

LE GUIDE

**VENTILATION  
NATURELLE**





# SOMMAIRE

LE GUIDE DE LA VENTILATION NATURELLE

---

AVANT-PROPOS <i>PAR JACQUES GANDEMER</i>	04
JACQUES GANDEMER & LA SOUFFLERIE EIFFEL	05
<b>01.OBJECTIFS &amp; INTRODUCTION</b>	<b>06</b>
<b>02.PRINCIPES GÉNÉRAUX</b>	<b>08</b>
<b>03.ÉTUDES &amp; PRÉCONISATIONS</b>	<b>12</b>
EN COMPLÉMENT...	17

AVANT

# PROPOS

par Jacques GANDEMER



*Les acteurs de Genatis proposent des ouvrants de façade et de toiture pour la ventilation naturelle. Ces derniers sont en interaction aérodynamique avec le bâtiment considéré, lui-même sous influence de son environnement immédiat et des caractéristiques propres des vents sur le site.*

*Le bon fonctionnement de ces solutions en ventilation naturelle dépend d'une réflexion appropriée sur :*

- Leurs dimensions
- Leur implantation
- Leur architecture aéraulique propre, mais également sur l'aéraulique interne du bâtiment.

*L'objectif est de maximiser l'efficacité de la ventilation naturelle, à l'admission et à l'extraction d'air, en toutes situations climatiques et environnementales. La performance énergétique des locaux ainsi que la qualité de l'air intérieur et le confort thermique des occupants en seront, de fait, améliorés.*

*Nous avons entrepris, en collaboration étroite avec le Laboratoire Aérodynamique Eiffel et Genatis, un travail scientifique pour le développement efficace et la mise au point technique d'ouvrants. Pour cette approche, nous avons largement eu recours à la modélisation physique en soufflerie. »*



Quelques mots sur...

## JACQUES GANDEMER



Ingénieur Aérodynamicien et Docteur en Mécanique des Fluides théoriques et Aérodynamique. Spécialiste en architecture et en urbanisme, il est sollicité dans ces domaines à l'échelle mondiale. Il a occupé à partir de 1988 le poste de chef du service Aérodynamique et Environnement Climatique au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, à Nantes. Puis de 2001 à 2007 celui de Directeur de département Climatologie, Aérodynamique, Pollution et Epuration.

Entre 1999 et 2015, il a développé une quarantaine de programmes industriels dont 17 brevets d'invention et 28 protocoles d'exploitation commerciale en application dans les domaines de l'Aéraulique industrielle, de la Thermique, de la Qualité de l'air...

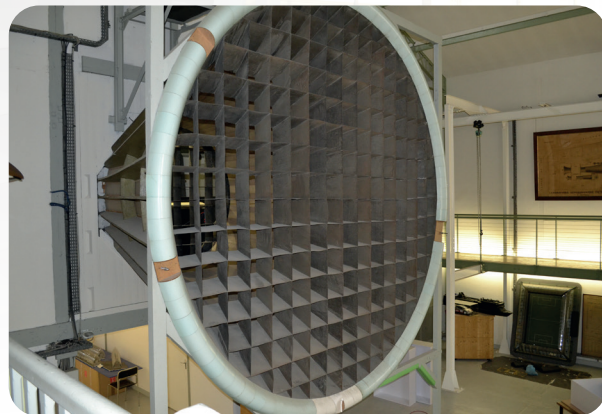
## & LA SOUFLERIE EIFFEL

Laboratoire aérodynamique EIFFEL a été conçu par Gustave Eiffel au pied de sa célèbre Tour en 1909. Il a ensuite été relocalisé en 1912 à Auteuil et est aujourd'hui classé Monument Historique.

Fort de son expérience, l'Aérodynamique Eiffel conduit des études et des essais au service de l'Ingénierie de l'Automobile, de la Construction, de l'Environnement et de l'Aéraulique. Le Laboratoire Eiffel propose depuis longtemps de nombreuses études sur la ventilation naturelle dans les bâtiments. Sa démarche s'appuie sur deux étapes clés :

Une étude théorique reprenant toutes les données et les contraintes techniques pour proposer un concept système de ventilation, les dimensionnements des entrées et sorties d'air et la définition des circuits aérauliques internes.

Une validation sur maquette en soufflerie pour optimiser l'implantation des entrées et sorties d'air en présence de vent. Des mesures de vitesses et de pressions peuvent compléter les visualisations pour une meilleure compréhension des mécanismes aérauliques. L'optimisation prend en compte l'interaction éventuelle avec l'environnement (la topographie, le bâti...).





# 01.

## OBJECTIFS & INTRODUCTION

---

LA VENTILATION A POUR OBJECTIF D'ASSURER LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR, LA DÉCHARGE THERMIQUE ET DE PARTICIPER AU CONFORT THERMIQUE D'ÉTÉ.

## QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Il s'agit d'assurer un renouvellement d'air hygiénique et de garantir une meilleure qualité de l'air intérieur et ainsi protéger la santé des occupants et du bâti.

En effet, l'air intérieur peut être 8 fois plus pollué que l'air extérieur.

En cause, une concentration importante de :

- **Polluants chimiques** : COV<sup>1</sup> ou COSV<sup>2</sup>, fumée de tabac, pesticides, monoxyde de carbone, CO<sub>2</sub> ...
- **Polluants biologiques** : moisissures, humidité, allergènes, pollens, bactéries (ex : légionelles, virus...)
- **Polluants physiques** : radon, particules fines, poussières, fibres (amiante, fibres minérales...)
- **Autres polluants** liés aux occupants et à leurs activités.

<sup>1</sup>: Composés Organiques Volatils

<sup>2</sup>: Composés Organiques Semi-Volatils



Polluants intérieurs

EN EFFET,  
L'AIR INTÉRIEUR PEUT ÊTRE **8 FOIS PLUS**  
POLLUÉ QUE L'AIR EXTÉRIEUR.

## CONFORT D'ÉTÉ

La ventilation naturelle intervient sur le confort thermique d'été et le bien-être des occupants.

D'une part, elle permet l'extraction des charges thermiques, autrement dit **la décharge thermique** :


- **Charges thermiques internes** : émises par les occupants, leurs activités et les équipements (ordinateurs, éclairages, machines...);
- **Charges thermiques externes** : dues au rayonnement solaire.

D'autre part, si une dynamique de courants d'airs naturels intérieure est atteinte, **avec une vitesse d'écoulement de 0.5 à 1.5 m/s**, et qu'elle balaie les zones d'activités et de séjours des occupants (entre les admissions et les extractions) alors **la température ressentie sera abaissée de 4 à 5°C** par rapport à la température ambiante intérieure. Alors que **le renouvellement d'air hygiénique réglementaire** en France est de l'ordre de **quelques volumes/heure** (0.5

vol/h en résidentiel, 2 à 3 vol/h pour les écoles...), des taux de renouvellement bien supérieurs sont nécessaires à la décharge thermique (8-10 vol/h) ou la ventilation pour le confort hygrothermique (8-10 vol/h avec brasseurs d'air en complément ou 30-120 vol/h en ventilation naturelle seule).

En effet, de manière générale (en fonction de l'isolation thermique, de l'activité des occupants...), **les charges thermiques sont évacuées** correctement pour des taux de renouvellement de l'air de **8 à 10 volumes/heure mini** (alors  $T^{\circ}\text{int}=T^{\circ}\text{ext}$ ).

Cependant, **au-delà de 26°C à l'extérieur**, la décharge thermique n'est pas suffisante et la température ambiante intérieure devient inconfortable (car  $T^{\circ}\text{int}=T^{\circ}\text{ext}\geq 26^{\circ}\text{C}$ ). Il est alors recommandé d'intégrer des brasseurs d'air (générateurs de vitesse de l'ordre de 1m/s) ou d'augmenter le taux de renouvellement de l'air (**de 30-120 vol/h**) afin d'assurer le confort thermique de l'occupant grâce à l'abaissement de la température ressentie.



# 02.

## PRINCIPES GÉNÉRAUX

---

- LA VENTILATION NATURELLE EST RÉGIE PAR  
DEUX PRINCIPES PHYSIQUES :
- LE TIRAGE THERMIQUE
  - LA POMPE AÉRODYNAMIQUE



## LE TIRAGE THERMIQUE

Le tirage thermique ou « **effet cheminée** » est géré par la convection naturelle. **L'air chaud moins dense que l'air frais, tend à s'élever** et à s'extraire naturellement en partie haute (via une ouverture en toiture) à condition de pouvoir bénéficier d'un débit d'air frais à l'admission équivalent au débit de l'air sortant potentiel. De plus, l'air chaud étant éventuellement vicié, **son remplacement par de l'air frais et neuf** a également un effet positif sur la qualité de l'air intérieur en permettant l'extraction de polluants. Ce mécanisme ne peut s'établir que **si la température intérieure est supérieure à la température extérieure**.

La pression dynamique du tirage thermique est directement proportionnelle à la hauteur de la colonne d'extraction d'air « **colonne cheminée** » et à la différence de température entre l'air entrant (extérieur) en partie basse et l'air extrait (intérieur) au niveau le plus haut.

Le tirage thermique n'est significatif et ne constitue un potentiel d'extraction que dans des bâtiments de grande hauteur (minimum 10m). Par ailleurs, habituellement, **la stratification** thermique en « colonne » (ex : dans une cage d'escalier) **ne dépasse pas 1°C par mètre**. Cependant, le tirage thermique ou « pompe thermique » n'est performant que transitoirement, le temps d'évacuer la surchauffe initialement stockée. **Le débit chute très vite**, car la

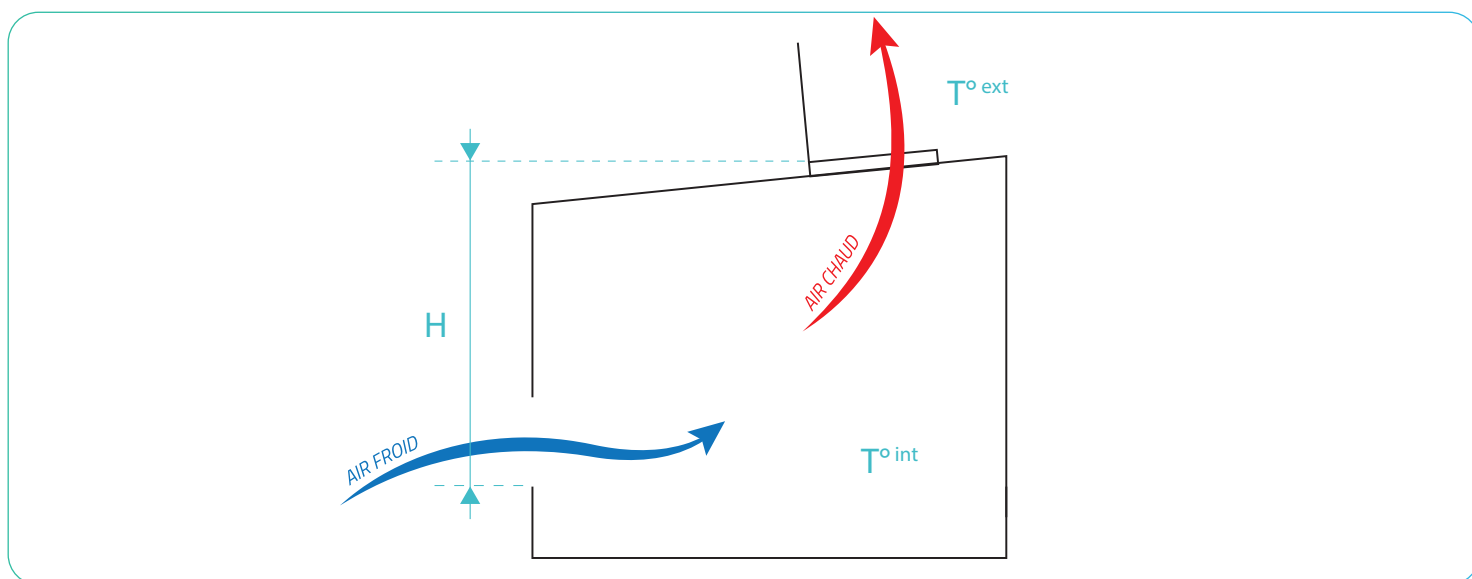
**différence** entre **la température** ambiante intérieure et la température extérieure **diminue**.

Le cas du fonctionnement en désenfumage est tout autre dans la mesure où les fumées sont chaudes (voire très chaudes) par rapport à l'extérieur, et peuvent être alimentées de manières continues par l'incendie. Dans ces conditions, le tirage thermique est puissant. C'est typiquement le fonctionnement thermique de la cheminée domestique qui, pour fonctionner et assurer la combustion (entretien de la source chaude), a besoin d'un débit d'air d'admission approprié.

Si la température intérieure du bâtiment est égale (ou inférieure) à la température extérieure, le phénomène de tirage thermique ne peut plus exister.

**En période d'été**, pour la décharge thermique complète et à plus forte raison pour le confort thermique des espaces d'activité, **une ventilation naturelle** pilotée **uniquement** par **le tirage thermique ne peut être suffisante**. En revanche, **les mécanismes aérodynamiques** naturels peuvent permettre **d'atteindre les objectifs de ventilation** attendus, sous réserve de conditions météorologiques et d'une architecture adéquates (Cf. *Pompe aérodynamique p10*).

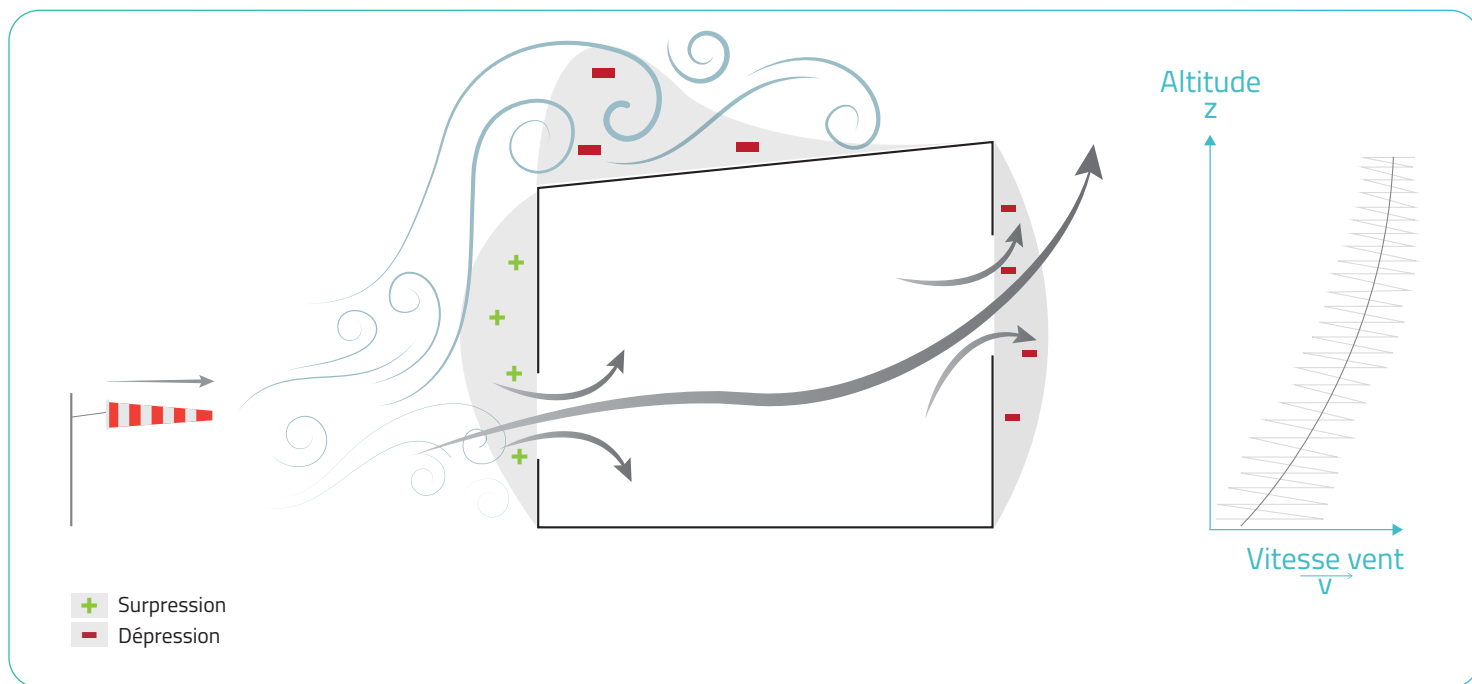
SI LA TEMPÉRATURE  
INTÉRIEURE DU BÂTIMENT  
EST ÉGALE (OU INFÉRIEURE)  
À LA TEMPÉRATURE  
EXTÉRIEURE, LE  
PHÉNOMÈNE DE TIRAGE  
THERMIQUE NE PEUT PLUS  
EXISTER.



Principe du tirage thermique

## LA POMPE AÉRODYNAMIQUE

Le vent est le moteur de la ventilation naturelle. Lorsqu'il frappe le bâtiment en le contournant par le dessus et les côtés, il développe sur les façades et la toiture des champs de pression de signes différents.



Champs de pression développés par le vent sur le bâtiment

On parle de **surpressions** lorsque nous sommes **face au vent**, et de **dépressions** au niveau **des décollements et dans le sillage**. Les ouvertures en façade et en toiture permettent de mettre en relation, par l'intérieur, des zones de pressions différentes en créant des « **écoulements d'équilibrages** » dits de ventilation.

Les **champs de pression externe** sont fonction de **l'incidence du vent**, de **la géométrie du bâtiment** et de ses proportions, ainsi que **des interactions aérodynamiques avec l'environnement** immédiat du bâtiment (effets de guidage, de masques, ...) dû à des obstacles périphériques tels que les autres bâtiments, forêts... Les écoulements de ventilation internes sont gouvernés par les champs de pression externe, mais dépendent également **des caractéristiques propres des ouvertures en façade et en toiture**. En effet, l'implantation, les dimensions, la répartition et la typologie de ces ouvrants définissent les pertes de charges qui leurs sont propres, autrement dit **leur performance aérodynamique intrinsèque**. A fortiori, l'efficacité aérodynamique en ventilation naturelle d'un ouvrant augmentera sa performance en désenfumage.

Par ailleurs, **l'architecture interne** (obstacles, cloisons, mobilier...) détermine le parcours des courants internes (direct ou indirect).

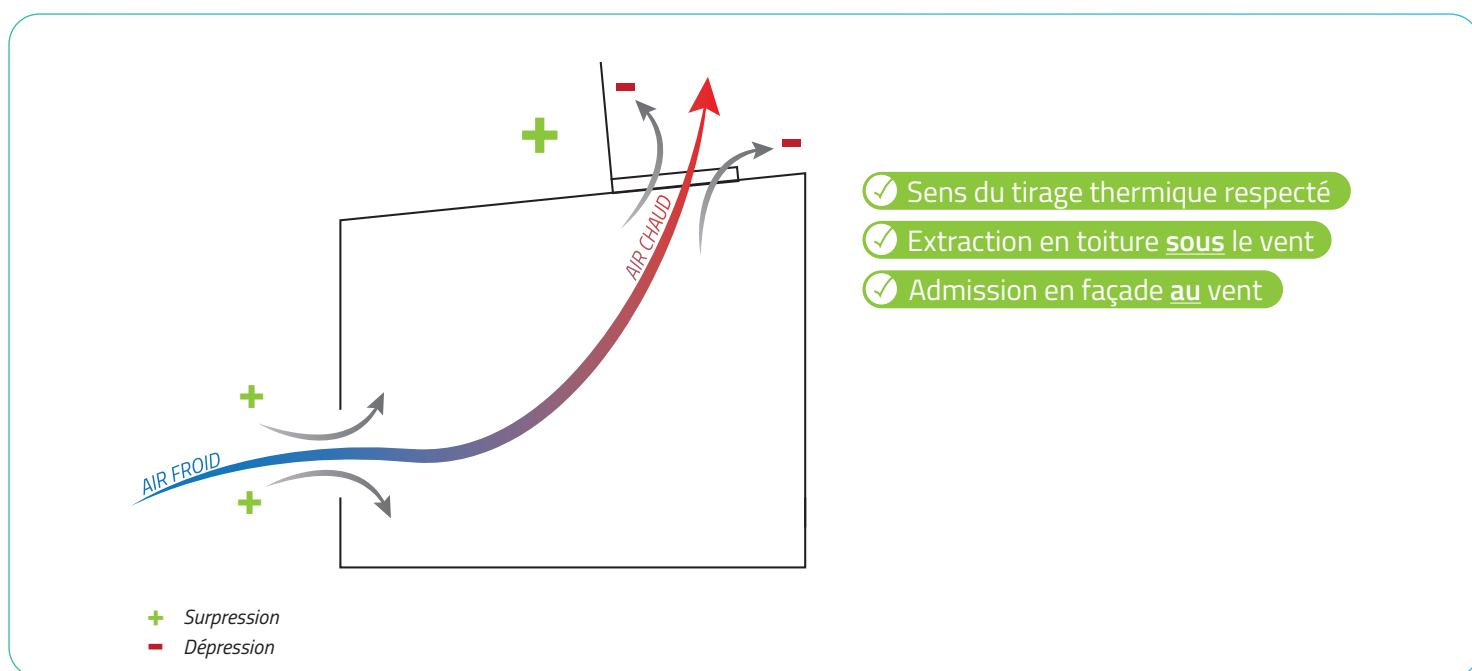
L'ensemble de ces caractéristiques gouverne le taux de renouvellement d'air et les dynamiques d'irrigation internes. **Le vent est un moteur puissant pour la ventilation mais il est par nature fluctuant et instable**. Par conséquent, les champs de pression externe induits par le vent et les écoulements d'équilibrages associés le sont également dans le temps :

- **La vitesse du vent peut fluctuer** de 50% à 150% (sur une période de 3-4 secondes) par rapport à sa valeur moyenne (calculée sur une période de 10 min);
- La vitesse moyenne augmente avec l'altitude;
- **L'incidence du vent** (c'est-à-dire sa direction) **peut osciller** instantanément de 15° à 30°;
- Les directions moyennes (sur une période de 10 min) peuvent aussi varier lentement en fonction du contexte climatique journalier général.

## CONCLUSION

Ces deux principes physiques peuvent être combinés et ainsi assurer une ventilation naturelle optimale. En effet, une orientation adéquate du bâtiment doté d'ouvrants correctement positionnés et dimensionnés permet la création d'une ventilation interne efficace. Une implantation judicieuse des ouvrants sur le bâtiment se traduit par des

admissions d'air en partie basse et des extractions via des ouvrants en partie haute, ou mieux, en toiture (zone où la dépression est toujours maximum sur un obstacle). Ainsi, des courants d'irrigation se développent et suivent la même trajectoire que le déplacement de l'air induit par le tirage thermique.



Principe du tirage thermique combiné à la pompe aérodynamique

Par ailleurs, **une ventilation naturelle performante** est directement liée à la performance aérodynamique propre des ouvertures (l'objectif est de minimiser les pertes de charges).

Les volumes d'air de renouvellement sont gouvernés par le plus petit des débits potentiels (en entrée ou en sortie). Aussi, il faut toujours privilégier l'extraction (plus stable que l'admission) et assurer **un ratio entre les surfaces d'entrée et de sortie** tel que :

$$\text{Surface utile d'extraction} \geq \text{Surface utile d'entrée d'air}$$

Rappelons que lorsque la décharge thermique est atteinte (plus de surchauffe intérieure), les températures intérieures et extérieures sont identiques. Or, pour avoir une température ressentie inférieure à la température ambiante (**jusqu'à -5°C**), il faut avoir recours à des brasseurs d'air si la vitesse de transit n'atteint pas 1m/s.



# 03.

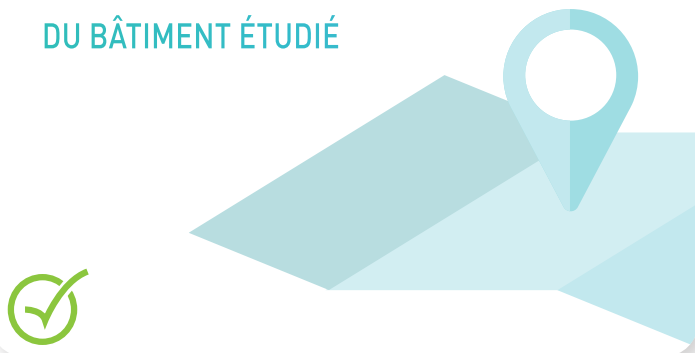
## ÉTUDES & PRÉCONISATIONS

---

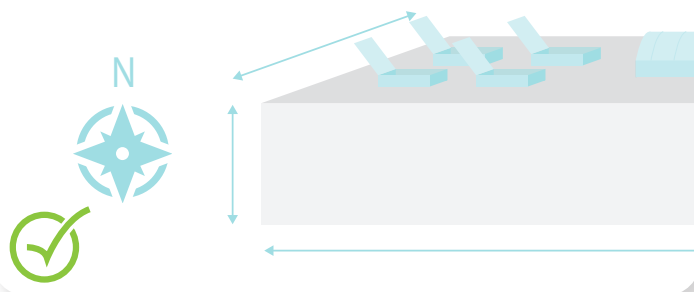
## ÉLÉMENTS NÉCESSAIRES À L'ÉTUDE D'UN PROJET

Pour étudier et dimensionner un projet, il est essentiel de prendre en compte les éléments, suivants puisqu'ils auront un impact majeur sur les performances de la ventilation naturelle :

### COORDONÉES GPS (OU ADRESSE) DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ



### ORIENTATION ET ARCHITECTURE EXTERNE DU BÂTIMENT



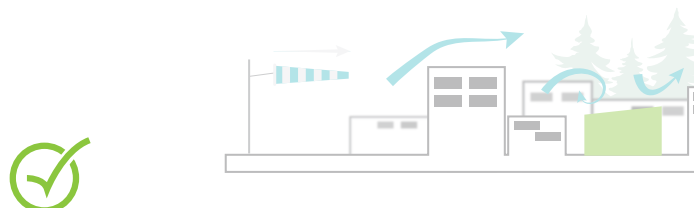
### VENTS DOMINANTS SUR LE SITE

(Vitesse et direction - statistiques annuelles ou pendant la période estivale)



### ENVIRONNEMENT BÂTI PÉRIPHÉRIQUE

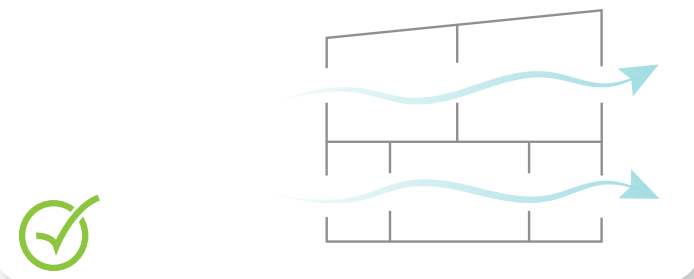
(Effet de masque, notamment dans la direction des vents dominants)



### ACTIVITÉ DU BÂTIMENT & ZONES D'OCCUPATIONS HUMAINES

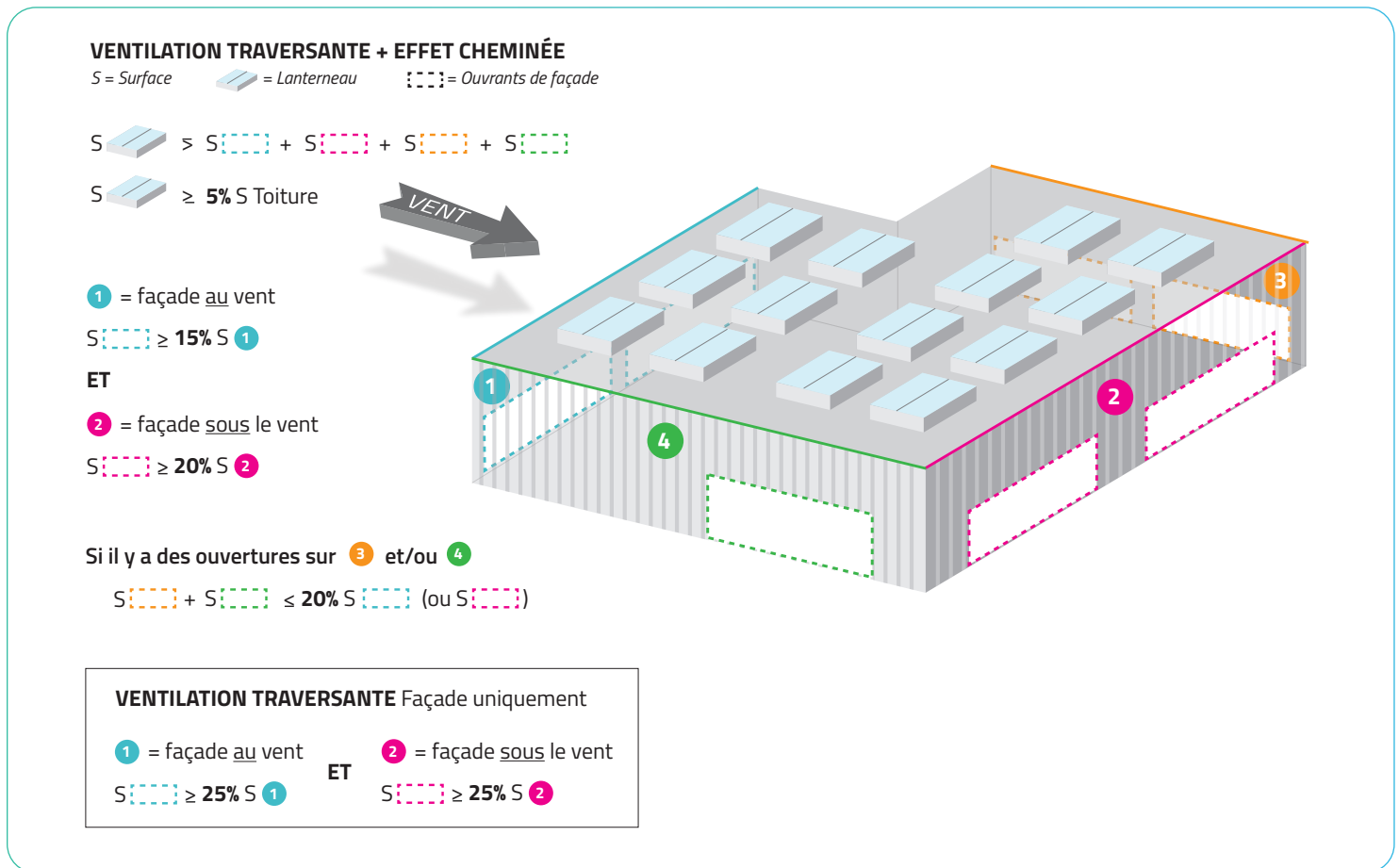


### ARCHITECTURE ET OBSTACLES AÉRAULIQUES INTERNES



Avant d'entreprendre, l'évaluation pratique des surfaces en toiture et en façade nécessaire pour un renouvellement d'air efficient, il est nécessaire d'avoir une réflexion, d'une part, sur **les vents dominants du site** et, d'autre part, sur **les interactions aérodynamiques du**

**bâtiment avec son environnement** (immédiat notamment). Après cette analyse climatique, architecturale et environnementale, il conviendra d'appliquer quelques règles pour maximiser l'efficacité de la stratégie de ventilation naturelle :



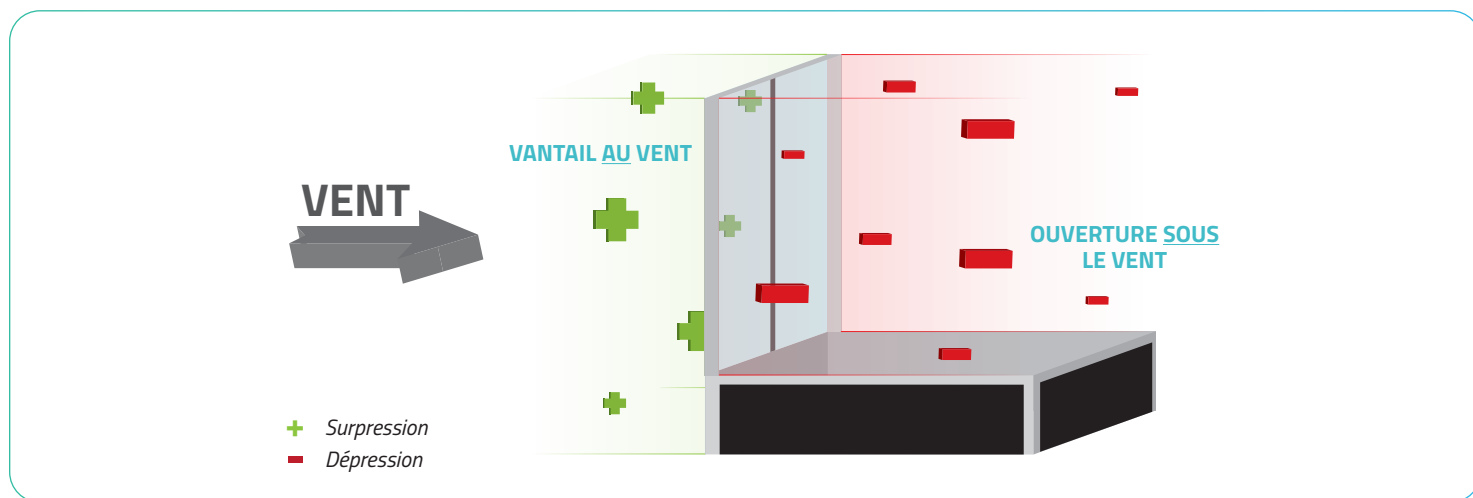
#### En façade :

- Les ouvrants de façade seront positionnés face au vent dominant. La présence d'ouvertures sur les façades **au vent** (**1** sur le schéma) et **sous le vent** (**2** sur le schéma) est primordial. Ces ouvertures peuvent être complétées par des ouvertures sur les autres façades (**3** et **4** sur le schéma);
- **Les ouvertures** seront situées sur **deux faces opposées** que sur deux faces adjacentes. L'écoulement interne sera alors plus balayant;
- **Les ouvertures sur les plus grandes surfaces** du bâtiment, plutôt qu'en pignon, seront privilégiées. Tout en pondérant le principe compte tenu de l'implantation du bâtiment dans son environnement;
- **Les ouvertures** seront, si possible, **éloignées d'au moins 5 mètres des coins du bâtiment** pour éviter des effets de court-circuit pneumatiques;

- Des cheminements aérauliques directs seront développés afin de balayer l'intérieur du bâtiment grâce à **des écoulements traversants du bas vers le haut**, en favorisant le passage sur des zones d'activités;
- En ventilation traversante (entrées et sorties en façades uniquement) : les ouvertures de la façade au vent (**1** sur le schéma) représenteront **25% au minimum de la surface de la façade**. Idem pour la façade sous le vent (**2** sur le schéma);
- En ventilation traversante avec effet cheminée (entrées d'air en façade et des sorties d'air en toiture) : les ouvertures représenteront **5% de la surface en toiture**. La surface globale des ouvertures de la façade au vent (**1** sur le schéma) devra être au moins égale à **15% de la surface de cette façade**. La surface globale des ouvertures de la façade au vent (**2** sur le schéma) devra être au moins égale à **20% de la surface de cette façade**.

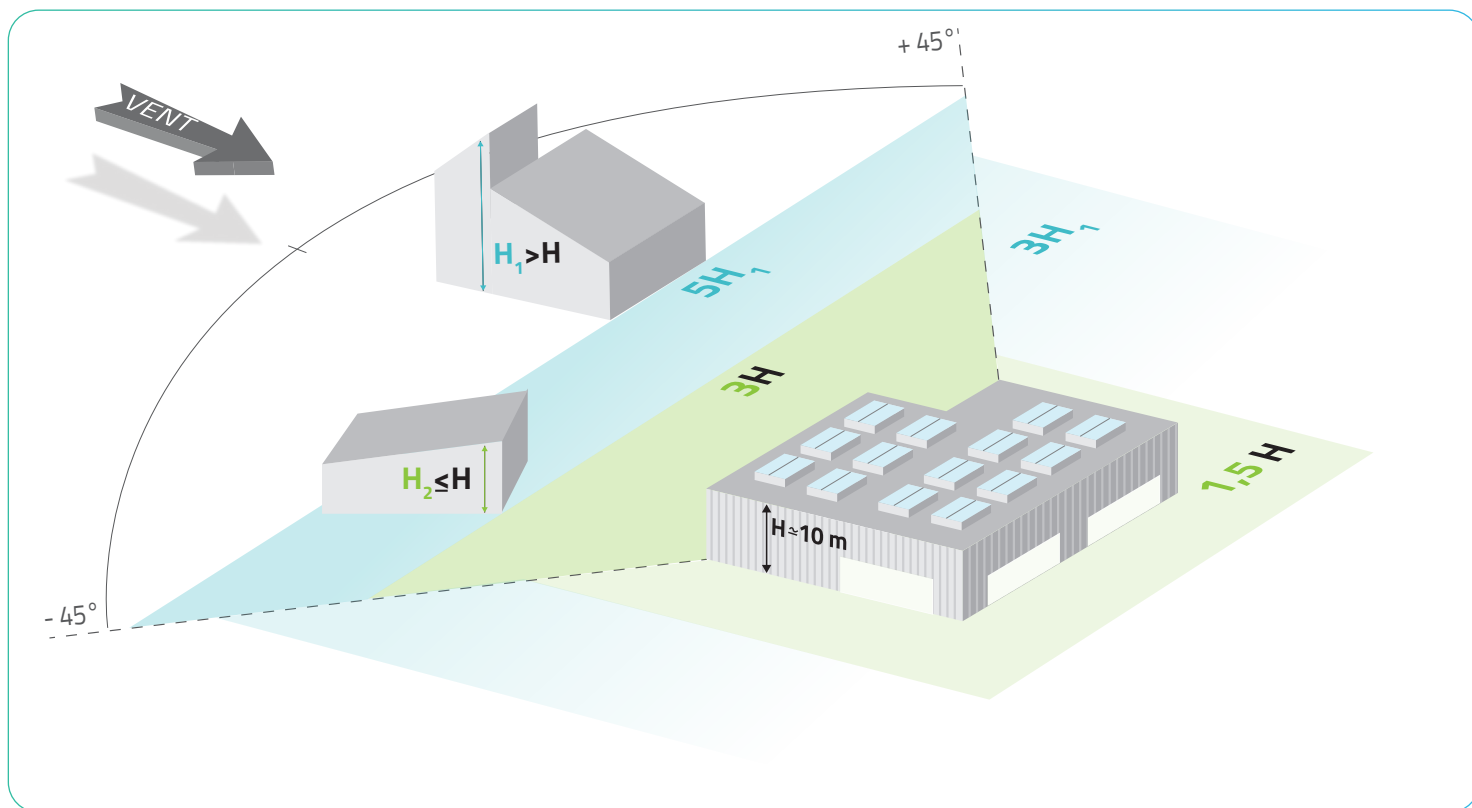
#### En toiture :

- Le quadrillage orthogonal homogène sera la configuration à privilégier, tout en respectant une distance libre de **3 mètres** par rapport à l'acrotère sur toute la périphérie du bâtiment. Il faudra disposer d'au minimum **1 ouverture de 5m<sup>2</sup> pour 100m<sup>2</sup>** de toiture;
- En ventilation traversante avec effet cheminée (entrées d'air en façade et des sorties d'air en toiture) : Les ouvertures représenteront -en toiture- **au moins 5%** de la surface de la toiture;
- Lorsque c'est possible, la mise en œuvre d'un pare-vent imperméable et émergeant d'au moins 1m au-dessus de l'acrotère sur toute la périphérie du bâtiment viendra conforter les zones dépressionnaires en toiture.
- La surface des ouvrants de façade sera, au minimum, égale à la surface des ouvrants en toiture;
- Pour conforter l'extraction, il faudra l'orienter telle que l'ouverture soit **sous les vents dominants** :



Orientation de l'ouvrant par rapport aux vents dominants

Néanmoins, « l'effet masque » des obstacles environnants peut réduire **jusqu'à 50% la performance de la pompe aérodynamique**. Pour éviter cet effet environnemental, il est primordial de respecter l'existence d'espaces "respirants" en périphérie du bâtiment :



Principe de « l'effet masque » autour d'un bâtiment

- Pour que le vent puisse développer sur le bâtiment un champ de pression externe suffisant pour être le moteur de la ventilation naturelle, **il faut respecter des distances minimales entre les obstacles et le bâtiment étudié** de hauteur **H**, situé en aval.
- **Cas d'un bâtiment de hauteur  $H_1$** , plus haut que notre bâtiment : une distance minimale de  **$5H_1$**  suivant la trajectoire du vent dominant et de  **$3H_1$**  pour les autres directions de vent devra être respectée entre les deux bâtiments.
- **Cas d'un bâtiment de hauteur  $H_2$** , moins haut ou de hauteur équivalente à notre bâtiment : une distance minimale de  **$3H$**  suivant la trajectoire du vent dominant et de  **$1,5H$**  pour les autres directions de vent devra être respectée entre les deux bâtiments.
- Pour considérer **un bâtiment indépendant de son environnement**, celui-ci doit être séparé de tout autre obstacle par **une distance minimale de 10 fois la hauteur du bâtiment le plus haut**.



En complément de la ventilation naturelle...

# GENATIS VOUS PROPOSE :

## VENTILATION NATURELLE & PILOTAGE



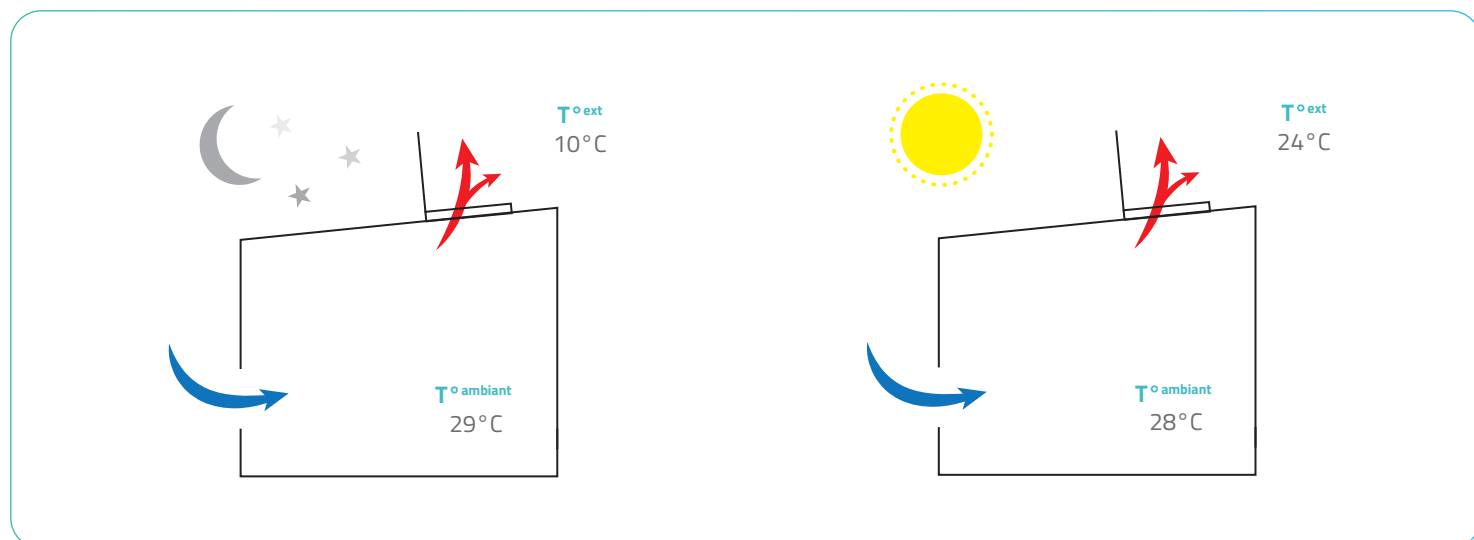
La ventilation peut être optimisée et automatisée par le pilotage, de jour « Free Cooling » comme de nuit « Night Cooling ». En effet, les différents équipements permettant le pilotage (sondes, capteurs et automates) jouent un rôle important dans la gestion des ouvertures, en tenant compte des différents éléments naturels (pluie, températures extérieure et intérieure, taux de CO<sub>2</sub>), sans intervention humaine nécessaire. **On s'assure ainsi de ventiler le bâtiment lorsque cela est opportun.**

La ventilation pilotée nocturne, en période d'inoccupation, permet notamment de tirer parti des températures extérieures très inférieures à celles que nous connaissons la journée. Cela permet d'évacuer la chaleur et l'air vicié accumulés durant la journée et d'emmagasiner un « capital frais » dans les masses du bâtiment. Au démarrage de

l'activité dans le bâtiment, ce « capital frais » sera restitué en termes de rayonnement frais et ce n'est que lorsque la température intérieure atteindra ou dépassera 26°C que l'on lancera le mécanisme de ventilation naturelle. L'atteinte de la température de consigne permettra un meilleur confort des occupants lors du démarrage de l'activité dans le bâtiment.

Lorsque les locaux sont occupés, la ventilation naturelle pilotée s'appuie sur l'air extérieur pour créer une température ressentie inférieure à la température d'ambiance pour améliorer la qualité de l'air intérieur, en fonction des conditions climatiques, pour améliorer la santé, le confort et la productivité des occupants.

**Le pilotage joue un rôle majeur dans l'efficience de la ventilation**, et ainsi contribue aussi bien au confort d'été qu'à la qualité de l'air intérieur.



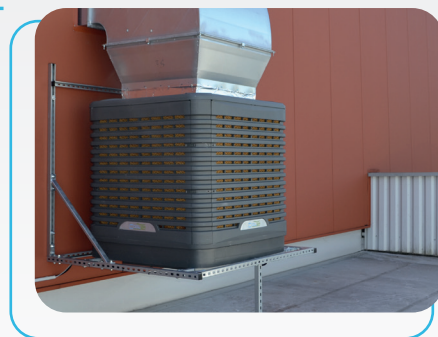
Principes du « Night Cooling » et « Free Cooling »

## VENTILATION NATURELLE & RAFRAÎCHISSEMENT ADIABATIQUE



La combinaison de la ventilation naturelle et d'une solution de rafraîchissement par évaporation (adiabatique) permet de **rafraîchir l'air extérieur avant de le diffuser**

à l'intérieur du bâtiment. Cette solution de ventilation hybride favorise l'entrée d'air neuf et sain tout en assurant l'extraction de l'air vicié et chaud par les ouvertures en toiture.



## VENTILATION NATURELLE & BRASSEURS D'AIR

Si la décharge thermique est naturellement assurée mais que la ventilation naturelle seule ne permet pas d'atteindre des courants d'équilibrages internes suffisamment

dynamiques (vitesse du vent inférieure à 3m/s), on pourra obtenir le confort thermique des occupants et abaisser la température ressentie grâce à des brasseurs d'air.

## VENTILATION NATURELLE & OMBRAGE



Les brise-soleil et les lames d'habillage de façade **limitent les apports solaires** et sont

à associer à la ventilation naturelle afin de participer au confort d'été des occupants.



## Apprenez en davantage sur la gestion énergétique naturelle :



Via cet ouvrage de référence, il s'agit de transmettre à tous les acteurs de la construction des leviers de réflexion et des réponses favorisant l'élaboration de leurs projets et réalisations, de l'étude à l'exploitation du bâtiment.

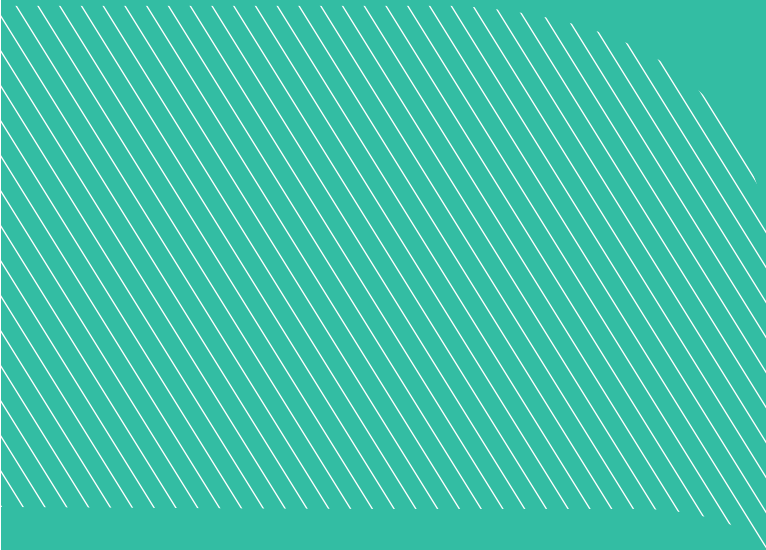
En parallèle de la future Réglementation Environnementale 2020 (RE2020), du référentiel de préfiguration «Énergie positive et réduction Carbone (E+C-)», ce livre blanc permet à son lecteur d'approfondir ses connaissances et de faire ses choix, dans un respect éthique et environnemental, tant les solutions mises en exergue sont souvent naturelles et répondent à des fondements simples en termes de sobriété énergétique et de gestion des bâtiments dans leur ensemble.



VISIONNER  
LE LIVRE BLANC GENATIS

## Les dernières actualités sur le site internet [www.adexsi.fr](http://www.adexsi.fr)





# genatis

Gestion des Energies Naturelles //

[www.adexsi.fr](http://www.adexsi.fr)

© Mars 2021 / Textes, photos et illustrations non contractuels.