosités aéraliques à ménager dans la profondeur

■ : suggestion de création d'alignements végétalisés composés de strates arbustives et arborées

Vitesse moyenne du vent (m/s)



Etape 3 : Vitesse moyenne du vent pour 3 directions de vent (Nord-Nord-Ouest / Sud-Est / Est).
Extrait du Plan Guide CANET © Atelier Franck Boutté



Ces résultats permettent également d'aborder la conception du projet aux échelles spatiales fines (îlot, bâtiment), et d'appréhender l'intégration des « refuges de fraîcheur » et des « solariums d'hiver » sur les espaces extérieurs du site.

Etape 4 : Intégration des résultats à la conception itérative du plan masse aux différentes échelles spatiales de projet - Phase 2

Les résultats des premières modélisations sont exploités aux échelles spatiales de chaque îlot bâti, et de chaque espace public, pour aborder la conception spécifique de l'espace considéré.

La conception bioclimatique se décline aux échelles spatiales fines en conservant **une approche tenant compte des différentes saisons, et veille à adapter le site au réchauffement climatique pour la période estivale, et à optimiser les qualités d'usages pour profiter du soleil de Marseille en hiver.**

La prise en compte des résultats d'études correspondant à la période estivale à l'échelle de l'îlot permet d'identifier les cœurs d'îlots et les façades bâties fortement exposés au rayonnement solaire direct, ou exposés à des régimes de vents faibles, peu capables de rafraîchir les espaces extérieurs.



La conception du projet paysager des espaces extérieurs de l'îlot, et plus particulièrement la spatialisation des refuges climatiques d'été peut être précisée ; la spatialisation des besoins en «ombrage» des espaces extérieurs oriente le positionnement des bosquets d'arbres à hautes tiges ; l'analyse du régime aéraulique estival permet de spatialiser les « porosités aérauliques* » souhaitables, et oriente le positionnement des strates arborée et arbustive pour modeler le régime aéraulique hyperlocal.

Parallèlement, l'implantation ou l'orientation des bâtiments peuvent être optimisées pour réduire l'exposition au soleil, ou favoriser la circulation des vents.



L'analyse des durées d'exposition et des vitesses de vent auxquelles les façades bâties sont exposées permet d'identifier les types d'interfaces bâties adaptées (balcons, vérandas, autres) et les besoins d'occultation qui apparaissent nécessaires pour optimiser le confort thermique passif des locaux.

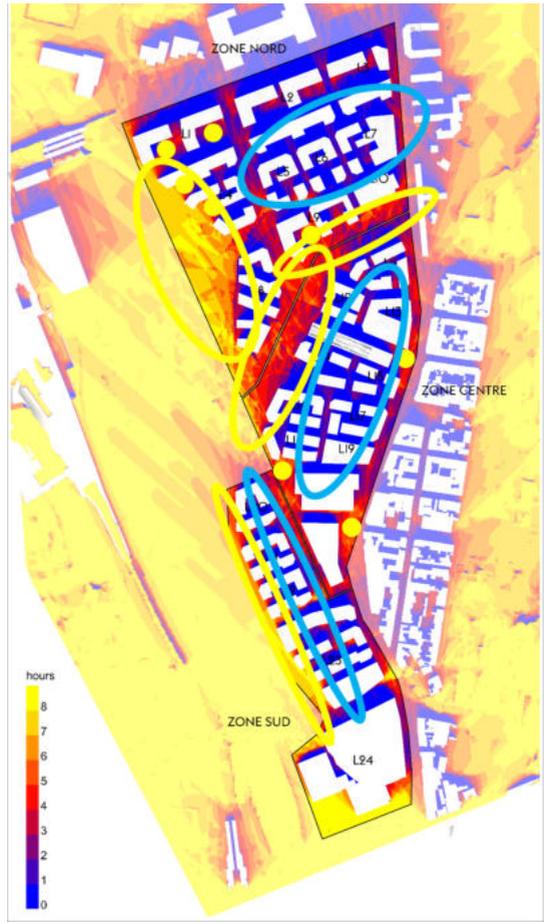
Cette approche bioclimatique est parallèlement déclinée sur les résultats d'études de **la période hivernale, dans la perspective de ralentir les vents pour réduire les gênes aérauliques sur les espaces extérieurs, positionner les solariums d'hiver, et favoriser la sobriété énergétique des bâtiments.**

La conception itérative du plan masse et la cohérence établie entre les échelles spatiales permet d'intégrer progressivement les fonctions bioclimatiques au projet par couches successives complémentaires pour aboutir au plan masse final optimisé.

La conception bioclimatique du projet **s'achève par la rédaction des fiches de lots** qui intègrent les spécificités de chaque lot, et précisent les moyens et méthodes nécessaires à la conception d'un projet bâti performant, capable de bénéficier du climat local sans le subir.



Etape 4: Ensoleillement à l'échelle du site le 21 juin
© Atelier Franck Boutté



Etape 4: Ensoleillement à l'échelle du site le 21 décembre
© Atelier Franck Boutté

- Points rouges :
 - coeurs d'îlot concernés par des surchauffes en été
 - sols végétalisés et création de canopées par des arbres à feuilles caduques
 - L1/L2/L3 : impossibilité de planter des arbres à haute tige, végétalisation des toitures et création d'imbrages artificiels temporaires en été
- Points bleus :
 - espaces favorables à la création de refuges climatiques
 - zones prioritaires pour l'implantation de mobilier urbain d'assise, de jeux d'enfants et de terrains de sport
- Ellipses rouges :
 - espaces publics fortement ensoleillés et potentiellement inconfortables
 - morphologie bâtie à optimiser pour favoriser les ombrages (augmentation des hauteurs côté sud / sud-ouest)
 - implantation d'arbres d'alignement et de bosquets densément végétalisés

- Points jaunes :
 - zones profitant d'un bon ensoleillement en hiver
 - zones privilégiées pour l'implantation de solariums
- Ellipses jaunes :
 - espaces publics ensoleillés en hiver
 - zones prioritaires pour l'implantation de parcs confortables
 - implantation de freins aérauliques, notamment des alignements d'arbres, afin de limiter l'inconfort au vents des zones à l'est
- Ellipses bleues :
 - espaces publics carencés en soleil d'hiver
 - morphologie bâtie à optimiser pour favoriser l'ensoleillement d'hiver (diminution des hauteurs côté sud-sud-ouest)



ÉCHELLE ÎLOT : ADAPTER LA MORPHOLOGIE URBAINE AU VENT

Les contraintes, ressources et potentiels du climat urbain ont été identifiés à l'échelle urbaine. Dans le projet Euroméditerranée, les différents contextes urbains divergent très fortement au regard de leur exposition aux vents.

Ces divergences peuvent questionner les choix faits à l'échelle de l'îlot, en matière de morphologie (îlot ouvert, fermé...) d'épannelage (grande hauteur ou pas...), d'épaisseur et d'emprise bâtie, de positionnement de la pleine terre et du végétal, du rapport aux rues et aux espaces publics, etc.

Cette étape indispensable d'adaptation de la morphologie urbaine au vent à l'échelle de l'îlot permet d'anticiper une grande partie des problématiques à venir à l'échelle du bâtiment et des espaces publics.

Il s'agit notamment de travailler le confort des espaces extérieurs et de questionner leurs articulations avec l'espace public, de favoriser des îlots ventilés pour limiter la surchauffe urbaine*, mais surtout de questionner les choix morphologiques au regard du Mistral – vent fort et fréquent pouvant conduire à des désordres et des choix constructifs contraints.

Cette approche morphologique urbaine n'est jamais décorrélée des autres enjeux climatiques et environnementaux, en particulier la place du vivant, la santé, et la réduction de nos empreintes environnementales (carbone, eau, matières premières). Rappelons également que nous concevons avant tout pour ceux qui habitent les lieux !

Échelle îlot : adapter la morphologie urbaine au vent

- 3 Concevoir avec l'air, la lumière et le soleil à l'échelle de l'îlot : l'approche bioclimatique
- 4 Evaluer l'exposition de l'îlot aux vents
- 5 Evaluer les effets de vent générés par la forme urbaine

Ils l'ont fait : L'optimisation du confort de l'îlot Smartseille face au vent

3# CONCEVOIR AVEC L'AIR, LA LUMIÈRE, LE SOLEIL À L'ÉCHELLE DE L'ÎLOT : L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE

Faire avec et faire mieux avec moins

L'approche bioclimatique est une approche ancienne de l'architecture mettant en œuvre notre connaissance fine du climat et les solutions les plus simples pour créer des espaces sans utiliser de technologies complexes. Il s'agit d'une démarche holistique qui s'adapte à un site et à un programme donné.

Le grand mouvement de l'architecture solaire des années 1970 a fortement influencé l'architecture contemporaine du point de vue de la prise en compte du soleil dans la conception architecturale.

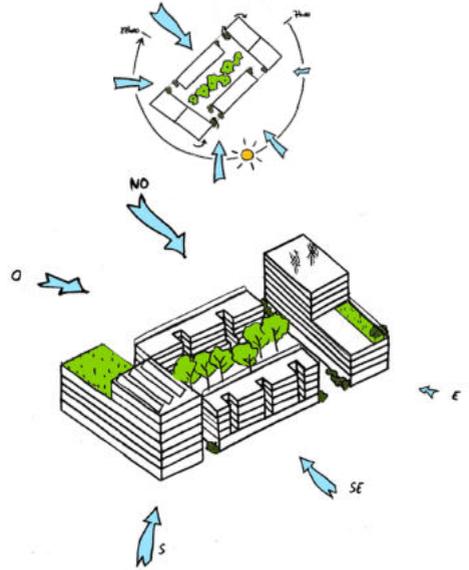
Ces concepts déjà bien présents dans l'architecture vernaculaire sont ensuite passés pendant un temps au second plan des priorités des projets. L'intégration de l'environnement dans la conception architecturale via la démarche de qualité environnementale au début des années 1990 a réconcilié progressivement ces concepts avec l'architecture contemporaine. Aujourd'hui, l'approche bioclimatique retrouve une nouvelle lettre de noblesse via la prise en compte du confort d'été et le recours à des dispositifs architecturaux sans technologies complexes, facilement appropriables par les usagers et à faible impact environnemental.



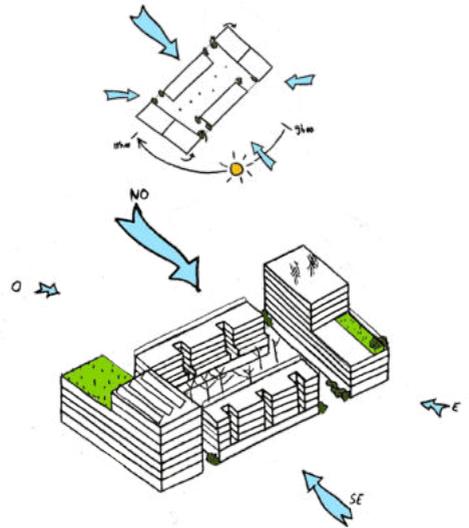
Les indicateurs proposés ci-après constituent des outils de conception et d'évaluation permettant de qualifier la prise en compte du vent mais également plus largement l'approche bioclimatique à l'échelle de l'îlot, indissociable de celle du vent.

Ils ont été utilisés sur un échantillon représentatif d'opérations déjà conçues sur le périmètre d'Euroméditerranée. La synthèse de l'analyse est donnée à la fin de cette fiche et le détail est présenté dans un poster en annexe.

Bioclimatique d'été



Bioclimatique d'hiver



© TRIBU

La conception bioclimatique peut également s'appliquer aux espaces extérieurs, qu'ils soient publics ou privés. Pour en savoir plus, se référer à la fiche dédiée :  Fiche 11.

Les indicateurs liés à la localisation du projet

Le concepteur n'a pas forcément la main sur la localisation du projet. Il est cependant important de prendre en compte les facteurs suivants de manière à adapter les solutions à l'environnement.

Qualité d'air extérieur et environnement sonore

L'enjeu de ce critère est d'évaluer le risque de pollution atmosphérique et acoustique en fonction de la temporalité (jour/nuit, été/mi-saison/hiver) et des sources (trafic routier, émetteurs spécifiques).

De manière empirique, l'exposition à la pollution atmosphérique et acoustique peut être évaluée en fonction de la proximité de l'îlot avec des axes routiers majeurs. L'utilisation des données produites par AtmoSud - l'Observatoire de la qualité de l'air en Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur - permet une analyse plus précise.

Des campagnes de mesure de qualité d'air peuvent également être réalisées par un bureau d'étude spécialisé en complément.

Par ailleurs, la méthode ECRAINS proposée dans le cadre d'EnvirobatBDM permet d'approfondir une démarche de qualité d'air dans le bâtiment.

Dans le cas d'un îlot qui serait très exposé, une réflexion sur la programmation, la morphologie des bâtiments, le traitement des façades et les dispositifs à mettre en oeuvre est à mener (voir fiche  Fiche 7.

Exposition de l'îlot aux vents dominants

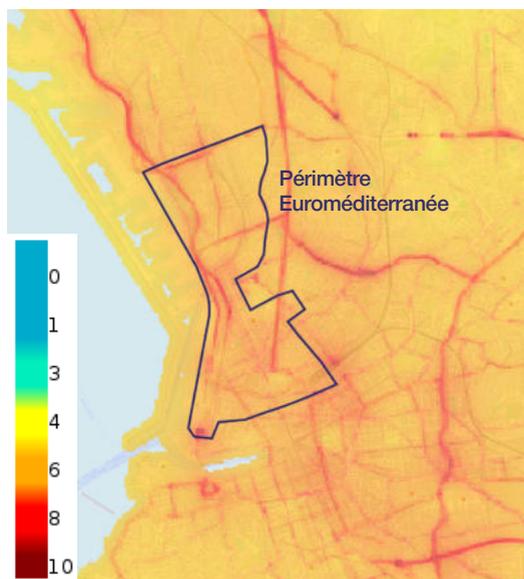
L'objectif est d'évaluer l'exposition au vent en fonction des caractéristiques du tissu urbain environnant et de l'orientation de la trame viaire.



Une rugosité* forte dans les directions Nord-Ouest et Sud-Est sera plus favorable pour freiner les vents forts à très forts.

A contrario, la canalisation via la trame viaire de vents plus faibles (brise de mer) et une surchau* faible dans la direction de ces vents permettront un meilleur potentiel rafraîchissant en saison estivale.

Pour en savoir plus sur la manière de déterminer la rugosité urbaine*, se référer à la fiche  Fiche 4.



Indice cumulé de l'air - Carte annuelle ICAIR 365 en 2023. La cartographie ci-contre permet de visualiser la pollution atmosphérique sur le périmètre d'Euroméditerranée en 2023. L'indicateur ICAIR365 intègre les quatre polluants principaux: O3, NO2, PM2.5, PM10. Cet indicateur prend en compte les effets cumulatifs des différents polluants, ce qui permet de mieux faire ressortir les zones à expositions multiples. L'échelle sur la gauche représente le nombre de lignes directrices dépassées (quand le niveau de pollution d'un polluant est supérieur aux valeurs de pollution acceptables définies par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS)).

Leaflet | AtmoSud © | ESRI World Topo Map ©

Les indicateurs liés à la forme urbaine

Effets de vent indésirables

L'enjeu est d'identifier les effets de vent indésirables générés par la forme urbaine et le bâti.

Si un ou plusieurs effets de vent indésirables sont identifiés, des solutions d'améliorations peuvent être envisagées. Des exemples sont donnés dans la fiche  Fiche 5. L'intensité des effets de vent est souvent corrélée à la hauteur des bâtiments.

Porosité* de l'îlot aux vents dominants

L'objectif recherché est de laisser circuler les vents dominants (Mistral, vent du Sud-Est, Brise de mer) de manière régulée au sein de l'îlot grâce à la présence de failles entre les bâtiments, de porosités en rez-de-chaussée (porche), ou d'un épannelage varié.

Un îlot monolithique avec des façades continues sera très peu poreux : il pourra créer un espace central protégé des vents mais il ne pourra pas bénéficier du potentiel rafraîchissant de ces vents en été. Compte-tenu des trois vents principaux à Marseille, les préconisations ci-dessous peuvent s'appliquer.



Le Mistral étant un vent fort soufflant toute l'année, les îlots trop poreux au Nord-Ouest vont générer de l'inconfort en cœur d'îlot et des effets de vents indésirables. Il faut donc protéger le cœur d'îlot grâce à une forme bâtie non-poreuse au Nord-Ouest sur les étages bas (<R+2) puis un épannelage varié des étages supérieurs pour assurer la ventilation du cœur d'îlot sur toute sa hauteur.

Le vent du Sud-Est et la brise de mer (Ouest) sont deux vents à privilégier afin de ventiler le cœur d'îlot et de bénéficier de leur effet rafraîchissant l'été. L'îlot doit donc être poreux dans ces directions grâce à la présence de failles, de porches et d'un épannelage varié.

Hauteur des bâtiments par rapport au velum urbain

L'enjeu est de maîtriser l'exposition au vent en choisissant des formes urbaines appropriées.

La hauteur des bâtiments influe sur l'exposition au vent des façades et la pression de vent qui s'exerce sur elles, notamment s'ils sont plus hauts que le velum urbain*, à savoir la hauteur moyenne des bâtiments environnants. Ceci impacte le confort d'usage des espaces extérieurs à la fois au niveau du sol mais aussi sur les prolongements extérieurs comme sur les balcons par exemple.



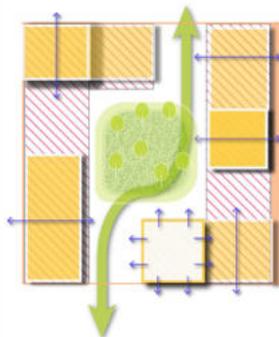
De manière générale, limiter les émergences au-dessus du velum urbain environnant.

Dans le cas d'une émergence, adapter les usages et prévoir des dispositifs permettant de garantir le confort des prolongements extérieurs (terrasses, balcons, loggias) dans les étages et au niveau de la rue. Dans ce cas, la modélisation aéroulque peut être un outil utile  Fiche 2.

Épaisseur des bâtiments

L'objectif recherché est de bénéficier d'une ventilation naturelle pour rafraîchir et évacuer les polluants intérieurs.

La capacité à ventiler un logement naturellement représente un enjeu sanitaire et de confort pour les habitants. L'intégration de cette exigence doit se faire dès le début de l'élaboration du plan masse en fixant des épaisseurs maximales.



Evaluation urbaine et environnementale du projet urbain Gabriel Péri à Saint-Martin d'Hères. Les bâtiments, par leur épaisseur, permettent des logements traversants ou bi-orientés (plot). © Interland



L'épaisseur optimale recommandée pour les bâtiments est de 10m à 12,5m (hors prolongements extérieurs).

Assurer la bonne ventilation des logements passe également par une réflexion sur le système de distribution, la composition du plan d'étage courant et le positionnement des fenêtres. Pour en savoir plus, se référer à la  *Fiche 8*.

Accès au soleil en hiver sur les façades et le cœur d'îlot

L'objectif est de garantir un accès au soleil en hiver en réponse aux enjeux sanitaires et énergétiques, concevoir des espaces extérieurs confortables en toute saison, et favoriser le développement du végétal à partir du printemps, limiter les vis-à-vis. Il s'agit d'une part de pouvoir assurer un minimum de soleil direct dans les espaces de vie et d'autre

part de profiter de l'énergie gratuite fournie par le soleil pour faire des économies sur les consommations de chauffage.

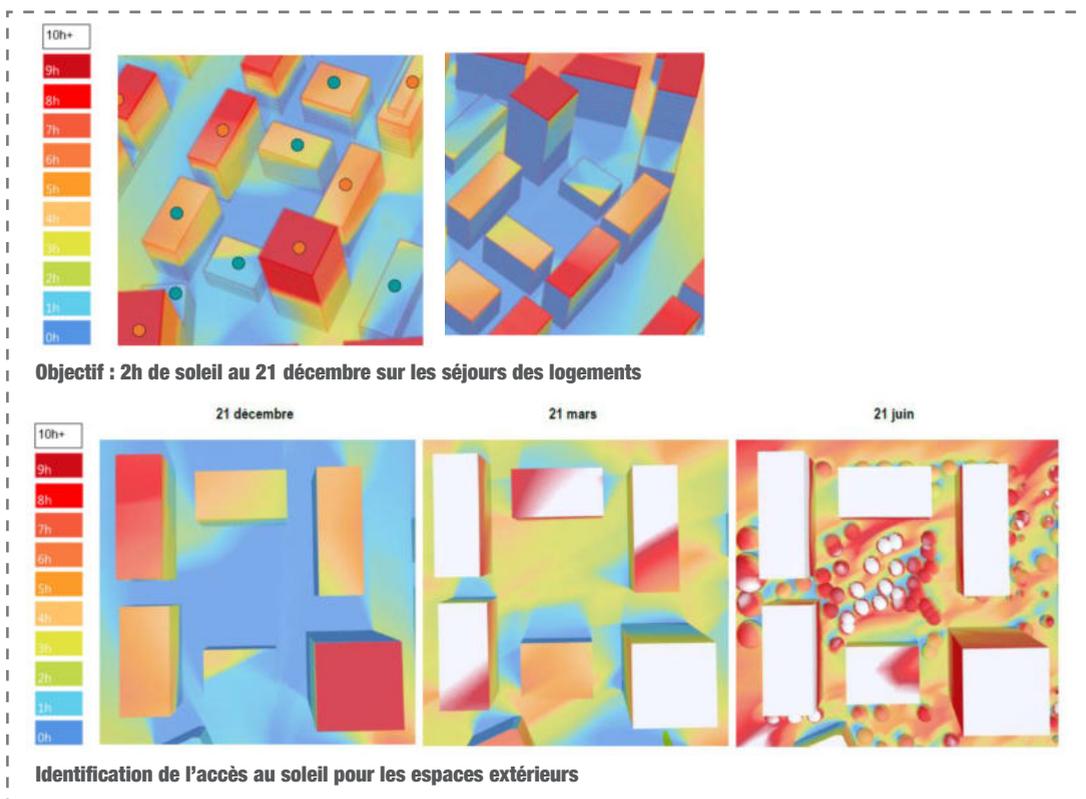
Cet indicateur ne concerne pas seulement l'accès au soleil direct mais permet également de produire une forme urbaine plus aérée laissant la place aux vues et à l'éclairage naturel.

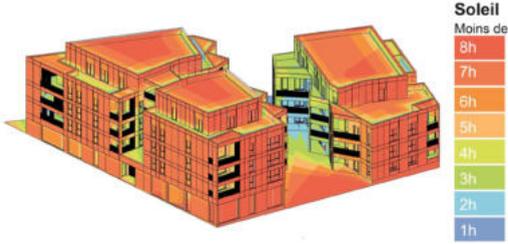
Ainsi, si à Marseille l'enjeu hivernal est moindre, cet indicateur va plutôt guider l'approche globale des confort.



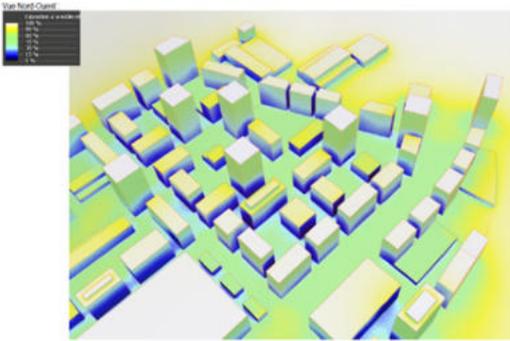
Évaluer l'exposition au soleil et aux vents dominants des façades et du cœur d'îlot dès l'étape d'élaboration du plan masse.

Viser au moins 2h d'ensoleillement dans les logements et au moins 1h d'ensoleillement dans le cœur d'îlot au 21 décembre.





Etude d'ensoleillement sur une opération de logements collectifs à Dardilly (69) © TRIBU.



Visualisation du facteur de vue du ciel* sur Confluence, Lyon © TRIBU.

Accès aux vues et à la lumière

L'objectif est de préserver l'intimité dans les logements, l'accès à la lumière naturelle, l'accès aux vues.

L'accès à la lumière naturelle est primordial pour le bien-être, d'autant plus dans un contexte où les individus passent jusqu'à 90% de leur temps en intérieur selon l'OMS (dans les pays industrialisés). La norme NF EN 17037+A1 spécifie des critères et recommandations concernant : l'apport en lumière du jour, le contact visuel avec l'extérieur, l'accès à la lumière directe du soleil et la prévention contre l'éblouissement.

Il convient d'être attentif sur les distances entre bâtiments et en coupe, la capacité à avoir une vue du sol, du paysage et du ciel depuis au moins une pièce de vie de son logement.



De manière générale, assurer un minimum de 20 m entre les bâtiments de façade à façade.

Qualité d'usage des prolongements extérieurs

L'objectif est de bénéficier d'espaces extérieurs pouvant être protégés du vent et du soleil (toiture-terrasse avec usages, balcon filant, loggias d'angle, terrasse, galerie extérieure, double-peau...).

Pour qualifier la qualité d'usage des espaces extérieurs, les critères à analyser sont :

- l'exposition aux vents
- les effets de vent liés à la forme urbaine (Par exemple, pour les balcons d'angle situés au-dessus du vélum urbain moyen à proximité, les pressions de vents exercées sur les angles rendent ces espaces inconfortables en raison des effets de coin notamment)
- l'accès au soleil en fonction des saisons.

Pour aller plus loin :  Fiche 6.



Eviter les balcons ou loggias orientés Nord-Ouest face au Mistral : ils n'auront pas de soleil l'hiver et seront en plein vent.

Eviter d'implanter des terrasses collectives sur des toitures trop hautes (au-dessus du velum urbain environnant).

Prévoir un aménagement et des dispositifs permettant de se protéger du vent.

Pleine terre

L'objectif est de contribuer à la gestion des eaux pluviales à la source, contribuer à la constitution de trame verte et brune pour la biodiversité, limiter la contribution à la surchauffe urbaine*.

Cet indicateur est un des plus utilisés à ce jour pour qualifier la disponibilité de la terre pour végétaliser, gérer les orages, mais également contribuer à la fraîcheur des espaces



L'échelle suivante permet de qualifier le niveau d'ambition à fixer sur l'îlot.

< 20%	Exigence minimale du PLUi
20% - 25%	Faible taux de pleine terre
25% - 30%	Part de pleine terre modérée
30% - 40%	Part de pleine terre correcte
> 40%	Part de pleine terre importante

Analyse bioclimatique sur quelques îlots marseillais

Méthodologie

Dans le cadre d'un travail préparatoire à ce guide, des îlots et des bâtiments ont été analysés, sur la base des indicateurs présentés précédemment et trois indicateurs complémentaires développés par TRIBU :

- Coefficient de rafraîchissement urbain : quantifie l'impact potentiel des surfaces sur la surchauffe urbaine* (îlot de chaleur urbain* et confort extérieur en été) au regard de plusieurs critères cumulés (albédo, inertie thermique, évaporation des sols et surfaces en eau, transpiration des végétaux)
- Coefficient de biodiversité : exprime la capacité d'une surface à être support de biodiversité
- Coefficient de ruissellement : se réfère au niveau d'imperméabilisation des surfaces.

Se référer à l'annexe en fin de document pour lire l'analyse complète.

Synthèse

Les 6 îlots résidentiels analysés sont les suivants: Trois Fenêtres, Major (ZAC CIMED), M5 (ZAC Joliette), B2 (ZAC CIMED), CAZ04 (ZAC Littorale), 4C2 (ZAC Littorale).

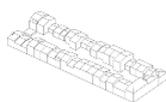
L'analyse permet de distinguer globalement cinq grands types d'îlot répartis en deux familles présentées ci-contre.



Trois grands enseignements ressortent de cette analyse :

- Croiser les études d'ensevelissement et les études aérauliques afin de calibrer le plus finement possible la densité par rapport aux enjeux de porosité*, de protection aux vents, d'accès au soleil et à la lumière des façades et du coeur d'îlot
- Éviter les émergences au dessus du velum urbain
- Être plus ambitieux sur le taux de pleine terre à intégrer

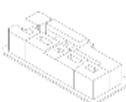
Les îlots du centre-ville constitué, bénéficiant de la protection des bâtiments environnants



1- Trois fenêtres



2- M5



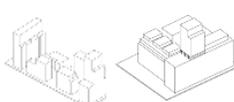
3- Major

1- îlots traditionnels plutôt bas (entre R+2 et R+5) peu poreux, accueillant des bâtiments peu épais permettant des logements traversants. Ils sont globalement protégés des vents forts mais peuvent souffrir de la surchauffe en été, surtout si le coeur d'îlot n'est pas végétalisé.

2- îlots plutôt bas mais tout de même assez denses avec une bonne porosité* aux vents et de la végétalisation en coeur d'îlot. L'accès au soleil des rez-de-chaussée n'est pas toujours assuré.

3- îlots très denses et très minéraux qui ne permettent pas la ventilation du coeur d'îlot et des logements, et une morphologie bâtie qui limite la présence de logements traversants ou bi-orientés.

Les îlots des ZAC en cours de construction, moins protégés des vents (environnement plus ouvert et/ou proximité de la mer)



1- 2B / 4C2



2- CAZ04

1- îlots moyennement à très poreux avec un coeur d'îlot bien végétalisé mais des émergences importantes (entre R+15 et R+19) générant des inconforts sur les prolongements extérieurs. Le nombre de logements traversants est limité.

2- îlots poreux avec des hauteurs basses à moyennes (R+8 au maximum) et un coeur d'îlot végétalisé, équilibre intéressant du point de vue de l'accueil et de la protection au vent. Les gabarits des bâtiments permettent une majorité de logements traversants. Cependant, les distances entre les bâtiments sont assez faibles, impactant ainsi l'accès au soleil, à la lumière et aux vues lointaines.

4# ÉVALUER L'EXPOSITION D'UN PROJET AUX VENTS

L'exposition d'un îlot aux vents dépend de plusieurs caractéristiques agissant à différentes échelles :

- **Rayon de quelques kilomètres** : rugosité* du terrain environnant
- **Rayon de quelques centaines de mètres** : forme urbaine et implantation de l'îlot dans la trame viaire ;
- **Proximité immédiate de l'îlot** : porosité* et hauteur des bâtiments.

Connaître et évaluer la rugosité du terrain environnant

L'écoulement du vent est influencé à grande échelle par la rugosité, c'est à dire la densité et la hauteur des obstacles présents sur le sol. Elle a un effet direct sur la vitesse et la turbulence* du vent : plus la rugosité est forte, plus le vent est décéléré et plus il est turbulent.

En zone urbaine dense ou en forêt, la rugosité est très élevée, la présence de nombreux obstacles entraîne la décélération du vent.

En zone dégagée (bord de mer) rien ne freine le vent, la rugosité est très faible et la vitesse du vent est plus élevée.

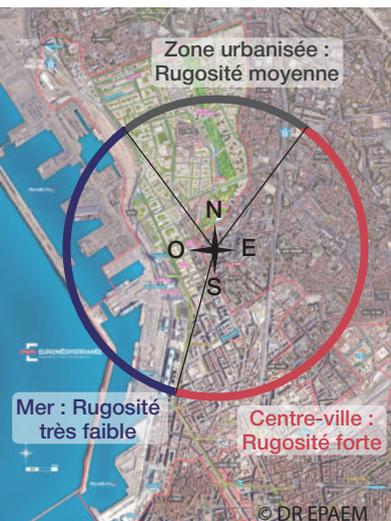
La rugosité à prendre en compte pour l'îlot considéré dépend de la hauteur des bâtiments à l'intérieur de cet îlot. Plus un bâtiment est haut, plus il est soumis à des vitesses de vents importantes issues de la faible rugosité des terrains éloignés. Le rayon d'influence considéré s'appelle la distance au vent :

- Pour un immeuble Trois Fenêtres, typique du cœur historique Marseillais, haut d'environ 20m, la distance au vent est d'environ 900m.
- Pour un immeuble plus haut de la ZAC Cité de la Méditerranée, haut de 40m, la distance au vent sera de 2km.

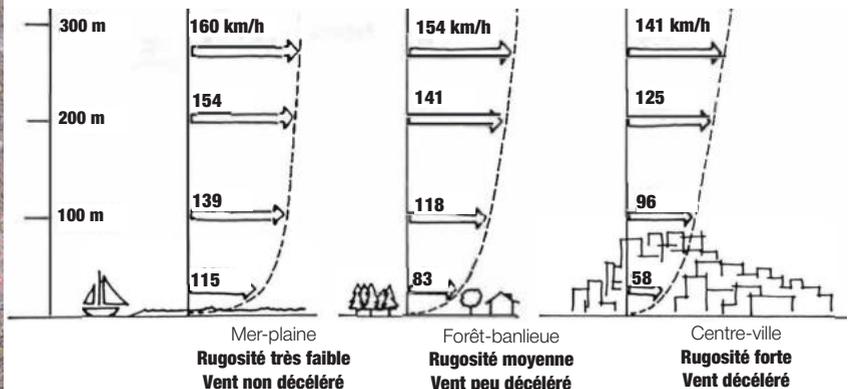
Les vents en altitude étant plus forts que ceux proches du sol, ils sollicitent considérablement les façades et les structures des grandes tours.



Dans le cas d'Euroméditerranée, au vu de la proximité de la mer, le vent d'ouest (notamment le Mistral) sera très peu décéléré par le tissu urbain. Il est donc préférable de minimiser les bâtiments de grande hauteur, et les émergences au-dessus du velum urbain*.



Profil de vitesse au-dessus de trois terrains de rugosité différente (adapté de Gandemer & Guyot, 1976)



Ancrer l'îlot dans la trame viaire

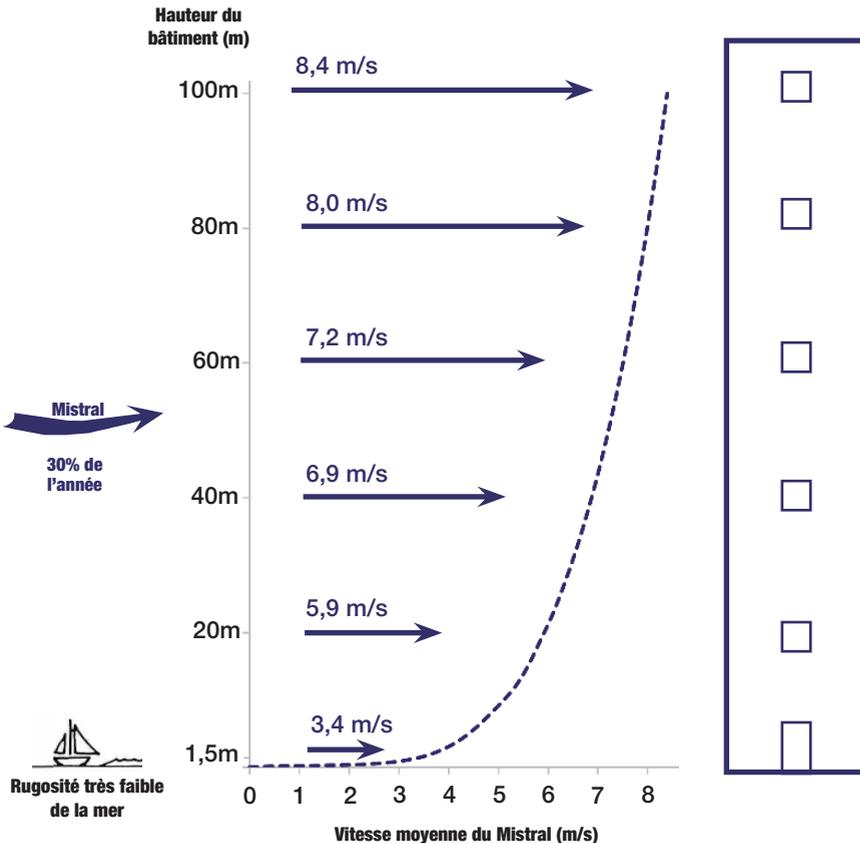
Connaître les vents dominants à Marseille permet de mieux comprendre l'exposition au vent de l'îlot et d'adapter ainsi sa forme afin de tirer parti des effets rafraîchissants des vents en été et de se protéger des vents forts et froids en hiver.

L'îlot est à analyser au regard de son implantation dans la trame viaire, pour déterminer les vents canalisés par les rues, auxquels il sera exposé, et ceux bloqués par les bâtiments avoisinants.

 Fiche 1

 Recalibrer les données vent en prenant compte les caractéristiques du terrain environnant

Sur le périmètre d'Euroméditerranée, l'objectif est d'éviter la canalisation du Mistral, qui génère beaucoup d'inconfort en toute saison, et de favoriser l'écoulement du vent du Sud-Est et de la Brise thermique. Pour atteindre cet objectif, les concepteurs doivent jouer sur l'orientation de l'îlot et sa porosité*.



Exemple de l'effet de la rugosité* de terrain sur le Mistral sur le périmètre d'Euroméditerranée.

Ce graphique présente la vitesse moyenne du Mistral à Euroméditerranée, recalibrée selon la hauteur et la rugosité du terrain environnant.

Les bâtiments inférieurs à 25m de haut et situés à plus de 1km de la mer seront soumis à des vitesses plus faibles que celles de ce graphique, en raison de leur éloignement de la mer et à la rugosité des espaces urbains environnants

© TRIBU

5# ÉVALUER LES EFFETS DE VENT GÉNÉRÉS PAR LA FORME URBAINE

Un tournant avec le modernisme

L'industrialisation du monde du bâtiment et les nouvelles techniques constructives qui en découlent (dont l'usage massif du béton), ainsi qu'une planification des villes basée sur le développement automobile engendrent de nouvelles formes urbaines dans les tissus anciens: immeubles de grande hauteur, grands ensembles bâtis sur des parcelles de grande dimension, etc. Ceci amène une réflexion spécifique sur le vent, ses effets, et ses impacts en termes de confort, notamment pour les espaces au sol.

Jacques Gandemer et Alain Guyot ont travaillé à partir du milieu des années 1970 sur les effets de vent liés à la forme urbaine. Avant même que les outils puissent porter des simulations numériques, ces deux ingénieurs et architectes ont œuvré pour proposer des solutions concrètes et pratiques pour l'intégration du vent dans la conception de la ville.



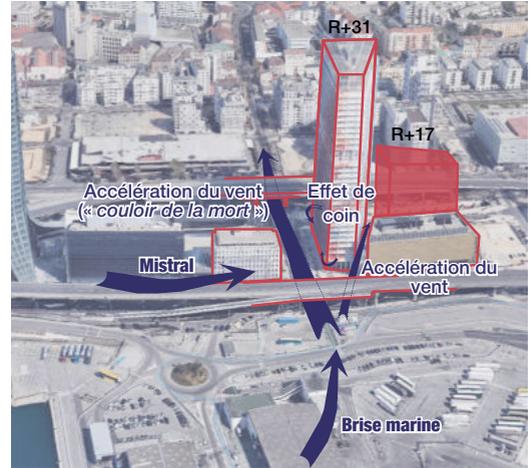
Les principaux effets de vent susceptibles d'être rencontrés dans le cadre d'Euroméditerranée sont :

- l'effet Venturi
- l'effet de canalisation
- l'effet de coin

Leur définition et les moyens de s'en prémunir sont présentés page 62.

D'autres effets de vent ont été identifiés dans la littérature scientifique : l'effet Wise, l'effet de barre, l'effet de double coin, l'effet de bâtiments en quinconce (dû à un effet de liaison de zones de pression différente), l'effet de maille, l'effet d'écran linéaire, l'effet pyramide.

Des formes urbaines créent des effets de vent indésirables

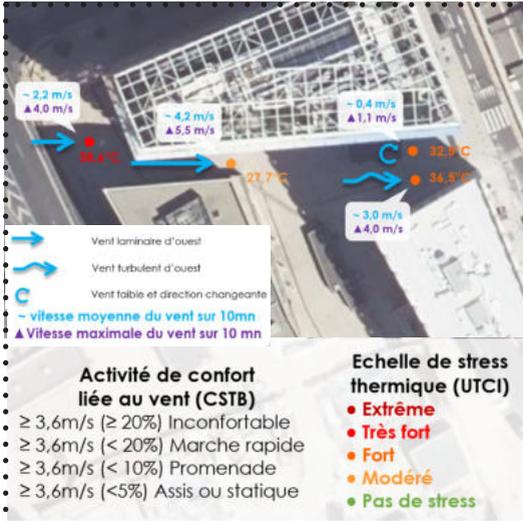


Forme urbaine type «tour» sur le Quai d'Arenc. © TRIBU

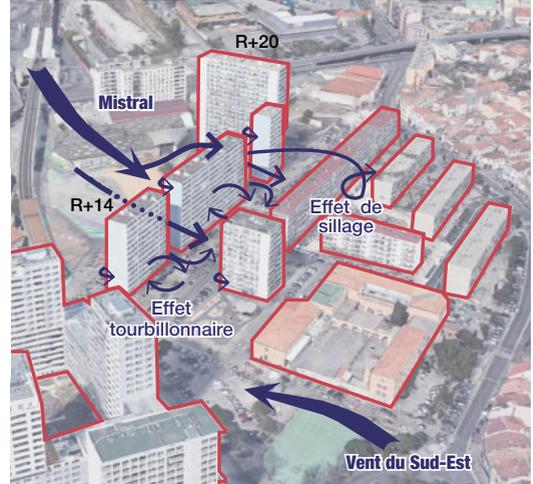
Le quai d'Arenc : un espace très inconfortable

La présence de tours et d'autoponts rend complexe l'identification précise des effets de vent sur le quai d'Arenc. Il est probable qu'il y ait **plusieurs effets combinés**. Dans ce type de situation, une modélisation aéroulque est nécessaire pour permettre une analyse fine des effets en jeu (📄 Fiche 2) et proposer des mesures correctives. Les récits et observations empiriques sur place donnent un premier aperçu des **turbulences* générées par les formes urbaines du quai d'Arenc et les nuisances associées** : difficulté à marcher en cas de vent fort, tourbillons en pied de tour, etc.

Lors d'une campagne de mesures réalisée à l'été 2024 par TRIBU (voir encadré ci-contre), la vitesse d'air relevée ponctuellement entre la tour la Marseillaise et le bâtiment donnant sur le Quai d'Arenc (4,2 m/s) suggère que cet espace est la plupart du temps **inconfortable au moins pour une activité assise ou statique prolongée**.



La résidence Bellevue : des effets de vent caractéristiques des grands ensembles



Forme urbaine type tours et barres à proximité du Parc Bellevue. © TRIBU

Extrait des mesures de vent et de température réalisées par TRIBU les 16 et 17 juillet 2024 sur le Quai d'Arenc. La vitesse de vent moyenne (sur la période des mesures mobiles) pour les deux journées de mesure était de 6 à 6,5 m/s à la station Infoclimat Marseille-Corniche (soit à 10m du sol).

Le principe de lecture de l'échelle de confort du CSTB est le suivant : dans une zone, si le seuil de 3,6m/s est dépassé moins de 5% du temps, l'espace est considéré confortable pour une situation assise ou debout statique.

L'UTCI (Universal Thermal Climate Index) est l'indicateur de confort qui croise le plus de variables. Il s'appuie sur plusieurs hypothèses :

- L'activité de référence est la marche avec une vitesse de 4km/h pour un niveau métabolique de 135W/m² ;
- L'isolation des vêtements se situe entre 0,4 et 2,6 CLO.

Il dépend de : la température d'air, la vitesse de vent, l'humidité relative, le rayonnement global et la pression atmosphérique. Le milieu est considéré confortable, c'est-à-dire qu'il ne provoque aucun stress thermique, lorsque l'indice UTCI est compris entre 12 et 26 °UTCI.



Les quartiers de grands ensembles sont particulièrement vulnérables aux effets de vents (effet Wise, effet de sillage, effet tourbillonnaire). Ils accueillent des bâtiments de grandes dimensions (hauteurs, longueurs) et de grands espaces libres avec peu de végétation, limitant la capacité de décélération du vent.

En savoir plus : Gandemer et Guyot, 1976, Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu urbain.

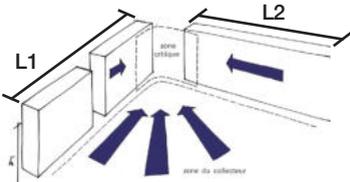
Les mesures correctives pour quelques effets de vent

Quelques familles d'effets de vent typiques et les mesures correctives associées sont présentées par la suite afin de donner au lecteur les moyens de les identifier rapidement dans les projets. Cette approche ne peut se substituer à une simulation aéralique qui sera la seule méthode à pouvoir rendre compte de la complexité des effets combinés. Les éléments présentés par la suite sont extraits de : Gandemer et Guyot, 1976, Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu urbain.



Les effets de vent sont dépendants des dimensions des bâtiments. De manière générale, plus les bâtiments sont hauts plus les effets de vents associés sont intenses, générant des nuisances importantes sur l'espace public et les piétons.

Effet Venturi

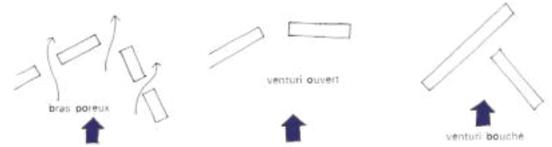


Phénomène de collecteur formé par des constructions faisant un **angle ouvert** au vent et créant une **zone critique de confort au niveau du rétrécissement**. Ce phénomène apparaît lorsque les longueurs des bâtiments en angle sont suffisamment grandes : $L1 + L2 > 100\text{ m}$.

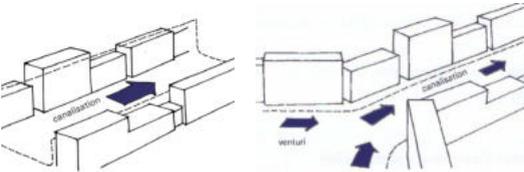


Mesures correctives de l'effet Venturi :

- Limiter la longueur $L1+L2$ sous les 100m
- Créer des césures sur les deux linéaires de bâtiment
- Construire moins haut (< 15m)
- Ouvrir ou fermer l'angle



Effet de canalisation



Ensemble construit formant un **couloir à ciel ouvert**. Cet effet n'est pas nécessairement gênant sauf s'il est combiné à un effet Venturi en amont qui va se propager. **La canalisation de vents dominants peut être recherchée pour rafraîchir les tissus urbains, ou au contraire évitée comme dans le cas du Mistral.**

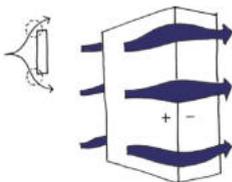
Pour exister, le «couloir» doit être peu poreux, la hauteur est au minimum de 6m et sa largeur est inférieure à 2 fois la hauteur moyenne des bâtiments.



Mesures correctives de l'effet de canalisation :

- Orienter la rue entre 45° et 90° par rapport à l'angle d'incidence du vent
- Créer de la porosité* entre les bâtiments
- Introduire des décrochés sur le linéaire de la rue pour créer de la perte de charge

Effet de coin



Phénomène d'**écoulement aux angles des constructions** (bâtiment isolé ou ensemble compact de bâtiments) qui crée une **accélération locale**. Cela peut être très inconfortable pour le piéton.



Mesures correctives de l'effet de coin :

- Planter au voisinage des coins
- Diminuer progressivement les hauteurs du bâtiment (effet «escalier»)
- Créer des angles arrondis
- Créer un socle bâti en rez-de-chaussée qui ceinture le volume

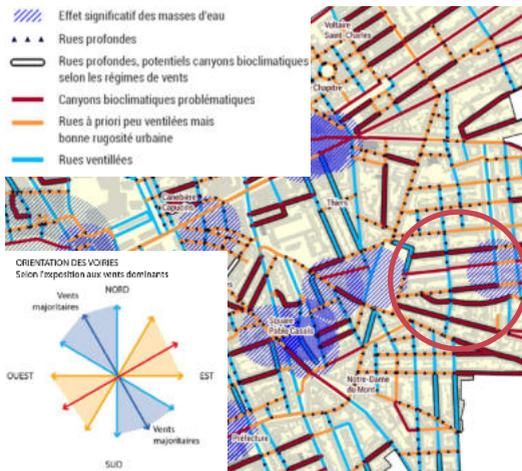


Des exemples de formes urbaines limitant les effets de vents

L'îlot Trois Fenêtres marseillais



Grâce à leur localisation en centre-ville et des hauteurs de bâtiments similaires à celles du velum urbain environnant, les îlots de type «Trois Fenêtres» (XIXème siècle) sont protégés des vents forts et de la plupart des effets de vents indésirables. Néanmoins, l'étude «Coeur historique en transition» menée par le groupement d'INDDIGO souligne que certains îlots du centre ancien ont été identifiés comme problématiques du point de vue du confort bioclimatique d'été car peu poreux et bordés de rues peu ventilées. Ces îlots peuvent être considérés comme confortables à condition de posséder un épannelage varié permettant une meilleure porosité* au vent et de disposer de coeurs d'îlot végétalisés.



Extrait AVAP Livre 1. Réalisation : © Inddigo, 2020, Le cercle rouge désigne une zone composée d'îlots «Trois Fenêtres»

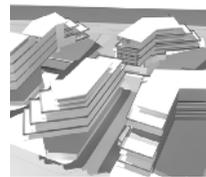
ZAC Port Marianne - Rive Gauche à Montpellier

Le quartier ZAC Rive Gauche se situe en limite Sud du quartier Port Marianne le long du Lez et s'étend sur 10 ha. L'équipe de maîtrise d'oeuvre urbaine, composée de l'architecte urbaniste Pierre TOURRE associé à TRIBU (bureau d'études environnement) et au paysagiste Marc Richier, a dès la phase concours en 2007 poussé une réflexion bioclimatique complète.

Le quartier est conçu dans un esprit d'îlot très ouvert aux vents d'été (Marin et Tramontane) et protégé des vents d'hiver (Mistral). Le bâti et la trame végétale sont optimisés pour limiter les effets de vents et turbulences*. Les bâtiments sont caractérisés par un jeu d'épannelage et «d'escaliers». Les plantations sont pensées pour avoir un rôle coupe-vent vis à vis du Mistral.



Vue 3D du plan guide de la ZAC Rive Gauche à Montpellier © TOURRE SANCHIS ARCHITECTES



Vue de la morphologie des bâtiments. (Extrait CPAUE) © TOURRE SANCHIS ARCHITECTES



© TRIBU

ILS L'ONT FAIT : L'OPTIMISATION DU CONFORT DE L'ÎLOT SMARTSEILLE FACE AU VENT



© Thierry Lavernos

© DR EPAEM

FICHE D'IDENTITÉ DE L'OPÉRATION

Localisation : Périmètre Euroméditerranée II - ZAC Littorale Nord - îlot Allar

Maîtrise d'ouvrage : Eiffage Immobilier Sud Est

Maîtrise d'œuvre :

à l'échelle du macro-lot : Agence Babylone Avenue (architecte coordonnateur), Atelier Jean Mus (paysagiste), Ingerop (bureau d'étude technique), OptiFlow (bureau d'étude spécialisé en modélisation aérodynamique)

à l'échelle des bâtiments (architectes) : Corinne Vezzoni, Carta-Reichen et Robert Associés + EGR
Atelier d'architecture, Edouardo Souto de Moura + Jacques Sbriglio, Jean Michel Battesti, Atelier 82
Laurent Mathoulin, Sophie Jardin

Programme : Mixte - bureaux, commerces, équipements et logements

Superficie : 2,7 ha / 58 000 m² SDP

Niveau d'avancement : livrés entre 2016 et 2022

Le contexte de l'opération

Le projet propose un plan d'ensemble d'un vaste îlot au sein du périmètre Euroméditerranée 2, avant la création de la ZAC Littorale. L'îlot Allar est l'une des premières opérations en France à avoir obtenu le LABEL Biodiversity.

Le site est fortement exposé aux vents du Nord, avec très peu de masques liés aux bâtiments. **Les contraintes liées au vent ont pesé sur la conception notamment dans les derniers étages des tours en R+17 et dans le coeur d'îlot pour les plantations.**

La méthodologie et les outils mis en place pour concevoir un espace extérieur bioclimatique

La société OPTIFLOW a réalisé des études d'optimisation du confort au vent des espaces extérieurs, en étroite collaboration avec l'agence BABYLONE AVENUE. Le processus s'est voulu itératif.

Une première étude aérodynamique, réalisée en 2013, a permis de mettre en évidence d'importants problèmes de confort au vent sur le projet. Plusieurs itérations ont ensuite permis de proposer des aménagements permettant de résoudre les problèmes soulevés. Ces études analysaient le confort en coeur d'îlot, ainsi que sur les toitures terrasses et les loggias. Des études d'ensoleillement ont également été réalisées dès l'esquisse.



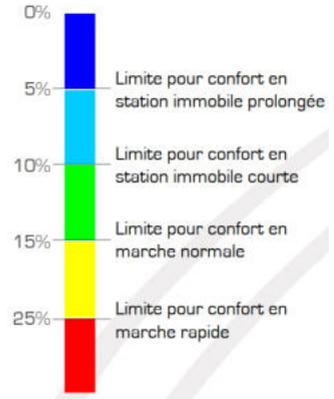
Le projet comporte 2 venelles Nord/Sud et une Est/Ouest. Les portails coulissants automatiques au Nord déraillent en cas de vents très violents, ce qui conduit à les laisser fermés si nécessaire. **Les portes de parkings en sous-sol sont, quant à elles, toutes ajourées pour éviter la prise au vent.** Un deuxième bras motorisé a également été ajouté. © BAM

Un processus itératif d'optimisation du confort

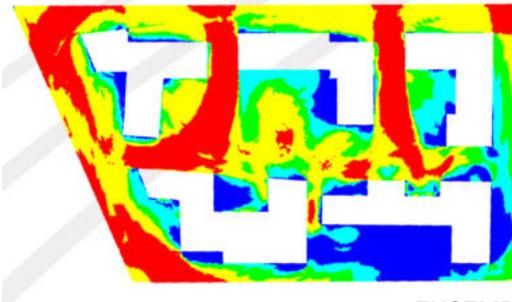
Etude du coeur d'îlot et des venelles

L'impact de divers dispositifs de protection au vent a été évalué au moyen de simulations aérauliques : clôtures extérieures poreuses dans toutes les rues, pare-vent poreux pour créer une chicane dans les venelles Nord, écran acoustique dans la venelle Est-Ouest à l'Ouest de l'îlot, garages à vélo avec toit plein et parois verticales poreuses.

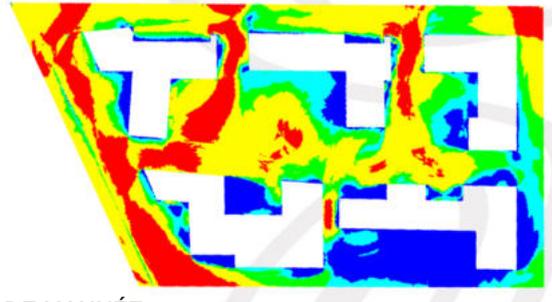
Malgré ces optimisations, les venelles à l'Ouest et au Nord-Ouest du projet demeurent inconfortables selon les résultats des simulations, en particulier à la mi-saison.



Avant optimisation



Après optimisation



ENSEMBLE DE L'ANNÉE

Cartes de confort au vent de la dalle du projet

Etude du confort au vent des espaces extérieurs de l'îlot Allar, première phase d'optimisation, 2014 © OPTIFLOW

Etude des toitures terrasses et loggias

Deux dispositifs de protection des toitures terrasses ont été étudiés : garde-corps pleins de 1m, plus protections supplémentaires poreuses de 0,5m ou 1,5m pour protéger les toitures terrasses. Seul le scénario avec une protection totale de 2,5m permet d'atteindre des niveaux de confort satisfaisants, au détriment de la vue.

Pour les loggias, un système de parois latérales pleines et de garde-corps frontaux permet d'obtenir des niveaux de confort satisfaisants (étages R+13 et R+15 ci-contre).

Confort très satisfaisant

Confort insuffisant

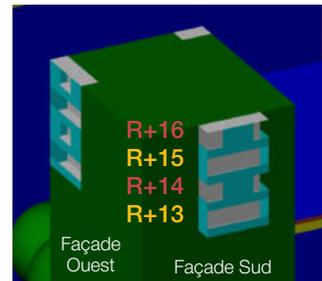
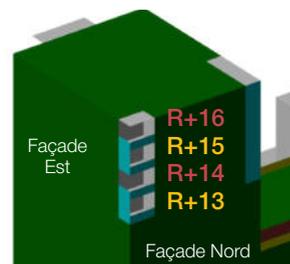


Schéma de deux types de loggias analysées
Adapté de l'étude du confort au vent des espaces extérieurs de l'îlot Allar, première phase d'optimisation, 2014 © OPTIFLOW



Le projet prévoyait 8 arbres de hautes tiges avec une taille conséquente de 10 à 15m de haut dès la plantation. 7 sur 8 pins parasols ont été remplacés. **Les radicelles n'ont pas pu repousser sans se briser à cause du mouvement provoqué par le vent du nord** s'engouffrant dans les venelles Nord/Sud. © BAM



Ces images perspectives produites en phase de permis de construire montrent que le projet prévoyait de grandes terrasses partagées avec des toitures partiellement végétalisées. Or, les essences ont toutes été remplacées en phase de parfait achèvement. Les entreprises Urbasense¹ et ID verte² ont **préconisé de créer un stress hydrique pour améliorer les conditions d'adaptation des plantes** et garantir une plus forte résilience vis-à-vis des contraintes climatiques. © BAM / Carta-Reichen et Robert Associés / EGR Atelier d'architecture



Les béquets verticaux mis en place suite au conseil du BE Optiflow afin de détourner le vent

•• **HERVÉ GATINEAU** •••••
 •• **Directeur des grands projets, Eiffage**
 •• **Immobilier Méditerranée**

« Dès le début de l'opération, en 2008, nous savions que le vent serait une donnée à prendre en compte dans la conception.

Notre bureau d'études Optiflow (spécialisé dans les modélisations aérauliques) a accompagné les architectes, en leur conseillant d'installer des becquets verticaux en façade pour détourner le vent. Malgré la prise en compte de toutes les préconisations, nous n'avons pas réussi à éviter un certain inconfort, en rez-de-chaussée, les jours de fort Mistral dans les venelles orientées Nord/Sud.

Concernant les plantations, nous avons rencontré aussi des difficultés du fait des effets de vent : les racines des arbres de hautes tiges n'ont pas pris, nous avons dû les remplacer par des sujets de moindre hauteur offrant moins de prise au vent.

En revanche, il est important de savoir construire en hauteur malgré les contraintes aérauliques pour ne pas gaspiller le foncier.

Dans les édifices, au niveau des derniers étages, les conseils du bureau d'étude ont servi pour garantir de bonnes conditions d'habitabilité. Concernant les espaces extérieurs privés, nous avons eu recours à divers dispositifs techniques : les volets roulants ont été équipés de galets presseurs, les loggias ont été étudiées pour leur robustesse. Aucune sortie VMC n'a été installée au Nord.

Dans les logements, nous n'avons pas eu de mauvais retours d'expériences. »

¹ Urbasense : entreprise spécialisée dans le monitoring de la situation hydrique des végétaux (notamment pour vérifier la reprise après plantation)

² ID Verte : entreprise d'espaces verts qui a réalisé les lots VRD/Espaces Verts



ÉCHELLE BÂTIMENT : CONCEVOIR ET CONSTRUIRE LES BÂTIMENTS AVEC L'AIR

Dans un contexte de changement climatique, l'adaptation du bâtiment aux vagues de chaleur* devient un enjeu de plus en plus pressant. Comme vu précédemment, la réponse à cet enjeu passe en premier lieu par une réflexion amont et à plus grande échelle : quartier et îlot.

Pour répondre aux enjeux de confort et d'adaptation au changement climatique à l'échelle du bâtiment, un travail doit être mené sur la conception de l'enveloppe, élément faisant office d'interface intérieur/extérieur. L'enveloppe filtre les différents flux extérieurs (soleil, lumière, air) en jouant sur différents paramètres : isolation, solarisation, transparence, porosité*. Pour le concepteur, il s'agit de maîtriser ces paramètres afin de garantir le confort des usagers en toute saison à la fois à l'intérieur mais également sur les prolongements extérieurs (balcons, loggias, terrasses).

La ventilation naturelle de confort est un levier intéressant à mobiliser pour répondre de manière passive au besoin de rafraîchissement en période estivale.

Par ailleurs, l'optimisation de la circulation de l'air dans les bâtiments est également essentielle pour répondre aux enjeux de qualité d'air.

Cette réflexion autour du flux d'air s'intègre bien entendu plus globalement dans une approche bioclimatique multicritère. Pour aider à la conception et évaluer les solutions, il convient de s'appuyer sur des indicateurs de confort en croisant à minima les paramètres de vitesse d'air et de température d'air. La question du choix des critères et de la donnée météorologique reste aujourd'hui encore un champ à explorer.

Le bâtiment peut aussi devenir un support d'implantation pour le micro-éolien urbain afin de répondre aux besoins de production d'énergies renouvelables. Le périmètre d'Euroméditerranée présente un potentiel intéressant pour installer ce type de dispositif, encore expérimental aujourd'hui.

Échelle bâtiment : concevoir et construire les bâtiments avec l'air

- ⑥ Concevoir des prolongements extérieurs adaptés au climat actuel et futur
- ⑦ Croiser les contraintes liées au vent, à la pollution de l'air et au bruit
- ⑧ Permettre la ventilation naturelle de confort de jour comme de nuit en été
- ⑨ Modéliser l'air et analyser le confort intérieur
- ⑩ Produire de l'énergie avec le vent : le micro-éolien urbain

Ils l'ont fait : La façade filtre du Groupe scolaire Antoine de Ruffi

Ils l'ont fait : Les studios traversants de la Résidence étudiante CAZ08

6# CONCEVOIR DES PROLONGEMENTS EXTÉRIEURS ADAPTÉS AU CLIMAT ACTUEL ET FUTUR

Soigner le confort des prolongements extérieurs

À l'instar des pièces de vie intérieures, la conception des prolongements extérieurs (balcons, terrasses, loggias,...) doit se faire au regard de critères bioclimatiques et environnementaux. Espaces de vie à part entière, ils doivent être confortables et supports d'usages en toute saison : séchage du linge, jardins suspendus, jardin d'hiver, espace de rencontre, etc.

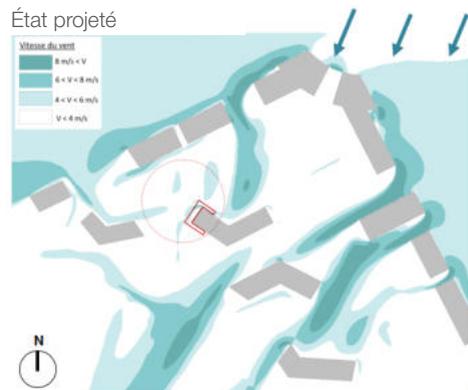
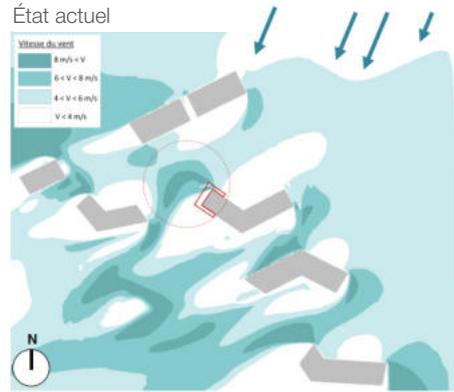
Par ailleurs, l'adaptation au changement climatique invite à se saisir davantage de ces espaces pour renforcer leur rôle de tampon thermique* et d'espaces d'usage sur les périodes estivales.

Une conception qui se joue d'abord à l'échelle de l'îlot

Le contexte venté de Marseille présente un double enjeu pour la conception des prolongements extérieurs :

- protection au Mistral
- accueil de la brise thermique pour assurer la ventilation des logements et profiter des effets rafraîchissants.

Le premier levier d'action se situe avant tout au niveau de la forme urbaine. Le choix de l'orientation, de l'épannelage et la position des bâtiments les uns par rapport aux autres sont des éléments déterminants en terme de protection aux vents  *Fiche 3.*



Extrait d'une étude aéraluque sur l'exposition au Mistral d'une terrasse en R+7 dans la ZAC Port Marianne à Montpellier © TRIBU.

Les bâtiments alentours permettent de limiter fortement l'exposition de cette terrasse au vent. Une fois l'ensemble des bâtiments du projet construits, la terrasse sera protégée.

Penser des prolongements extérieurs bioclimatiques

Le soleil et le vent sont les deux principaux «flux» dimensionnants pour assurer le confort thermique des prolongements extérieurs. Le concepteur doit filtrer ces flux en fonction des saisons. En été, on recherche une terrasse / balcon / loggia ombragée et ventilée tandis qu'en hiver et à la mi-saison l'espace doit être ensoleillé et protégé des vents forts et froids comme le Mistral.



Éviter les formes pouvant générer des effets de vent délétères.

Minimiser les émergences au-dessus du velum urbain* et éviter d'y positionner des terrasses à usage collectif non protégées.

Pour répondre à la saisonnalité ainsi qu'à la variabilité du vent et du soleil



Privilégier des protections au vent et au soleil mobiles. Il est cependant nécessaire de porter une attention particulière à la résistance et à la stabilité de ces protections mobiles face aux vents forts et fréquents (Mistral).

La mise en place de protections sur les prolongements extérieurs permet également de protéger la façade. Cela limite la surchauffe des parois en été et participe ainsi à l'amélioration du confort intérieur du bâtiment.



Brise-soleil type nacos sur un bâtiment des quartiers Pissevin à Nîmes, permettant de répondre à la saisonnalité et variabilité du vent et du soleil. © TRIBU



Îlot 2B Sud ZAC CIMED © TRIBU.

Des panneaux coulissants sont mis en œuvre sur les loggias orientées Nord-Ouest et permettent une fermeture sur tout le linéaire de l'espace. Au-dessus du R+9, c'est-à-dire au niveau de l'émergence, on note qu'il n'y a plus de loggia orientée face au Mistral.

Renforcer la protection au vent et au soleil des espaces extérieurs les plus exposés : face au Mistral et/ou au-dessus du velum urbain



Pour les espaces exposés, privilégier des dispositifs permettant de protéger l'ensemble du linéaire du balcon ou de la loggia.

Eviter les balcons d'angle ouverts sur les émergences au dessus du velum urbain.

Minimiser les balcons et loggias dont l'orientation principale est face au Mistral et/ou prévoir un dispositif de protection suffisant lorsque les vents sont très forts.

Pour les espaces extérieurs multi-orientés (terrasse notamment), prévoir systématiquement un dispositif brise-vent côté Mistral.

Pour les terrasses à usage collectif en toiture, prévoir :

- des espaces protégés du vent grâce à des parois brise-vent fixes et/ou de la végétation buissonnante persistante.
- un espace protégé par des brise-soleil horizontaux ou des fixations permettant aux futurs usagers d'accrocher leur propre protection au soleil.

Permettre l'accès à la lumière naturelle dans le logement

Les parois fixes sur un balcon ou une loggia peuvent être intéressantes pour un usage particulier (séchage du linge par exemple) et dans les cas où les sollicitations aux vents sont trop importantes pour envisager un dispositif mobile.



Dans le cas de dispositifs fixes, veiller à les positionner en dehors de l'emprise des baies donnant sur la loggia ou le balcon.

Quelles caractéristiques pour ces filtres bioclimatiques ?

Les différents types de protections extérieures peuvent être catégorisés comme suit :

- dispositifs rigides ajourés fixes (ex : panneaux ou parois en bois, en métal, en béton)
- dispositifs rigides ajourés mobiles (ex : panneaux coulissants pliants, volets, brise-soleil orientables)
- dispositifs souples mobiles (ex : rideaux, stores toile, stores enrouleurs)

Ils peuvent tous présenter un intérêt en fonction des situations mais le choix et la mise en oeuvre de ceux-ci doit s'appuyer sur certaines exigences du point de vue de la résistance au vent, de la porosité à l'air, et de la réduction des nuisances acoustiques.

Résistance au vent

Qu'ils soient fixes ou mobiles, les dispositifs de protection des prolongements extérieurs doivent être robustes face aux vents forts. Il est nécessaire de porter attention à la fois à la résistance des fixations mais aussi au support et au «remplissage» (panneaux, toiles, lames, etc.)



Sélectionner des protections dont la classe de résistance au vent est adaptée, notamment si elles sont soumises au Mistral (cette information est donnée dans les fiches techniques).

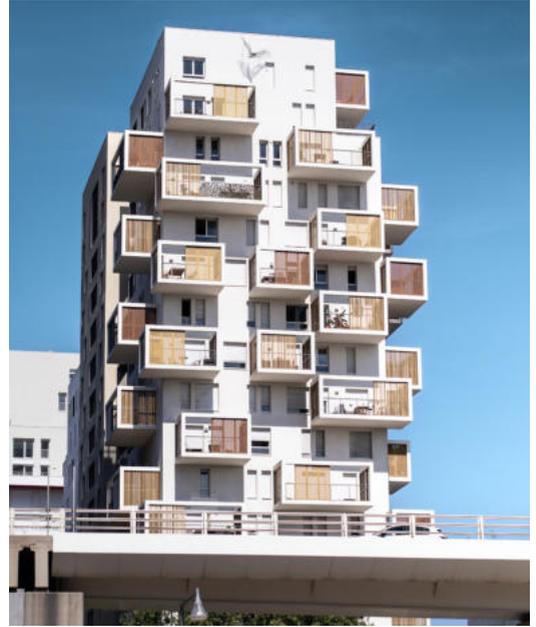
En chantier, contrôler la bonne mise en oeuvre des fixations et supports des dispositifs.

Les brise-soleil orientables (BSO) sont des dispositifs très pertinents d'un point de vue bioclimatique : ils permettent de se protéger du soleil tout en laissant la vue et la possibilité de ventiler et d'avoir de l'intimité (la nuit).

Cependant, il est recommandé d'installer un anémomètre* pour la mise en sécurité du dispositif lors de vents forts (faisant remonter automatiquement le BSO). Ainsi, si l'usager souhaite se protéger du soleil lorsque le vent souffle fort, le BSO pourra constituer une limite.



Pour les espaces plus exposés (face au Mistral ou au-dessus du velum urbain), privilégier des dispositifs rigides ajourés (coulissants ou fixes).



Dispositifs à claire-voie fixes ou mobiles sur un bâtiment en R+17, Rue de Chanterac/Boulevard de Paris. Les Balcons orientés Nord-Ouest risquent d'être plus inconfortables d'autant que le bâtiment est assez haut.
© Alexandre Caors.

Pour les loggias moins exposées aux vents forts, plutôt dans les étages inférieurs et protégées par la forme urbaine, **les dispositifs souples** comme les rideaux ou stores enrouleurs sont intéressants.

Comme l'image de l'arbre et du roseau, leur intérêt réside dans la capacité à ployer plutôt qu'à résister au vent. Ces systèmes sont moins coûteux et facilement remplaçables. Néanmoins, ils seront probablement moins pérennes car les toiles seront plus sensibles au vent et à la pluie (déchirement).



Prévoir à minima la tringle pour que les habitants puissent accrocher leurs propres rideaux ou autre dispositifs souples.

Porosité à l'air

Les filtres doivent assurer une porosité minimum car il s'agit de briser le vent et le soleil tout en maintenant la ventilation des loggias et balcons.



Les dispositifs type panneaux ajourés coulissants ou volets devront assurer une porosité minimale de 30 % et/ou permettre un débattement pour laisser passer l'air (store à projection par exemple).

Les panneaux persiennés peuvent répondre à ces caractéristiques ou les châssis type «hacos» qui présentent l'intérêt d'avoir des lames mobiles.



Des panneaux coulissants en bois persiennés permettant une protection de tout le linéaire de la loggia tout en assurant une porosité © Alexandre Caors.



Dispositif mixte : store à projection + claire-voie en bois fixe sur une partie importante du balcon (Rue Peyssonnel/ Rue Melchior Guinot) © Alexandre Caors.

Acoustique

Le passage de l'air à travers les protections solaires et brise-vent peut générer des sifflements et claquements.



Penser le système de fixation des volets ou panneaux coulissants de manière à réduire les bruits de claquement lorsque le vent souffle.

Optimiser la taille, l'espacement et la géométrie des ouvertures dans les panneaux ou claire-voie pour limiter les sifflements lors de vents forts.



Rideaux installés par les habitants sur leur loggia © Alexandre Caors.



Rideaux prévus sur les loggias © Alexandre Caors.

7# CROISER LES CONTRAINTES LIÉES AU VENT, À LA POLLUTION DE L'AIR ET AU BRUIT

Connaître et identifier les enjeux

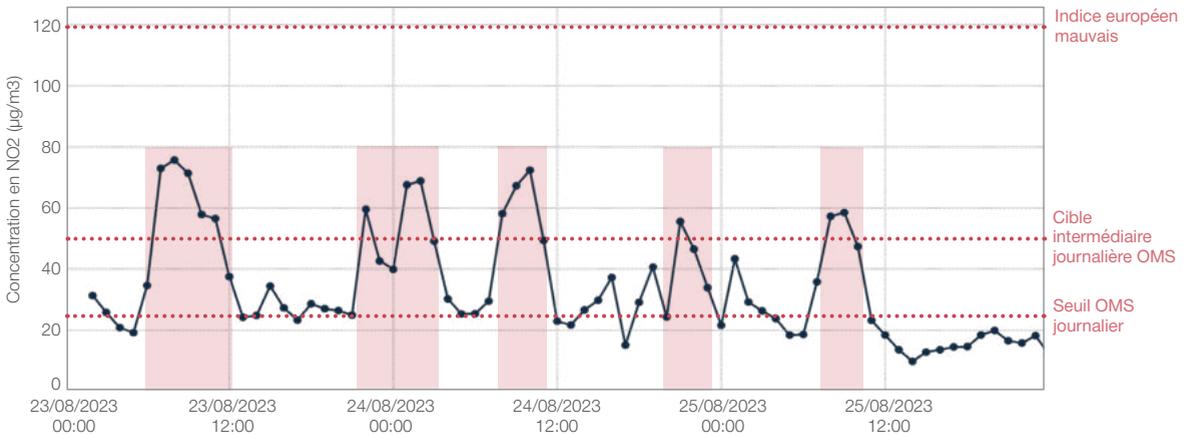
La connaissance des enjeux croisés de qualité d'air et de niveaux sonores est un préalable à chaque projet. Ces enjeux doivent être analysés au regard des vents dominants, qui influencent l'intensité et l'étendue des pollutions et peuvent dégrader la qualité atmosphérique et acoustique d'un milieu. **Ainsi, la brise de mer va favoriser le déplacement des polluants provenant de l'autoroute A55 et le Mistral, ceux de l'A557.**

Il ne suffit pas seulement de connaître les sources de pollution, **il s'agit également d'identifier les nuisances potentielles en fonction de l'usage des bâtiments**, et notamment en lien avec la ventilation hygiénique ou naturelle mise en œuvre.

Les données horaires de qualité d'air fournies par AtmoSud, l'observatoire de la qualité de l'air de la région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur, peuvent être analysées via le graphique ci-dessous pour identifier les enjeux spécifiques liés à l'ouverture des fenêtres par exemple.

Si les données horaires fournies par AtmoSud semblent décorrélées de la réalité du site, il convient d'encourager des campagnes de mesure sur site qui pourront confirmer ou infirmer les conclusions. **Les modélisations aérauliques et acoustiques peuvent également être des supports complémentaires d'aide à la décision.**

Exemple de l'impact des émissions de dioxyde d'azote (NO2) sur les risques sanitaires liés à l'ouverture des fenêtres lors de la vague de chaleur* d'août 2023 à Marseille



Risque sanitaire en cas d'ouverture de fenêtre

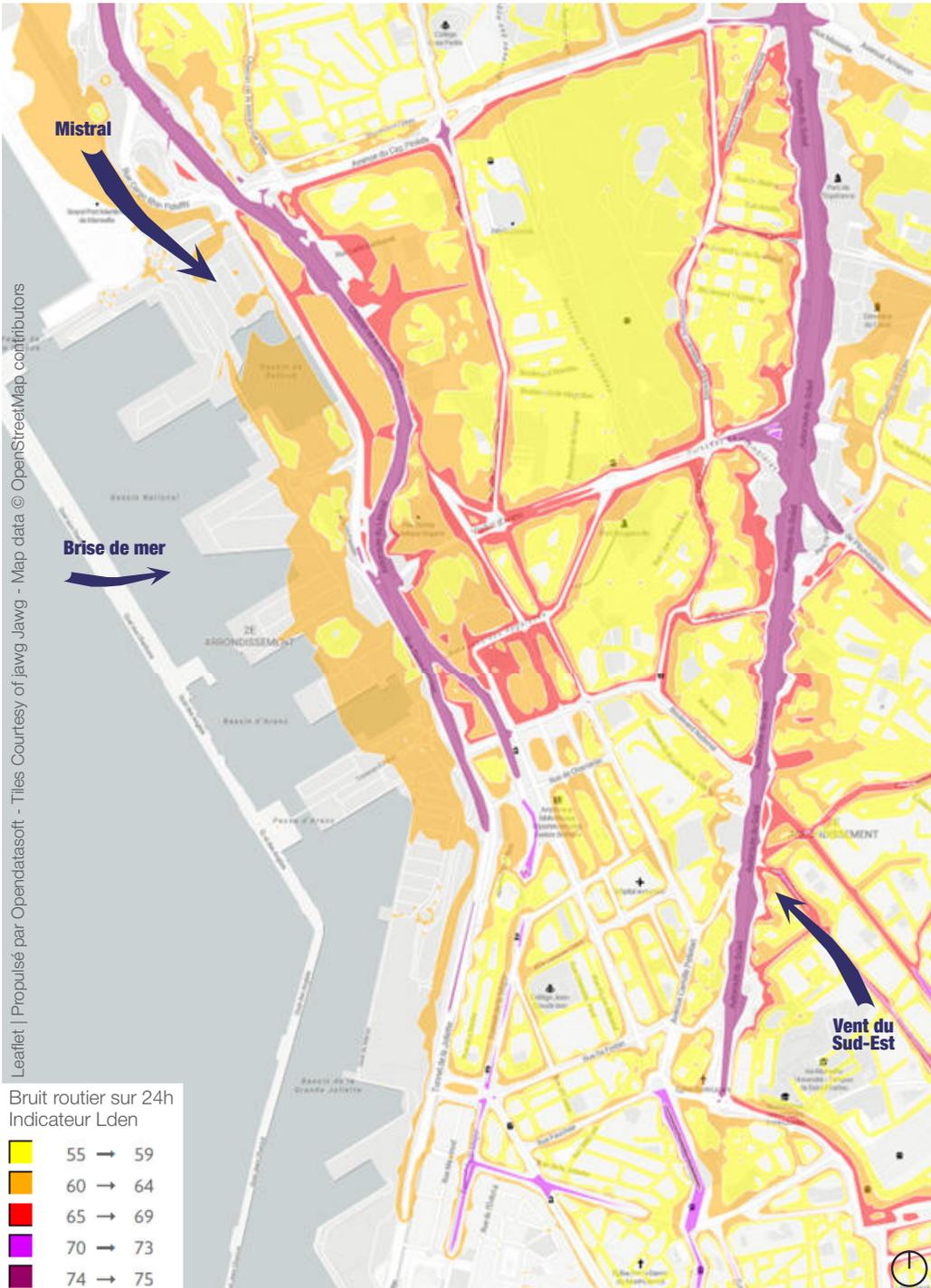
Données analysées : mesures horaires des concentrations atmosphériques en dioxyde d'azote (NO2) à la station Place Verneuil à Marseille, du 23 août au 25 août 2023. © TRIBU/AtmoSud
OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

La concentration moyenne journalière en NO2 était d'environ 40 µg/m3 les 23 et 24 août 2023, dépassant ainsi les seuils recommandés par l'OMS.

Les seuils de pollution de l'OMS

- L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a défini
- en 2021 de nouveaux seuils de concentration en
- NO2 à ne pas dépasser pour assurer la santé des
- habitants, ainsi que des cibles intermédiaires pour
- faciliter l'atteinte de ces objectifs :
- - Seuil annuel : 10 µg/m3
- - Seuil journalier : 25 µg/m3
- - Seuil journalier intermédiaire 1 : 50 µg/m3
- - Seuil journalier intermédiaire 2 : 120 µg/m3

7# CROISER LES CONTRAINTES LIÉES AU VENT, À LA POLLUTION DE L'AIR ET AU BRUIT



Cartographie du bruit routier selon l'indicateur Lden.

L'indicateur Lden (Level day-evening-night) représente le niveau de bruit moyen pondéré au cours de la journée en donnant un poids plus fort au bruit produit en soirée (18-22h) (+ 5 dB(A)) et durant la nuit (22h-6h) (+10 dB(A)) pour tenir compte de la sensibilité accrue des individus aux nuisances sonores durant ces deux périodes.

La Métropole Aix-Marseille-Provence - Données originales téléchargées sur <https://ampmetropole.fr/missions/strategie-environnementale/environnement-sonore-et-lutte-contre-le-bruit/carte-bruit-routier-sur-24h-indice-lden/>, mise à jour du 10 mai 2023

De quels polluants parlons-nous ?

- Le dioxyde d'azote (NO2) est un polluant gazeux émis principalement par le trafic routier. Il est nocif pour la santé respiratoire à court et long terme.
- Les PM2.5 et PM10 sont des particules en suspension d'un diamètre respectivement inférieur à 2,5 µm et 10 µm. Les premières sont appelées « particules fines ». Les PM2.5 et PM10 peuvent être émises par la plupart des activités humaines. Elles sont nocives pour les systèmes respiratoires et cardio-vasculaires. Certaines sont cancérigènes.
- Il existe également d'autres polluants, liés aux activités humaines et nocifs pour la santé, tels que le monoxyde d'azote (NO), le monoxyde de carbone (CO), la dioxyde de soufre (SO2), l'ozone (O3), les moisissures, les virus.
- **Pour aller plus loin :**
- Consultez le site de l'Observatoire de la qualité de l'air de la région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur : <https://www.atmosud.org/>

Adapter la forme urbaine aux enjeux croisés

Des bâtiments écrans ou des fonctions adaptées au contact des zones à enjeux peuvent permettre de limiter les impacts, en particulier sur les programmes de logements ou de bâtiments accueillants des publics sensibles comme les écoles. **Ainsi on évitera de placer les programmes sensibles (notamment à usage résidentiel) sur un front de voirie dont les niveaux de qualité d'air sont supérieurs aux seuils de l'OMS** (valeurs 2030) pendant les périodes de mi-saison le jour, et la nuit en période estivale pour les deux principaux polluants à savoir les NO2 et les PM 10 ou PM 2.5. Dans ce cas de figure, des bâtiments tertiaires de type bureaux pourront être privilégiés car leur plage d'usage est moins importante que pour les logements.

Distribuer les logements en lien avec les enjeux de qualité d'air, de bruit et de vent

L'analyse bioclimatique croisée devra permettre de donner les préconisations adaptées pour chaque îlot au regard des typologies de distribution ou des orientations à privilégier. **Des dispositifs de type coursive et/ou double peau permettent de mettre à distance des sources de bruit.**



Résidence Amplia à Lyon-Confluence. Mise à distance des logements par rapport à la rue grâce à des loggias équipées d'un système de volets repliables à lames de verre orientables. Distribution des logements par des coursives extérieures situées à l'intérieur de l'îlot.
 Conception : LIPSKY+ROLLET ARCHITECTES, 2012.
 Photo © Paul Raftery

Adapter les solutions de ventilation hygiénique et privilégier les prises d'air loin des sources de pollution

Dans les cas où les niveaux de pollution de l'air sont trop élevés en hiver, les entrées d'air doivent être placées loin de la source de pollution, ou le système de ventilation hygiénique doit être adapté.

Des dispositifs d'alerte peuvent également être mis en œuvre pour limiter l'exposition des habitants dans leur logement, une campagne de mesures pourra être mise en œuvre in situ.

Dans les cas critiques, on privilégiera la mise en œuvre d'une solution de type double flux ou simple flux par insufflation permettant la filtration de l'air.

Favoriser les dispositifs de ventilation naturelle nocturne protégés du bruit

En dehors des cas critiques pour les logements, les solutions privilégiant la ventilation nocturne seront mises en œuvre : des systèmes de pièges à sons, de double peaux ou d'ouvrant de ventilation naturelle acoustique (OVNA).

 Fiche 9 - Modéliser l'air et analyser le confort intérieur



Bien connaître les sources de bruit et de pollution de l'air, les moyens de les réduire et les temporalités d'émissions.

Pour les projets urbains, réfléchir le plus en amont possible au développement des formes urbaines et des programmes en lien avec les enjeux de bruit et de qualité d'air.

Adapter la conception des logements du point de vue de leur morphologie et de leur architecture en mettant en œuvre des solutions adaptées.

Adapter les systèmes de ventilation hygiénique pour les cas les plus critiques.



Le bureau d'étude en acoustique LASA a mené un projet de R&D sur des Ouvrants de Ventilation Naturelle Acoustique (OVNA).

Objectif : ne plus devoir choisir entre avoir trop chaud ou avoir trop de bruit. Deux prototypes ont été construits à taille réelle. Après avoir mené des campagnes de mesures (acoustique, thermique), le LASA a pu consolider et affiner ses méthodes de modélisation et d'optimisation de ces ouvrants. © TRIBU

8# PERMETTRE LA VENTILATION NATURELLE DE CONFORT DE JOUR COMME DE NUIT EN ÉTÉ

Un enjeu fort pour réduire la vulnérabilité des bâtiments à la surchauffe et mieux respirer

Le croisement des enjeux d'adaptation au changement climatique et d'économie des ressources implique de s'engager dans une approche passive de la conception des logements, bureaux ou tout autre type de bâtiment. Pour limiter la surchauffe de ceux-ci, il est nécessaire d'assurer leur protection face au soleil mais aussi d'évacuer la chaleur grâce à la ventilation.

La conception doit donc maximiser la circulation de l'air à l'intérieur du bâtiment pour éviter le recours aux systèmes actifs comme la climatisation. Pour les logements collectifs, un point d'attention particulier doit être porté sur les appartements mono-orientés et ceux aux derniers étages car ce sont les plus vulnérables à la surchauffe. Aussi, la bonne ventilation est un enjeu majeur pour évacuer les polluants intérieurs.

Une conception qui se joue d'abord à l'échelle de l'îlot

La forme urbaine est une première étape déterminante permettant d'optimiser la ventilation naturelle des bâtiments grâce au choix des orientations et au réglage de l'épaisseur des bâtiments et de leur forme (📄 Fiche 3).

Bi-orientation ou traversant ?

Les configurations traversantes ou bi-orientées sont les plus favorables pour permettre la circulation de l'air. Un bâtiment peu épais (12,5m maximum) rend possible le dessin de logements traversants. Les bâtiments des îlots traditionnels «Trois Fenêtres» Marseillais bénéficient de ce gabarit et permettent donc une ventilation traversante.

📄 *Renouvellement d'air : Permettre la ventilation naturelle nocturne en été*

Etude simplifiée de la capacité à ventiler une chambre la nuit l'été dans le but de rafraîchir

Débit de renouvellement d'air atteint dans une chambre la nuit en période estivale en fonction de l'orientation du logement. Moyenne sur l'été des données vent de la station Marignane la nuit.

On observe qu'en moyenne les logements mono-orientés sont les plus défavorables. Les cas les plus favorables sont :

- les logements bi-orientés NNO et OSO
- les logements traversants NNO-SSE ou OSO-ENE

Capacité de ventilation naturelle nocturne

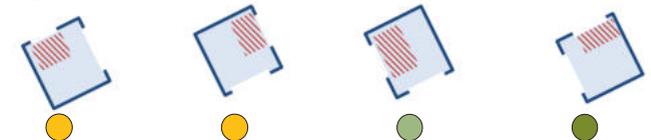
- Très défavorable
- Défavorable
- Moyen
- Favorable
- Très favorable

🏠 Position de la chambre

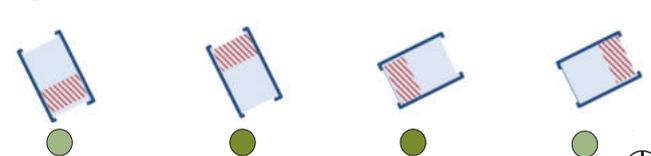
Logements mono-orientés



Logements bi-orientés



Logements traversants





Compte-tenu de la distribution et de la fréquence des vents sur le périmètre d'Euroméditerranée:

- éviter les logements mono-orientés Sud-Sud-Est ou Est-Nord-Est
- éviter les logements bi-orientés Est-Nord-Est/Sud-Sud-Est

Ces orientations sont défavorables en termes de débit de renouvellement d'air nocturne estival permettant le rafraîchissement (voir le schéma sur la page de gauche).

La conception du plan

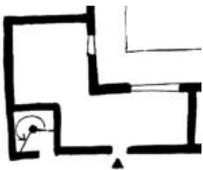
Permettre une réelle bi-orientation

La différence de pression sur les façades est un des moteurs de la ventilation naturelle.

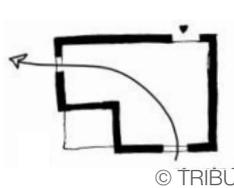


Pour optimiser la différence de pression entre les façades et augmenter le potentiel de circulation d'air, il est nécessaire d'avoir des façades avec des expositions radicalement différentes et une répartition des baies par façade bien équilibrée.

Ainsi, on ne peut considérer les logements dans un angle «rentrant» comme étant bi-orientés car la différence de pression entre les deux façades ne sera pas suffisante pour assurer une bonne ventilation.

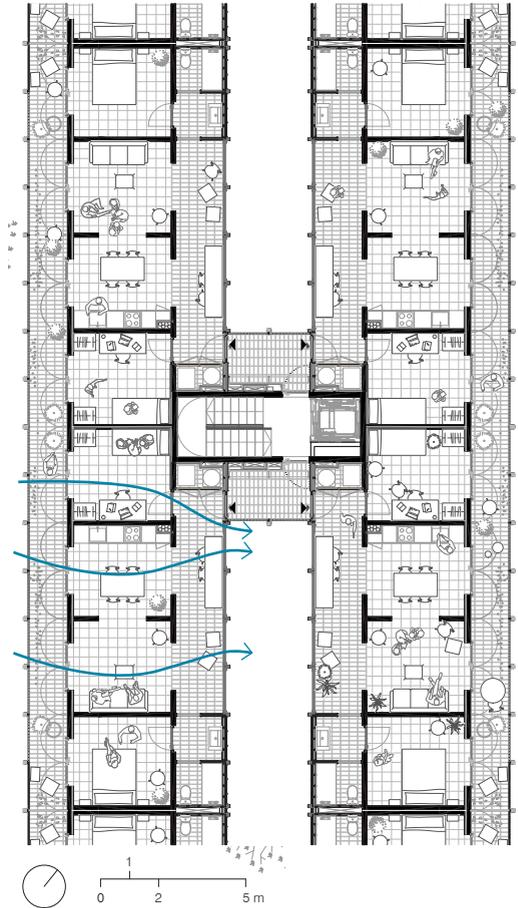


 Logement en «angle rentrant». Il n'est pas possible de le considérer comme étant bi-orienté.

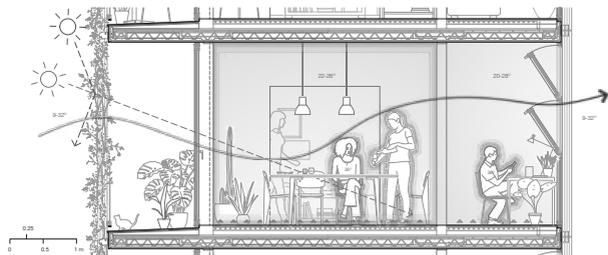


 Logement en «angle sortant» réellement bi-orienté

Un exemple de logements traversants : 136 logements collectifs à Gavà (Barcelone, Espagne) / 2022 / Architecte : HARQUITECTES



Plan d'étage courant : les logements sont organisés autour de patios. Les pièces de vie en enfilade sont toutes traversantes. © Harquitectes



Coupe transversale © Harquitectes

Dessiner un plan poreux et aéré

Un logement «débitant» est un logement qui permet de faire circuler l'air et de lui faire balayer le maximum de surface.



Pour optimiser la circulation de l'air dans le logement :

- aligner en plan, dans la mesure du possible, les fenêtres situées sur des façades opposées
- concevoir le plan intérieur (cloisonnement, alignement des portes) de manière à ce que l'écoulement de l'air soit le plus efficace possible (limitation des pertes de charge).

Le cas des petits logements

En logement, la bi-orientation ou le traversant sont généralement de mise pour les typologies à partir du T3. Les T2 et T1 pâtissent d'une mono-orientation quasi systématique les rendant particulièrement vulnérables à la surchauffe.



Pour maximiser la capacité à ventiler naturellement les petits logements, deux leviers sont possibles :

- Choisir un mode de distribution permettant d'assurer que tous les logements soient traversants (distribution en coursive par exemple pour des logements étudiants :  REX CAZ08). Dans ce cas, un ouvrant spécifique doit être prévu (en imposte ou porte tiercet par exemple).
- Dans le cas d'un mono-orienté, augmenter la hauteur sous plafond pour favoriser le renouvellement d'air par tirage thermique. Une réflexion peut être menée pour maximiser le tirage thermique à l'échelle du bâtiment grâce à la mise en place de gaines de ventilation naturelle mutualisées.

De l'intérêt de ventiler les parties communes

Au-delà des logements, penser la ventilation des parties communes est également essentiel pour évacuer les surchauffes du bâtiment. Dans le cas des circulations verticales et couloirs de distribution fermés possédant des fenêtres, prévoir des ouvrants permettant aux usagers de ventiler ces espaces la nuit en période estivale.

Le choix de protections solaires permettant la ventilation

La protection solaire doit répondre à différentes exigences :

- protéger efficacement du soleil pour éviter la surchauffe tout en permettant un accès à la lumière naturelle et aux vues
- s'adapter à la variabilité de l'ensoleillement et à la saisonnalité
- intégrer une porosité permettant de laisser circuler l'air dans le logement pour évacuer les surchauffes les nuits d'été tout en garantissant une certaine intimité.

Dans ce cadre, les protections mobiles à lames orientables horizontales types brise-soleil orientables (BSO) permettent généralement d'arriver au meilleur compromis. Néanmoins, pour les façades les plus exposées au vent, la mise en sécurité des BSO constitue une limite (journée très ensoleillée d'été mais avec un vent fort).

Il existe néanmoins d'autres dispositifs de protection que les concepteurs ont à disposition : volets persiennés battants ou coulissants, volets à projection, etc.



Prévoir un système de protection permettant d'assurer une porosité minimale de 30 % et/ou permettre un débattement pour laisser passer l'air (store à projection par exemple).

Assurer la résistance et la pérennité du système face aux vents violents.

Pour aller plus loin :  Fiche 6 - Concevoir des prolongements extérieurs adaptés au climat actuel et futur.

8# PERMETTRE LA VENTILATION NATURELLE DE CONFORT DE JOUR COMME DE NUIT EN ÉTÉ



Persiennes vertes de Gênes, Italie © TRIBU



Bâti ancien marseillais, vue sur les volets persiennés
© Alexandre Caors.



Store à enroulement extérieur - Marseille
© Alexandre Caors.



Volets persiennés sur un bâtiment neuf - Marseille.
© Alexandre Caors.



Brise-soleil orientables sur un bâtiment de la ZAC de Castellane, Sathonay Camp (69). Architectes : TEKHNE.
© Tekhne Architectes.



Volets en bois à projection - Marseille.
Architecte : Battesti associés. © Alexandre Caors.

9# MODÉLISER L'AIR ET ANALYSER LE CONFORT INTÉRIEUR

La circulation de l'air, un paramètre à maîtriser pour le confort thermique intérieur

La circulation de l'air dans une pièce est essentielle pour garantir une bonne qualité d'air et permettre de se rafraîchir en été. C'est donc un paramètre à maîtriser pour garantir le confort global des usagers, notamment le confort thermique en toute saison.

Limiter les risques d'inconfort en hiver

En hiver, en-dessous de 0,25 m/s à l'intérieur d'un bâtiment, on considère généralement que l'impact sur le confort des usagers est négligeable.

Les courants d'air froids provenant des entrées d'air de ventilation hygiénique peuvent être source d'inconfort. En logement il est d'ailleurs fréquent que les habitants bouchent les entrées d'air, ce qui pose un réel problème de qualité d'air dont ils n'ont pas toujours conscience.

Par ailleurs, l'exposition à des vents très violents comme le Mistral tend à augmenter les vitesses d'air dans les entrées d'air, pouvant entraîner une source d'inconfort.

Dans ce cadre, une réflexion sur la position des entrées d'air doit être menée, notamment dans le cadre d'un projet en ventilation naturelle hygiénique mais aussi dans le cas de la ventilation mécanique simple flux.

Choisir la localisation en façade et la position dans le local

Peu importe le programme (logements, bureaux, écoles, etc.), les entrées d'air positionnées face au Mistral (façade Nord-Ouest), en particulier sur des bâtiments hauts, seront soumises à des pressions de vent très importantes. Cela peut également générer des nuisances acoustiques.

Le mieux est d'éviter cette configuration, et le cas échéant de prévoir un dispositif pour limiter les nuisances.

La bouche d'entrée d'air doit être positionnée de manière à minimiser l'inconfort : en partie haute du local, généralement au dessus de la menuiserie en logement.

Faire une étude CFD dans les cas à enjeux

Pour les locaux ventilés en simple flux les plus défavorables ou pour aider à la conception des éléments dédiés à la ventilation naturelle hygiénique (entrée d'air, tourelles), le recours à une modélisation CFD (Computational Fluid Dynamics) constitue un bon outil de vérification et validation des choix de conception en phase études (APS et APD). Ce type de modélisation permet d'étudier l'écoulement d'un fluide et ses caractéristiques (vitesse, température), en l'occurrence l'air.

Il existe différents logiciels disponibles sur le marché : DesignBuilder, Flovent, ANSYS Fluent, Simscale, Urbanwind, etc.

L'exemple ci-contre présente les extraits d'une étude CFD réalisée sur un bureau dans un groupe scolaire conçu en ventilation naturelle hygiénique. Celle-ci a permis de concevoir un déflecteur au niveau de l'entrée d'air pour réduire la vitesse d'air entrant.



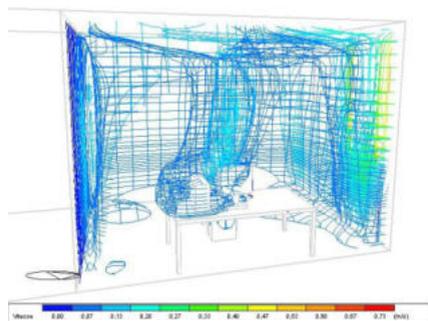
La modélisation CFD est un outil permettant de préciser les choix de systèmes de ventilation hygiénique d'un local.

Elle est dépendante des hypothèses établies aux conditions limites du système (un bureau par exemple). Parmi les paramètres influents pour un bureau on peut citer la température de paroi. Les données spécifiques aux produits fabricants (pour les entrées d'air par exemple) sont parfois des limites à prendre en compte.

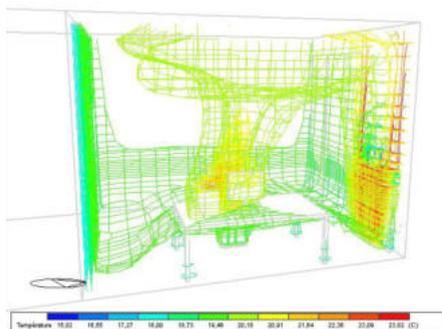


La CFD constitue une étude «experte» nécessitant un temps de modélisation, de calcul et d'analyse important. Pour une étude sur un local par exemple, compter 5 jours de travail.

Extrait d'une étude CFD menée par TRIBU sur la cité scolaire Claude Bernard à Villefranche-sur-Saône - Phase APD - Logiciel : Design Builder



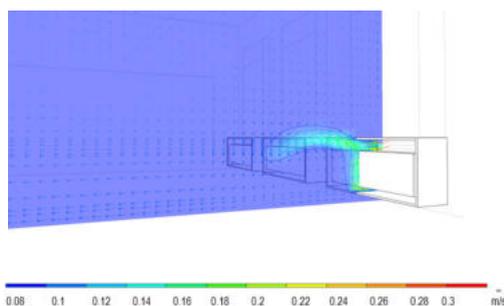
Visualisation des vitesses d'air



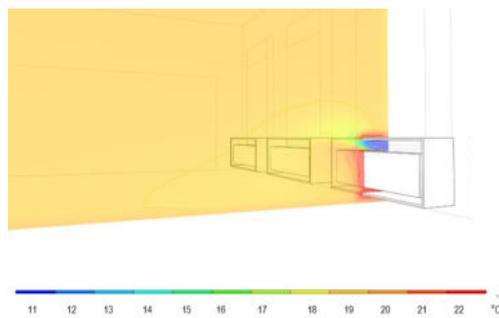
Visualisation des températures d'air

Cette simulation CFD a permis d'étudier les paramètres jouant sur le confort de la personne travaillant sur son ordinateur. Les optimisations ont porté sur la dimension et la position des bouches de ventilation, la forme du « déflecteur » utilisé pour diriger le flux d'air entrant, la puissance du radiateur et la position de la bouche de transfert. Les résultats présentés montrent, pour la configuration retenue, l'ambiance intérieure obtenue dans différentes situation de température extérieure : Hiver période froide -10°C, Hiver période tempérée 5°C et mi saison 15°.

Extrait d'une étude CFD menée par TRIBU sur une médiathèque à Paris - Phase APD - Logiciel : Virtual Environment



Visualisation des vitesses d'air



Visualisation des températures d'air

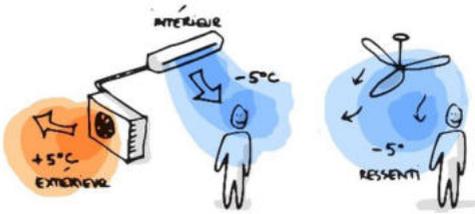
Cette simulation CFD a été réalisée sur une salle à forte densité d'occupation et donc avec un renouvellement d'air hygiénique important. L'espace est ventilé naturellement par des bouches d'entrée d'air naturel autoréglables positionnées sous les fenêtres, au-dessus du radiateur.

La variante présentée en-dessous considère une température d'air extérieur de 5°C.

Pour une ventilation mécanique simple flux classique, il est considéré que la vitesse d'air dans la pièce est inférieure à 0.2 m/s. Ici, dès la sortie du radiateur la vitesse décroît très vite et reste en-dessous des 0.2 m/s. Il n'y aura donc pas de courant d'air gênant.

Favoriser la circulation de l'air en été

En été, la ventilation est recherchée pour évacuer les surchauffes du bâtiment et rafraîchir les personnes par évapotranspiration. Des systèmes simples comme les brasseurs d'air peuvent également être mis en oeuvre pour rafraîchir les usagers de manière passive sans recours à un système actif.



© TRIBU

Intégrer la vitesse d'air dans la notion de confort

Il existe différents modèles de confort thermique : modèle de Fanger*, modèles de confort adaptatif*, température opérative*, modèle de Givoni, etc. Le diagramme de Givoni définit des zones de confort en fonction de la température d'air, de l'humidité relative et de plages de vitesses d'air (📄 *Le confort thermique des usagers*).



Le modèle de Givoni, couplé au modèle adaptatif est particulièrement intéressant pour étudier le confort d'été car il intègre l'évapotranspiration, processus naturel de rafraîchissement chez les humains.

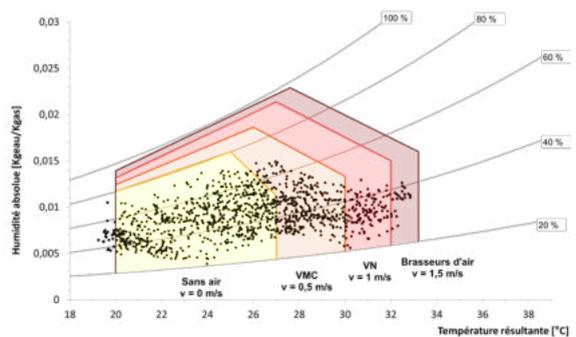
Il est primordial d'inclure ce modèle dans les analyses des résultats issus des simulations thermiques dynamiques (STD) car cette approche permet de favoriser le recours à des dispositifs passifs de rafraîchissement, moins impactants que le rafraîchissement actif (consommation d'énergie, émissions de gaz à effet de serre,...).

Le cahier des charges STD d'Euroméditerranée inclut déjà cette exigence en logement et en tertiaire.

Anticiper le choix des données sur le climat pour être robuste face aux vagues de chaleur*

Si les indicateurs de confort d'été actuels et usuels ne sont pas totalement adaptés aux climats futurs, il est primordial de tester la robustesse des choix faits dans les bâtiments. Pour cela, il convient de questionner le choix des fichiers météorologiques chauds et représentatifs des vagues de chaleurs*. Cela prend la forme d'études préalables des fichiers réels et prospectifs. Toutefois, de nombreuses questions liées aux impacts sanitaires des fortes chaleurs, et par conséquent d'un indicateur adapté au risque santé, restent à explorer.

Actuellement, le cahier des charges STD de l'EPAEM* préconise l'utilisation d'un fichier météorologique dit « standard », provenant de la base de données Météonorm, ainsi qu'un fichier météo « caniculaire 2050 » conçu par le groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat* (GIEC), le scénario A1B2050. En parallèle, il serait intéressant de travailler avec une année réelle représentative d'un été avec des vagues de chaleur*.

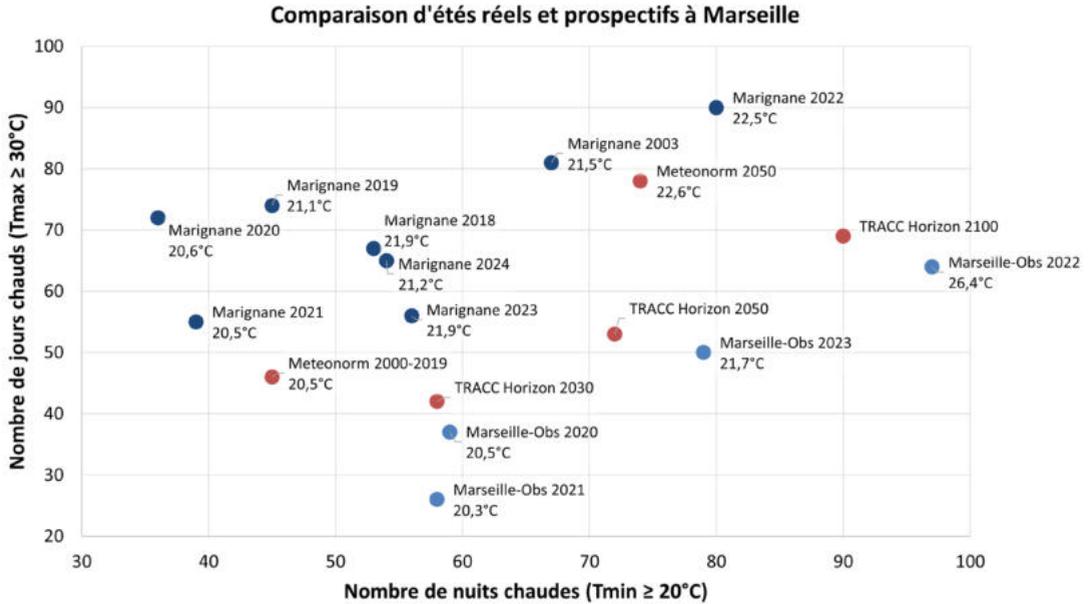


Exemple de représentation des heures d'inconfort du 1er mai au 30 septembre selon l'approche de Givoni. Données météorologiques d'entrée : Lyon Confluence, année réelle 2022.

Sans brasseur d'air (0 m/s) : 129 heures d'inconfort.

Avec brasseurs d'air (1,5 m/s) : 0 heure d'inconfort.

Plateau tertiaire à Villeurbanne. © TRIBU

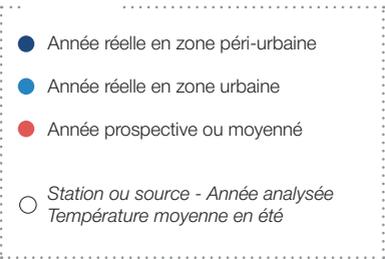


Comparaison d'étés réels et prospectifs à Marseille, selon les indicateurs suivants :

- Nombre de jours chauds : jours dont la température maximale dépasse les 30°C
- Nombre de nuits chaudes : nuits dont la température ne descend pas en-dessous de 20°C
- Température moyenne sur les mois d'avril à octobre (°C)

Pour les étés réels, deux stations météorologiques du réseau Météo France ont été observées : Marignane (située à l'aéroport Marseille Provence) et Marseille-Obs (située au coeur de la ville, à l'Observatoire de Marseille).

Pour les années prospectives et moyennées, les données ont été fournies par Meteororm (scénario futur RCP 8.5* - station Marignane) ou collectées sur le portail de la DRIAS (TRACC-2023 : Modèles CNRM-CM5 / ALADIN63 ; correction ADAMONT). Les moyennes de températures sur les mois d'avril à octobre ne sont pas disponibles pour les trajectoires de la TRACC*. ©TRIBU



Le choix des données météorologiques d'entrée d'une simulation thermique dynamique doit être fait minutieusement afin d'anticiper les vagues de chaleur* des années à venir dans la conception des bâtiments.

Les fichiers météorologiques prospectifs ne permettent pas toujours de modéliser des étés extrêmes tels que 2022. Le choix de données réelles passées peut donc s'avérer plus pertinent.

10# PRODUIRE DE L'ÉNERGIE AVEC LE VENT : LE MICRO-ÉOLIEN URBAIN

L'énergie éolienne est la deuxième source d'énergie renouvelable en France, après l'hydraulique. Principalement installées en milieu rural, les éoliennes ont également leur place au plein coeur des villes, sur les bâtiments. Elles sont alors appelées micro-éoliennes urbaines. Ces dispositifs encore expérimentaux font face à de nombreuses contraintes, principalement liées au contexte urbain.

.. Un peu d'histoire

Le vent est utilisé comme source d'énergie depuis l'Antiquité. Pendant longtemps, il a été exploité grâce aux moulins à vent, afin de moulin des céréales, pomper de l'eau ou extraire de l'huile. Ces derniers ont fait leur apparition dans la province iranienne du Sistan, aussi appelée «Le pays du vent». Le vent extrêmement fort qui souffle en permanence sur cette région a façonné l'architecture de ses villes et incité sa population à l'utiliser pour ventiler les habitations, irriguer les terres et moulin le grain. Au Moyen-âge, les moulins à vent se sont progressivement implantés dans toute l'Europe. C'est au XIXème siècle que les premières éoliennes voient le jour, utilisant le vent pour produire de l'électricité.

Euroméditerranée : un lieu propice à l'énergie éolienne

Les vents forts présents à Marseille en font une ville très avantageuse pour produire de l'énergie éolienne. Le périmètre d'Euroméditerranée, proche de la mer, est d'autant plus propice. Une micro-éolienne tourne généralement pour des vitesses de vent allant de 3m/s à 20 m/s, ce qui représente plus de 60% du temps en toiture d'un bâtiment de plus de 30m à Euroméditerranée.



Produire de l'énergie en milieu urbain présente d'autres caractéristiques intéressantes :

- La proximité des lieux de consommation d'énergie permet de limiter les pertes liées au transport de l'électricité.
- La maintenance des micro-éoliennes est facilitée en toiture.
- Les bâtiments de grande hauteur, déjà présents à Euroméditerranée, peuvent faire office de mâts, permettant d'atteindre des hauteurs importantes.

À Grenoble, deux éoliennes Visionnair 5 sont installées en toiture du nouveau siège de SCHNEIDER ELECTRIC depuis 2020. Hautes de 5m et larges de 3m, elles pèsent 756kg chacune.
© ENERLICE



Les particularités du milieu urbain

Le vent est moins fort et plus turbulent en milieu urbain, son écoulement est perturbé par la forme complexe de la ville (bâtiments, arbres,...). Le rendement énergétique des éoliennes est par conséquent plus faible en ville, limitant la rentabilité économique des projets. Pour optimiser la production d'énergie, il est nécessaire de bien choisir le lieu d'implantation et le type d'éolienne.

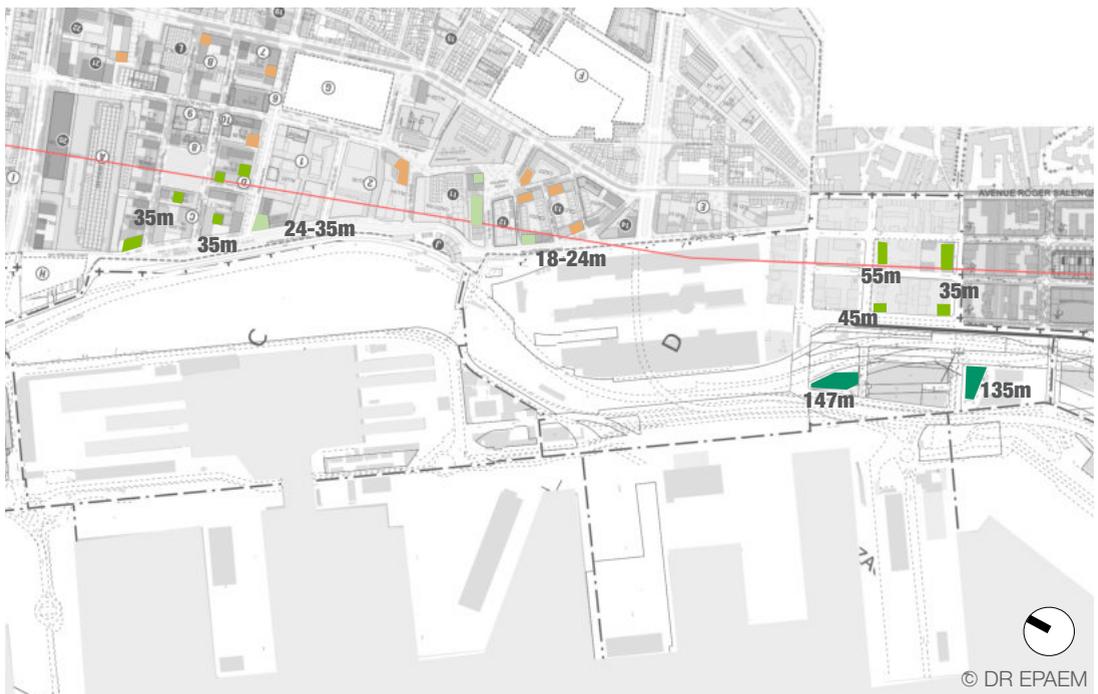
La proximité avec les habitations nécessite un traitement visuel, acoustique et structurel spécifique, déterminant dans le choix de technologie de micro-éolienne.

Choisir un site adapté au contexte d'Euroméditerranée



Positionner la micro-éolienne sur un bâtiment de grande hauteur par rapport aux bâtiments environnants et éloigné d'obstacles pour bénéficier d'un vent plus fort et régulier toute l'année.

La carte ci-dessous met en évidence les bâtiments d'Euroméditerranée pouvant présenter un potentiel pour la production d'énergie éolienne, grâce à leur hauteur et à leur proximité à la mer.



- Emergence de plus de 100 m à proximité de la mer
- Emergence de 35 m ou plus à proximité de la mer
- Emergence de plus de 25 m à proximité de la mer
- Emergence de plus de 35 m éloignée de la mer

Choisir une éolienne adaptée au contexte d'Euroméditerranée

Les micro-éoliennes doivent avoir une morphologie adaptée au milieu urbain pour répondre aux diverses contraintes de cet environnement.



Choisir une micro-éolienne qui :

- Peut démarrer à de faibles vitesses de vent,
- Est peu sensible aux turbulences*,
- Est assez petite, compacte et légère pour s'implanter en toiture d'un bâtiment,
- S'intègre à l'architecture environnante,
- Ne génère pas trop de bruit ni de vibrations.

Les différentes technologies de micro-éoliennes se distinguent principalement par leur axe de rotation et la forme des pales. Les éoliennes à axe vertical sont généralement préférables en milieu urbain car elles sont indépendantes de la direction du vent, peuvent démarrer à de faibles vitesses de vent et sont plus compactes et plus résistantes aux turbulences* du vent que des éoliennes à axe horizontal. Cependant, dans le cas de Marseille, les deux vents les plus forts et fréquents, le Mistral et le vent du Sud-Est, suivent la même direction (Nord-ouest / Sud-est). Des éoliennes à axe horizontal pourraient donc permettre d'atteindre des rendements énergétiques plus élevés.



Préférer des éoliennes à axe vertical, plus adaptées au vent en milieu urbain.

Enfin, les éoliennes peuvent être intégrées à des bâtiments existants ou implantées sur de nouvelles constructions. Cette deuxième option permet de **concevoir une architecture qui canalise le vent afin d'améliorer significativement la performance des turbines.**

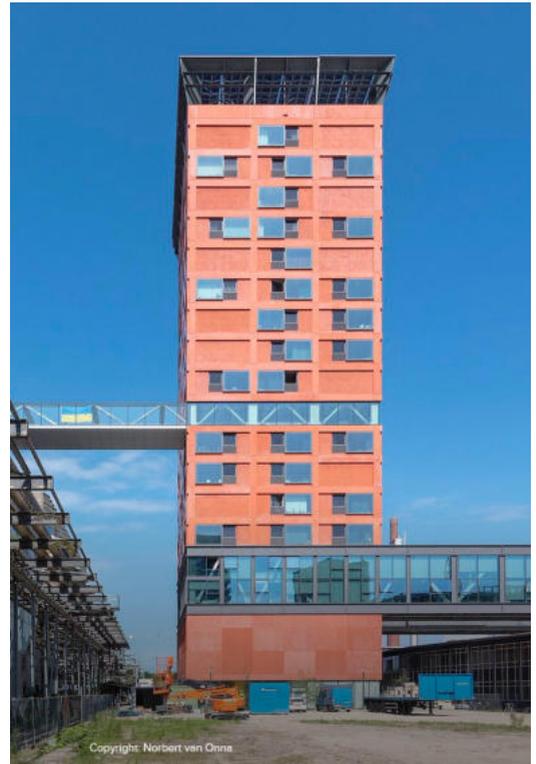
Estimer le potentiel énergétique d'un projet

L'énergie générée par une éolienne est fonction de la vitesse du vent. À Euroméditerranée, pour un bâtiment d'une hauteur de 60m (\approx R+19), le vent souffle à une vitesse moyenne de 6,3 m/s en toiture et se situe entre 3m/s et 20m/s pendant 69% du temps. Si une éolienne Visionnair 5 était installée sur la toiture, elle permettrait de produire environ 12 000 kWh/an, couvrant ainsi à 60% les besoins d'éclairage des logements du bâtiment.

Cette première estimation permet d'évaluer la pertinence d'un projet de micro-éolienne urbaine. Elle est à affiner par la suite avec des mesures de vent sur site et des simulations aérodynamiques permettant de calculer précisément le potentiel énergétique de l'éolienne.



Calculer le potentiel éolien en toiture d'un bâtiment



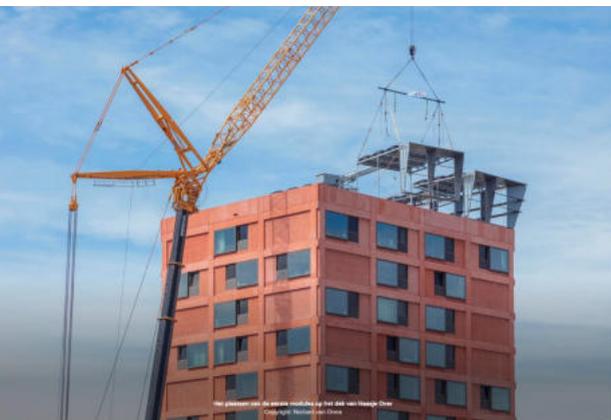
Plateforme PowerNEST installée en 2022 sur le bâtiment résidentiel Haasje Over à Eindhoven au Pays-Bas
© Norbert van Onna

S'inspirer de réalisations atypiques

1/ Une plateforme de production d'énergie mixte aux Pays-Bas : combiner l'énergie du vent et du soleil

Afin d'optimiser la production électrique des projets, de plus en plus d'entreprises proposent des dispositifs combinant des éoliennes et des panneaux solaires. C'est le cas notamment de l'entreprise néerlandaise IBIS Power.

Cette dernière a installé une plateforme PowerNEST sur les toitures de deux immeubles résidentiels à Rotterdam (2a) et à Eindhoven (2b). Ce dispositif permet à la fois d'améliorer la production d'énergie des panneaux solaires grâce au refroidissement lié à l'écoulement du vent et d'augmenter le rendement des éoliennes grâce à la canalisation du vent sous les panneaux. L'installation de plusieurs éoliennes en groupe permet aussi d'optimiser la production en limitant les turbulences*. Les 4 éoliennes et 296 panneaux solaires installés à Eindhoven produisent ainsi 140 MWh/an.



Installation de la plateforme PowerNEST sur le toit du Haasje Over à Eindhoven au Pays-Bas
© Norbert van Onna

2/ Une éolienne de pompage pour arroser un jardin en toiture d'un bâtiment résidentiel

Livré en 2012 par l'architecte Bruno Rollet, Le Candide, situé dans le quartier Balzac à Vitry-sur-Seine (94), est équipé d'une éolienne située sur son toit. Elle permet de remonter l'eau de pluie stockée dans une citerne afin d'arroser le potager partagé présent en toiture.



Eolienne de pompage en toiture du bâtiment Le Candide, quartier Balzac, Vitry-sur-Seine (94)
© Luc Boegy, Bruno Rollet Architecte



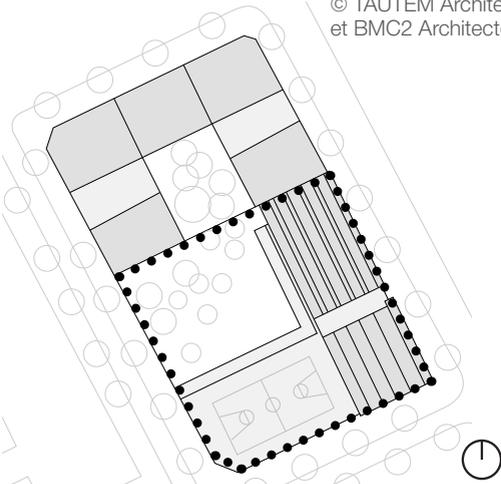
Le toit du Candide est composé d'un espace partagé aux multiples usages : serres horticoles, potager et espace pour les enfants © Luc Boegy, Bruno Rollet Architecte

ILS L'ONT FAIT : LA FAÇADE FILTRE DU GROUPE SCOLAIRE ANTOINE DE RUFFI



© Luc Boegly

© TAUTEM Architecture et BMC2 Architectes



© DR EPAEM

- FICHE D'IDENTITE DU BÂTIMENT**
- **Localisation** : Périmètre Euroméditerranée I - îlot 1A - ZAC Cité de la Méditerranée
 - **Maîtrise d'ouvrage** : EPA Euroméditerranée
 - **Maîtrise d'oeuvre** : TAUTEM architecture (architecte mandataire), BMC2 (architecte), Elithis / Even Conseils / Dicobat / Seri / Jourdan /EKOS/ Portefaix (ingénierie)
 - **Ingénierie spécialisée en conception bioclimatique** : Even Conseil
 - **Programme** : Groupe scolaire de 22 classes
 - **Superficie** : Surface utile : 3500 m² / Cour de récréation : 1500 m²
 - **Niveau d'avancement** : Livré en 2021
-

Le contexte de la conception

Contexte de développement du projet

Le concours a été lancé en 2017 et le projet livré en 2021, avant l'entrée en vigueur de la réglementation environnementale RE 2020. Le projet a été soumis à la validation de l'EPAEM*, de la Ville de Marseille et a été inscrit dans la démarche environnementale «Bâtiment Durable Méditerranéen» (BDM).

Enjeux du site liés au vent

L'îlot comporte le groupe scolaire mais aussi un bâtiment de logements faisant masque au vent du Nord-Est et Nord-Ouest. L'implantation en «L», avec une cour ouverte au Sud-Ouest répond à un enjeu bioclimatique dont bénéficient les deux programmes.

Choix constructifs

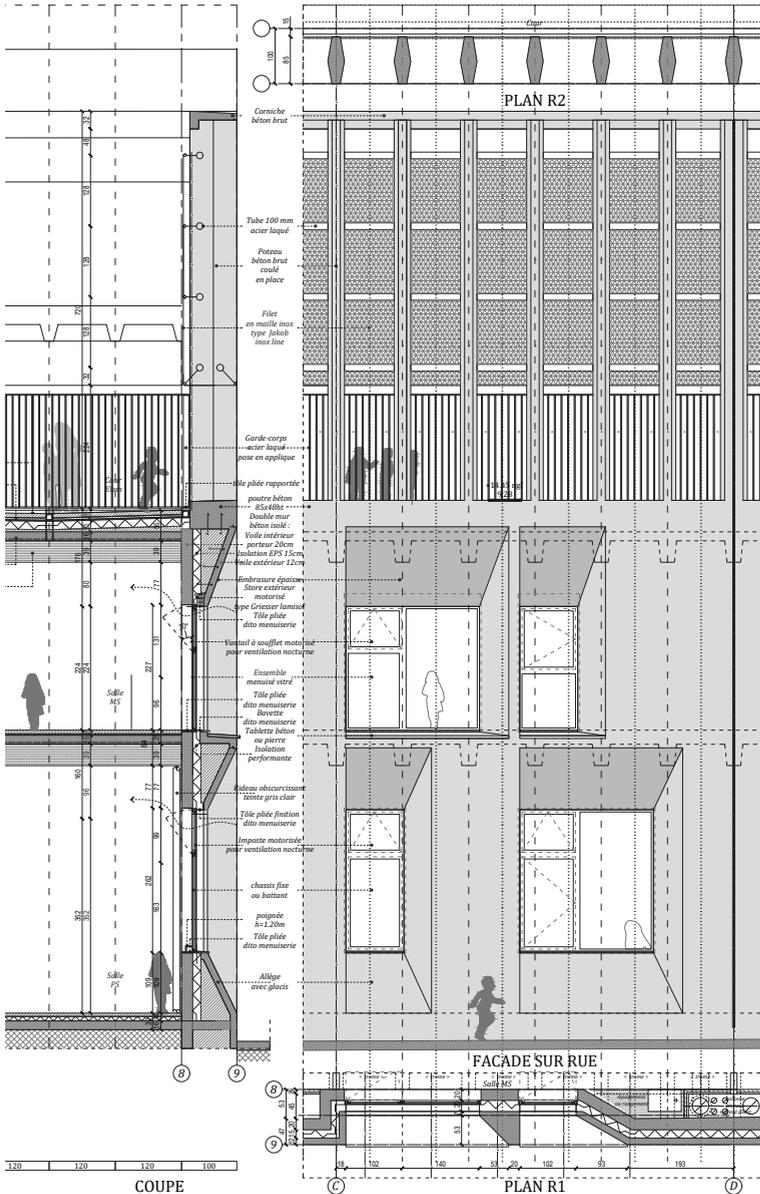
Le projet met en oeuvre des matériaux et des modes constructifs visant à répondre aux problématiques bioclimatiques et énergétiques: procédé GBE (principe de murs béton coulés en place avec isolation intégrée), poteaux brise-soleil, sheds en béton coulé en place, façade épaisse.

La méthodologie et les outils mis en place pour concevoir une école bioclimatique

L'intégration des sujets liés au vent n'a pas fait l'objet d'études aérauliques spécifiques bien que le Mistral et la brise marine aient bien été identifiés depuis l'esquisse. La conception bioclimatique du plan masse s'est ainsi principalement appuyée sur des études d'ensoleillement ayant été réalisées par EVEN Conseils, dès la phase concours, puis jusqu'en phase PRO. Une réflexion a néanmoins été menée pour favoriser la ventilation nocturne des classes.

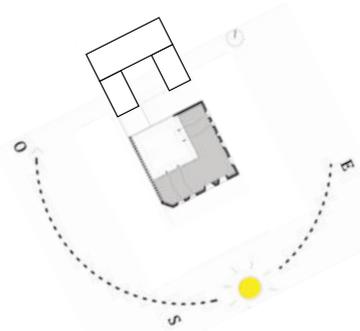
Pour en savoir plus, consulter la présentation disponible sur EnviroBoite :

<https://www.enviroboite.net/enseignement-construction-du-groupe-scolaire-ruffi-a-marseille-13-en-phase-conception>



© TAUTEM Architecture et BMC2 Architectes

Protégé du vent au Nord par le bâtiment de logements attenant, le groupe scolaire devait se protéger du soleil au sud. Le projet propose une façade filtre épaisse en béton et développe de grandes embrasures évasées d'une profondeur d'un mètre. Les châssis sont équipés d'impôtes ouvrantes motorisées pour la ventilation nocturne et de stores extérieurs motorisés.



© TAUTEM Architecture et BMC2 Architectes

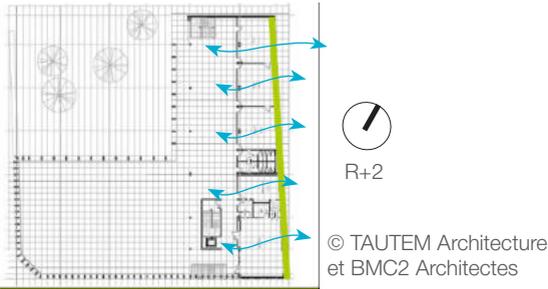
Sachant que le bâtiment voisin au Nord fait masque et protège la parcelle du groupe scolaire du Mistral, le projet opte pour une forme en L créant une cour poreuse à l'ouest, créant des apports de soleil dont bénéficient aussi les logements voisins.



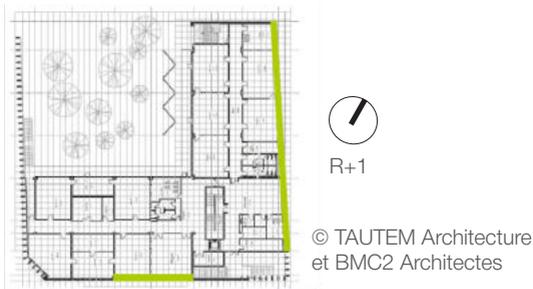
© Luc Boegly



© Luc Boegly

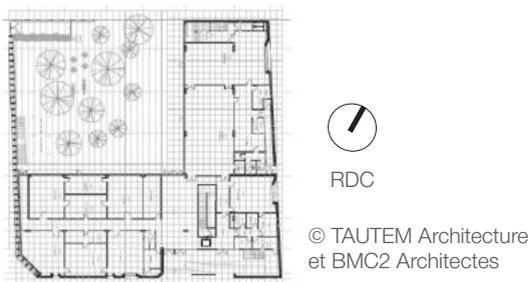


Au R+2 et R+3, les classes de l'élémentaire sont traversantes. La sur-ventilation naturelle est obtenue par ouverture automatisée des fenêtres en imposte donnant sur coursives. Les grands débords de dalles orientées Sud-Ouest permettent en partie de faire masque solaire. Des brise-soleil orientables sont prévus sur les façade Est et Sud (repérage en vert sur les plans).



Outre la façade épaisse au sud et à l'est, le thème du filtre se retrouve dans les poteaux rythmant la façade Ouest et faisant brise soleil sur la cour.

Une surventilation au RDC et R+1 est obtenue par le maintien du renouvellement d'air hygiénique la nuit en surrégime : les débits de ventilation sont doublés par rapport aux exigences réglementaire.



Les revêtements de sols de la cour au RDC ne sont ni trop réfléchissants, ni trop foncés afin d'obtenir un albédo permettant de limiter les effets d'îlot de chaleur urbain* tout en maintenant un bon confort visuel. Le préau, le rideau de poteaux à l'ouest et les arbres permettront de garantir un ombrage essentiel pour le confort d'été.

ADRIAN GARCIN

Architecte, TAUTEM Architecture

« Le confort d'été est obtenu par la combinaison de plusieurs dispositifs cumulés :

- surventilation nocturne au R+2 et R+3 avec des impostes ouvrantes,
- plancher mince rafraîchissant grâce au réseau Thassalia (- 2 ou - 3° l'été) équipé d'un système de régulation prédictif (Thermyklus)
- divers masques solaires en façade.

Des dispositifs mécaniques sont également mis en place pour atteindre les objectifs réglementaires: ventilation double-flux, BSO.

Mais il y a, en premier lieu, et c'est aussi ce qui fait l'architecture de l'édifice, des dispositifs low-tech, simples et perennes :

Au Sud, Sud-Est et Nord-Ouest, nous avons conçu une façade épaisse en béton, avec des embrasures profondes de 1m, pensée dès le concours et étudiée jusqu'en fin de phase PRO.

Coté cour orientée Sud-Ouest, de grands débords de dalles font casquette le long des classes offrant ainsi une desserte en coursive. Seuls des rideaux occultants sont présents à l'intérieur. »



© Luc Boegly

ILS L'ONT FAIT : LES STUDIOS TRAVERSANTS DE LA RÉSIDENCE ÉTUDIANTE CAZ08



© Jeudi Wang

- FICHE D'IDENTITÉ DU BÂTIMENT**
- **Localisation** : Périmètre Euroméditerranée II - au sein du secteur Cazemajou
 - **Maîtrise d'ouvrage** : SCCV La Plateforme (avec Icade) + UNICIL
 - **Maîtrise d'oeuvre** : Kristell Filotico (architecte), SIGMA, EODD, Wagon Landscaping, Arep, Atelier Rouch
 - **Ingénierie spécialisée en conception bioclimatique** : EODD
 - **Programme** : Résidence étudiante (160 studios et 15 colocations)
 - **Superficie** : 5320 m²
 - **Niveau d'avancement** : Phase DET

Le contexte de l'opération

Contexte de développement du projet

Le projet visait l'objectif 2025 de la RE2020 et doit répondre à différents cahiers des charges : le référentiel d'Euroméditerranée, le cahier des charges d'ICADE , Unicil / ARPEJ, Resid'up, la démarche Bâtiment Durable Méditerranéen (BDM) argent, la certification NF Habitat.

Le projet de résidence étudiante est développé sur le même îlot que le projet du campus de la Plateforme, autour d'un ensemble d'espaces extérieurs et paysagers communs.

Enjeux du site liés au vent

Le bâtiment d'ENEDIS au Nord du site produit un masque bâtementaire intéressant que le projet exploite. Les choix d'implantation et de volumétrie générale, deux barrettes traversantes plutôt qu'une barre épaisse en L, ont été faits afin de protéger le coeur d'îlot et les espaces extérieurs des nuisances acoustiques liées à l'A50. Le choix d'une desserte par coursive suffisamment dimensionnée pour garantir l'intimité des résidents (2m de large), est dicté par l'ambition de proposer des logements traversants.

La méthodologie et les outils mis en place pour concevoir des logements étudiants bioclimatiques

L'intégration des sujets liés au vent n'a pas fait l'objet d'études aérauliques spécifiques. Ils ont été pris en compte de manière empirique.

La conception bioclimatique du plan masse s'est ainsi principalement appuyée sur des études d'ensoleillement réalisées par EODD, dès la phase Avant-Projet avec le logiciel Archiwizard, puis jusqu'en phase Études de Projet.



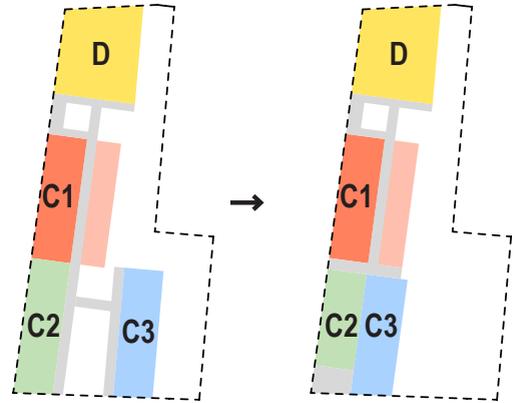
© atelierkristellfilotico

KRISTELL FILOTICO, architecte

« Les choix d'implantation ont principalement pris en compte le Mistral.

Il y a un masque bâtiementaire au Nord avec le bâtiment d'ENEDIS. Nous savions que nous ne pourrions pas profiter de terrasses plein Ouest à cause de l'autoroute, ni au Nord à cause du Mistral. Donc nous sommes allés à l'encontre de l'étude de faisabilité qui proposait une forme en «L» et nous avons opté pour deux barrettes fines, perpendiculaires à l'autoroute. Cela a permis d'obtenir des studios traversants Nord/Sud, desservis par une coursive. Ainsi, nous respectons le référentiel d'Euroméditerranée et le PLU obligeant à limiter le nombre de logements mono-orientés.

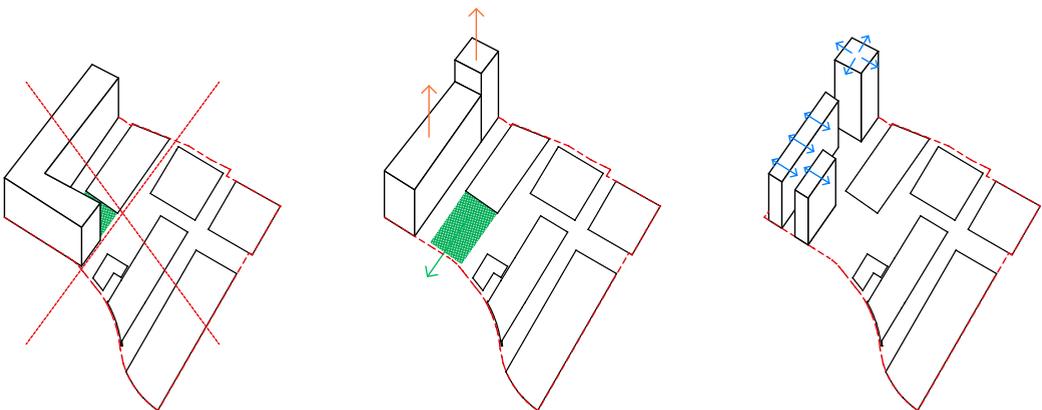
Le choix de la desserte par coursive est lié aux règles que nous nous donnons en tant qu'architectes comme le fait d'éclairer les circulations et les pièces d'eau du logement naturellement. Par contre, le promoteur n'était pas convaincu. Alors, nous avons dû lui prouver qu'économiquement il était gagnant. Nous avons démontré par l'absurde que le projet avec des logements mono-orientés et des circulations enclouées n'était pas plus économique. »

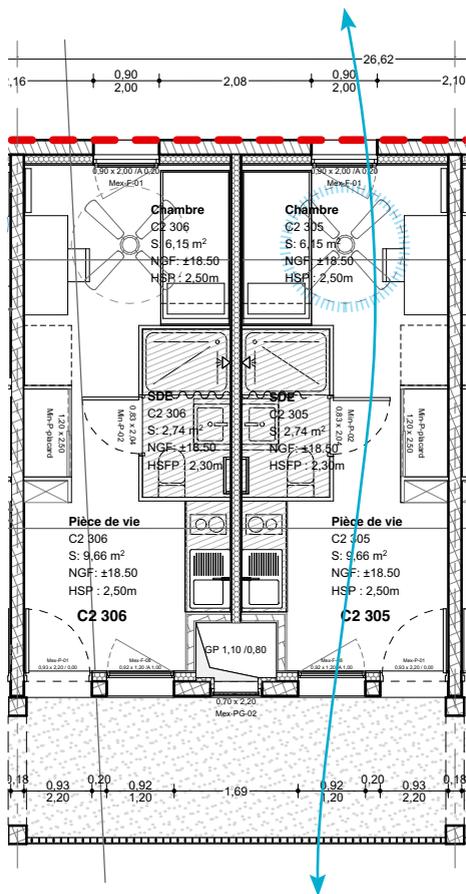


© atelierkristellfilotico

Le projet avec patio a été comparé à une autre version du projet plus compacte mais présentant moins de qualités sans pour autant être source d'économies.

Frise axonométrique présentant la critique de la forme en L proposée initialement dans l'étude de faisabilité et la fiche de lot. Le projet propose d'augmenter la hauteur et de dés-épaissir le volume, de le scinder pour permettre d'habiter des logements qui s'éclairent et se ventilent depuis deux façades. © atelierkristellfilotico





KRISTELL FILOTICO
Architecte, Kristell Filotico Architecte

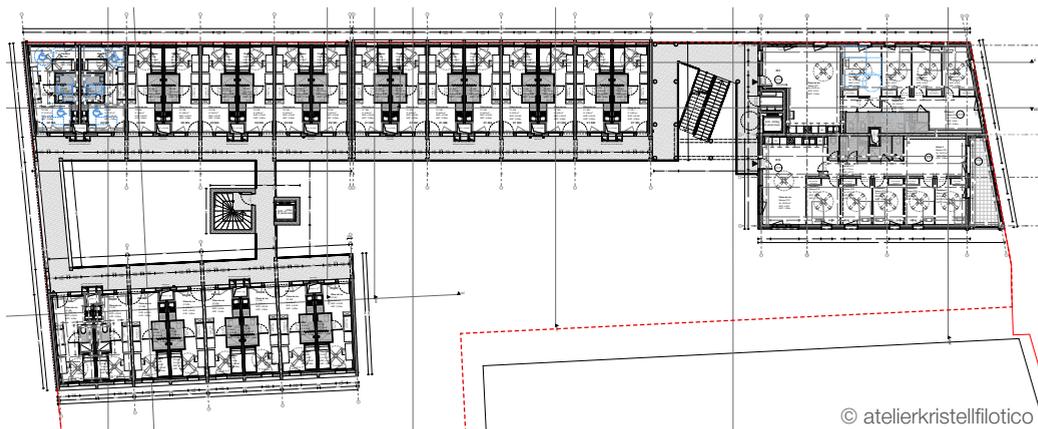
« En esquisse, les protections solaires n'étaient pas prévues. Mais suite à la STD et à l'exigence de la démarche BDM (Bâtiment Durable Méditerranéen), nous avons mis en place des volets roulants BSO au Sud, commandés par domotique. Nous aurions préféré des volets persiennes en bois, mais le cahier des charges du bailleur l'excluait. Ce qui est fou c'est que le comportement humain n'est pas pris en compte dans les calculs de simulation thermodynamique de la RE2020. Et pourtant, le rapport de la STD précise que le confort n'est garanti qu'en cas de bonne utilisation des protections solaires.

Du fait du cahier des charges de NF Habitat, le noir complet doit être garanti. Donc, au Nord et à l'Est, nous avons mis des volets roulants couplés à un anémomètre* en cas de vent supérieur à 80 km/h.

Cela garantira de ne générer aucune surchauffe ; par contre, cela veut dire que l'habitant n'est pas acteur dans la gestion de la qualité thermique de son logement. »

L'entrée et le coin cuisine bénéficient d'une fenêtre sur coursive et la chambre d'une fenêtre sur rue, rendant ainsi tous les studios traversants, et équipés de brasseurs d'air et de menuiseries à châssis oscillo-battants.

© atelierkristellfilotico



© atelierkristellfilotico

Le plan d'étage courant propose deux barrettes fines avec un dispositif distributif à coursives grâce auquel tous les studios sont traversants. A l'est, la tour «Ziggourat» propose 2 très grandes colocations, à triple orientation.



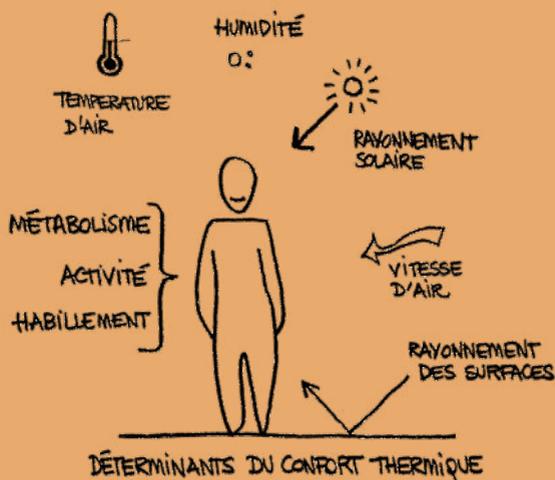
ÉCHELLE ESPACE PUBLIC : CONCEVOIR LES ESPACES PUBLICS AVEC L'AIR

La conception des espaces extérieurs doit prendre en compte les spécificités des saisons pour les rendre utilisables et surtout confortables toute l'année. En hiver, la présence du Mistral violent et froid peut rendre les espaces extérieurs inconfortables voire hostiles. En été, l'enjeu est au contraire de profiter des vents tout en ayant une végétation proposant une ombre généreuse sur les espaces d'usage.

Ce chapitre contient des outils et bonnes pratiques permettant d'optimiser le confort d'usage des espaces extérieurs. Ceci se traduit par une approche bioclimatique, le positionnement du mobilier urbain, le choix et l'implantation des végétaux.

Les espaces publics peuvent aussi exploiter l'énergie éolienne du vent, accueillir des oeuvres d'art et des espaces ludiques utilisant le vent.

Le confort thermique d'un individu est dépendant de nombreux paramètres, principalement météorologiques et métaboliques, mais il peut aussi être impacté par l'adaptation de l'individu au climat, les stimuli visuels, l'âge et la durée d'exposition.



© TRIBU

Échelle espace public : concevoir les espaces publics avec l'air

- 11 Concevoir les espaces publics avec l'air, la lumière et le soleil : l'approche bioclimatique
- 12 Adapter le végétal au vent et à l'espace urbain
- 13 Adapter le mobilier urbain pour se protéger ou bénéficier du vent
- 14 Utiliser l'énergie du vent dans les espaces publics
- 15 Scénographier l'espace urbain : le vent comme ressource sonore et artistique

11# CONCEVOIR LES ESPACES PUBLICS AVEC L'AIR, LA LUMIÈRE ET LE SOLEIL : L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE

À l'instar de l'échelle bâti, une approche bioclimatique peut également s'appliquer à la conception des espaces extérieurs.

L'enjeu réside dans la capacité à créer des espaces confortables en toute saison. Dans ce cadre, le croisement des paramètres de vent et de soleil est particulièrement important.

La conception d'un espace public n'a pas comme seul objectif le confort thermique des usagers. D'autres co-bénéfices doivent être recherchés :

- biodiversité,
- limitation de la surchauffe urbaine*,
- santé des usagers,
- gestion des eaux pluviales,
- limitation de l'impact carbone.

Les recommandations qui suivent s'appliquent non seulement aux espaces publics mais également aux coeurs d'îlots. Elles proposent des outils de conception et d'évaluation permettant de qualifier la prise en compte du vent et plus globalement de développer une approche bioclimatique dans la conception des espaces extérieurs.

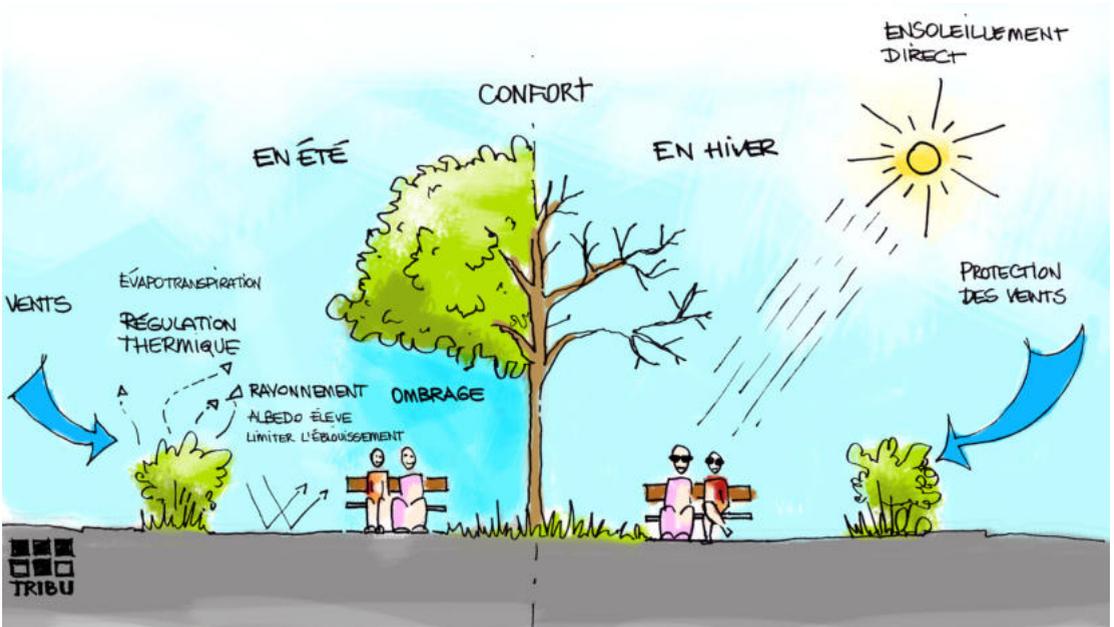


Identifier l'exposition de l'espace public :

- aux vents dominants,
- aux effets de vent indésirables,
- à l'ensoleillement,

Pour ensuite adapter les choix de conception paysagère en conséquence :

- végétal
- mobilier urbain
- revêtements,...



Principes de conception d'un espace extérieur bioclimatique. © TRIBU

Identifier l'exposition de l'espace public au vent et au soleil

Exposition aux vents dominants

L'évaluation de ce critère doit être spécifique à chaque saison (été, hiver, mi-saison) et prendre en compte :

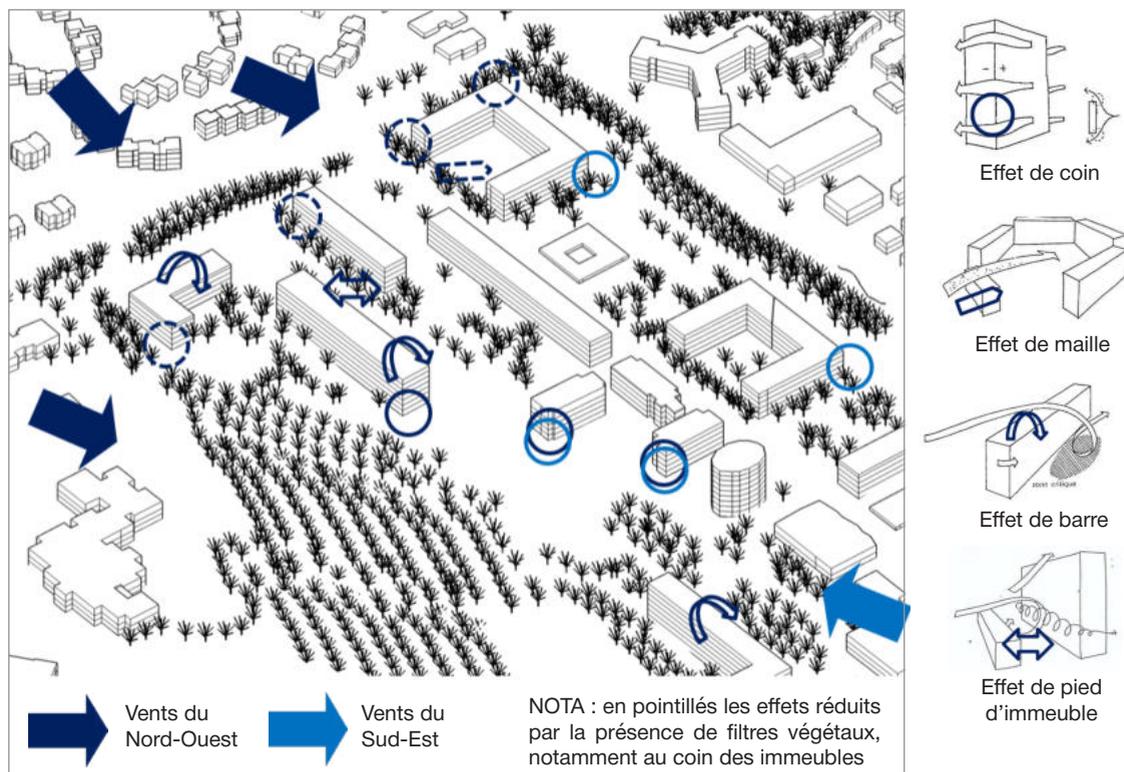
- la proximité de l'espace public à la mer : plus un espace est proche de la mer, plus il est exposé au Mistral ;
- la forme urbaine : la hauteur et porosité* du bâti environnant, ainsi que l'implantation de l'espace dans la trame viaire influencent l'exposition aux vents dominants.

Effets de vent

L'enjeu est d'identifier les effets de vent indésirables générés par la forme urbaine et le bâti sur l'espace public, afin de limiter l'inconfort qu'ils génèrent.

Pour un espace extérieur, on regarde prioritairement les effets de canalisation et les effets venturi entre les rues, les effets de coins au pied des bâtiments entourant l'espace, les effets de maille.

 Fiche 5 - Évaluer les effets de vent générés par la forme urbaine



Analyse des effets de vents du quartier des Hauts de Chambéry. Les bâtiments génèrent des effets de coin, de maille, de barre et de pied d'immeuble © TRIBU

Ensoleillement de l'espace extérieur

La forme urbaine et l'aménagement paysager vont impacter l'ensoleillement d'un espace extérieur. Il s'agit ici d'évaluer le confort au regard de l'ensoleillement et des usages de l'espace.

Les besoins d'ombrage et d'ensoleillement sont variables selon les saisons. Pour qu'un espace soit confortable, un minimum d'ensoleillement est requis en hiver et un minimum d'ombrage est nécessaire en été. **Les arbres à feuilles caduques permettent de faire face à cette dualité des besoins.** Un même espace peut également être conçu de telle sorte que certaines zones d'usage sont plus adaptées à l'hiver et d'autres à l'été.

Croiser les contraintes saisonnières d'ensoleillement, d'ombrage et d'exposition aux vents, au regard des usages de l'espace public.

En toute saison :

- limiter l'exposition de l'espace public aux vents forts et froids (Mistral) : freiner l'écoulement plutôt que le bloquer.

En hiver :

- rechercher un minimum d'ensoleillement sur certains espaces d'usages.

En été :

- laisser s'écouler les vents dominants pour favoriser l'évacuation de la chaleur stockée dans les tissus urbains et bénéficier de l'effet rafraîchissant des vents.
- Viser 30% d'ombrage sur les espaces d'usages réels (aires de jeux, agrès sportifs, bancs,...) au 21 juin à 14h.

À la mi-saison :

- offrir au moins 2h de soleil au 21 mars sur les espaces d'usages.

Adapter les choix de conception paysagère au vent et au soleil

Le végétal et le mobilier urbain ont un rôle clé à jouer dans la conception d'espaces d'usage confortables, dans un contexte venté comme à Euroméditerranée. Ils doivent être pensés ensemble au regard de l'exposition de l'espace public au vent et au soleil.

Afin de répondre aux divers enjeux liés au végétal, il est donc nécessaire d'avoir une approche multicritère de la palette végétale mais également des conditions de plantation des végétaux. Les critères à prendre en compte pour la conception d'une palette la plus résiliente possible sont les suivants : pouvoir rafraîchissant, résilience face au réchauffement climatique, pouvoir allergène, valeur pour la biodiversité, diversité génétique, étendue de la floraison.

Pour aller plus loin :

 *Fiche 12 - Adapter le végétal au vent et à l'espace urbain*

 *Fiche 13 - Adapter le mobilier urbain pour se protéger ou bénéficier du vent*

Des indicateurs complémentaires permettant d'évaluer les co-bénéfices de l'espace public

Taux de pleine terre

Le taux de pleine terre contribue à la gestion des eaux pluviales à la source, à la constitution des trames vertes et brunes pour la biodiversité, à la limitation de la surchauffe urbaine*.

Surfaces perméables et ouvrages de gestion des eaux pluviales

Ces espaces contribuent à la gestion alternative des eaux pluviales en limitant la quantité d'eau rejetée au réseau et en favorisant les ouvrages de gestion paysager surfaciques.

En ville, les conflits d'enjeux de réseaux et de plantation peuvent rendre cet objectif difficile. Néanmoins, il convient de gérer à minima les petites pluies en désimperméabilisant au maximum (pleine terre et mise en place de revêtements perméables), et en mettant en place un nivellement permettant de renvoyer l'eau vers les fosses plantées.

Support de biodiversité

L'objectif est de mettre en place des strates végétales variées, résilientes face aux aléas climatiques, permettant d'être support de biodiversité.

Etude d'ensoleillement toute saison en phase Avant-Projet sur la place des Halles dans le quartier de la MOSSON à Montpellier.

Au 21 Juin, l'ombrage est étudié à des heures d'usage clé (10h, 14h et 17h) afin d'identifier le mobilier urbain qui sera à l'ombre ou au soleil. Ces études font figurer la direction des vents dominants par saison et les éventuels effets de vent afin de croiser les deux enjeux et avoir une vision plus complète du confort piéton. © TRIBU

LEGENDE

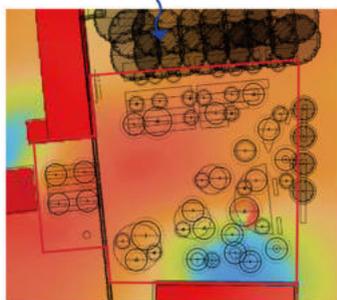
Confort d'hiver et de mi-saison

enjeu : offrir des espaces de pause ensoleillés et protégés des vents froids d'hiver
 vent froid d'hiver

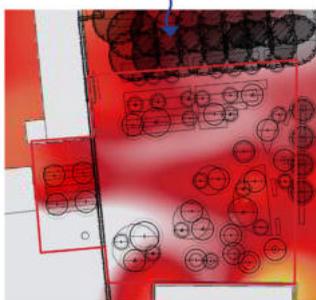
Confort d'été

enjeu : offrir des espaces de pause ombragés et ventilés
 vent rafraichissant d'été
 espace de pause potentiellement inconfortable : exposé au soleil
 espace de pause confortable : majoritairement ombragé et bien ventilé

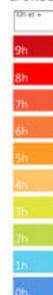
hiver : 21 décembre



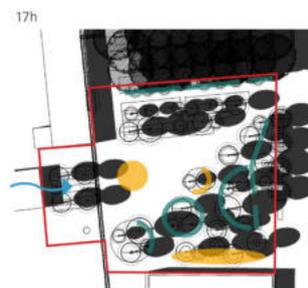
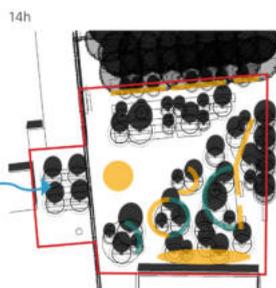
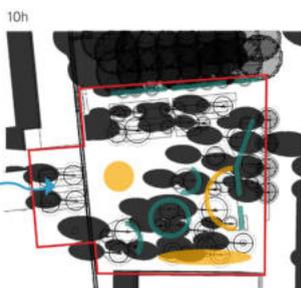
mi-saison : 21 mars



Nombre d'heures d'ensoleillement



été : 21 juin



12# ADAPTER LE VÉGÉTAL AU VENT ET À L'ESPACE URBAIN

Une végétation protectrice

Les arbres en ville agissent comme une barrière semi-perméable dynamique dont les caractéristiques varient selon la vitesse du vent.

Une barrière végétale qui protège

La végétation (haies et arbres) protège du vent de 2 façons :

- En créant une zone de protection à l'opposé de la direction du vent, estimée à 2,4 fois la hauteur de l'arbre par Ren et al. (2023).
- En réduisant la vitesse du vent à l'opposé de la direction du vent, jusqu'à 7 fois la hauteur de l'arbre d'après Ren et al. (2023).

Une barrière végétale qui perturbe

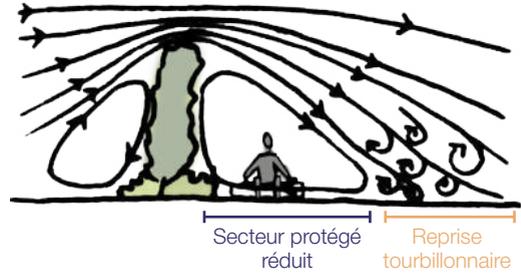
Bien que le caractère semi-perméable du végétal perturbe moins les vents comparé à une barrière complètement imperméable, cela n'empêche pas tout à fait les effets de vents. En effet, la présence du végétal accélère la vitesse de vent au-dessus et sur les côtés et peut créer des zones de turbulences*.

Une barrière végétale dynamique

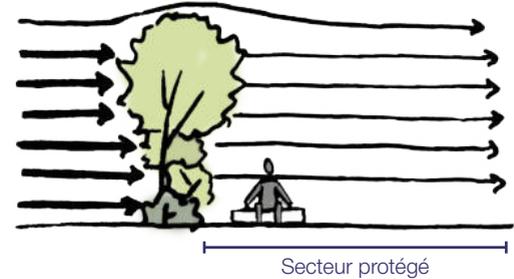
Le vent peut être dangereux pour la végétation, comme détaillé dans le chapitre suivant. Celle-ci cherche alors à s'en protéger. Dès 5 m/s le vent fait bouger les feuilles qui à leur tour interagissent avec le vent, ce qui rend les analyses complexes. Le végétal aura tendance à minimiser la force de compression du vent et favorisera les branches allant dans le sens du vent. La conséquence la plus marquante de ce phénomène est le développement d'**arbres drapeaux**, qui ne possèdent plus que des branches allant dans le sens du vent.

Plus la vitesse de vent est élevée dans une région, plus les arbres sont poreux, diminuant ainsi leur efficacité à protéger le piéton des vents (Ren et al. 2023).

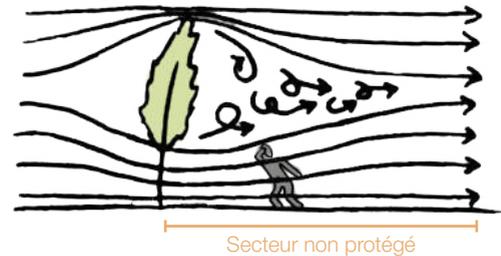
Brise-vent imperméable



Brise-vent semi-perméable



Brise-vent hétérogène



Schématisation de l'effet brise-vent
Dessin : TRIBU (d'après © Permaculture Design)

Des caractéristiques influençant la capacité de protection

Plusieurs facteurs font varier la capacité des aménagements paysagers à protéger du vent : leur forme, leur densité, leur porosité*, ainsi que leur nombre et position.

Du point de vue des espèces, ces facteurs sont la taille de l'arbre et sa densité foliaire. Un arbre tige ne protégera pas une strate basse.

De manière générale, un arbre seul n'est pas suffisant pour protéger des vents, c'est l'accumulation d'éléments végétaux qui permet de protéger les piétons et d'assurer la survie des plantations qui se protègent entre elles.

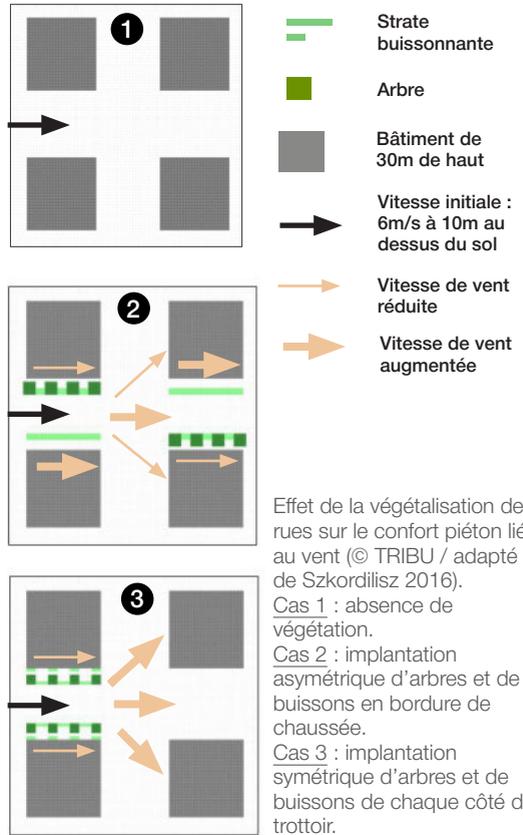
Un positionnement à optimiser au regard du plan masse

En fonction des strates et de la disposition de la végétation dans les rues, le vent ne se comportera pas de la même façon.

Szkordilisz (2016), à l'aide d'un modèle numérique sur Envimet, montre qu'avec une vitesse de vent initiale de 6m/s, la présence de végétation (arbres et buissons) réduit la vitesse maximale du vent sur l'ensemble de la rue de 0.5 à 1m/s (voir schéma ci-contre).

Plus précisément, du point de vue du piéton, il a été observé que :

- Une rue sans végétation va être soumise à des vitesses de vent plus élevées (Cas n°1);
- Le positionnement le plus confortable pour les piétons est l'implantation d'une strate buissonnante positionnée de part et d'autre du trottoir, et d'une strate haute du côté de la chaussée (Cas n°3). Cette configuration permet d'atteindre une réduction de la vitesse du vent de 2m/s.
- La réduction de la vitesse du vent permise par la végétation, peut également s'accompagner d'effets de vents indésirables et de légères accélérations en aval.



Utiliser la végétation pour protéger les piétons des vents forts :

- Planter en groupe pour assurer une meilleure protection des piétons et la survie des plantations.
- Végétaliser les rues pour ralentir les vitesses de vent.
- Privilégier la combinaison d'une strate haute et d'une strate buissonnante, positionnée de part et d'autre des trottoirs, pour optimiser le confort piéton.

Réfléchir l'implantation végétale à une échelle de projet cohérente, de manière à bien prendre en compte les effets de vent dans leur ensemble, notamment à l'amont et à l'aval des secteurs traités.

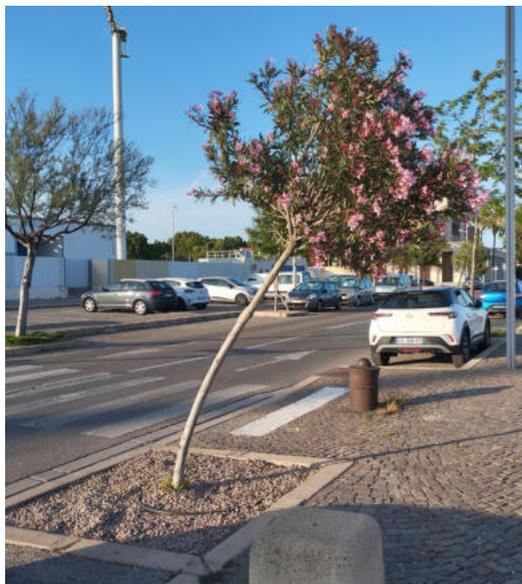
Quels risques pour la végétation ?

Lorsque tout va bien, le vent favorise les échanges gazeux entre l'arbre et son environnement ce qui améliore la photosynthèse, il permet également à certaines espèces de se reproduire ou de disperser leur pollen (espèces anémogames ou anémophiles).

Cependant, le vent peut rendre à lui seul certains écosystèmes invivables pour la plupart des espèces. Dans les lieux très venteux, la végétation est rare et les plantes qui s'y développent sont basses.

Ainsi, il ne faut pas s'attendre à ce qu'un arbre, peu importe son essence, puisse, seul, se développer à sa hauteur maximale, dans une situation très ventée.

La végétation s'adapte aux conditions dans lesquelles elle grandit. Un arbre grandissant dans des conditions venteuses aura tendance à se développer plus en largeur qu'en hauteur et aura donc une forme différente de celle d'un individu de la même espèce n'ayant pas grandi dans des conditions venteuses (Gardiner et al., 2016).



Photographie d'un arbre à Martigues par temps de Mistral © TRIBU

Dès 5m/s: Des conditions de vie plus difficiles

Même à des vitesses faibles à moyennes, le vent a des effets dommageables, en particulier dans les climats chauds et proches de la mer comme Marseille. En effet le vent a un effet asséchant, voir abrasif, car il transporte les sels marins. Il favorise également les chocs des branches entre elles et avec leur entourage, ce qui, à terme, peut entraîner des blessures et augmenter le risque d'infection déjà très important en ville.

Le vent peut également favoriser l'érosion du sol, voir dénuder les racines des végétaux, diminuant leur capacité d'absorption et les rendant plus vulnérables.

Dès 13m/s : Un risque d'arrachage et de déracinement

À ces vitesses, le risque d'arrachage (rupture de l'arbre) en surface de tout ou partie de l'arbre menace le végétal, et les usagers. Les grands arbres matures, ayant de nombreuses blessures ou infections sur le tronc ou les racines, sont plus sensibles à ce risque.

Les facteurs de risque de déracinement sont les mêmes que pour l'arrachage avec, en plus, **un enjeu important de la qualité de la fosse de plantation.** Lorsque les racines sont restreintes dans leur développement vertical ou horizontal ou que le sol est de mauvaise qualité sur le plan physique ou chimique (sol compact, ou avec un taux d'humidité, d'oxygène ou de nutriments faible) alors le risque de déracinement augmente.

• **Un peu de vocabulaire** •••••
 • Les adaptations morphologiques liées au vent •
 • sont appelées anémomorphismes. •
 •••••

Quelles espèces planter en milieu méditerranéen ?

Les espèces locales sont généralement les mieux adaptées aux conditions du site. Sur le périmètre d'Euroméditerranée, l'outil Sésame 13 permet de choisir des espèces adaptées au climat local actuel et futur et qualifie la capacité des essences à résister aux vents, selon 3 catégories : intolérant, tolérant, adapté.



Strate arborée :

- **Cupressus sempervirens,**
- **Pistacia lentiscus L.,**
- **Acer monspessulanum,**
- **Populus nigra L.**



Pistacia lentiscus L.



Acer monspessulanum

Strate arbustive :

- **Rosmarinus officinalis L.**
- **Agonis flexuosa Sweet,**
- **Ceratonia siliqua,**
- **Juniperus phoenicea,**
- **Myrtus communis L.,**
- **Punica granatum.**



Rosmarinus officinalis L.



Myrtus communis L.

Strate basse :

Dans des conditions venteuses, on observe que la strate basse adopte un port en boule ou en coussin.

- **Euphorbe;**
- **Lavande;**
- **Cistes.**



Punica granatum



Cistus x purpureus

Liste non exhaustive d'espèces recommandées par Sésame 13 et TRIBU.

Au-delà de l'essence

L'espèce ne fait pas tout, lorsque les conditions sont vraiment difficiles ou que l'on souhaite favoriser la diversité des espèces, d'autres facteurs peuvent améliorer la résilience de l'individu.

Planter dans des espaces généreux qui laissent le système racinaire évoluer librement.

Planter jeune, laisser les arbres s'habituer et s'enraciner correctement dans le sol.

Planter groupé, pour que les arbres et les autres strates végétales se protègent les unes des autres.

Arroser raisonnablement pour limiter l'assèchement de l'arbre et la sécheresse du sol qui sera moins résistant aux forces de traction.

Ne pas biberonner l'arbre (pas de goutte-à-goutte) pour qu'il puisse créer des racines profondes.

Attention : lorsque les individus qui subissent le plus la pression du vent meurent, les autres, qui étaient auparavant protégés, sont d'autant plus sensibles aux effets du vent.

Lorsque les conditions sont trop difficiles ou qu'un individu est vieillissant, un système d'haubanage souple (cordes de fixation) peut être envisagé sans pour autant empêcher l'arbre de bouger. Cette solution empêchera cependant l'individu de s'adapter, il ne pourra donc plus s'en passer.

Les autres avantages de l'arbre

Pour le microclimat urbain...

En plus de protéger du vent, l'arbre apporte de nombreux avantages du point de vue du confort urbain. Perini et al. (2018) résument ainsi les bénéfices des arbres pour le confort piéton des espaces publics en journée :

- La présence d'arbres permet d'améliorer le confort thermique en réduisant la température radiative et la température de l'air. L'humidité relative est à l'inverse augmentée.
- En apportant de l'ombre, les arbres limitent l'accumulation de chaleur par les revêtements ce qui limite l'effet d'îlot de chaleur urbain*.
- Cependant les arbres réduisent également la vitesse des vents: ils peuvent donc, dans les rues étroites, réduire la diffusion de la chaleur la nuit (rapport hauteur du bâti sur largeur de la rue >2) en empêchant les vents de dissiper la chaleur.

...Et toujours plus d'avantages

Au-delà du climat urbain, la végétation fournit de nombreux autres services écosystémiques

- Support de biodiversité;
- Régulation de la qualité de l'air;
- Services paysagers;
- Apport de nourriture;
- Séquestration carbone;
- Gestion durable des eaux pluviales, etc.

À condition que les espèces soient adaptées

Toutes les espèces n'ont pas la même capacité de fourniture de services écosystémiques*. Sauf enjeu particulier sur ce service, une palette végétale variée est le meilleur moyen de maximiser les bénéfices de la végétation. Ainsi, **le principal critère de sélection des espèces d'une palette végétale est donc le fait que les espèces soient adaptées**. Adaptées au climat, à la quantité de lumière, à la pluviométrie, au type de sol et à la quantité de nutriments qu'il contient, aux agressions du milieu (pollution, voitures, maladie).



Le principal outil d'adaptation aux changements climatiques est la diversité :

- Diversité de strates
- Diversité d'espèces
- Diversité génétique

La diversité augmente la résilience de l'ensemble des aménagements paysagers, elle assure la survie d'au moins une partie des végétaux en cas d'événements extrêmes, d'apparition de ravageurs ou de maladie.

• La diversité génétique •••••

• La diversité génétique correspond à la • diversité des gènes au sein d'une même • espèce. Elle assure l'adaptabilité des • espèces aux changements et aux menaces • (maladies, parasites, prédateurs, changements • climatiques, destruction • d'habitat, pollution). • Ainsi, elle est essentielle • à la survie d'une espèce. • **Le label Végétal Local assure une diversité • génétique des individus.**



Extrait d'une analyse de cohérence entre la résilience des espèces et l'inhospitalité des milieux sur le projet de piétonnisation du centre-ville d'Annemasse en phase Projet. © TRIBU

Conditions de plantation



- Milieu plutôt accueillant
- Milieu difficile
- Milieu très difficile

Capacité de résilience des essences



- Forte résilience
- Résilience moyenne
- Faible résilience

Le tableau ci-dessous évalue si les milieux sont plus ou moins favorables à la résilience des espèces, au regard de six critères.

- Milieu très difficile
- Milieu difficile
- Milieu plutôt accueillant

	Rayonnement direct (Ombrage de la rue, Extrême Sud des rues)	Rayonnement indirect (rues canyon)	Exposition aux vents desséchants d'été (venant du Nord Est)	Fosses continues généreuses, pleine terre	Eaux pluviales captées pour les fosses	Intensité d'usages (risques de dégradations)
Place Deffaugt (entrée rue du commerce)						
Place Deffaugt (Tram)						
Place Deffaugt (Est)						
Place Deffaugt (Nord)						
Rue du Chablais (entrée Nord)						
Rue du Chablais (entrée Sud)						
Rue du Chablais (trottoir Est)						
Rue de Chablais (trottoir Ouest)						
Rue du Commerce (entrée nord)						
Rue du Commerce (entrée Sud)						
Rue du Commerce						

13# ADAPTER LE MOBILIER URBAIN POUR SE PROTÉGER OU BÉNÉFICIER DU VENT

Une question de plan masse avant-tout : adapter le placement à la forme urbaine et aux usages

La connaissance du vent et de l'ensoleillement sur un espace public permet de choisir et de placer le mobilier urbain de manière à optimiser le confort. **Cette réflexion doit de préférence être intégrée dès la conception d'un espace public.** Cela permet de réfléchir en amont aux usages prévus.

Dans une ville ventée comme Marseille, **il est nécessaire d'identifier les zones de confort et d'inconfort liées au vent** (zones d'accélération et de turbulences*), selon les typologies bâties, la conception paysagère envisagées et la saison. Cela peut être évalué empiriquement grâce au plan masse (📄 Fiches 11 & 12) ou **de préférence grâce à une simulation aéraulique** (📄 Fiche 2).

Les zones identifiées doivent être analysées au regard de la programmation et des usages envisagés dans les différents espaces. Elles peuvent être hiérarchisées de la sorte :

- les zones les plus calmes permettent d'accueillir des usages statiques (assises, tables, terrasses...),
- les zones soumises à des vents un peu plus forts peuvent être destinées à des usages actifs (agrès sportifs, aires de jeux...).
- les zones les plus exposées aux vents forts et accueillant des usages doivent être protégées grâce à la végétation ou à des brise-vents.

Identifier les zones de confort et d'inconfort liées au vent au regard des usages, puis :

- Placer le mobilier de repos dans les zones les plus calmes ;
- Protéger les abris de bus et de tramway des vents forts grâce à des brise-vents poreux ;
- Reprogrammer les usages si besoin.

Quelles caractéristiques pour un brise-vent ?

Un brise-vent est principalement caractérisé par sa hauteur et sa porosité. **Tout comme la végétation, les brise-vent et garde-corps doivent être perméables** afin de freiner le vent sur une grande distance sans générer d'effets de vent indésirables.

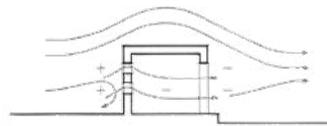
Choisir des brise-vent :

- perméables : porosité entre 25% et 30%,
- résistants aux vents forts.

La longueur de la zone protégée est environ égale à 10 fois la hauteur du brise-vent : un brise-vent de 2m de haut peut protéger sur une distance de 20m.

Vers du mobilier bioclimatique ?

Le mobilier urbain peut être conçu de manière à favoriser le confort estival (ombrage et circulation du vent) ou le confort hivernal (ensoleillement et ralentissement des vents forts). C'est le cas notamment de l'abri, présentée ci-dessous, conçue par le bureau d'étude Freio.



© Hassan Fathy

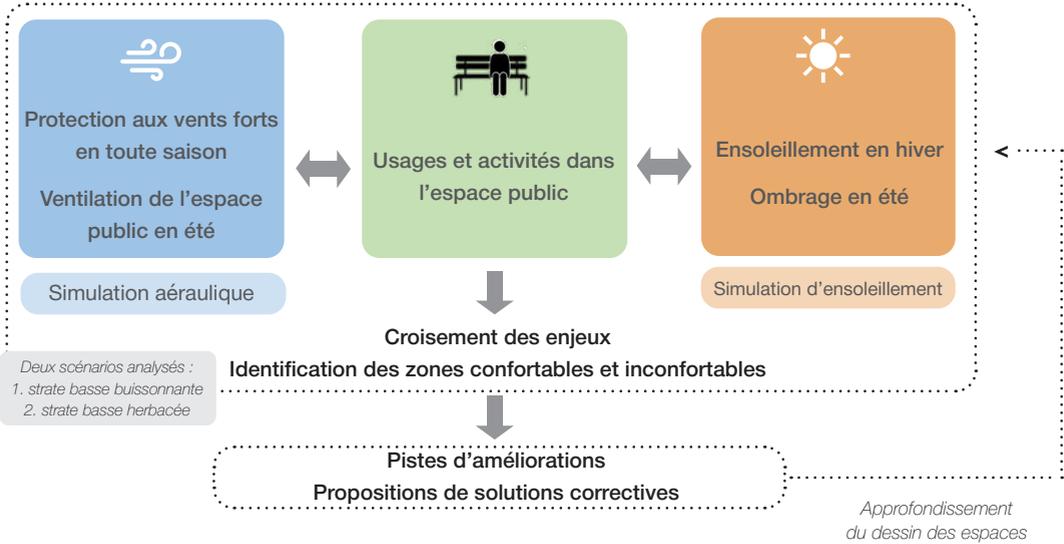


© Freio

L'abri permet d'améliorer le confort thermique estival en créant un effet venturi grâce aux petites ouvertures de la façade orientée face au vent.

Un exemple d'étude : l'aménagement de la place Grandclément à Villeurbanne - Confort en hiver

Méthodologie : Analyse croisée du confort piéton au regard du vent et de l'ensoleillement

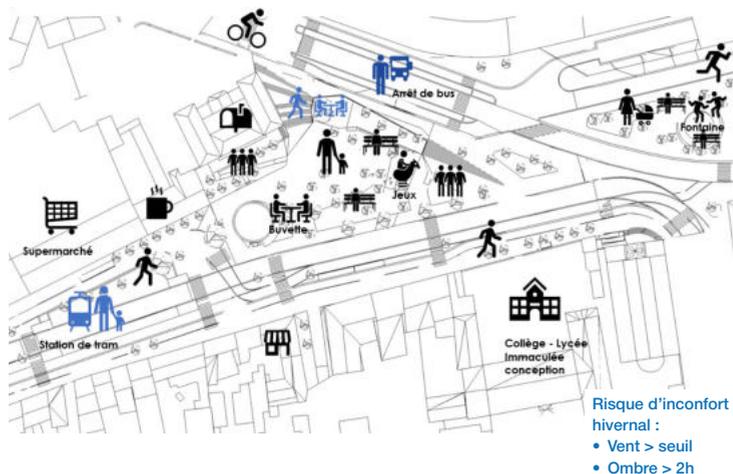


Analyse du projet en phase Avant-Projet (AVP) et propositions d'amélioration

Analyse globale du confort en hiver sur le projet Grandclément à Villeurbanne © TRIBU

Les études d'ensoleillement et les simulations aérauliques ont permis d'identifier des espaces inconfortables en hiver, au regard des usages futurs de la place.

Des points d'attention devront être mis sur les espaces d'attente tramway et bus. Les abris devront créer des écrans protecteurs. La terrasse au nord, donnant sur le cours Tolstoï, est exposée aux vents du nord. Des garde-corps avec une porosité d'environ 30% devront être installés pour freiner le vent.



Éclairer l'espace public et donner accès à l'électricité

Des micro-éoliennes développées pour résister aux épisodes de vent extrêmes

Des éoliennes démonstratrices ont été installées par l'entreprise IceWind à Reykjavik en Islande sur un abribus afin d'alimenter en énergie les équipements électriques (chargeurs de portables, lumières et WIFI). Ce projet démonstrateur a permis de développer des éoliennes spécialement conçues pour résister à des conditions météorologiques extrêmes (tempêtes).

Des éoliennes pour charger les véhicules électriques

Les éoliennes peuvent aussi être utilisées pour recharger des véhicules électriques. À Barcelone, en Espagne, la première station de recharge de véhicules électriques alimentée par une éolienne a été installée en 2012. L'éolienne Sanya Skypump est d'une puissance de 4 kW. Lorsque la station de recharge n'est pas utilisée, l'électricité produite est transmise sur le réseau.

Des lampadaires fonctionnant grâce à l'énergie du soleil et du vent

Plusieurs entreprises proposent des lampadaires fonctionnant grâce à l'énergie du soleil et du vent. L'entreprise V-AIR a fait le choix de combiner un panneau photovoltaïque, une micro-éolienne et un stockage électrostatique pour assurer l'autonomie énergétique de ses lampadaires. L'éolienne a l'avantage de fonctionner à partir de vitesses de vent de 1,5m/s. Le capteur intelligent intégré au dispositif permet un suivi et un contrôle à distance du lampadaire.



Projet démonstrateur de la start-up islandaise IceWind (ci-dessus) qui a permis de développer des micro-éoliennes compactes et robustes face aux vents forts (ci-dessous) © IceWind



15# SCÉNOGRAPHER L'ESPACE URBAIN : LE VENT COMME RESSOURCE SONORE ET ARTISTIQUE

Sculptures sonores

Les sculptures sonores sont des œuvres d'art dont le but est de produire du son, en utilisant l'action du vent, de l'eau ou du spectateur.



Aeolus – Acoustic Wind Pavilion

Cette structure créée par Luke Jerram est une harpe éolienne géante, un instrument composé de 310 tubes en acier poli dont le principe est de canaliser à la fois la lumière et le vent pour créer une expérience sonore en constante évolution. Elle est actuellement exposée dans le quartier Canary Wharf à Londres. © Luke Jerram

Sculptures cinétiques

Les sculptures cinétiques sont des œuvres d'art qui possèdent des parties mobiles. Elles peuvent être mises en mouvement par le vent, le soleil, un moteur ou un spectateur.



Sky Dance

Sculpture cinétique créée par Gary Boulton, qui tourne au rythme du vent dans des sens de rotation opposés. © Gary Boulton

Espaces ludiques

Des espaces ludiques tels que des aires de jeux pour enfants peuvent mettre en avant les divers usages du vent dans notre société (moulin pour pomper l'eau des jeux, éolienne tournant au gré du vent,...).



Aire de jeux en pâles d'éoliennes recyclées

Dans plusieurs villes des Pays-Bas, l'entreprise Blade-Made a utilisé d'anciennes pâles d'éoliennes pour créer des jeux pour enfants. Photo: Frank Hanswijk © 2025



Air Prism No. 1

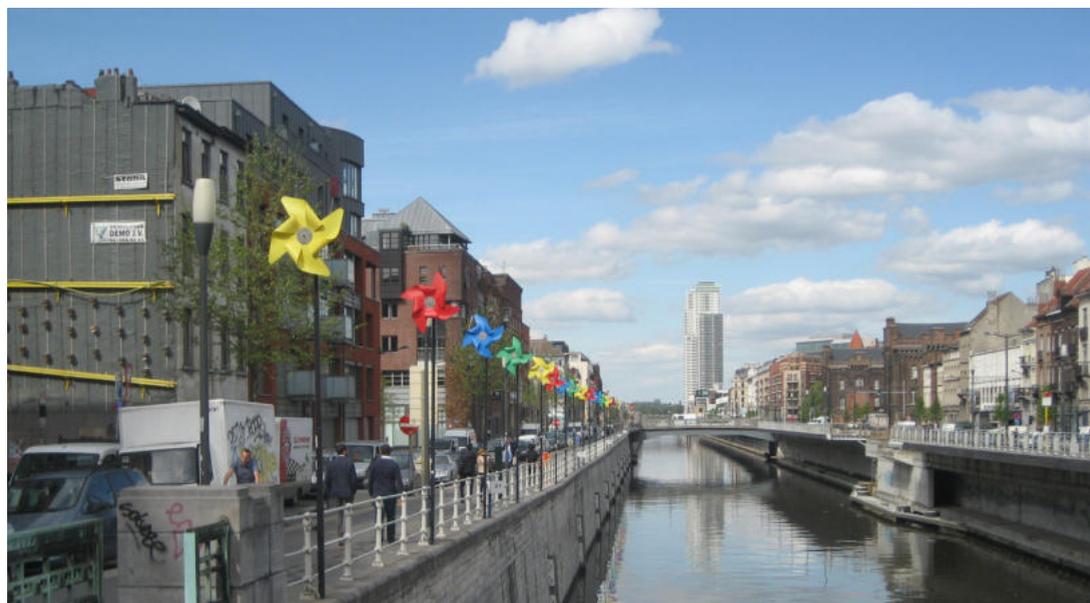
Cette oeuvre sonore a été réalisée par l'artiste Peter van Haaften. Elle a été inaugurée au Festival International de Musique Actuelle de Victoriaville au Québec. Son fonctionnement est similaire à celui d'une harpe éolienne : un instrument de musique très populaire à la fin du XVIIIème siècle, dont les cordes vibrent grâce au vent. La hauteur du son dépend de la vitesse du vent et de la grosseur des cordes, le son qui en résulte est très riche et imprévisible.

© Peter van Haaften



Coquelicots volants

Cette scénographie éphémère fut installée à Marseille lors de la 34ème édition du Festival de la Fête du Vent en 2019. Oeuvre de Alain Micquiaux. © Michel Cetri



Moulins à vent de Molenbeek

Cet alignement de 130 moulins à vent colorés a été installé en 2005 par la Maison des cultures sur le Quai des Charbonnages à Molenbeek-Saint-Jean (Belgique). Leur présence évoque l'étymologie flamande du nom de la commune (molen = moulin et beek = rivière). © TRIBU

Espace public

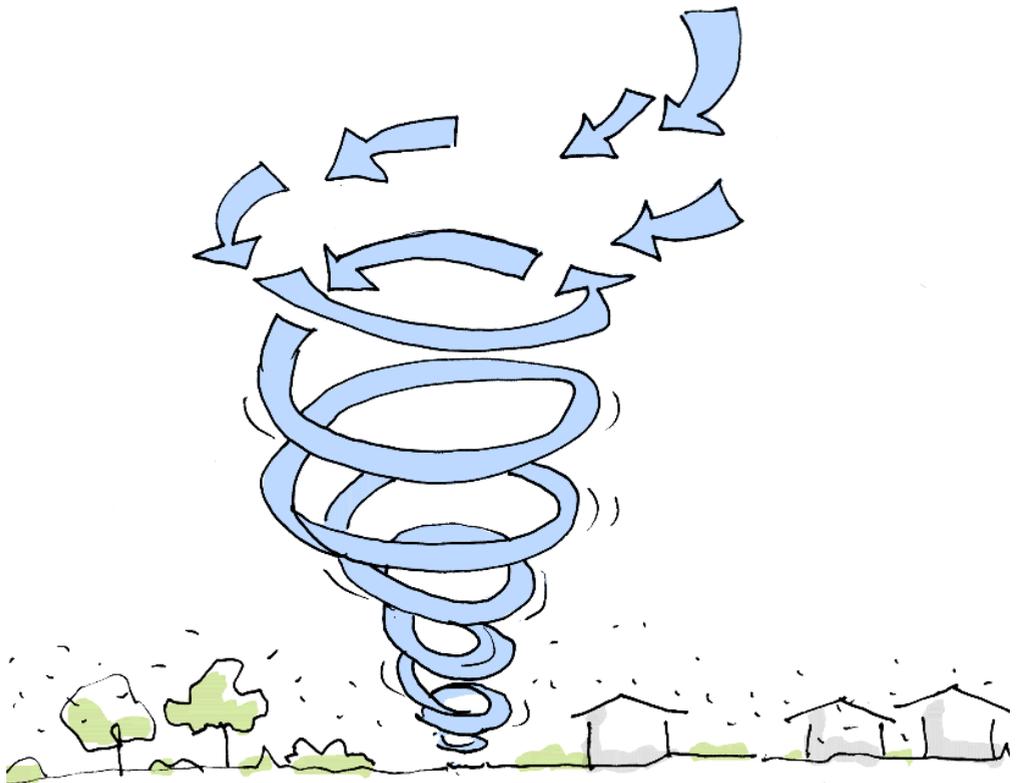


LE MOT DE LA FIN

Qu'il soit froid et fort tel le Mistral, léger et régulier telles les Brises thermiques, inconstant tel le vent du Sud-Est ou plus inattendu tel le Sirocco, le vent façonne la ville par ses multiples variations.

À travers ce guide, nous avons semé à tout vent des questions, des méthodes, des pistes de réflexions, des recommandations, pour une meilleure prise en compte du vent dans la conception de la ville.

Nous souhaitons aux lecteurs d'apprécier les outils et les retours d'expérience mis à leur disposition pour hisser la voile vers des vents frais et favorables aux enjeux écologiques sur le périmètre d'intervention d'Euroméditerranée.



© TRIBU

ANNEXES

Dans le cadre d'un travail préparatoire à ce guide, TRIBU a réalisé des analyses d'îlots et de bâtiments basées sur :

- Les indicateurs définis dans la  Fiche 3 - Concevoir avec l'air, la lumière et le soleil à l'échelle de l'îlot : l'approche bioclimatique ;
- Des indicateurs spécifiques à l'échelle bâtiment, croisant les contraintes liées au vent et au soleil.

Les 6 îlots analysés sont les suivants :

- Trois Fenêtres
- Major (ZAC CIMED)
- M5 (ZAC Joliette)
- B2 (ZAC CIMED)
- CAZ04 (ZAC Littoral)
- 4C2 (ZAC Littoral)

LE VENT DANS LE PROJET : ANALYSE À L'ÉCHELLE ÎLOT ET BÂTIMENT DE PROJETS RESIDENTIELS

CONTEXTE

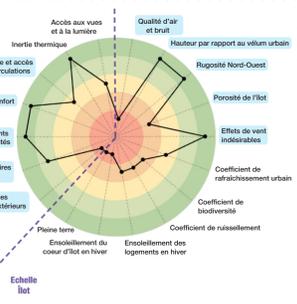
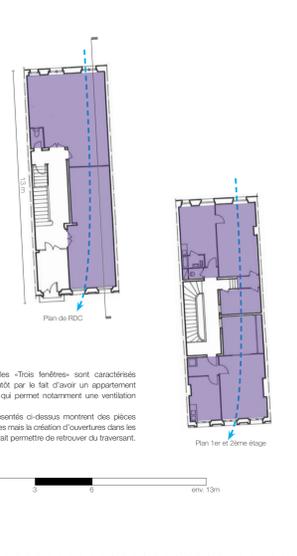
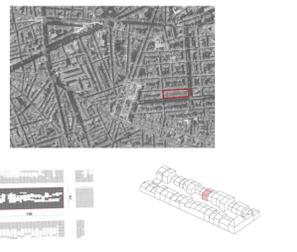
PIECES GRAPHIQUES

ANALYSE

CONCLUSIONS

ÎLOT TROIS FENÊTRES MARSEILLAIS

Quartier / Type d'opération / Date de construction
 Hors Euroméditerranée (Marseille, cinquième arrondissement) / Existant / fin 19ème siècle
 Maîtrise d'ouvrage / Maîtrise d'oeuvre
 Estimation du COS* à l'îlot / Epanelage / SDP**
 2,7 / R+2 à R+5 / 15 300 m²
 Forme urbaine
 lot fermé
 * Coefficient d'occupation des sols (permet d'évaluer la densité de l'îlot)
 ** Surface de plancher à l'îlot sauf hauteur contraînte



Echelle îlot
 Un îlot de centre-ville plutôt protégé des vents avec une hauteur similaire à celle du vélium urbain environnant. La morphologie de l'îlot (rapport hauteur bâtie/vidée) permet une cour confortable. De plus, celle-ci est végétalisée.

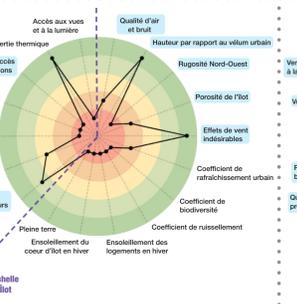
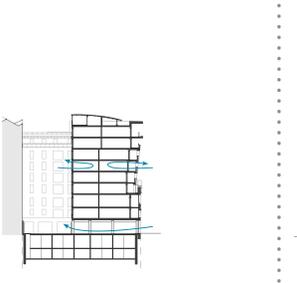
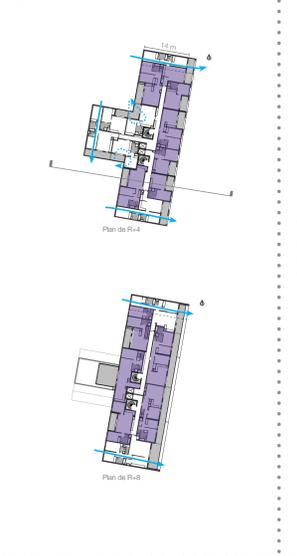
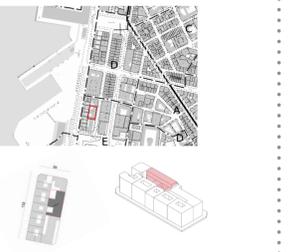
Echelle bâtiment
 Un bâtiment peu épais (14 m env) permettant l'aménagement de logements traversants bénéfiques pour maximiser la ventilation naturelle et donc le confort d'été. Par ailleurs, la hauteur sous plafond généreuse permet un bon accès à la lumière naturelle. Une attention particulière doit être portée sur l'isolation des combles afin de limiter la surchauffe en été.

Leviers d'amélioration en conception
 Sans objet

Leviers d'amélioration sur l'existant
 Conserver le système de volets persiennes pour favoriser la ventilation naturelle, isoler les combles pour limiter la surchauffe, installer des brasseurs d'air dans les logements

ÎLOT MAJOR

ZAC CIMED / Réhabilitation et extension / 2017
 Pich Promotion / Pissonnier Fernand
 5,2 / R+9 partiel / 6236 m² (SDP bâtiment étudé)
 Immeuble mixte



Echelle îlot
 Un îlot complètement fermé au vents (mais par conséquent protégé du Mistral) très dense et très minéral. La forme urbaine ne permet pas une ventilation optimale des logements et de la cour.

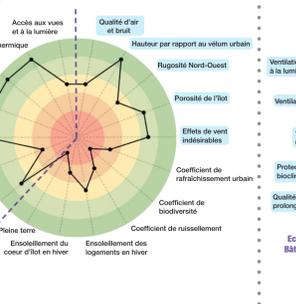
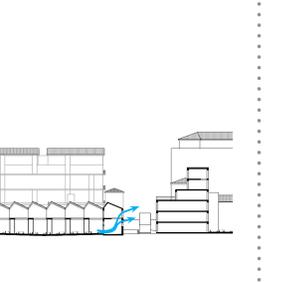
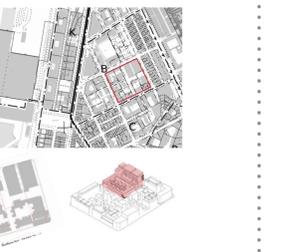
Echelle bâtiment
 Malgré une épaisseur favorable, la forme en T ne permet pas d'aménager des logements traversants. Par ailleurs, l'accès à la lumière et aux vues est peu qualitatif.

Leviers d'amélioration en conception
 Imposer un coefficient de pleine terre plus élevé et plus de logements traversants

Leviers d'amélioration sur l'existant
 Désimperméabiliser des cours et le sous-sol le permet, remplacer les volets roulants par un système d'occultation plus poreux, installer des brasseurs d'air dans les logements

ÎLOT M5

ZAC Joliette / Réhabilitation et neuf / 2007
 George V, Apollonia, OPAC Sud / R. Castro, Y. Lion et S. Derisot
 1,6 / R+1 à R+5 / 30 000 m²
 Macro-îlot aux formes variées, 4 sous-îlots, immeubles et logements intermédiaires



Echelle îlot
 Un îlot plutôt protégé du Mistral mais avec tout de même une bonne porosité* aux vents. L'îlot est également bien végétalisé même si le taux de pleine terre est inconnu. Les hauteurs de bâtiments sont limitées (R+5 maximum).

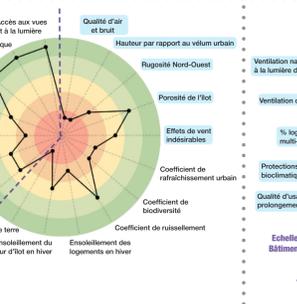
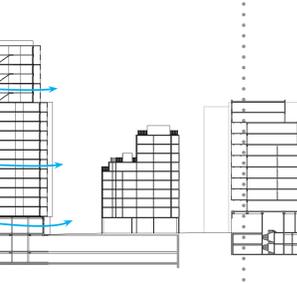
Echelle bâtiment
 Un travail assez fin sur les plans permet d'aménager beaucoup de logements en duplex et traversants avec des espaces extérieurs généreux (rez-de-jardin, terrasses) dans l'existant.

Leviers d'amélioration en conception
 Augmenter le taux de pleine terre

Leviers d'amélioration sur l'existant
 Remplacer les volets roulants par un système d'occultation plus poreux, mettre en place des dispositifs de protection solaire pour certaines terrasses

ÎLOT 2B NORD - TOUR HORIZON MÉDITERRANÉE

ZAC CIMED / Neuf / 2023
 Progerat / Philippe Gazeau Architecture Urbaine, Atelier d'Architecture Yvann Pluskwa
 4,7 / R+7 à R+17 / 12 712 m²
 Tour et plots



Echelle îlot
 Un îlot plutôt poreux, favorable au balayage par le vent mais l'émergence en R+17 augmente fortement l'exposition aux vents forts et les effets de vent indésirables. La cour d'îlot est bien végétalisée.

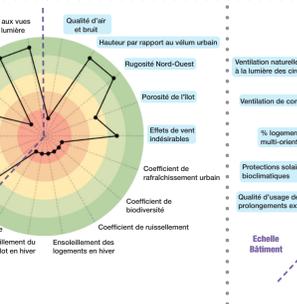
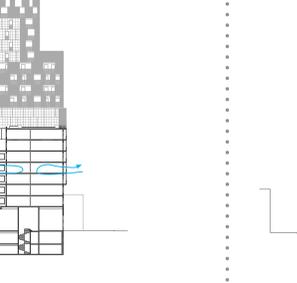
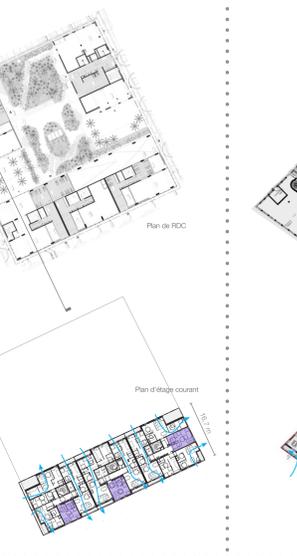
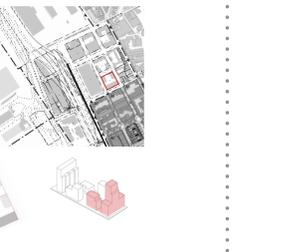
Echelle bâtiment
 2 T3 sont mono-orientés et les T1 n'ont pas d'espaces extérieurs. Ceci nuit à la qualité du logement en terme d'adaptation au changement climatique. Par ailleurs, dans les logements traversants et bi-orientés, l'aménagement n'est pas toujours optimisé pour bien faire circuler l'air (chicanes) et accéder à la lumière (cuisine en fond de séjour). Le Moucharabieh en nez de balcon pose question en termes d'efficacité pour la protection solaire et au vent. Il s'agit d'un dispositif fixe, mis en oeuvre de manière indifférenciée sur toutes les orientations (Sud-Ouest, Sud-Est et Nord-Est).

Leviers d'amélioration en conception
 Augmenter le taux de pleine terre, limiter la hauteur de bâti pour éviter les effets de vent indésirables liés aux émergences, prescrire les T3 mono-orientés, associer un espace extérieur aux T1, veiller à aménager les logements pour maximiser la circulation de l'air (positionnement des fenêtres, des portes et cloisons minuscules), favoriser une implantation de cuisine proche des fenêtres

Leviers d'amélioration sur l'existant
 Remplacer les volets roulants par un système d'occultation plus poreux, installer des brasseurs d'air dans les logements

ÎLOT 2B SUD - TOUR 2ÈME ÉLÉMENT

ZAC CIMED / Neuf / 2020
 Atelier d'Architecture Ardessa Pich Promotion / Atelier d'Architecture Yvann Pluskwa, Hereros Architects
 4,1 / R+7 à R+18 / 11 656 m²
 Tour et plots



Echelle îlot
 Un îlot plutôt poreux, favorable au balayage par le vent mais l'émergence en R+18 augmente fortement l'exposition aux vents forts et les effets de vent indésirables. La cour d'îlot est bien végétalisée.

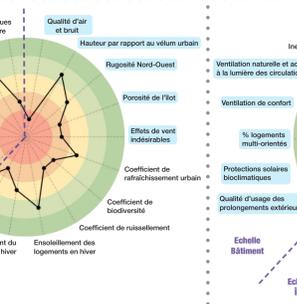
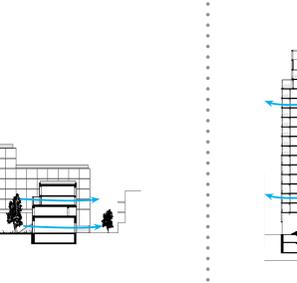
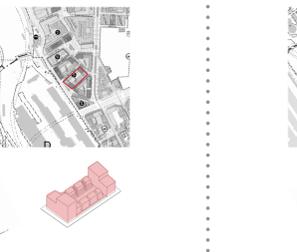
Echelle bâtiment
 Tous les logements à partir du T2 sont bi-orientés ou traversants. Presque tous les T1 sont dépourvus d'espaces extérieurs. Ceci nuit à la qualité du logement en terme d'adaptation au changement climatique. La protection des balcons avec des panneaux coulissants perforés est nécessaire mais ceux-ci sont parfois fixes et positionnés devant des balcons, ce qui nuit à l'éclairage naturel. L'efficacité de la protection par temps de Mistral est difficile à évaluer. La perméabilité de ce type de dispositif interagit également (fixations, remplacement possible, poids carbone des panneaux métalliques ?)

Leviers d'amélioration en conception
 Augmenter le taux de pleine terre, limiter la hauteur de bâti pour éviter les effets de vent indésirables liés aux émergences, associer un espace extérieur aux T1, favoriser une implantation de cuisine proche des fenêtres

Leviers d'amélioration sur l'existant
 Remplacer les volets roulants par un système d'occultation plus poreux, installer des brasseurs d'air dans les logements

ÎLOT CAZO4

ZAC Littorale / Neuf / En conception
 Newly Immobilier, Résidentiel Région Sud, Logis Méditerranée/ Hadelé le Bihan, Buzzo Sorrelli Architects
 2,2 / R+3 à R+8 / 8 900 m²
 Immeubles et logements intermédiaires



Echelle îlot
 Un îlot avec une porosité plutôt faible mais avec une ouverture face au Mistral pouvant générer des effets de vents incontrôlables. L'émergence en R+15 augmente fortement l'exposition au vent. Le cour d'îlot est bien végétalisé mais il est pas bien installé en hiver et à la mi-saison du fait des mureaux créés par le bâti.

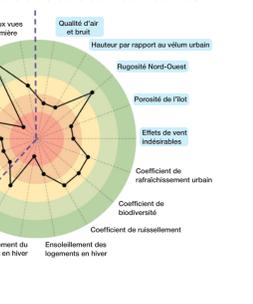
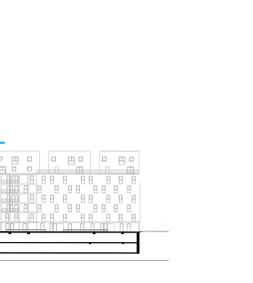
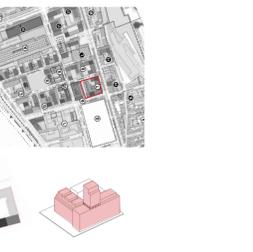
Echelle bâtiment
 Beaucoup de T2 et de T3 sont mono-orientés et les prolongements extérieurs, bien que généreux ne possèdent pas de protections solaires en façade ou ceci est défavorable pour l'adaptation au changement climatique. On observe que certains habitants ont déjà rajouté des rideaux dans leur loggia.

Leviers d'amélioration en conception
 Augmenter le taux de pleine terre, veiller à aménager les logements pour maximiser la circulation de l'air, favoriser une implantation de cuisine proche des fenêtres

Leviers d'amélioration sur l'existant
 Protéger du vent et du soleil les terrasses en toiture. Encourager les habitants à fixer des rideaux. Installer des brasseurs d'air, notamment dans les logements mono-orientés

ÎLOT 4C2

ZAC Littorale / Neuf / 2023
 Bouygues Immobilier / Rémy Marciano Architecture
 3,1 / R+7 à R+15 / 16 170 m²
 Bâtiment en équerre avec une émergence, encadrant un cour d'îlot végétalisé



Echelle îlot
 Un îlot avec une porosité plutôt faible mais avec une ouverture face au Mistral pouvant générer des effets de vents incontrôlables. L'émergence en R+15 augmente fortement l'exposition au vent. Le cour d'îlot est bien végétalisé mais il est pas bien installé en hiver et à la mi-saison du fait des mureaux créés par le bâti.

Echelle bâtiment
 Beaucoup de T2 et de T3 sont mono-orientés et les prolongements extérieurs, bien que généreux ne possèdent pas de protections solaires en façade ou ceci est défavorable pour l'adaptation au changement climatique. On observe que certains habitants ont déjà rajouté des rideaux dans leur loggia.

Leviers d'amélioration en conception
 Augmenter le taux de pleine terre, veiller à aménager les logements de manière à maximiser la circulation de l'air, favoriser une implantation de cuisine proche des fenêtres

Leviers d'amélioration sur l'existant
 Protéger du vent et du soleil les terrasses en toiture. Encourager les habitants à fixer des rideaux. Installer des brasseurs d'air, notamment dans les logements mono-orientés

GLOSSAIRE

Anémomètre

Un anémomètre est un instrument permettant de mesurer la vitesse du vent. Le plus courant est l'anémomètre à coupelles composé de trois demi-coquilles disposées sur des bras horizontaux tournant autour d'un axe verticale. Lorsque le vent souffle, il entraîne la rotation des demi-coupelles et donc de l'axe vertical. La vitesse de vent peut ensuite être déduite de la vitesse de rotation de l'axe vertical.

EPAEM

Etablissement Public d'Aménagement (EPA) Euroméditerranée.

Facteur de vue du ciel

Aussi appelé Sky View Factor (SVF), cet indicateur mesure la portion de ciel visible en un point donné. Sur un terrain plat et dégagé, le facteur de vue du ciel est maximal (SVF=1), alors qu'en milieu urbain dense il est réduit par la présence de bâtiments. Le facteur de vue du ciel donne ainsi une indication sur la morphologie urbaine - géométrie des rues et densité des bâtiments - permettant d'évaluer le niveau de confort visuel, l'accès à la lumière naturelle des espaces intérieurs et extérieurs, le potentiel de contribution à la surchauffe urbaine d'un espace urbain.

GIEC, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Organisme scientifique créé en 1988 en vue de fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques.

Îlot de chaleur urbain (ICU)

Phénomène du climat local qui se caractérise par des températures plus élevées en ville par rapport à la campagne environnante, ou à une moyenne régionale. Il est causé par le cumul de phénomènes liés à la morphologie urbaine, aux surfaces fortement minérales et aux apports de chaleur anthropique. En moyenne, l'ICU est plus intense en hiver du fait des déperditions de chauffage. En été, l'ICU est principalement marqué en fin de journée et la nuit et il est plus problématique en période de fortes chaleurs.

Modèle de confort adaptatif

La perception du confort thermique est subjective du fait du contexte environnant et des caractéristiques de chaque individu. Des études ont notamment démontré l'importance de l'adaptation d'un individu à son environnement dans le ressenti de confort, c'est ce qu'on appelle aujourd'hui l'approche de «confort adaptatif». La sensation de confort évolue notamment avec la température extérieure. À l'inverse des bâtiments climatisés, dans ceux ventilés naturellement, une température extérieure plus élevée en été prédispose les individus à une faculté d'adaptation accrue.

Modèle de Fanger

Le modèle de Fanger est basé sur deux indices de confort le PMV et le PDD. L'indice PMV (Predicted Mean Vote) prédit la valeur moyenne des votes d'un grand groupe de personnes sur l'échelle de sensation thermique. Le PDD (Predicted Percentage of Dissatisfied) prédit quantitativement le pourcentage de personnes insatisfaites, car trouvant l'ambiance thermique trop chaude ou trop froide. Ce modèle de Fanger a servi à la définition de la norme NF7730.

Nuit chaude

Une nuit chaude est définie en météorologie comme une nuit au cours de laquelle la température ne descend pas en dessous de 20°C.

Porosité

La porosité est l'état de transparence physique d'un espace. En milieu urbain, elle se caractérise notamment par des failles entre les bâtiments, des porches en rez-de-chaussée, ou d'un épannelage varié.

Rafales de vent

Une rafale de vent est une augmentation soudaine et momentanée de la force d'un vent.

RCP, « Representative Concentration Pathways » ou « Profils représentatifs d'évolution de concentration »

Scénarios à quatre profils d'évolution des concentrations des gaz à effet de serre qui ont été retenus par les experts du GIEC.

- RCP 8.5 : pas de politique de lutte contre le changement climatique (le plus pessimiste) ;
- RCP 6.0 et RCP 4.5 : scénarios intermédiaires intégrant des politiques de réduction ;
- RCP 2.6 : politique de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C.

Rugosité

La rugosité de terrain est la densité et la hauteur des obstacles présents sur le sol. Elle a un effet direct sur la vitesse et la turbulence* du vent : plus la rugosité est forte, plus le vent est décéléré et turbulent. La rugosité de terrain s'observe à l'échelle de plusieurs kilomètres autour d'un projet, dans chaque direction du vent. Plus un bâtiment est haut, plus le rayon de rugosité à observer est grand.

Surchauffe urbaine

Ensemble des phénomènes liés à la dégradation du ressenti thermique en ville en période de forte chaleur, de jour comme de nuit, à l'échelle du piéton jusqu'à l'échelle urbaine. La surchauffe urbaine renvoie à la fois à l'effet d'îlot de chaleur urbain et à l'inconfort des piétons dans les espaces urbains (rayonnement du soleil et des surfaces minérales, manque de ventilation, etc).

Température opérative

Dans le cadre d'une analyse du confort sur la base uniquement des températures, l'analyse est généralement réalisée sur la base de la température opérative permettant de prendre en compte l'équilibre entre la température de l'air et les températures des parois. Le confort est alors estimé par rapport à un nombre d'heures de dépassement d'une certaine valeur. Cette approche ne prend pas en compte les autres paramètres physiques du confort thermique ou les conditions météo extérieures.

TRACC, Trajectoire de Réchauffement de référence pour l'Adaptation au Changement Climatique

Trajectoire de réchauffement climatique adoptée par la France en 2023. Basée sur les travaux du GIEC, cette trajectoire sert de référence à toutes les actions d'adaptation menées en France et a pour objectif de faire évoluer les réglementations dans tous les secteurs (bâtiment, transport, énergie, risques naturels...) et d'accompagner l'adaptation des collectivités et de l'activité économique. La trajectoire de référence retenue prévoit une augmentation continue du réchauffement jusqu'à une stabilisation à +4°C en 2100 en France Métropolitaine.

Turbulence

La turbulence de vent désigne des variations rapides de la direction et de la vitesse du vent. Ces mouvements tourbillonnaires, voire aléatoires, sont en partie générés par la présence d'obstacles ponctuels (nombreux en milieu urbain) et la rugosité du terrain.

Vagues de chaleur

Le terme « vague de chaleur » est un terme générique qui désigne une période au cours de laquelle les températures peuvent entraîner un risque sanitaire pour la population. Il recouvre les situations suivantes : pic de chaleur, épisode persistant de chaleur, canicule, canicule extrême.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME. (2024). Diagnostic de la surchauffe urbaine : Méthodes et retours d'expérience (p. 118).
- Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Marseillaise (AGAM). (2021). La végétalisation des espaces publics du centre-ville de Marseille.
- ARENE. (2006). Éoliennes en milieu urbain—État de l'art. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/54/020/54020447.pdf
- Beck, H. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., Lutsko, N. J., Dufour, A., Zeng, Z., Jiang, X., Van Dijk, A. I. J. M., & Miralles, D. G. (2023). High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. *Scientific Data*, 10(1), 724. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02549-6>
- Bedoya-Valest et al. (2022). Observed changes in sea breezes over the Western Mediterranean basin, 1961–2020, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-6633, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-6633>.
- Bonnesoeur, V. (2020). Acclimatation des arbres forestiers au vent : De la perception du vent à ses conséquences sur la croissance et le dimensionnement des tiges. [Agroparistech]. <https://pastel.hal.science/tel-03000899>
- Bottema, M. M. (1993). Wind climate and urban geometry. Technische Universiteit Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR388789>
- Carrega, P. (s. d.). Le vent : Importance, mesures, modélisation et tribulations.
- Chaney, W. R. (2001). How Wind Affects Trees. *spring voume 10, number 1*. <https://woodlandsteward.squarespace.com/storage/past-issues/windaffe.htm>
- CNRS Ecologie & Environnement. 2021. La diversité génétique des populations de plantes et d'animaux à l'échelle mondiale : mieux la comprendre pour mieux la conserver. <https://www.inee.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/la-diversite-genetique-des-populations-de-plantes-et-danimaux-lechelle-mondiale-mieux-la>
- Confort estival dans les logements de la Métropole du Grand Paris. (s. d.).
- Court, A. (s. d.). La rose des vents segmentaire de Léon Brault (1839-1885). *La Météorologie*, 1995(NS Histoire), 118–125. <https://doi.org/10.4267/2042/52036>
- De Langre, E. (2008). Effects of Wind on Plants. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 40(1), 141–168. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.40.1.141>
- Esch, M. P. (2015). Designing the Urban Microclimate : A framework for a design-decision support tool for the dissemination of knowledge on the urban microclimate to the urban design process. *A+BE | Architecture and the Built Environment*, 6, Article 6. <https://doi.org/10.7480/abe.2015.6.905>
- Frank W. Telewski. (2016). Thigmomorphogenesis : The response of plants to mechanical perturbations. *Review n. 28 – Italus Hortus 23*. <https://www.soihs.it/ItalusHortus/Review/Review%2028/01%20Telewski.pdf>
- Gandemer J. (1978). BUILDING RESEARCH TRANSLATION: Discomfort Due to Wind Near Buildings : Aerodynamic Concepts (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment).
- Gandemer J. & Guyot A. (1976). Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti. *C.S.T.B. Science des bâtiments*.
- Gao, W., & Larjavaara, M. (2024). Wind disturbance in forests : A bibliometric analysis and systematic review. *Forest Ecology and Management*, 564, 122001. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122001>
- Gardiner, B., Berry, P., & Moulia, B. (2016). Review : Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. *Plant Science*, 245, 94–118. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.01.006>
- Givoni, B. (1978). *L'homme, l'architecture et le climat*. Éditions du Moniteur.
- GREC SUD. (2017). La mer et le littoral de Provence-Alpes-Côte d'Azur face au changement climatique. <http://www.grec-sud.fr/article-cahier/articles-du-cahier-mer-et-littoral/#.262>
- IBIS Power. (s. d.). Innovation in local solar and wind power generation. <https://www.ibispower.eu/home>
- Kastendeuch, P.-P. (2000). La mesure du vent : Conventions, instruments et données. *Revue Géographique de l'Est*, 40(3), Article 3. <https://doi.org/10.4000/rge.4093>
- Météo France. (2013). Etude d'impact météorologique de l'aménagement Euroméditerranée 2 en période de canicule.
- Météo France. (2023). Le climat en France métropolitaine. [météofrance.com. https://météofrance.com/comprendre-climat/france/le-climat-en-france-metropolitaine](https://météofrance.com/comprendre-climat/france/le-climat-en-france-metropolitaine)
- Météo France. 2024. Cyclones et changement climatique. <https://météofrance.com/le-changement-climatique/observer-le-changement-climatique/cyclones-et-changement-climatique>
- Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires. (2023). La trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC).
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2021). Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air - résumé d'orientation. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/346555/9789240035423-fre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ren, X., Zhang, G., Chen, Z., & Zhu, J. (2023). The Influence of Wind-Induced Response in Urban Trees on the Surrounding Flow Field. *Atmosphere*, 14(6), 1010. <https://doi.org/10.3390/atmos14061010>
- Szkordilisz, F. and Zöld, A. (2016). Effect of Vegetation on Wind-Comfort. *Applied Mechanics and Materials*, 824, pp.811–818. [doi:https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.824.811](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.824.811).
- Tabeaud, M. (2003). *Cartographier l'invisible. In Ile-de-France : Avis de tempête force 12* (p. 31–40). Éditions de la Sorbonne. <https://doi.org/10.4000/books.porsorbonne.30535>
- Wang, B. (2015). Les impacts de la morphologie urbaine sur le vent : Performance d'énergie éolienne à l'échelle de quartier [Energie électrique, INSA de Toulouse]. <https://theses.hal.science/tel-01245149/file/2015WANG-Bf.pdf>
- Westerberg, U. (s. d.). *Climatic Planning—Physics or Symbolism?*
- Windpower.nl. (2021). IBIS Power completes first full roof PowerNEST installation. <https://windpower.nl.com/2021/06/18/ibis-power-completes-first-full-roof-powerne-st-installation/>
- Zhou, Z., Fu, J., & Xiao, Y. (2024). Risk of wind destruction to urban trees : Prediction workflow and relative importance of influencing factors. *Sustainable Cities and Society*, 112, 105600. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105600>

• • • **Retrouvez ci-dessous le lien vers :** • • • • •



L'outil excel permettant d'approfondir certains sujets de conception.



Le poster détaillant l'analyse de sept bâtiments marseillais au regard des enjeux de conception bioclimatique.



Licence : CreativeCommons 4.0 : <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>

Directeur de la publication : Stéphane Ghio (Euroméditerranée)

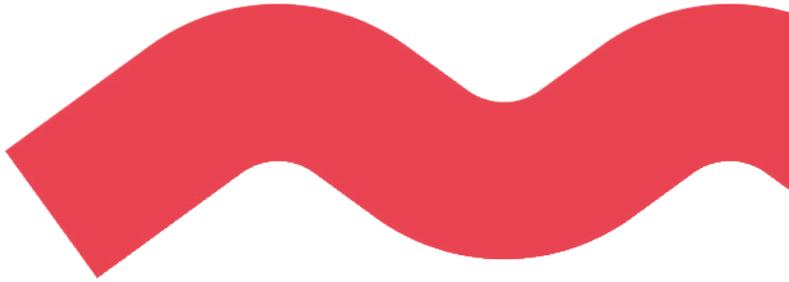
Coordination de la publication : Karine Lapray (TRIBU), Salma Khoudmi (Euroméditerranée)

Rédaction : Karine Lapray (TRIBU), Marie Breton (TRIBU), Sydney Collin (TRIBU), Marie Gabreau (POLYPTYQUE), en collaboration avec Salma Khoudmi, Charles André, Juliette Keller, Julia Borredon, Anita Leroux et Maryline Van De Voorde (Euroméditerranée)

Ont également contribué à cette publication : Jérôme Guéneau, Gilles Sensini (POLYPTYQUE), Loïc Chesnes (Atelier Franck Boutté), Hervé Gatineau (Eiffage Immobilier Méditerranée), Adrian Garcin (TAUTEM Architecture), Kristell Filotico (Kristell Filotico Architecte)

Image de couverture : Sydney Collin (TRIBU)

Date d'édition : Juillet 2025



À propos du Laboratoire Collectif d'Innovation Urbaine :

Le Laboratoire Collectif d'Innovation Urbaine vise à mutualiser les efforts de l'Etat français, la Région Sud, le Département des Bouches-du-Rhône, la Métropole Aix-Marseille-Provence, la Ville de Marseille et l'Etablissement Public d'Aménagement Euroméditerranée (EPAEM) à travers une démarche commune de partage d'informations et de compétences.

Concrètement, les partenaires travaillent ensemble sur des sujets prioritaires afin de partager leurs avancées, retours d'expérience et conseils pour permettre à des projets innovants de se développer à grande échelle.



PILOTÉ PAR EUROMÉDITERRANÉE, EN COLLABORATION AVEC LES ACTEURS PUBLICS DU TERRITOIRE

