

# ASPIRHAUT



Dispositif architectural de ventilation naturelle par extraction d'air en toiture

Synthèse des enseignements et guide d'aide à la conception



Resiliens.



# TABLE DES MATIERES

1. Qu'est-ce que le projet ASPIRHAUT ? .....	4
L'objectif du guide .....	4
Le projet ASPIRHAUT .....	5
2. Définitions de base .....	6
Système dépressionnaire d'extraction d'air en toiture .....	6
Les formes architecturales répandues .....	8
Autres systèmes .....	10
Intérêt énergétique des systèmes dépressionnaires.....	11
3. Les enseignements .....	12
Intention et justification .....	12
Implantation du système dans son environnement .....	13
Conception et dimensionnement.....	16
Bon fonctionnement en exploitation .....	28
4. Les outils d'aide à la conception.....	31
Simulation en soufflerie .....	31
Simulations numériques (CFD) .....	32
Exemples D'apports des études en soufflerie .....	33
5. Bibliographie .....	35
6. ANNEXE : Etudes de cas.....	36

## FINANCEURS



## EQUIPE TECHNIQUE



Resiliens.



## LE PROGRAMME OMBREE

Lancé en 2020, le programme OMBREE est dédié aux professionnels ultramarins.

L'AQC (Agence Qualité Construction) assure le portage et le pilotage en s'appuyant sur 4 partenaires locaux pour sa mise en œuvre : KEBATI en Martinique, AQUAA en Guyane, la SPL Horizon à La Réunion et le CAUE pour la Guadeloupe.

L'objectif du programme OMBREE est de participer à la réduction des consommations d'énergie, via des actions de sensibilisation, d'information et de formation. Le programme vise également à favoriser les échanges et les collaborations inter-outre-mer, en s'appuyant sur des initiatives déployées en Guadeloupe, Guyane, Martinique, à La Réunion et à Mayotte.

## CONTEXTE

Dans les **territoires ultramarins**, le rafraîchissement des bâtiments représente **le premier poste de consommation électrique**. Il est nécessaire de concevoir des bâtiments favorisant le plus possible la **ventilation naturelle** afin d'assurer le confort des usagers de manière passive, sans système de production de froid actif et consommateur d'énergie.

La ventilation naturelle traversante, c'est-à-dire la mise en relation de deux façades opposées, est le principe couramment utilisé, mais elle a **parfois des limites** : contraintes acoustiques, grands linéaires de cheminement aéraulique induisant de fortes pertes de charge et la volumétrie de ces pièces qui induit une performance moindre en ventilation naturelle. De plus, le contexte urbanistique souvent dense limite le potentiel aéraulique sur site.

Dans ces cas-là, une **nouvelle typologie de solution architecturale** émerge depuis quelques années : **les systèmes d'extraction d'air en toiture**.

Qu'est-ce que le projet ASPIRHAUT ?

## 1. Qu'est-ce que le projet ASPIRHAUT ?

### L'OBJECTIF DU GUIDE

Rendre accessible la compréhension des systèmes d'extraction d'air en toiture

Montrer l'intérêt de ces systèmes comme réponse à des contraintes diverses

Etudier les cas existants et rassembler les retours d'expérience

Proposer des enseignements afin de mieux concevoir et mieux exploiter ces dispositifs architecturaux

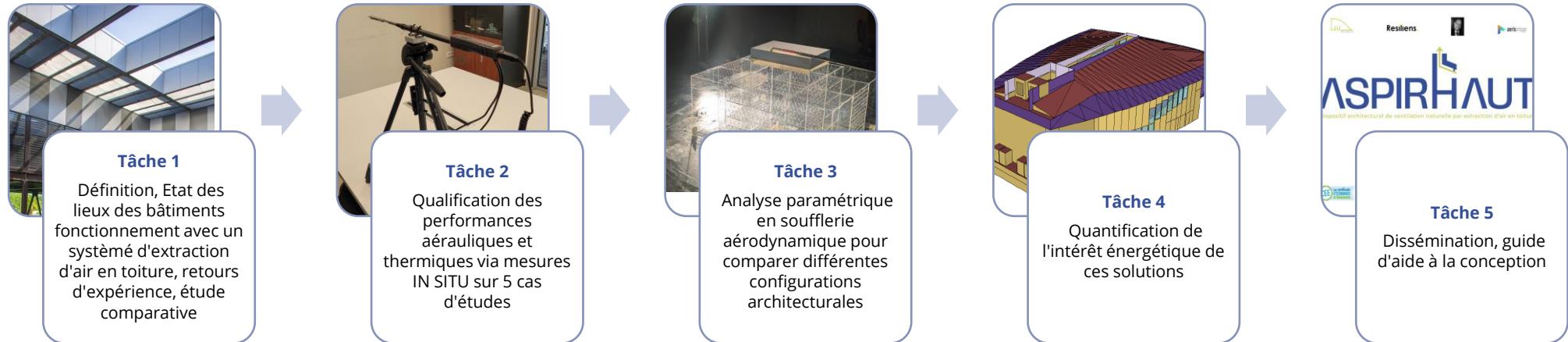


Qu'est-ce que le projet ASPIRHAUT ?

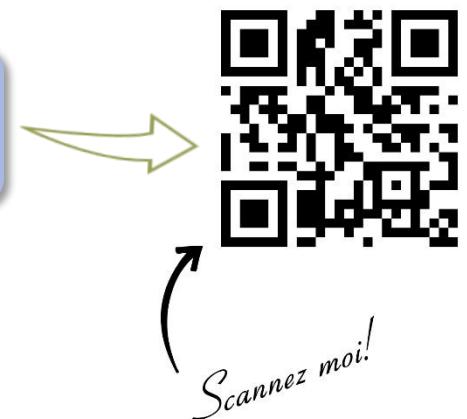
## LE PROJET ASPIRHAUT

### 5 tâches

Le projet s'est déroulé en 5 tâches distinctes mais complémentaires :



Retrouvez la vidéo de présentation du projet ASPIRHAUT en scannant le QR Code suivant



## Definitions de base

### 2. Définitions de base

#### SYSTEME DEPRESSIONNAIRE D'EXTRACTION D'AIR EN TOITURE

##### Les critères de base

Un **système dépressionnaire d'extraction d'air en toiture** désigne un dispositif architectural dont l'objectif est **d'utiliser l'intensité du vent** en altitude pour **créer un différentiel de pression** et favoriser les **écoulements d'air** dans les locaux connectés.

Il n'est pas à confondre avec la tour à vent, dont le moteur des écoulements d'air est le tirage thermique, bien que le tirage dépressionnaire et le tirage thermique coexistent en permanence.

Le système dépressionnaire d'extraction d'air en toiture est caractérisé par :

- Une **cavité creuse** de grande dimension, formant un espace "réservoir", débouchant au point haut de la toiture ou du faîte de la construction et ouverte aérauliquement uniquement de manière zénithale.



Collège de Boueni à Mayotte

- Des **lèvres aérodynamiques**, ou déflecteurs : Pour que la cavité creuse puisse être dépressionnaire, il faut que le vent puisse "décoller" sur ces bords. C'est ce décollement qui dévie le flux vers le haut en l'accélérant et en créant à son aval une dépression dont la cavité bénéficie. La cavité doit donc culminer en toiture ou se positionner au niveau du faîte sous forme d'une émergence horizontale significative de « lèvres verticales », sorte d'aileron aérodynamique. Les lèvres de décollement doivent être horizontales sur tout le pourtour de la cavité et à bord mince (pour assurer un décollement stable et net). La cavité étant alors nourrie par cette dépression, la cavité fonctionne comme une pompe et extrait les écoulements d'air issus des ouvertures qui débouchent dans la cavité puits, patio, canyon.



Bâtiment M, site du Tampon, Université de la Réunion

## Definitions de base

- Une **hauteur d'émergence** permettant au système dépressionnaire de **surplomber son environnement** direct et d'égaler le niveau des constructions aux alentours. Outre le fait que les lèvres de la cavité doivent se dégager suffisamment en hauteur de la forme propre à la construction considérée, cette émergence doit aussi être à minima équivalente ou mieux supérieure à la hauteur moyenne de l'environnement immédiat et proche pour que le phénomène de décollement puisse exister et que la cavité soit effectivement dépressionnaire.



CIRAD à Saint-Pierre

- **Un dimensionnement approprié**: La **section globale horizontale de sortie** de la cavité, et **son volume** sont bien **évidemment fonction des débits d'air à renouveler**, issus des pièces (ou logements) qui débouchent directement dans le système et qui prennent leur air neuf par les ouvertures et perméabilités de façades de la construction. Dans ce dimensionnement il faut aussi considérer que le volume propre au système doit aussi lui-même être renouvelé.

Un dimensionnement approprié aux objectifs de renouvellement d'air est fondamental dans une conception

efficiente de système dépressionnaire. **Plus il lui est demandé de débiter plus la dépression motrice de la cavité s'affaiblit, et moins la pompe d'extraction fonctionne.** Par ailleurs, il faut aussi que les pertes de charges du parcours pneumatique de l'air irriguant la construction soient compatibles avec le niveau de dépression généré aérodynamiquement (et fonction de la vitesse du vent sur le site) par le système.

De même, en considérant la continuité entre débits admissions et débit d'extraction, **la somme des surfaces des passages ou sorties d'air dans le système (air issu des pièces ou logements) doit être compatible avec la section propre de sortie du système** (les niveaux de vitesse d'irrigation ne pouvant qu'être proches tout le long du tube de courant de ventilation).



Bâtiment M, site du Tampon, Université de la Réunion

## Définitions de base

### LES FORMES ARCHITECTURALES REPANDUES

#### Le patio dépressionnaire

Espace ouvert sur **toute la hauteur du bâtiment**, situé au centre d'un bâtiment, **plus large qu'un puits, accessible et aménagé**, et semblable à ceux que l'on trouve dans diverses cultures, notamment en Méditerranée et en Afrique du Nord.

Il peut être planté et alors participer à la gestion de l'eau sur la parcelle. Le patio bien dimensionné peut alimenter plusieurs étages en ventilation.

*Pour le cas de plusieurs niveaux, des mesures spécifiques soient mises en place pour le respect de la réglementation incendie (règle « atrium » IT 264).*

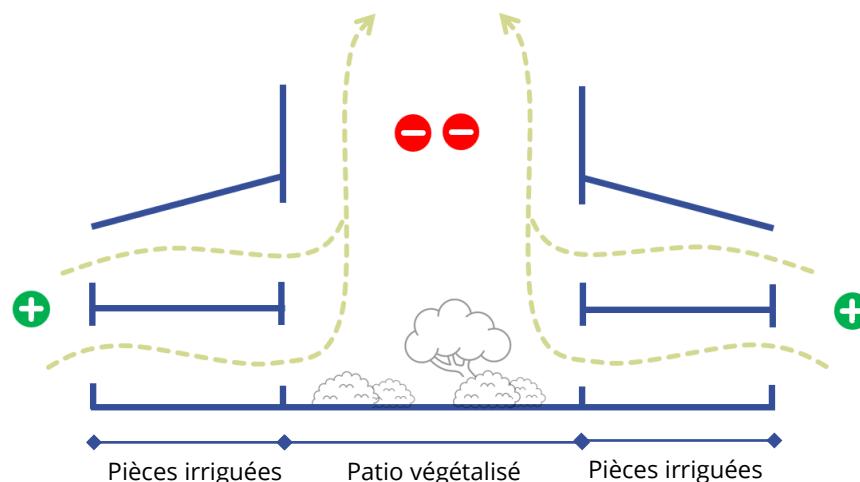


Schéma de principe du patio dépressionnaire

#### Le puits dépressionnaire

Il est plus petit que le patio, généralement de forme plus réduite et non aménagé.

Il ne sert en général que pour son **rôle technique de « pompe d'extraction »** de la ventilation naturelle. Il peut cependant être planté et alors participer à la gestion de l'eau sur la parcelle.

Le puits peut desservir en ventilation naturelle plusieurs étages, mais peut aussi descendre jusqu'au rez-de-chaussée.

Dans ces conditions, il faudra considérer l'évacuation des eaux de pluie en fond de puits. Dans certains cas, des mesures spécifiques doivent être mises en place pour le respect de la réglementation incendie (règle « atrium » IT 264).

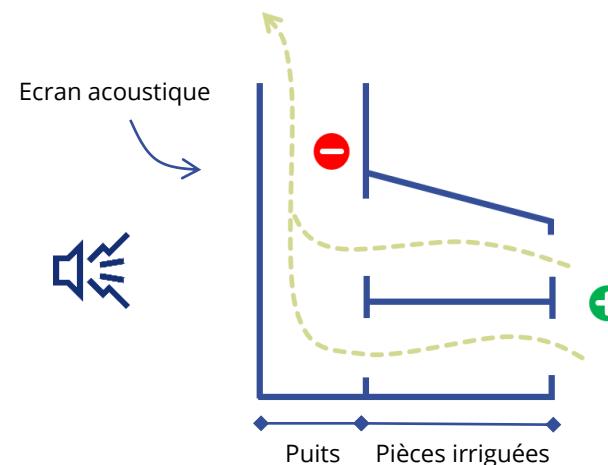


Schéma de principe du puits dépressionnaire

## Définitions de base

### Le canyon dépressionnaire

La cavité est plutôt allongée, imitant un canyon naturel, **ne descend pas sur toute la hauteur** des espaces ventilés et est fermée en partie basse (sorte de cheneau géant).

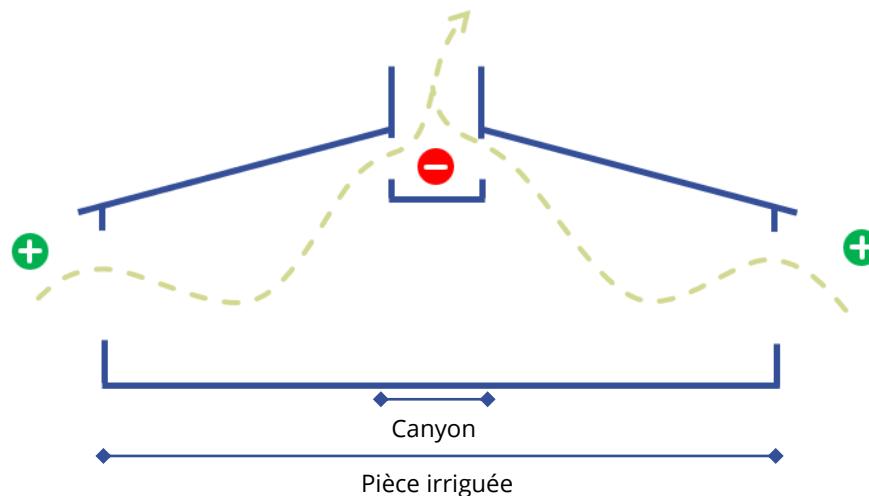


Schéma de principe du canyon dépressionnaire en grand volume

Un canyon permet de gérer en ventilation essentiellement un grand volume, bien que des unités périphériques puissent aussi venir se greffer sur ce grand volume.

Rappelons que l'effet « **dépressionnaire** » du patio, du puits ou du canyon est assuré **uniquement lorsque les critères précédemment cités sont respectés**.

Ces dispositifs partagent le même objectif de gestion de la ventilation naturelle, mais **leurs formes, leurs configurations et leurs interprétations architecturales peuvent varier**, sous réserve de ne pas compromettre les principes aérodynamiques et aérauliques qui gouvernent leur efficacité.

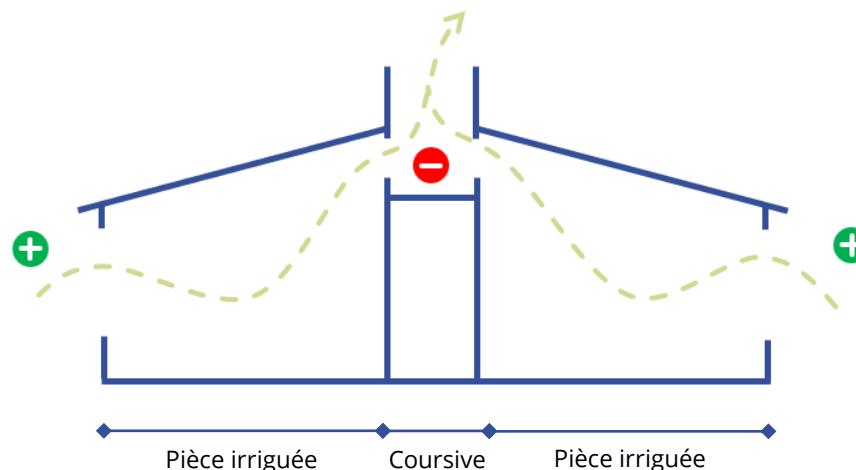


Schéma de principe du canyon dépressionnaire avec coursive centrale

**L'objectif recherché** par ces systèmes est bien la **ventilation de confort avec des débits d'air de l'ordre de 50 vol/h**. Lorsque ce n'est pas possible avec le système dépressionnaire seul, des ventilateurs positionnés à l'extraction peuvent permettre d'accentuer le tirage pour augmenter le débit de ventilation.

## Définitions de base

### AUTRES SYSTEMES

#### Les écopes

Les écopes peuvent faire penser aux canyons mais elles ont des géométries et des fonctionnement aérodynamiques différents.

Elles sont mono-orientées et ne comportent :

- Pas de cavité creuse,
- Pas de lèvre verticale.



Source : Gandemer J. et Picgirard F. (2012). *La ventilation naturelle en pratique*

#### Les tours à vent

Les tours à vent, aussi appelées *wind-catchers* ou *badguirs* sont des systèmes de captation du vent en hauteur.

Ils sont surtout présents dans le Nord de l'Afrique et au Moyen-Orient, des climats chauds et secs.

Les tours à vent des badguirs sont séparées en leur sein en plusieurs sections, de manière que l'air entre d'un côté et ressort de l'autre côté de la tour, selon l'orientation du vent.

Le principe est simple ; l'air entre dans la tour à vent, y est rafraîchi, et lorsque qu'il pénètre dans la pièce, chasse l'air chaud plus dense.

Les badguirs peuvent être associés aux qanats, des galeries souterraines qui acheminent l'eau vers les bâtiments ; l'air peut alors passer d'abord par ces galeries, être refroidi (rafraîchissement adiabatique) avant d'entrer dans la pièce.

Cependant les badguirs fonctionnent davantage selon le principe de tirage thermique, et leur ouverture n'est pas zénithale.

De plus, l'ouverture de l'émergence n'est pas en extraction mais en admission (pour un des 2 conduits).

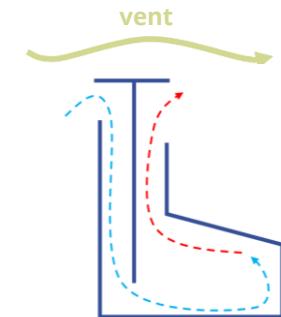


Schéma de principe de la tour à vent

## Définitions de base

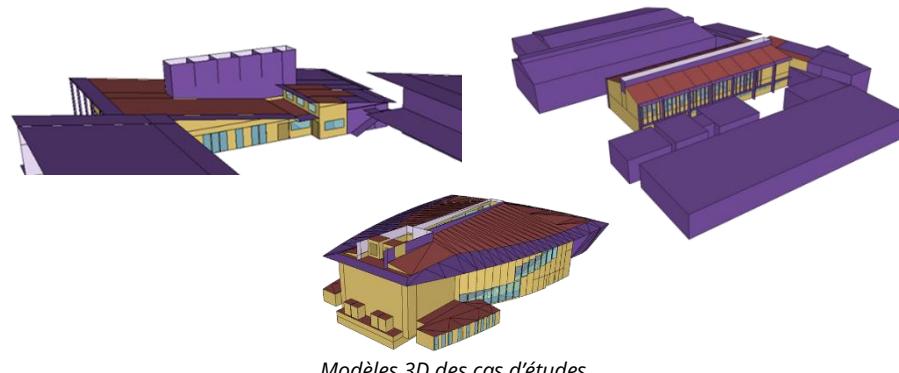
### INTERET ENERGETIQUE DES SYSTEMES DEPRESSIONNAIRES

#### Comparaison avec un cas climatisé

##### Méthodologie

L'objectif était d'évaluer, par simulation thermique dynamique (STD), l'intérêt d'un bâtiment conçu avec puits/patio ou canyon dépressionnaire par rapport à un même bâtiment **entièlement climatisé**.

Les simulations ont été réalisées avec **EnergyPlus** et validées par comparaison avec les données réelles mesurées sur nos cas d'études pendant l'année 2024-2025.



##### 2 conceptions, 5 scénarios

- Conception 1 : Bâtiment réel :** Optimisé pour la ventilation naturelle.
- Conception 2 : Bâtiment optimisé pour la climatisation :** Enveloppe plus étanche et légèrement plus isolée.

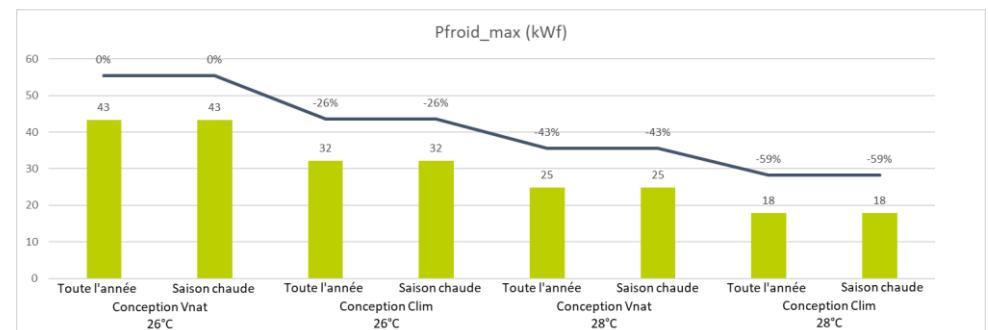
Chaque conception a été testée dans différents scénarios :

- Ventilation naturelle uniquement**
- Climatisation en saison chaude (novembre → avril)**

- Climatisation toute l'année**, chaque fois avec **deux consignes de température : 26°C et 28°C**.

*Ce qu'il faut retenir en cas de climatisation (systèmes d'extraction d'air en toiture insuffisant sur une partie de l'année)*

- Le fait de **diminuer la température de consigne a plus d'impact** que d'optimiser la conception.
- Le **cumul conception + consigne** = réduction  $\geq 40\%$  de la puissance de froid.
- La limitation de la climatisation à la saison chaude ne change pas la Puissance froide maximale puisque le pic sera toujours en été, le groupe de climatisation sera donc dimensionné de la même façon. En revanche sa consommation annuelle sera plus faible.



*Exemple de projection de la puissance froide maximale par scénario dans le cas de l'Amphithéâtre bioclimatique du Moufia*

### 3. Les enseignements

#### INTENTION ET JUSTIFICATION

##### 1. Pourquoi un système dépressionnaire d'extraction d'air en toiture ?

Nous avons interrogé les concepteurs.



## Les enseignements

### IMPLANTATION DU SYSTEME DANS SON ENVIRONNEMENT

Lorsque l'on étudie l'implantation d'un projet dans son environnement, une **approche en 3 échelles** est possible.

#### 2. Caractérisation du contexte climatique

La caractérisation du contexte climatique constitue la première étape de tout projet de conception bioclimatique. Elle repose sur l'identification d'une **station météorologique de référence**, la plus représentative possible du site (distance, altitude, contexte urbain, exposition).

Les informations météo, notamment la **direction et la vitesse du vent**, essentielles pour la ventilation naturelle, permettent de définir un **premier cadre d'analyse** : type de climat, régimes de vent, orientation des vents principaux, variations thermiques, périodes critiques.

Il est nécessaire de vérifier la **potentialité d'irrigation du site** : la vitesse moyenne du vent sur 10 minutes doit atteindre **2,5 m/s en été pendant plus de 50 % du temps** (mesure à 10 m de hauteur en terrain dégagé). Il faut également identifier précisément les **directions dominantes des vents**.

Lorsque la station disponible est trop distante ou située dans un contexte différent, un **recalage climatique** est indispensable pour obtenir des valeurs cohérentes :

- Méthode la plus fiable :**

Installation d'une **station météo sur site** (au moins une année de mesures) suivie d'un recalage précis.

- Méthode simplifiée :**

Application de **règles empiriques**, par exemple un correctif de  **$\pm 0,7^{\circ}\text{C}$  par 100 m** d'écart d'altitude.

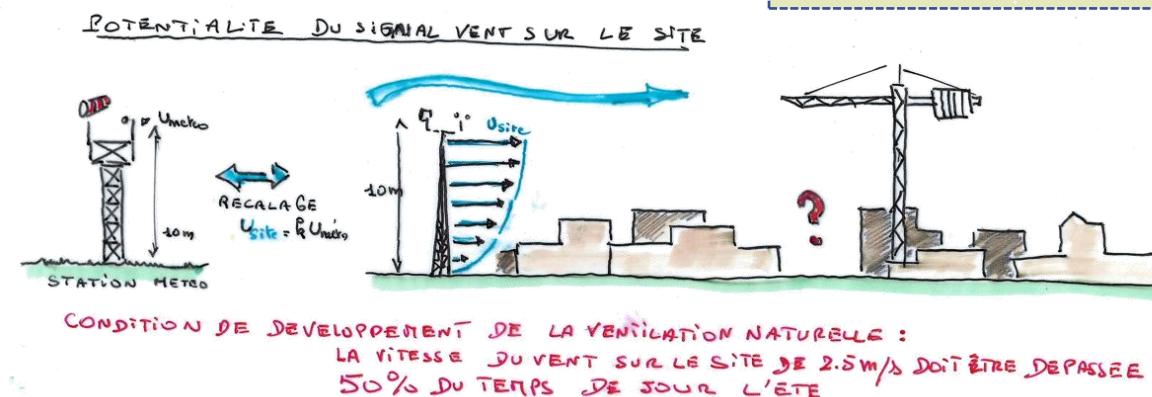


Station météorologique



#### Sites utiles pour accès à la donnée climatique :

- <https://galilee.univ-reunion.fr/>
- <https://www.climate.onebuilding.org/>
- <https://meteo.data.gouv.fr/>



## Les enseignements

### 3. Caractérisation de l'environnement lointain

Il s'agit ensuite d'analyser **l'environnement lointain** du projet, c'est-à-dire l'échelle urbaine et le voisinage.

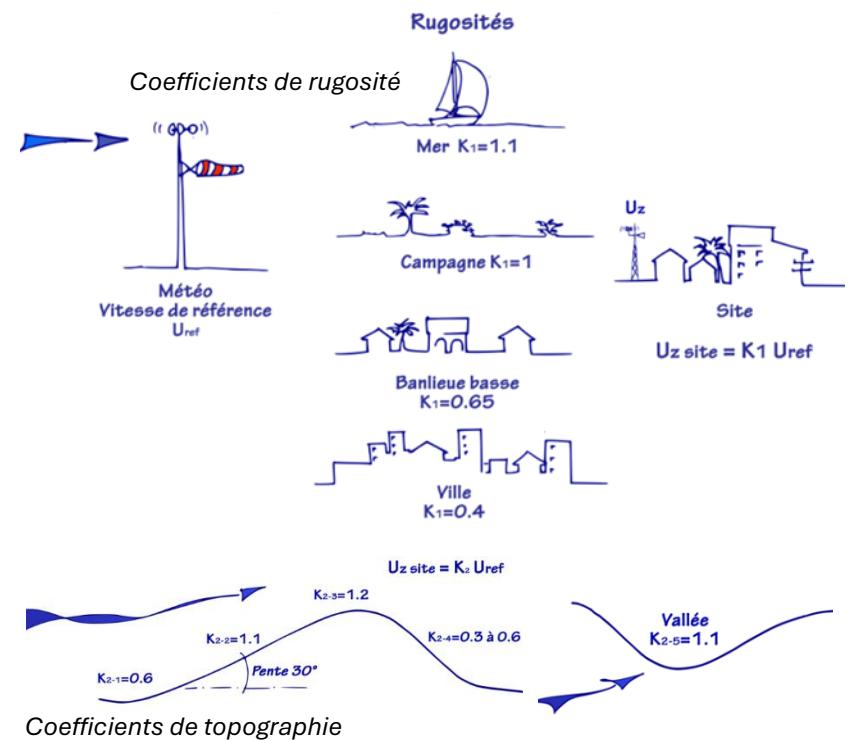
Les éléments essentiels à identifier sont :

- **Topographie, rugosité et densité urbaine** : pentes, rugosité, hauteur et position des bâtiments alentours.
- **Masques aérauliques et solaires** : obstacles au vent, zones d'ombre, etc.
- **Nuisances et contraintes particulières** : bruit, flux de circulation, activités voisines, vues, usages sensibles, sources de nuisances olfactives, surfaces minérales.
- **Présence (ou absence) de végétation** : impact sur les températures locales (îlot de chaleur), humidité et confort extérieur.

Une **visite sur site** permet généralement de récolter ces informations.

Elle permet notamment de répondre à des questions importantes pour la conception :

- Doit-on s'attendre à des **températures plus élevées** que celles relevées par la station météo, par exemple en raison d'une **forte minéralisation** ?
- **L'orientation ou la vitesse du vent** sur site diffèrent-elles des données de la station en raison de **masques aérauliques proches**, de la configuration urbaine ou de la topographie ?



Ventilation naturelle en pratique, ADEME Réunion,  
Jacques Gandemer

## Les enseignements

### 4. Caractérisation de l'environnement immédiat

L'étude du contexte local, à l'échelle de la parcelle, a pour but de trouver **comment organiser les exigences** du programme, l'implantation des masses bâties, **pour optimiser la ventilation naturelle** et réduire les apports solaires.

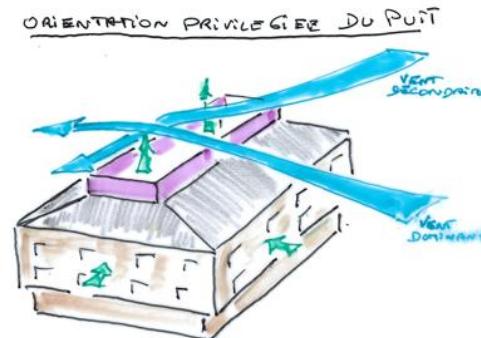
À ce niveau, on prend en considération :

- La **morphologie de la parcelle** : dimensions, relief, type de sol, zones d'ombre existantes, végétation présente ;
- Les **interactions immédiates** entre bâtiments voisins, hauteur des bâtiés à proximité, murs, ou encore plantations ;
- La **porosité du site** : capacité des vents à pénétrer, à circuler ou à s'accélérer entre les volumes ;
- L'ensoleillement réel au niveau du sol et des façades, fonction des masques proches.

L'objectif est de traduire ces observations en choix techniques sur le **plan masse** comme organiser les bâtiments pour **permettre aux différentes zones d'être irriguées par les flux d'air**.

Par exemple, il peut être judicieux d'implanter les bâtiments au quinconce ou encore d'organiser les volumes bâtiés entre eux pour **ne pas déventer ceux en aval des vents dominants**.

Bien qu'ils permettent d'extraire de l'air dans toutes les directions de vent, **on privilégiera l'orientation des plus grandes façades** des puits, patios ou canyons dépressionnaires **perpendiculaire aux vents dominants pour augmenter leur efficacité**.

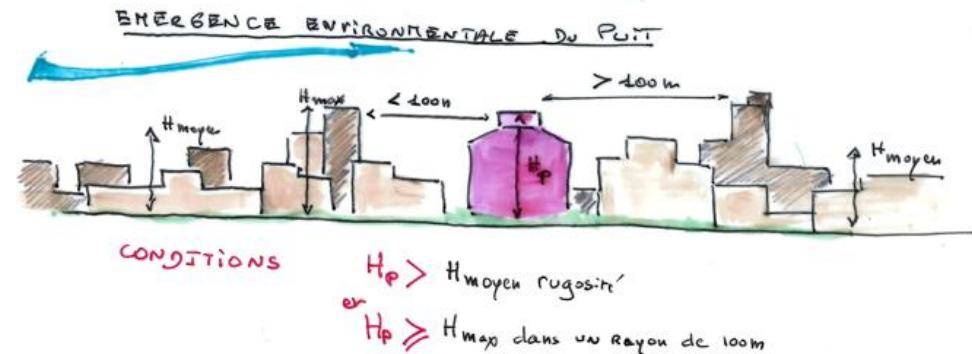


UN PUITS EXTRAIT POUR TOUTES LES DIRECTIONS DE VENT MAIS PRIVILÉGIER LA GRANDEUR D'HÉGÉNÉRATION DU PUITS PERPENDICULAIREMENT AUX VENTS DOMINANTS

La hauteur des bâtiments voisins peut déventer la parcelle et influencer la conception d'un puits dépressionnaire.

Lorsque les bâtiments alentour sont situés à **100 m ou plus** du site, le puits n'a **pas besoin** de dépasser leur hauteur maximale : leur influence sur le signal de vent devient négligeable.

En revanche, lorsque des bâtiments plus hauts se trouvent à **moins de 100 m**, il est nécessaire de prévoir une **émergence plus importante du puits**, afin qu'il capte efficacement le vent au-dessus des masques aérauliques proches.



Illustrations : Jacques Gandemer

## Les enseignements

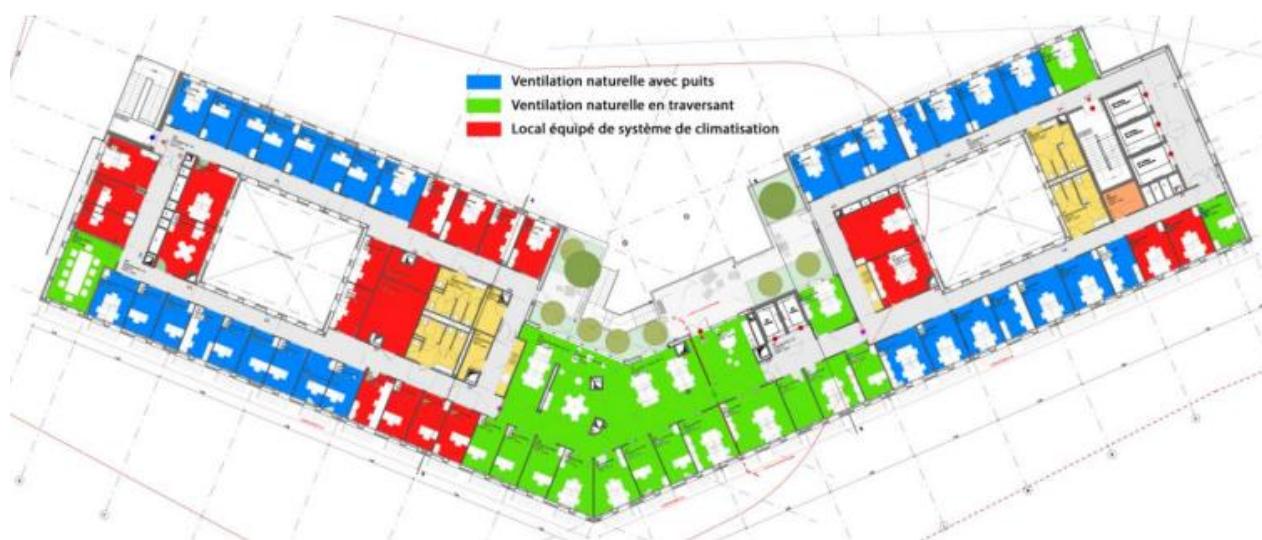
### CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

#### 5. Zonage thermique

Une fois le positionnement des masses bâties sur la parcelle actée, il est nécessaire de bien **identifier le fonctionnement climatique de chaque local**.

Si les étapes précédentes ont été réfléchies, la plupart des locaux peuvent fonctionner en ventilation naturelle (bureau, logement, amphithéâtre, salle de réunion, etc.) mais il peut y avoir des **contraintes fonctionnelles** (local informatique, pôle restauration, etc.) ou des **éléments extérieurs** (nuisances sonores ou olfactifs à proximité) qui peuvent induire un fonctionnement climatique aidé par un système de climatisation.

Il est alors nécessaire de bien identifier précisément pour chaque local ce fonctionnement climatique ; afin de **positionner les locaux en ventilation naturelle dans les endroits les plus adaptés**.



Zonage thermique, CHOR2 à Saint-Paul

Voici un exemple d'un plan de zonage thermique permettant de visualiser :

- En **rouge**, les locaux climatisés
- En **vert**, les locaux fonctionnant en ventilation naturelle traversante
- En **bleu**, les locaux fonctionnant en ventilation naturelle avec puits dépressionnaire

Il a d'abord été identifié les locaux ne pouvant pas fonctionner en ventilation naturelle par **leur fonction** (local informatique au centre, sans ouverture vers l'extérieur) ou leur **positionnement** incompatible avec une décharge thermique correcte (local mono-orienté ou circuit aéraulique trop complexe).

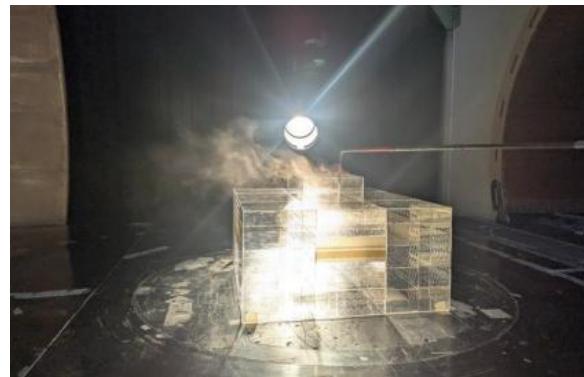
Puis, il est montré deux fonctionnements aérauliques différents : les locaux fonctionnant **en traversant** (admission et extraction en façade) ainsi que les locaux fonctionnant **avec un puits dépressionnaire** (admission en façade et extraction par les puits dépressionnaires).



## Les enseignements

### 6. Configurations types d'extraction en toiture

**L'étude paramétrique du système d'extraction en toiture réalisée au laboratoire Eiffel**, a permis de mettre en évidence un ensemble d'enseignements notamment sur la bonne ventilation des parties basses.



#### L'architecture de référence : le puits/patio cubique

Un premier test porte sur l'architecture de puits/patio cubique que nous retrouvons par exemple à la CAFAT à Nouméa (voir ANNEXE).

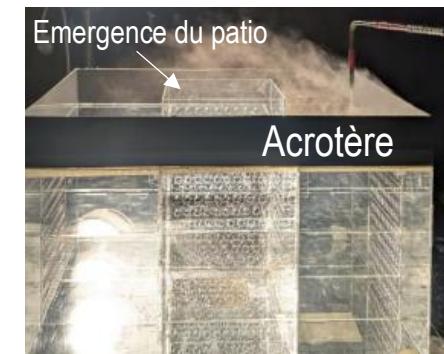


**Pour toutes les incidences**, cette architecture de puits/patio cubique conduit à **des taux de renouvellement d'air significatifs** pour le développement de la ventilation naturelle des volumes qui l'entourent. De plus, que l'environnement bâti immédiat soit dense ou pas, les taux

de renouvellement sont **quasi les mêmes quel que soit les incidences**, ce qui est un atout puissant pour une architecture de constructions urbaines denses. Rappelons qu'avec une architecture en barre, la perte de débit avec environnement urbain oscille entre 15 et 30%, et qu'il existe une incidence (incidences rasante ou parallèle aux façades) où aucun régime d'irrigation traversante ne peut s'établir.

#### Développement d'acrotère périphérique

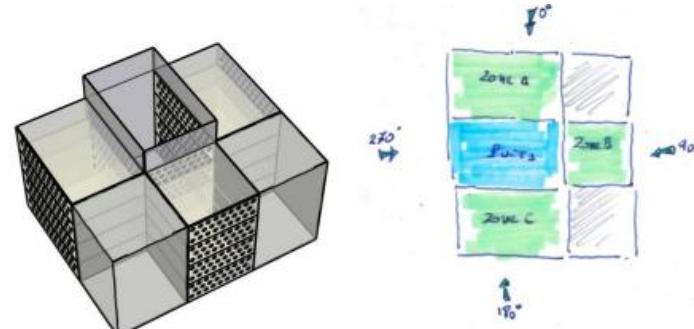
L'architecture de référence puits/patio cubique reste inchangée à l'exception de la réalisation d'un acrotère périphérique de 3m de hauteur. Le concept est de transformer la toiture en "**réservoir dépressionnaire**" dans lequel débouche le puits/patio. Dans ces conditions les lèvres du puits ne sont que d'un intérêt secondaire.



L'option de développer un acrotère périphérique (3m opaque), en variante de l'émergence type du puits (lèvres 3m) est une interprétation aérodynamique, qui sans égaler totalement l'efficacité de l'architecture de référence (chute de 10%), permet de la traiter avec une autre architecture d'émergence du puits/patio.

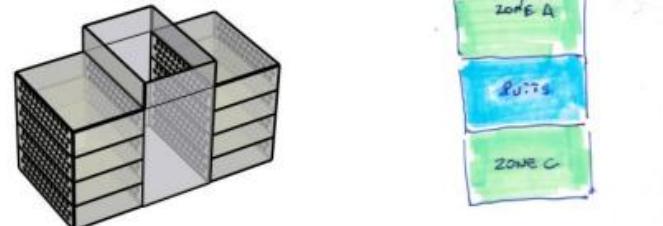
## Les enseignements

### Implantation du puits/patio dans la construction



Quel que soit l'incidence du vent par rapport à la construction, et que le puits soit décentré ou pas, le comportement aéraulique associé à l'irrigation des zones est équivalent, sachant que **la zone à l'aval du puits (sous le vent) reste toujours pénalisée** si la zone au vent garde sa totalité maximum d'ouverture. Compte tenu de la répartition des ouvertures qui demande aucune transparence directe entre l'extérieur (façade ou pignon) et le puits, il y aura **toujours intérêt à centrer le puits, et repartir les unités à ventiler à périphérie de celui-ci.**

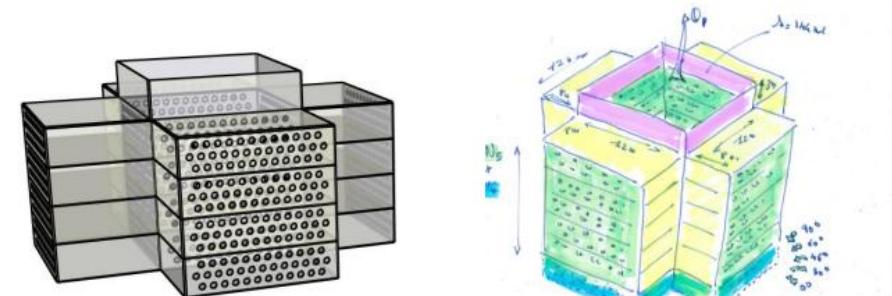
### Le Puits/patio allongé



La variante géométrique Puits/patio allongé fonctionne bien, **mais limite le nombre des unités à ventiler** par rapport au cas géométrique puits central du cube de référence. Par rapport à cette dernière géométrie, la **variante favorise encore davantage les zones au vent, mais il faut toujours avoir en tête que la ventilation des zones sous le vent existe**, et sera d'autant meilleure que les zones au vent sont "sur ventilées", et par conséquent, régulées à la baisse en fonction de l'ouverture à admissions définie par l'usager.

### Le Puits Tour

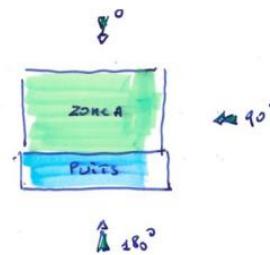
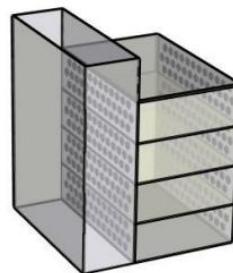
Le Puits Tour est une géométrie voisine de celle du Puits/patio Cube référence, mais sans "coins" bâtis, avec des unités à ventiler de superficies (12mX 8m dans l'essai soufflerie réalisé) reparties sur les quatre parois du puits (central), et présentant soit 5 ou 6 niveaux, l'émergence des lèvres étant toujours de 3m par rapport au toit terrasse.



**Le Puits Tour, ne présente pas une variante géométrique aérodynamique préférable à celle du Puits/patio -Cube.** Au démarrant, et pour les proportions et dimensions étudiées, elle assure un fonctionnement aéraulique satisfaisant en ventilation naturelle.

## Les enseignements

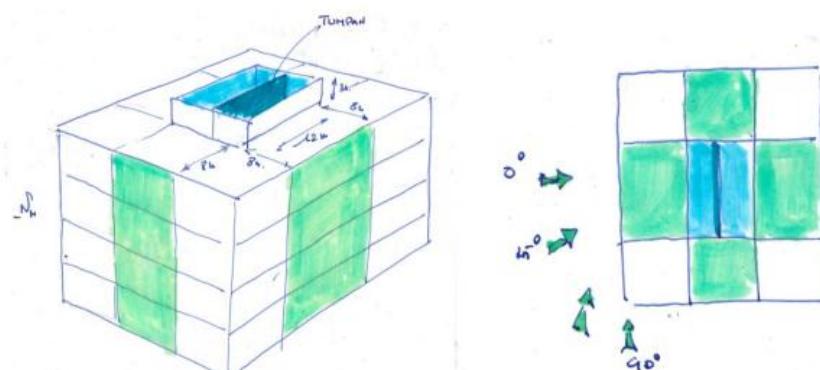
### Le Puits/patio double façades



Par rapport au cas référence cube puits/patio pour le même volume de la zone A à ventiler, la section d'extraction du puits est diminuée d'un facteur deux, ce qui évidemment bride relativement la potentialité d'extraction de la présente configuration, mais sans pour autant réduire les taux de ventilation du même facteur. Ce constat tente à monter la **très bonne efficacité du concept double façades, et cela d'autant plus que l'incidence du vent devient oblique par rapport à l'admission, et à fortiori lorsque l'admission est dans le sillage.**

La performance omnidirectionnelle du Puits/Patio double façades incite à modifier l'architecture de référence du Cube puits/patio, en proposant la création d'un tympan central, séparant le patio en deux unités indépendantes d'extraction.

Pour que cette suggestion prenne toute sa force, il faut plutôt orienter le cube avec son grand côté plutôt perpendiculairement aux vents dominant sur le site. Le dispositif est évidemment extrapolable à davantage (quatre par exemple) d'unités de puits autonomes, et à optimiser en fonction des proportions géométriques de la construction et des directions des vents dominants sur le site.



## 7. Circuit aéraulique

### Les circuits aérauliques

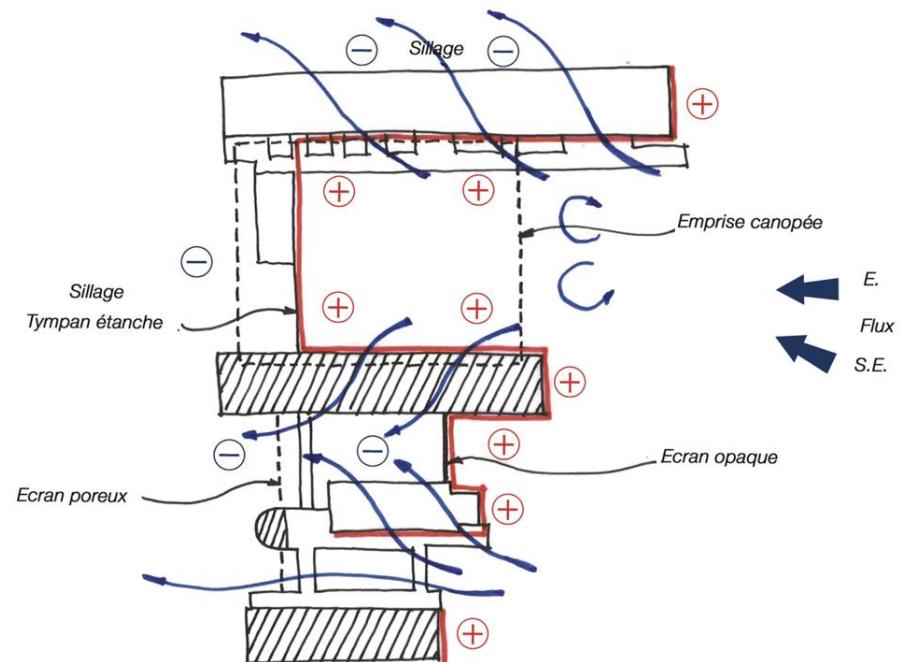
Il est important d'identifier en plan, **les courants de ventilation** à travers un logement, un bureau, une salle de classe.

Si cet exercice paraît être facile pour une salle de classe (généralement un seul volume avec des ouvertures sur les façades opposées), cela l'est moins pour des logements ou des bureaux.

Il faut comprendre que les jeux de pression / dépression créant des courants de ventilation se fait par **le plus simple des chemins aérauliques**. Le vent étant "feignant", il va prendre le plus court-circuit aéraulique.

Le sens de circulation aéraulique ira toujours de la façade en pression vers la façade en dépression.

Il est important de noter qu'il est fondamental d'avoir une surface d'ouverture libre minimale **tout au long du cheminement aéraulique** à travers le bâtiment (de l'admission vers l'extraction). Ceci induit donc de ne pas avoir de « goulot d'étranglement » induisant des **pertes de débits** importantes. On verra par la suite qu'il est nécessaire de limiter les pertes de charge aérauliques dans l'agencement intérieur des espaces.



Circulation aéraulique au sein de l'ESIROI

## Les enseignements

### Porosité de façade

Les ouvertures au vent et sous le vent (plan perpendiculaire au vent dominant) doivent avoir **des dimensions suffisantes** pour autoriser une ventilation traversante débitante.

L'ordre de grandeur minimum global de ces ouvertures est approximativement de 25% des façades, avec une **optimisation à 30% sur la façade au vent et à 40% sur la façade sous le vent**.

On rappelle les exigences de la RTAA DOM et des référentiels de bonne conception en climat tropical.



### Comment est calculée la porosité de façade ?

La porosité de façade est la surface d'ouverture libre (trou) d'une paroi. Ainsi, pour la calculer, on détermine la surface des baies sur une façade, côté intérieure, que l'on pondère par un coefficient de menuiserie.

On ne prendra pas considération la surface intérieure des façades des pièces peu ou non utilisées. Par exemple pour du logement, on ne prendra pas en compte dans les calculs, les façades au droit d'une salle bain ou d'une toilette.

Nota : Le calcul de la porosité est réalisé quand les dispositifs de protection solaire mobile sont déployés lorsqu'il y en a.

Document	Territoire concerné	Exigence sur la porosité de façades
RTAA DOM	La Réunion, Guadeloupe, Mayotte, Martinique, Guyane	>14% à >25% selon le territoire ultramarin et la typologie de pièce (séjour/chambre)
PERENE	La Réunion	Zone 1 : >20% Zone 2 : >15 % Zone 3 : >10%
PREBAT Réunion	La Réunion	>25%
Mayenergie	Mayotte	>25%
RCNC	Nouvelle Calédonie	>16% pour l'habitat >20% pour les salles de classe
Ecodom	Guyane	>25%

Nota : la méthode de calcul sur la porosité diverge selon les référentiels / réglementations /normes

Type de menuiserie	Coefficient de porosité $S_{ouverture} / S_{perçement}$
Menuiserie battante	Fenêtre 0,87 Porte-fenêtre, porte palière 0,94
Menuiserie coulissante escamotable (à galandage ou en applique)	1,00
	Fenêtre 2 vantaux 0,44 Porte-fenêtre 2 vantaux 0,47
Menuiserie coulissante	Porte-fenêtre 3 vantaux 0,62 Porte-fenêtre 4 vantaux 0,70
Menuiserie à soufflet	0,70
Menuiserie à lames orientables, jalousies	0,87
Menuiserie et partie de menuiserie fixe	0

Coefficient de porosité des menuiseries, source : RTAA

## Les enseignements

### Agencement intérieur

Pour avoir des courants de ventilation homogènes, critère très important pour le confort perçu par l'usager, la **répartition des porosités** et des ouvertures devra être la plus étalée possible.

En d'autres termes, il vaut mieux assurer un courant de ventilation par un large dimensionnement de porosité que l'on bridera (réglage de l'ouverture des jalouxie), plutôt que de le concentrer au travers d'une seule ouverture fortement débitante (effet de jet et de tourbillons latéraux induits, très désagréables).

Pour un maximum d'efficacité, on privilégiera des courants de ventilation dans la couche de vie et d'activité du local.

La couche à irriguer se positionne :

- En général entre 0,3 m à 1,8m.
- Pour les bureaux/salle de classe, entre 0,3 m à 1,4 m.
- Pour les chambres entre 0,3 m à 1,2 m.



Mauvaise répartition du courant de ventilation, La ventilation naturelle pratique, ADEME Réunion



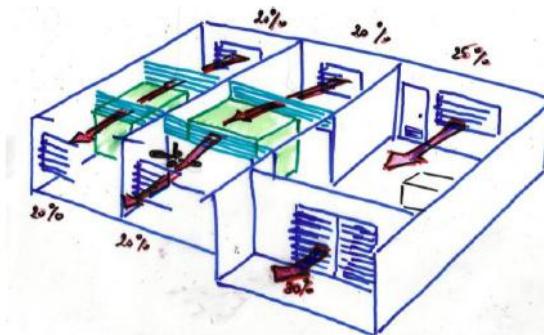
Bonne répartition du courant de ventilation, La ventilation naturelle pratique, ADEME Réunion

## Les enseignements

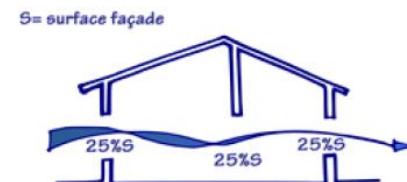
L'aménagement intérieur d'un local est un élément fondamental pour assurer la bonne circulation des courants de ventilation. Un bon agencement d'un local est un agencement **où les circuits d'air sont aisés**, facilités par des cloisons parallèles aux courants de ventilation et non en opposition.

Il faudra alors retrouver la même proportion de "trous" ou "porosité" à l'intérieur du local que sur les façades en pression et en dépression. En effet, **la plus petite porosité sera le facteur limitant** des courants de ventilation.

Pour améliorer l'agencement, on peut **réorganiser le cloisonnement intérieur**, ajouter des impostes au-dessus des portes, abaisser le cloisonnement intérieur pour retrouver de la porosité, etc.



*Abaissement du cloisonnement dans le logement*



*Agencement intérieur aéré*



*Agencement intérieur non aéré*

## 8. Le dimensionnement

### Dimensionnement du système dépressionnaire

En ordre de grandeur, la **section du puits dépressionnaire** doit être **au moins égale à :**

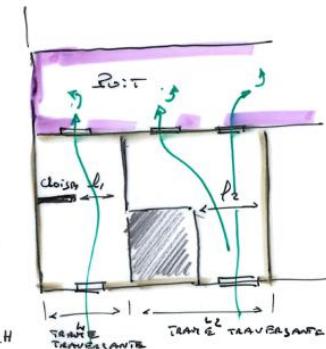
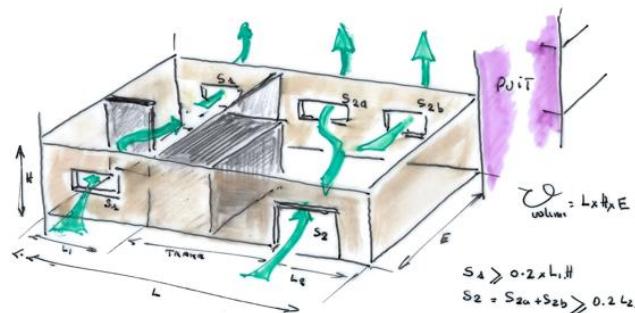
$$S_{puits} = 15 \times \frac{V}{3600 \times 0,2}$$

Avec :

- 15, le débit de renouvellement d'air nécessaire pour la décharge thermique
- V, le volume affecté au puits
- 0,15 une vitesse d'air généralement observable pour une  $v_{air\_10m} = 2,5 \text{ m/s}$

Comme évoqué, c'est une surface minimale qu'il est nécessaire de retrouver sur tout le linéaire du circuit aéraulique :

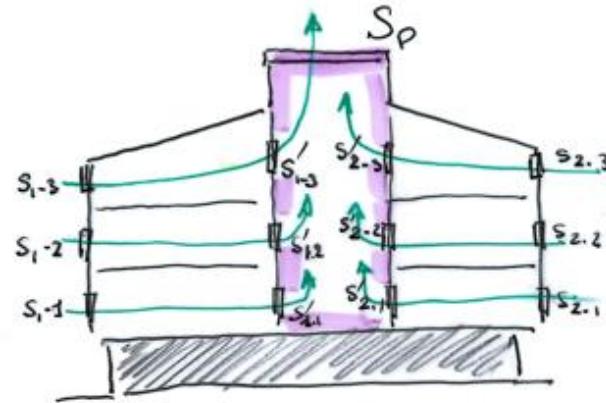
ARCHITECTURE INTERNE TRAVERSANTE DES LOCAUX



CONDITION DE VENTILATION TRAVERSANTE : POUR CHAQUE "TRAME" TRAVERSANTE DE SECTION  $L_i \times H_i$  LES SURFACES D'OUVERTURES EN ENTREE ET SORTIE SONT EGALES OU SUPERIEURES A 20% :

TRAME1 : Surface ouverte basse  $\geq 0.2 \times L_1 \times H_1$   
ET POUR CHAQUE TRAME LE PASSAGE INTERIEUR  $L_i \times H_i \geq 0.2 \times L_j \times H_j$

CONDITION DE DECHARGE THERMIQUE : LA SURFACE TOTALE DE TRANSPARENCE PAR FAÇADE ( $S_1 + S_2$  ET  $S_1 + S_{2a} + S_{2b}$ ) ST DOIT VÉRIFIER  $ST \geq \frac{1579}{0.15 \times 3600}$ . SI CETTE CONDITION N'EST PAS RÉALISÉE, IL FAUT AUGMENTER

DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION MINIMUM DE SORTEZ D'UN PUITS  $S_p$ 


SOIT  $V$  LE VOLUME TOTAL  
 (LOCAUT PUIT) A EXTRAIRE, LE  
 PUIT DOIT REPONDRE A DEUX  
 CONDITIONS :

- CONDITION DE "PERTE DE CHARGE"  
 $S_p \text{ devra} > \text{Somme des } S_d$   
 debouchant dans  
 le Puit
- CONDITION DE "DECHARGE THERMIQUE"

$$S_{p_{TH}} > \frac{15V}{0.2 \times 3600}$$

LE MEILLEUR CHOIX :  $S_p = \text{Sup}(S_{p_{perfo}}, S_{p_{TH}})$

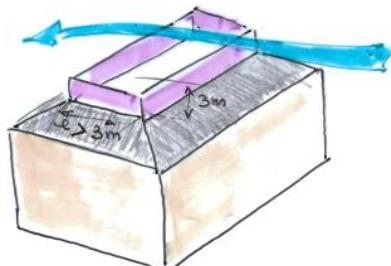
## Les enseignements

### Hauteur de l'émergence

Afin d'assurer une bonne performance aéraulique en **maximisant les dépressions en toiture**, il est nécessaire d'avoir une **hauteur suffisante** de l'extraction. Pour cela, il est important de respecter quelques règles, à savoir :

- La hauteur de l'émergence doit tendre vers 3 m (ou plus) au-dessus des obstacles immédiats de la toiture.

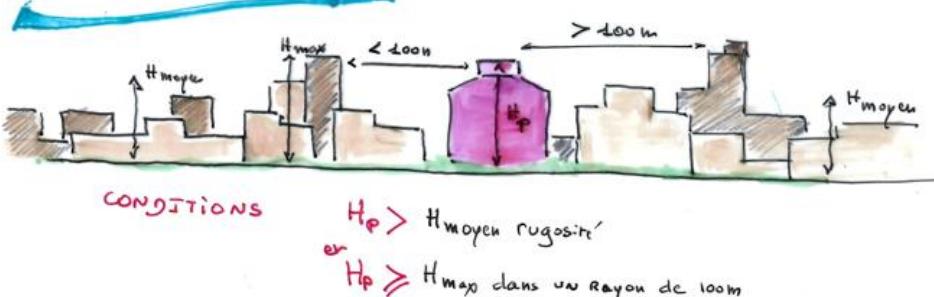
#### EMERGENCE ARCHITECTURALE DES LEVRES



LA HAUTEUR DE « LEVRES » D'UN PUIT  
DOIT ETRE EN SURELEVATION  
D'UN MINIMUM DE 3M DES  
TOITURES TERRASSE OU A FAIBLES  
PENTE  
UN PUIT NE PEUT PAS AVOIR SA PLUS  
PETITE DIMENSION INFÉRIEURE A 3M

- L'émergence doit être au moins aussi haute que tout autre obstacle à 100m aux alentours.

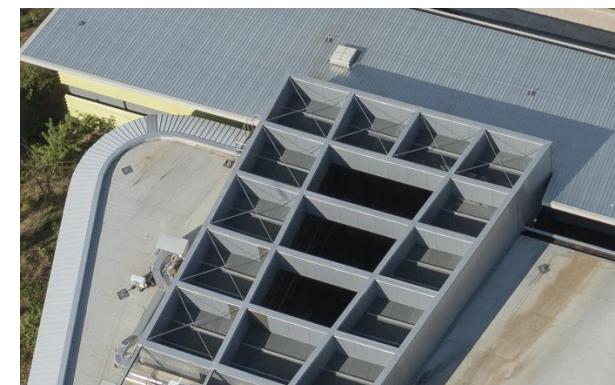
#### EMERGENCE ENVIRONNEMENTALE DU PUIT



### Des dispositifs aérauliques - protection solaire

Il est important également lors de la conception d'une extraction en toiture de **ne pas trop avoir d'apports solaires par ce système** passif.

En effet, ceci pourrait engendrer une surchauffe importante contreproductive pour le confort. Il peut être envisagé alors la mise en place d'un **système de protection solaire** limitant les apports solaires directs comme on peut le voir dans la photo ci-dessous.



Gaufré aérothermique du collège de Boueni

De plus, ces dispositifs peuvent également servir à améliorer la performance aéraulique quand les flux aérauliques extérieurs (vent du site) sont parallèles à la grande longueur d'un système d'extraction. Placer une sorte de protection solaire va faire office **d'ailette permettant de maximiser une bonne dépression** sur le linéaire du système d'extraction et de limiter le recollement des flux aérauliques.

## Les enseignements

### Matérialité des systèmes

Concernant la matérialité des systèmes d'extraction, il n'y a pas de contraintes particulières outre le fait que de **respecter l'étanchéité entre les façades à l'admission et à l'extraction (les façades de l'émergence doivent être étanches à l'air)**. Plusieurs matériaux peuvent être utilisés en fonction de l'aspect esthétique que l'on veut donner et en fonction du coût.



Plexiglass



HPL



Aluminium



Acier



Béton



Toile

## BON FONCTIONNEMENT EN EXPLOITATION

### 9. Sensibilisation des usagers

Le fonctionnement en ventilation naturelle, qui plus est par système dépressionnaire, peut entraîner une **certaine réticence des usagers**, surtout s'ils ont été habitués à travailler en bureau climatisé.

Il est donc essentiel de leur présenter dès que possible, idéalement **dès les phases de conception**, l'intérêt de cette approche ainsi que les bénéfices environnementaux qui y sont associés.

#### Intégrer les usagers dès la conception

Expliquer le principe

Désamorcer les problématiques en amont

Impliquer les usagers

#### Désigner un interlocuteur référent pour les usagers

Faire remonter les problématiques en exploitation

Pouvoir agir rapidement sur les problématiques identifiées

#### Créer un support de sensibilisation

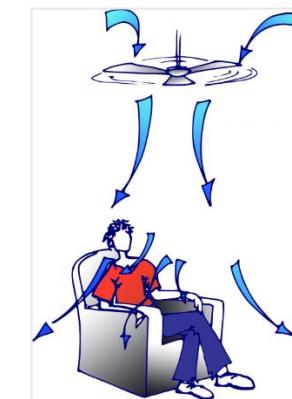
Assurer une sensibilisation continue pour les nouveaux usagers

Il est également recommandé de les consulter et de leur expliquer le principe de fonctionnement du système. Cette démarche favorise leur adhésion, permet **d'anticiper d'éventuels dysfonctionnements** et contribue à une meilleure prise en main du système en exploitation.

### 10. Le recours aux brasseurs d'air

La ventilation naturelle, bien que présentant de nombreux avantages, repose sur la **disponibilité du vent**. Cette condition n'étant pas garantie systématiquement, il est nécessaire de **combiner la ventilation naturelle à un système de brassage d'air**.

La ventilation naturelle, comme outil de confort, repose sur le fait que les mouvements d'air créés **réduisent la température ressentie**. Les brasseurs d'air permettent de générer des vitesses d'air de l'ordre de 1 m/s, avec une **consommation d'énergie minime**. Il est admis qu'une vitesse d'air de 1m/s sur le corps permet d'abaisser la température ressentie de l'ordre de 4°C.



*La ventilation naturelle en pratique, ADEME*

## Les enseignements

### 11. Maintenir la continuité de flux d'air intérieur

Nous avons pu observer, sur certains projets, que des usagers ont obstrué les menuiseries, parfois pour **installer du mobilier** (nécessité de stocker des affaires), **ou par intimité** (menuiseries donnant sur une zone passante).

Si toutes ces problématiques ont correctement été **anticipé en amont** durant les phases de conception, la continuité de flux d'air devrait être assurée.

Le cas échéant, et si des obstructions persistent, il est nécessaire de **sensibiliser les usagers concernés**, et de **trouver un compromis**, permettant de **palier la problématique de l'usager tout en préservant la continuité de flux d'air**.



Mécanismes de jalousie cassés à l'école Antoine Bertin

### 12. Vérification des performances et ajustements

En phase d'exploitation, il est nécessaire de vérifier que le système de ventilation naturelle par extraction en toiture fonctionne conformément aux objectifs fixés lors de la conception. Cette évaluation repose à la fois sur des **observations techniques** et sur l'**analyse des usages réels** du bâtiment.

#### Vérification du bon usage du bâtiment

Certaines **dérives d'usage** sont fréquemment observées en exploitation, telles que des lames de jalousies bloquées, des mécanismes d'ouverture motorisés défectueux, des ouvrants systématiquement fermés à l'admission ou à l'extraction ou des occultations ajoutées (stores, rideaux, meubles) perturbant la circulation aéraulique.

L'identification de ces situations permet de proposer des actions correctives adaptées, allant du réglage des dispositifs à la sensibilisation des usagers, et d'anticiper les besoins de maintenance ou d'ajustements pour garantir un fonctionnement optimal.



Mécanismes de jalousie cassés à l'école Antoine Bertin

## Les enseignements

### Vérification du confort des usagers et retour d'expérience

Pour compléter les observations techniques, il est recommandé de mettre en place :

- **Des enquêtes de satisfaction en mode occupé** auprès des usagers.
- **Des entretiens qualitatifs** avec les équipes de maintenance et les gestionnaires du site.

Ces outils permettent d'identifier des points d'inconfort, des usages détournés, ou des difficultés d'exploitation non visibles lors d'une simple visite.



#### Exemples de questions à poser :

- Connaissez-vous le principe de ventilation de votre bâtiment ?
- L'ouverture/fermeture des menuiseries se fait-elle automatiquement ou manuellement ? Les manipulez-vous régulièrement ?
- Avez-vous eu des retours sur le confort thermique, acoustique, visuel, olfactif ? (Positifs ou négatifs)
- Rencontrez-vous des difficultés dans la gestion du bâtiment et du confort ? (Manipulation des menuiseries, brasseurs d'air, régulation, aménagement, etc)
- Etes-vous satisfait de la conception de votre bâtiment ?
- Si le bâtiment était à refaire entièrement, que recommanderiez-vous ? (Volet architectural, gestion, fonctionnement, système)

### Vérification par la mesure

La mise en place d'une **campagne de mesures pour objectiver** la performance réelle afin de disposer de données chiffrées sur le comportement réel du bâtiment peut être pertinent. Cela complète les observations qualitatives et permet de confirmer, affiner ou corriger le retour d'expérience.

Des capteurs de **température et d'humidité** peuvent être installés dans des locaux représentatifs afin de vérifier le fonctionnement thermique des espaces, détecter d'éventuelles surchauffes, et contrôler la cohérence des conditions réelles avec les hypothèses de conception (stratégies d'ouverture, inertie du bâtiment).

Une campagne de **mesures aérauliques** peut être réalisée en installant des **anémomètres** intérieurs et extérieurs (pour point de comparaison avec une donnée de référence) afin de caractériser les vitesses d'air dans les espaces intérieurs ou dans les systèmes dépressionnaires. Les résultats servent ensuite à ajuster les stratégies d'ouverture et à proposer des actions correctives.



Pose d'anémomètre à l'école Bertin,  
La Réunion

## 4. Les outils d'aide à la conception

### SIMULATION EN SOUFFLERIE

Une étude en soufflerie consiste à analyser le comportement d'un bâtiment ou d'une structure face au vent en **reproduisant les**



**conditions réelles à échelle réduite** au sein d'une installation dédiée.

Depuis les années 1960, la **simulation physique en soufflerie à couche limite** a été développée, éprouvée, étalonnée, comparée à la vraie grandeur et est à ce jour, totalement **validée scientifiquement et optimisée**, ainsi que les techniques de simulations associées, et les technologies de mesures, les traitements des données et les transpositions à l'échelle vraie grandeur.

Les **résultats sont obtenus de manière adimensionnelle, et sont transposables à la vraie grandeur** en fonction la vitesse de référence du vent.

Rappelons que, dès lors qu'il s'agit d'évaluer **la tenue d'un ouvrage au vent et sa sécurité**, la simulation physique en soufflerie reste indispensable. Même si des règles de calcul reconnues existent (comme les Eurocodes, eux-mêmes élaborés à partir d'essais en soufflerie et de mesures en vraie grandeur), les bâtiments de grande échelle, de formes particulières, les ouvrages élancés ou à structure légère doivent recourir

à une étude en soufflerie. Qu'il s'agisse de dimensionner les actions locales ou globales, ou d'analyser le comportement dynamique de la structure, cette approche est la seule à offrir une méthodologie suffisamment précise, fiable et sécuritaire.

Avantages	Inconvénients
<p><b>Méthode éprouvée et scientifiquement validée</b></p> <p><b>Représentation fidèle des conditions réelles</b> : la turbulence atmosphérique, le gradient vertical de vitesse et les interactions aérodynamiques sont reproduits avec une grande précision, impossible à atteindre en modélisation numérique.</p>	<p><b>Temps de préparation important</b> : la création de la maquette physique et sa mise en conformité avec les exigences aérodynamiques peuvent être chronophages</p>
<p><b>Intégration naturelle de tous les phénomènes physiques</b> : interactions tridimensionnelles, instationnaires et fluctuantes, pressions locales, vitesses turbulentes, couplages dynamique-structure, dispersion d'effluents, etc.</p> <p><b>Visualisation directe et pédagogique des écoulements</b> : identification des zones d'accélération, stagnation, chemins de flux, effets d'urbanisme climatique, ventilation naturelle, etc., permettant de tester des variantes en temps réel.</p>	<p><b>Nombre limité de points de mesure</b> : les pressions, vitesses ou forces mesurées le sont sur un ensemble de points définis, nécessairement limité par le matériel disponible et le temps d'essai, contrairement aux simulations numériques pouvant générer des champs continus.</p>
<p><b>Flexibilité de la maquette</b> : une fois réalisée, les modifications (porosités, orientations, morphologies, obstacles, ouvertures...) sont simples à mettre en œuvre et les résultats sont immédiatement observables.</p>	

## Les outils d'aide à la conception

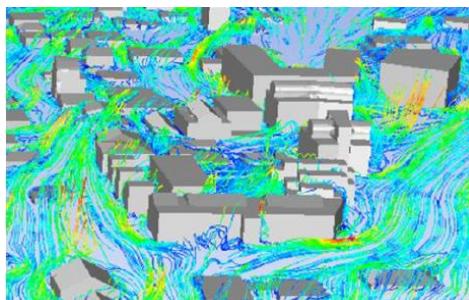
### SIMULATIONS NUMÉRIQUES (CFD)

Il semblerait que les études numériques (CFD) soient intéressantes pour les **premières études**, lorsque la maquette numérique est susceptible de beaucoup évoluer.

Quand la maquette est définie, et que les études numériques ont d'ores- et-déjà permis **d'améliorer le fonctionnement aéraulique**, il est intéressant d'avoir recours aux études en soufflerie afin de **valider la conception**, et d'identifier si des **phénomènes aérauliques complexes** et non repérés pendant les études numériques impactent le fonctionnement du projet, et pour attester, via des mesures ponctuelles, des vitesses d'air et des taux de renouvellement d'air espérés dans les locaux.

La modélisation numérique ne possède ni la précision, ni la fiabilité, ni la flexibilité, ni l'interactivité offertes par la simulation physique lorsqu'il s'agit d'étudier les phénomènes aérodynamiques et aérauliques dans l'environnement bâti.

La simulation numérique des écoulements turbulents instationnaires tridimensionnels, en interaction avec le contexte aérodynamique, reste complexe et devient presque impraticable lorsque l'échelle du projet est importante, que les formes sont complexes ou que le couplage entre l'aérodynamique externe et l'aéraulique interne doit être pris en compte.



Exemple de résultat visuel d'étude numérique

Avantages	Inconvénients
<p><b>Grande souplesse en phase amont :</b> lorsque la maquette numérique évolue beaucoup, il est facile de tester rapidement différentes configurations, d'itérer et d'ajuster le modèle avant de relancer les calculs</p>	<p><b>Temps de préparation et de calcul parfois important :</b> la création du modèle numérique, le choix des hypothèses (dont les modèles de turbulence) et le maillage peuvent être chronophages. Les temps de calcul augmentent fortement avec la complexité géométrique</p>
<p><b>Outils de plus en plus accessibles :</b> les logiciels CFD deviennent plus simples à prendre en main, ce qui facilite leur intégration dans les premières phases de conception.</p>	<p><b>Fiabilité dépendante de l'expert :</b> la qualité des résultats repose directement sur les hypothèses retenues. Une mauvaise définition des conditions limites, du régime turbulent ou du maillage peut conduire à des conclusions erronées.</p>
<p><b>Quantité importante de données :</b> les simulations permettent d'obtenir un nombre élevé de points de mesure et de produire des visualisations fines, utiles pour analyser les écoulements et communiquer les résultats.</p>	<p><b>Limites dans l'analyse de l'aéraulique interne :</b> les CFD peinent souvent à restituer de manière fiable les écoulements à l'intérieur des locaux, surtout en présence d'interactions complexes entre ventilation naturelle, turbulences externes et obstacles architecturaux.</p>



Cependant, il ne s'agit pas d'opposer ces deux approches, mais de les rendre complémentaires. **Une méthode constructive consiste à calibrer le modèle numérique à partir des données obtenues en soufflerie**, puis à y intégrer des paramètres thermiques (rayonnement, températures, flux, etc.) et des interactions aérothermiques, qui ne peuvent être reproduites en soufflerie. **Cette combinaison permet d'enrichir la conception et d'optimiser la performance climatique du projet.**

Les outils d'aide à la conception

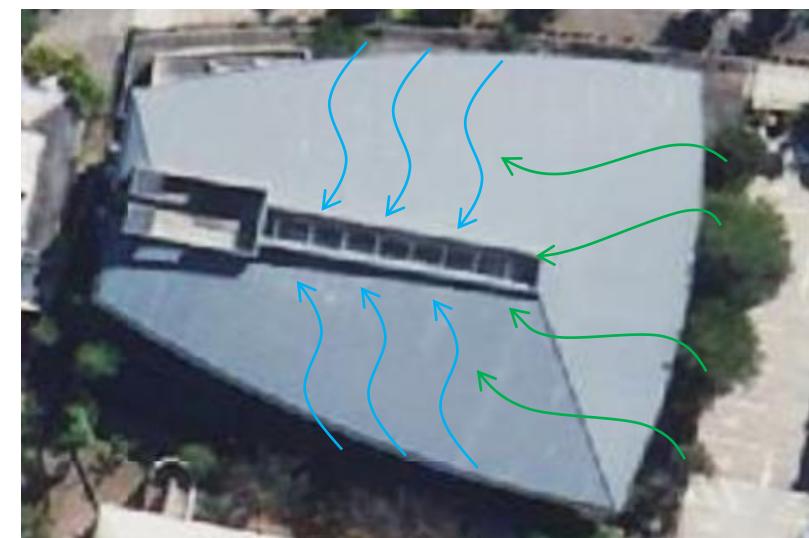
## EXEMPLES D'APPORTS DES ETUDES EN SOUFFLERIE

### Amphithéâtre du Moufia

L'amphithéâtre du Moufia, orienté « dos au vent », présentait un fonctionnement aéraulique perfectible : malgré l'effet dépressionnaire du canyon, les études ont mis en évidence un **balayage d'air non optimal et l'existence de zones moins ventilées**, notamment sous le canyon.

Les essais en soufflerie réalisés **en phase APS** ont permis d'identifier un potentiel d'amélioration en exploitant davantage l'orientation dominante du vent.

Les résultats obtenus en soufflerie ont conduit à l'adoption de la solution de créer des **arrivées d'air sous les gradins grâce à des gaines disposées sur la façade Est, associées à des gradins grillagés** permettant la diffusion de l'air. **L'intensité des flux d'air et leur zone de balayage ont ainsi été améliorés.**



Chemins aérauliques de l'amphithéâtre du Moufia

## Les outils d'aide à la conception

### Collège de Bouéni

Le collège de Bouéni intègre un gymnase ouvert mais couvert, offrant une ventilation naturelle efficace en limitant les apports solaires.

Pour ce type de structure métallique largement ouverte, les Eurocodes imposent toutefois des **coefficients de pression particulièrement conservatifs**. Entre l'APS et l'APD, une étude en soufflerie a donc été réalisée afin de déterminer des coefficients de pression spécifiques au projet, **mieux adaptés aux conditions réelles** de vent et à la morphologie de cet espace sportif.

Cette étude a permis de :

- **Réduire d'environ 50% le volume de béton** dans les fondations.
- **Réduire de 25% la quantité totale de matériaux** sur la structure (infrastructure + superstructure).



Collège de Bouéni

## Bibliographie

### 5. Bibliographie

A. Perrau et al. (2024). *Natural roof ventilation : Low-Pressure systems as a New Archetype in tropical architectures*, Piment laboratory, GREAT research group ENSAM, ISBN 978-3-9524883-2-4

Bencherif M, Chaouche S, 2013. La maison urbaine à patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. *Secheresse* 24 : 203-13.

KAMARAGI, Roland Dehghan. *Les systèmes de ventilation et refroidissement dans l'architecture traditionnelle du Golfe Persique: histoire des dispositifs, modélisation, évaluation des performances*. 2014. Thèse de doctorat. Université Paris Est.

Antoine Perrau. "Influence de la ventilation naturelle dans l'évolution de l'architecture tropicale". "Évaluation de cette influence au travers un regard d'architecte et d'urbaniste exerçant à La Réunion". Science des matériaux [cond-mat.mtrl-sci]. Université de la Réunion, 2019. Français. NNT : 2019LARE0045. tel-02951850

Garde, F., and Adelard, L. (2004). Implementation and experimental survey of passive design specifications used in new low-cost housing under tropical climates. *Energy and Buildings*.

Gandemer, J., and Picgirard, F. (2012). *La ventilation naturelle en pratique*.

Givoni, B. (1994). Building design principles for hot humid regions. *Renewable Energy*, Vol. 5, Part II, 908–916.

Allard, F. (1998). *Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook* (Earthscan).

Taleghani, M., Tenpierik, M., and Van den Dobbelaer, A. (2012). Environmental impact of courtyards—a review and comparison of

residential courtyard buildings in different climates. *Journal of Green Building*.

Tablada, A., Blocken, B., Carmeliet, J., De Troyer, F., and Verschure, H. (2005). The influence of courtyard geometry on airflow and thermal comfort: CFD and thermal comfort simulations. *22nd Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Beirut, Lebanon, pp. 6.

Allard, F., and Ghiaus, C. (2012). *Natural Ventilation in the Urban Environment: Assessment and Design* (Routledge).

Gandemer, J., and Guyot, A. (1976). *Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti* (Ministère de l'Équipement, Direction de l'Aménagement foncier et de l'Urbanisme).

Payet, Maareva, et al. "Performance evaluation and post-occupancy evaluation of a naturally ventilated lecture theatre in Reunion Island." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1343. No. 1. IOP Publishing, 2019.

Guide pour la sécurité incendie relative au désenfumage des bâtiments ventilés naturellement « SBVN » de l'AQC

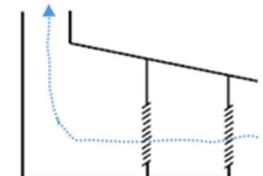
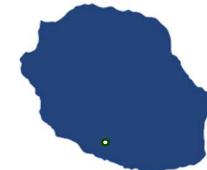
ADEME, *La ventilation naturelle en pratique*, Gandemer, J. et Picgirard, F.

## 6. ANNEXE : Etudes de cas

Les pages suivantes présentent une liste non exhaustive des bâtiments comprenant des systèmes dépressionnaires tels que des puits, des canyons ou des patios dépressionnaires.

Numéro	PROJET	USAGE	TYPE DE SYSTEME	LOCALISATION	Etude en soufflerie atmosphérique
1	ESIROI	Université	Puits dépressionnaire	Réunion	Oui
2	CIRAD	Bureaux	Canyon dépressionnaire	Réunion	Oui
3	Bâtiment M	Université	Puits dépressionnaire	Réunion	Oui
4	Grand Amphithéâtre Tampon	Amphithéâtre	Puits dépressionnaire	Réunion	Oui
5	Aérogare Roland Garros	Aérogare	Canyon dépressionnaire	Réunion	Oui
6	CHOR	Hôpital	Puits dépressionnaires	Réunion	Oui
7	ITEP James Morange	Médico-social	Patio dépressionnaire	Réunion	Non
8	Antoine Bertin	Ecole	Puits dépressionnaires	Réunion	Non
9	Collège Roquefeuil	Collège	Patio dépressionnaire	Réunion	Non
10	ECOTOLE	Bureaux	Puits dépressionnaire	Réunion	Oui
11	Amphithéâtre bioclimatique du Moufia	Amphithéâtre	Canyon dépressionnaire	Réunion	Oui
12	Collège de Bouéni	Collège	Patio dépressionnaire	Mayotte	Oui
13	Centre médico-social de la CAFAT	Médico-social	Patio dépressionnaire	Nouvelle-Calédonie	Oui

1. ESIROI : Identité du projet



Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Saint-Pierre

Date de livraison : 2020

Typologie : Université

Superficie totale du projet : 3885 m<sup>2</sup> SHON

Coût travaux : 15 782 450 €

Consommation énergétique : 73,7 kWhef/m<sup>2</sup>SU/an (totalité bâtiment, tous usages)

Maîtrise d'ouvrage : Université de La Réunion

Maîtrise d'œuvre : Antoine Perrau Architectures LAB Réunion, LEU Réunion, Jacques Gandemer Conseil, A3 Structures, INSET, Créeateur, DELHOM Acoustique

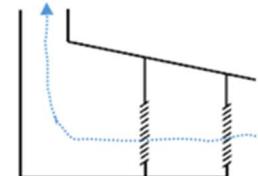
Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Puits dépressionnaire



ASPIRHAUT \_ Cas d'études 1



Crédit photos : Hervé Douris



## 1. ESIROI : Contexte environnemental et énergie

Le bâtiment se situe dans un environnement urbain mais a été orienté de telle sorte qu'il n'y ait pas de masque notable dans la direction des vents dominants. La forme même du bâtiment, en "C" permet d'optimiser les jeux de pression/ dépression, moteurs de la ventilation naturelle. Les abords et pieds de façades sont largement végétalisés.

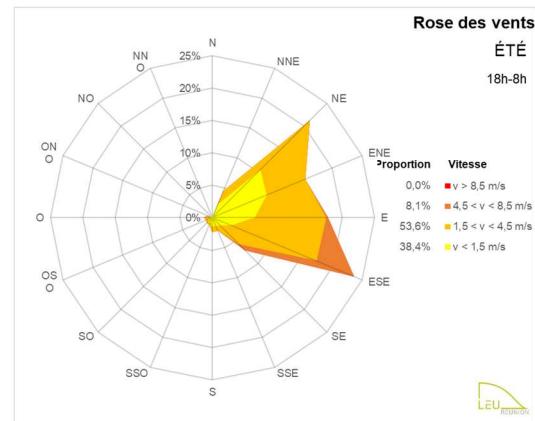
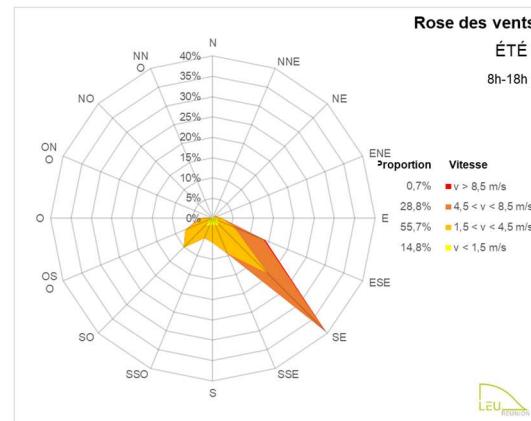
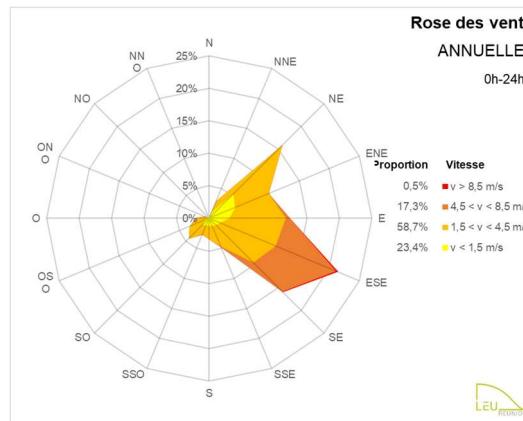
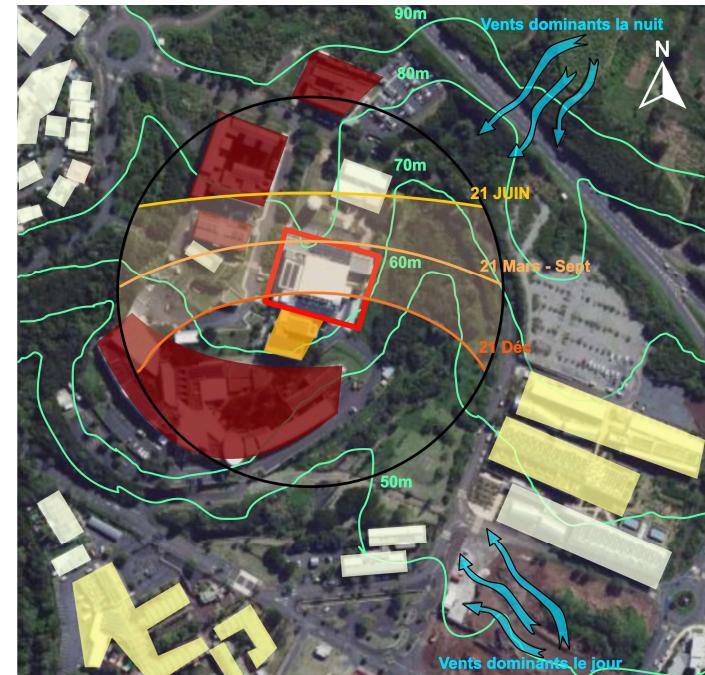
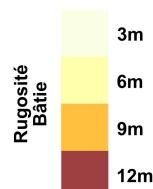
Les seuls locaux climatisés sont situés dans le socle en béton et sont destinés à des usagers informatiques et/ou travaux pratiques. L'ensemble des salles de classes et bureaux sont en ventilation naturelle. Tous les locaux sont équipés de brasseurs d'air.

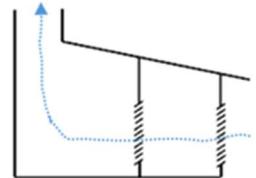
Altitude : 74m

Type d'environnement : Urbain

Effet de masques : aucun

Les vents dominants proviennent principalement du Sud-Est en journée, avec des influences de brises thermiques orientées Nord-Est la nuit et Sud-Ouest en journée.

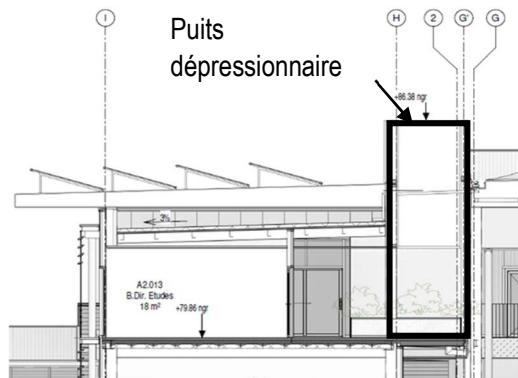


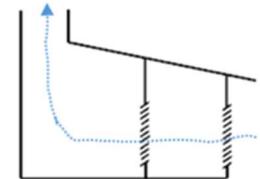


## 1. ESIROI : Système architectural

Le puits dépressionnaire de l'ESIROI alimente les bureaux de l'administration situés au dernier niveau du bâtiment (R+1). Les bureaux, de trame fine, disposent d'ouvertures de type jalousettes manuelles placées en vis-à-vis. L'air est extrait du côté de la coursive grâce à un puits dépressionnaire situé à l'extrémité de celle-ci, au-dessus d'une jardinière.

Gestion des ouvrants	type	Manuelle
Emergence	m	2.5
Dimensions	m * m	2.06 * 23.15
Surface système	m <sup>2</sup>	71
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	24
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	24
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	72
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	330
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	20
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	21





## 1. ESIROI : Retour d'expérience

### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Cédric Delahaye, architecte

Motivations à faire un système dépressionnaire et retour d'expérience : une solution adaptée aux contraintes du site, notamment pour éviter de déventer le bâtiment existant, ENERPOS. Le dernier niveau du nouveau bâtiment émerge donc grâce au puits au-dessus d'ENERPOS, créant des conditions aérodynamiques distinctes par rapport aux niveaux inférieurs, où les salles ont un fonctionnement aéraulique en ventilation traversante via la bulle de haute pression induite par la forme en U du bâtiment. Cette particularité rend le puits dépressionnaire particulièrement intéressant, car il permet de tirer parti des différences de comportement du vent à des hauteurs et des localisations différentes. Toutefois, il manque actuellement un sas entre la zone de dépression créée par le puits, qui alimente l'administration, et le reste du bâtiment, où une bulle de haute pression se forme. Ce sas serait essentiel pour éviter que ces deux zones de pression opposées n'interfèrent, compromettant ainsi l'efficacité du puits.

### *Point de vue du gestionnaire de site*

Personne interrogée : François Garde, Directeur de l'ESIROI

Retour d'expérience : François Garde a participé à la conception du projet initial et présente régulièrement le fonctionnement thermique et aéraulique du bâtiment aux élèves ou à des membres externes à l'école. Il a expliqué que l'ensemble des jalousettes était réglable manuellement par les étudiants, le personnel enseignant ou administratif, tandis qu'une équipe d'entretien fermait ces jalousettes le soir et pendant les périodes de vacances pour éviter les infiltrations d'eau en cas de pluie.

Concernant les performances thermiques et aérauliques, il a affirmé que le puits dépressionnaire apportait une amélioration, bien qu'il restait à prouver son efficacité sur le confort thermique de l'administration de l'ESIROI. Il a souligné que cette efficacité était compromise par l'absence d'une « zone tampon » qui permettrait de gérer le fonctionnement de l'administration indépendamment du reste du bâtiment. Il a précisé qu'en phase de conception, une seule porte avait été prévue pour assurer cette séparation, afin que le puits dépressionnaire puisse fonctionner de manière autonome, en générant un flux traversant les bureaux depuis l'extérieur vers le puits. Toutefois, il a averti qu'une seule porte est insuffisante car cela génère une pression trop importante en cas de vents forts. Il a suggéré qu'un sas serait nécessaire pour équilibrer les pressions entre les différentes zones.

Il a mentionné que, faute de la mise en place d'un sas, deux problèmes principaux se posaient actuellement :

- Le puits fonctionne, mais il génère un appel d'air dans le couloir de l'administration depuis le centre du bâtiment, ce qui shunte le flux d'air provenant des jalousettes des bureaux. Par conséquent, les usagers des premiers bureaux ne ressentent pas le flux d'air traversant depuis leurs jalousettes extérieures vers le puits dépressionnaire.

## Projet ASPIRHAUT- OMBREE

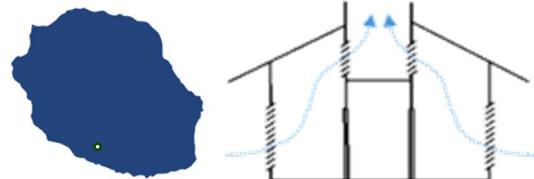
- Ce courant d'air est particulièrement désagréable dans le couloir en hiver, lorsque les alizés sont très forts, ce qui entraîne des plaintes des usagers concernant l'inconfort et des problèmes de santé.

Globalement, il s'est dit satisfait de la conception du bâtiment, en notant que toutes les zones étaient traversantes grâce aux larges jalousies verticales. Il a affirmé être convaincu de l'utilité du puits de l'administration, mais a insisté sur la nécessité de prendre en compte l'inconfort hivernal.

Enfin, il a formulé plusieurs recommandations si le bâtiment devait être refait :

- **Concernant les jalousies :**
  - Être rigoureux et exigeant sur le choix du système des jalousies.
  - Maintenir l'exigence d'une ouverture à 90° pour maximiser le flux d'air traversant, avec des poignées permettant une rotation de 180°.
  - Exiger un protocole de maintenance / réparation de l'entreprise en cas de casse des poignées.
- **Concernant le puits dépressionnaire :**
  - Être rigoureux sur le découpage des zones thermiques et aérauliques pour un fonctionnement autonome.
  - Réaliser un sas (plutôt qu'une seule porte) pour décorrérer la zone d'administration du reste du bâtiment.
- **Concernant la ventilation naturelle traversante :**
  - Prendre en compte les particularités climatiques de La Réunion, avec une saison fraîche marquée par des vents forts et une saison chaude.
  - Assurer un confort thermique en été comme en hiver, en prévoyant des solutions pour limiter les courants d'air froids en hiver.

2. CIRAD : Identité du projet



Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Saint-Pierre

Date de livraison : 2021

Typologie : Bureaux

Superficie totale du projet : 2466 m<sup>2</sup>

Coût travaux : 7,5 M€

Consommations énergétiques : 11.6 kWh/m<sup>2</sup>/an (bureaux)

Maîtrise d'ouvrage : CIRAD

Maîtrise d'œuvre : L'Atelier [Architectes et Ingénieurs], IMAGEEN, INSET, Jacques Gandemer Conseil, Acoustique Vivié et Associés, Uni Vert Durable, Hope Architecture

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : 2 canyons dépressionnaires



Crédit photos : Hervé Douris

## Projet ASPIRHAUT - OMBREE

### 2. CIRAD : Contexte environnemental et énergie

Le pari a été d'assurer le confort des bureaux uniquement en ventilation naturelle, et donc sans utilisation de la climatisation, grâce à dispositif innovant de canyon dépressionnaire associée à une conception bioclimatique globale du projet.

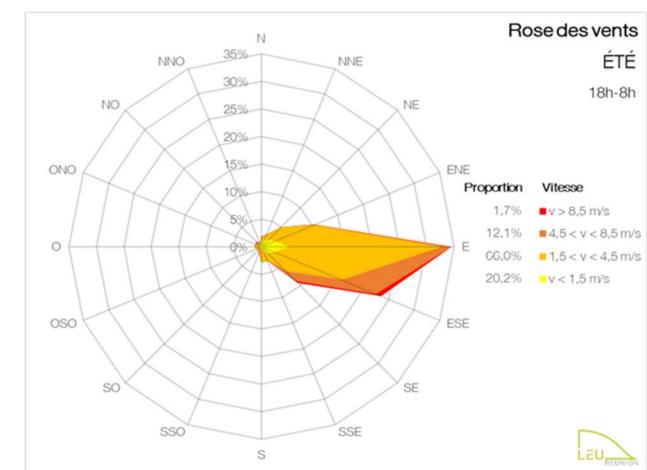
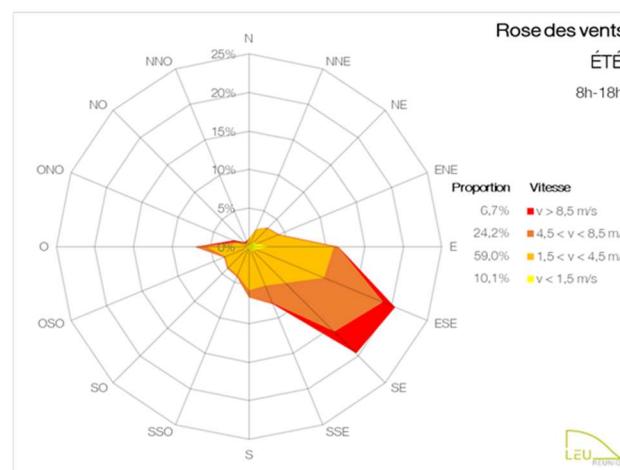
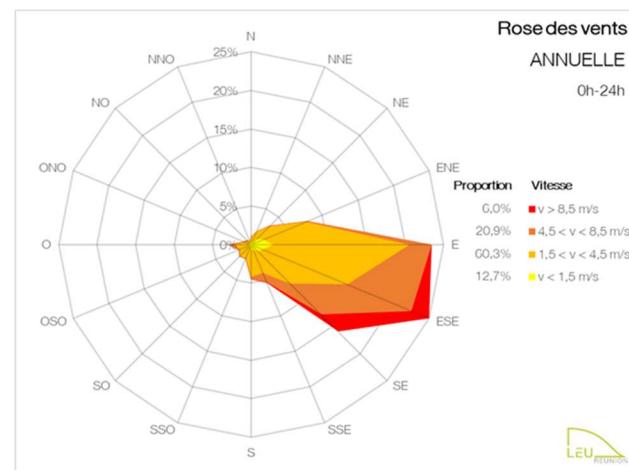
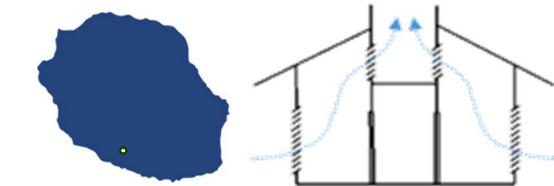
Les vents dominants en été proviennent principalement du Sud-Est, Est-Sud-Est en journée, avec des influences de vent marquées plus à l'Est la nuit. Cependant, les bâtiments étant rapprochés, les deux bâtiments étudiés se font mutuellement des obstacles dans ces directions. De plus, les bâtiments adjacents au Sud Est font également office de masque aéraulique.

Les locaux sont équipés de brasseurs d'air.

Altitude : 157m

Type d'environnement : Péri-urbain

Effet de masques : Bâtiment RDC à proximité immédiate

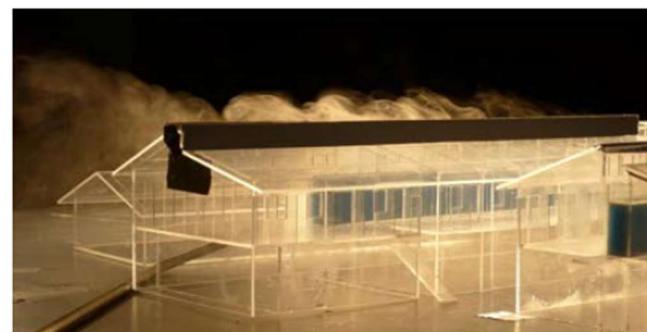
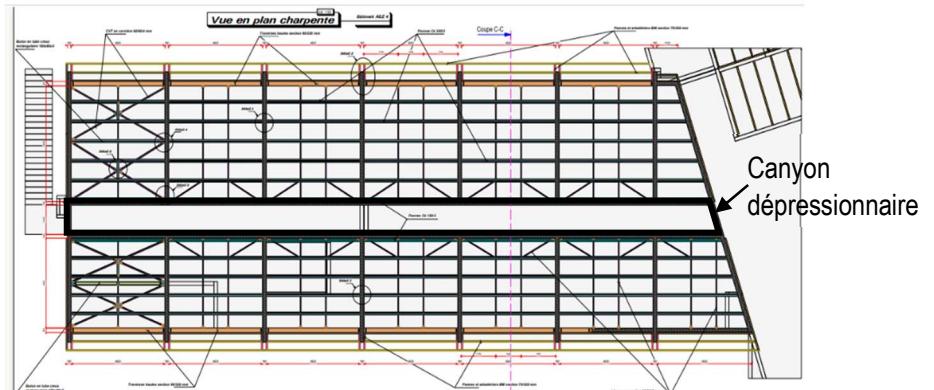
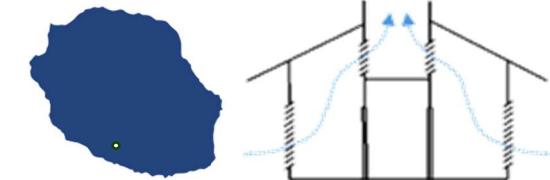


## 2. CIRAD : Aile 5

Dans cette configuration où des masques aérauliques proches existent, un canyon dépressionnaire peut apporter une solution de ventilation naturelle grâce à son émergence par rapport aux bâtiments environnants. On est dans une configuration bureau / coursive / bureau avec une possibilité de fonctionnement en ventilation traversante si toutes les jalousies sont ouvertes en même temps, ce qui pourrait court-circuiter le fonctionnement du canyon.

Les ouvertures des jalousies et ouvrants à la française en façades sont manuelles et les jalousies sont motorisées au niveau du canyon. Elles sont asservies à conditions météorologiques extérieures relevées par la GTC mais peuvent se piloter depuis un local technique situé dans le couloir central (donc plutôt à vocation d'être manipulées par un technicien ou le gestionnaire de site).

Gestion des ouvrants	type	Motorisés
Emergence	m	1.23
Dimensions	m * m	35.3*1.44
Surface système	m <sup>2</sup>	51
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	72.3
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	45,7
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	381
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	868
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	20,7%
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	13,1%



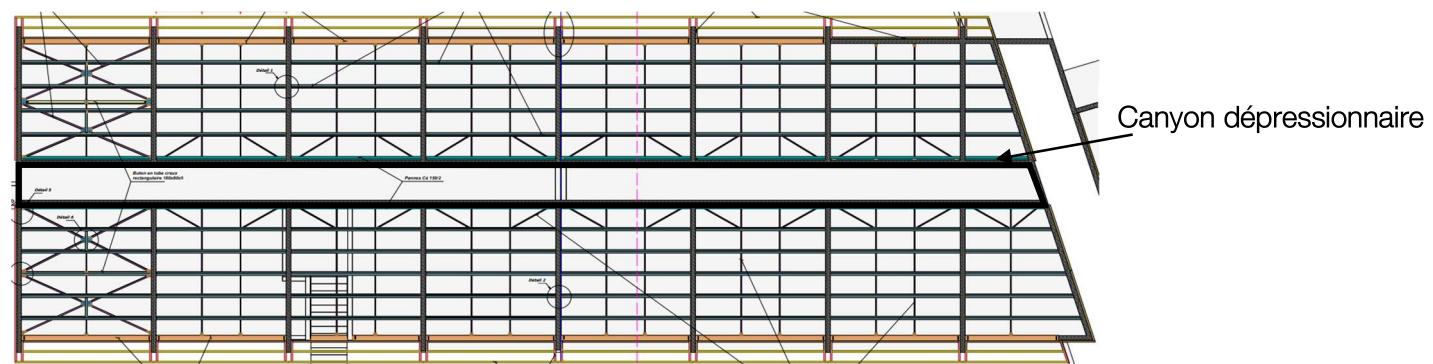
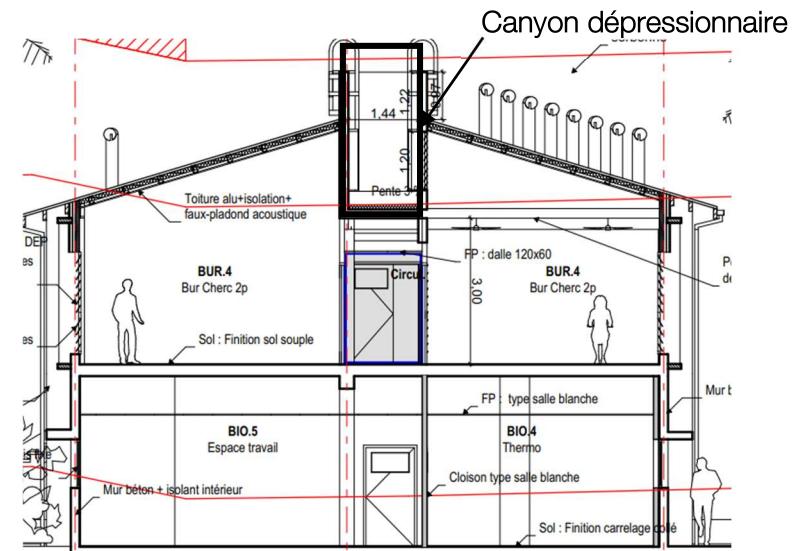
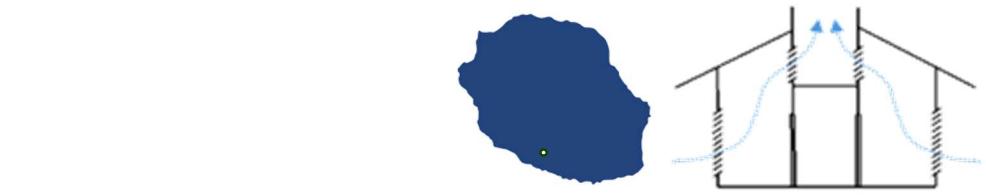
Crédit photo : Laboratoire Eiffel

## Projet ASPIRHAUT - OMBREE

### 2. CIRAD : Aile 4

Dans le cas du CIRAD, les émergences des 2 bâtiments adjacents sont de mêmes dimensions. Afin de comprendre d'avantage le fonctionnement de ces bâtiments, ils ont fait l'objet de mesures aérauliques poussées que nous détaillons dans la tâche 2.

Gestion des ouvrants	type	
Emergence	m	1.22
Dimensions	m * m	40.4*1.44
Surface système	m <sup>2</sup>	58
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	56,4
Surfaces ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	46,7
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	456
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	1401
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	27,0%
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	22,4%



## 2. CIRAD : Retours d'expérience

### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Matthieu Devos, ingénieur qualité environnementale du bâtiment et Elisabeth Pacot, architecte à l'Atelier [Architectes et Ingénieurs]

**Retour d'expérience :** L'architecte du projet a partagé les particularités et les défis majeurs rencontrés dans la conception et la réalisation de ce bâtiment reposant sur un canyon dépressionnaire pour ventiler l'ensemble des bureaux de chercheurs. L'idée du canyon a émergée au cours des premières phases de conception, à la suite de tests réalisés avec une maquette en soufflerie au laboratoire Eiffel à Paris. Ces essais ont permis d'optimiser la forme des toitures et d'aboutir à une configuration efficace en forme de canyon dépressionnaire, notamment en définissant une hauteur d'émergence. Ces premiers résultats ont permis de recaler une étude CFD (modélisation numérique), utilisée par la suite pour explorer des variantes de conception. Plusieurs ajustements significatifs ont été imposés par la maîtrise d'ouvrage, modifiant sensiblement le projet initial.

Parmi les demandes de la MOA, l'ajout d'un plus grand nombre de jalousies, au-delà de ce qui était prévu, a suscité des craintes sur le plan économique. Ces jalousies avaient pour but d'améliorer le confort des usagers, en particulier dans un bureau jugé défavorable en termes de conditions thermiques. Des arbitrages financiers ont dû être faits. En parallèle, la MOA a insisté pour automatiser ces ouvertures, bien que l'équipe de maîtrise d'œuvre ait proposé une approche différente, consistant à former les usagers à manipuler eux-mêmes les dispositifs en fonction de leurs besoins. Ce choix d'automatisation a limité l'implication des usagers sur la prise en main des systèmes.

D'un point de vue technique, d'autres choix initiaux ont été modifiés ou adaptés. Les groupes froids, prévus sur la toiture pour limiter l'impact acoustique dans les bureaux, n'y ont finalement pas été installés. Les rejets des laboratoires, évacués par des conduits "sorbonne" en façade, ont soulevé des inquiétudes quant à leur possible recirculation dans le canyon dépressionnaire, mais les retours d'expérience après livraison ont rassuré l'équipe sur ce point. Pour répondre à la double exigence de luminosité et de ventilation dans le cas où le canyon serait fermé en partie haute, des jalousies ont été ajoutées entre bureaux et couloirs. Cependant, cette modification a conduit à des plaintes sur des nuisances sonores provenant des couloirs. Des encadrements aux jalousies ont également été ajoutés pour éviter les infiltrations d'eau en cas de pluie chassante, et des optimisations de la GTC ont été mises en place pour gérer automatiquement les ouvertures en fonction de la pluviométrie, de la température ou de l'hygrométrie dans certaines zones.

À la livraison, plusieurs problèmes ont compliqué la prise en main du bâtiment. La gestion technique centralisée, essentielle pour piloter les jalousies selon des paramètres climatiques, ne fonctionnait pas. Cela a empêché l'ouverture automatique des jalousies du canyon pendant quelques jours et les usagers ont eu du mal à s'approprier les dispositifs, notamment pour ventiler leurs espaces. Les visites de Mme Pacot ont montré que, bien que le bâtiment offre un confort thermique globalement satisfaisant, les usagers ouvraient peu les fenêtres, ce qui accentue la sensation de chaleur.

## Projet ASPIRHAUT- OMBREE

Pour mieux comprendre ces difficultés, un retour d'expérience a été mené avec le bureau d'étude qualité environnementale du bâtiment et a démontré que malgré un ressenti thermique parfois chaud, les ouvertures étaient rarement utilisées.

Avec le recul, Mme Pacot estime que si c'était à refaire, elle ne changerait pas la conception globale du projet, qu'elle juge réussi, mais mettrait davantage l'accent sur l'accompagnement des usagers. Une meilleure intégration des usagers, dès la conception et à travers des formations ou des explications approfondies lors de la livraison, aurait probablement atténué les résistances observées et favorisé une utilisation optimale de ce bâtiment innovant. Pour elle, ce projet met en lumière l'importance d'associer les usagers à toutes les étapes dans des démarches architecturales novatrices.

### *Point de vue du gestionnaire de site*

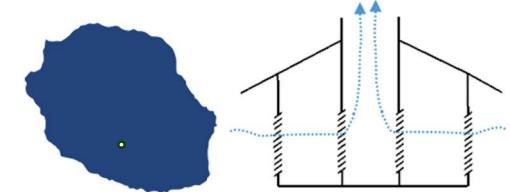
Personne interrogée : Mr Samuel Lauret, gestionnaire de site au CIRAD

**Retour d'expérience :** Les bâtiments étudiés ont fait l'objet de plusieurs enquêtes de confort, révélant un taux de brassage d'air satisfaisant et conforme au cahier des charges. Mr Lauret est satisfait du projet qui a fait l'objet d'études PREBAT. Il précise que les jalousies automatiques s'ouvrent dès qu'une différence de 2°C est constatée entre l'intérieur et l'extérieur, à condition que la température intérieure dépasse 25°C. Cependant, en cas de pluie accompagnée de vents de plus de 1,5 m/s, ou de vents seuls excédant 4,5 m/s, les jalousies se ferment. Le système peut également être forcé en cas de conditions cycloniques.

Les usagers peuvent télétravailler jusqu'à 20 % du temps afin d'éviter les périodes les plus chaudes. M. Lauret souligne que les études menées avec le laboratoire Eiffel ont conduit à une amélioration de la conception du canyon dépressionnaire. Cependant, quelques limitations ont été relevées, comme le manque de communication auprès des usagers et/ou leur intérêt pour le projet : seulement 13 d'entre eux sur 70 ont participé aux études de confort précédentes. Il regrette aussi le faible niveau d'étanchéité pour les jalousies, et des problèmes d'étanchéité avec des joints déplacés. Certains dysfonctionnements ont été observés avec les jalousies automatiques, dont certaines ne fonctionnent plus correctement, pointant vers un matériel non pérenne. Pour une future révision, il aurait préféré des volets roulants occultants en cas de fortes pluies. Quelques plaintes liées au bruit et à la poussière ont également été signalées, notamment pendant les travaux et en l'absence de végétation autour des bâtiments. Un sol souple a été installé dans les bureaux afin de gérer les éventuelles infiltrations d'eau.

## Projet ASPIRHAUT- OMBREE

### 3. Bâtiment M : Identité du projet



Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Tampon

Date de livraison : 2015

Typologie : Bureaux

Superficie totale du projet : 470 m<sup>2</sup>

Coût travaux : 3,3 M€

Consommations énergétiques : 18 kWhef/m<sup>2</sup>SU/an (totalité bâtiment, tous usages)

Maîtrise d'ouvrage : Université de La Réunion

Maîtrise d'œuvre : OBA, IMAGEEN, Jacques Gandemer Conseil, Intégrale, et Ad Hoc

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Puits dépressionnaire

## Projet ASPIRHAUT- OMBREE

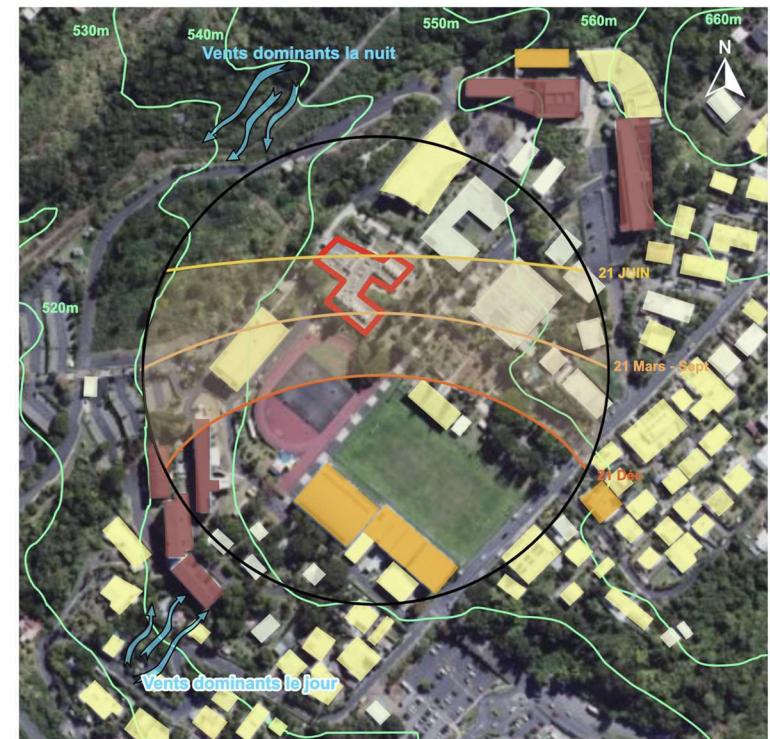
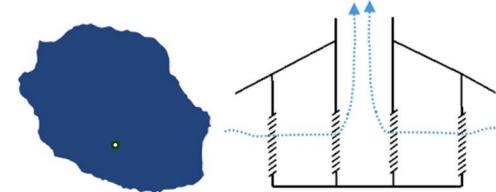
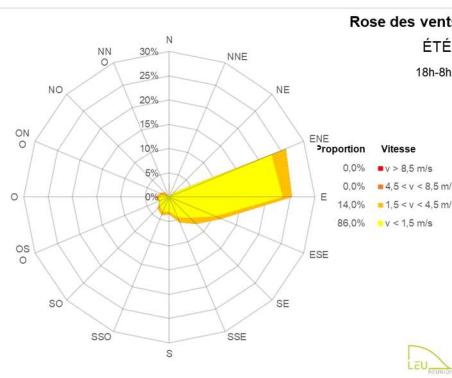
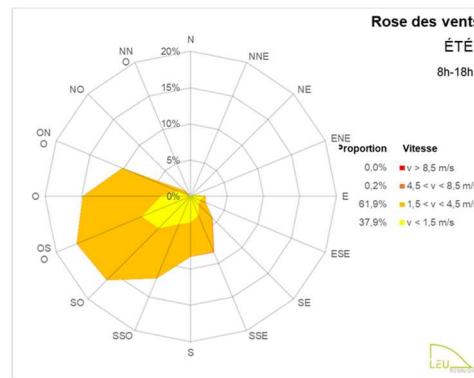
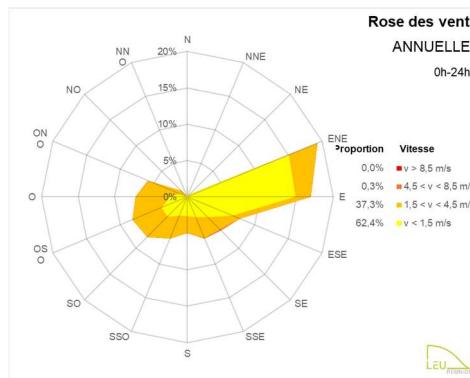
### 3. Bâtiment M : Contexte environnemental et énergie

Le bâtiment «M» date des années 70. Son ancienneté et son inadaptation au climat rendaient sa réhabilitation indispensable. Ce bâtiment bien que daté présente un intérêt particulier de par son plancher (toiture terrasse) à caissons dont la maîtrise d'œuvre a su tirer parti pour la réhabilitation thermique et notamment pour introduire de la ventilation naturelle dans une distribution ordinaire à couloir central. Un temps imaginé pour le département CODE (Construction Durable et Environnement) de l'école d'ingénieurs ESIROI, le bâtiment est finalement occupé aujourd'hui par le laboratoire PIMENT - acteur de la recherche, développement et innovation pour les énergies renouvelables et énergétique des bâtiments - et par le département SBE (Sciences du bâtiment et de l'environnement) de l'Université. La conception s'appuie sur l'outil PERENE 2009 et également sur quelques cibles HQE. L'opération entre dans le programme PREBAT de l'ADEME.

Altitude : 600m

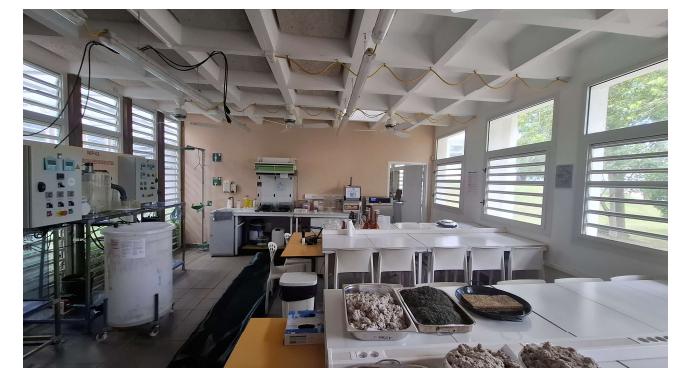
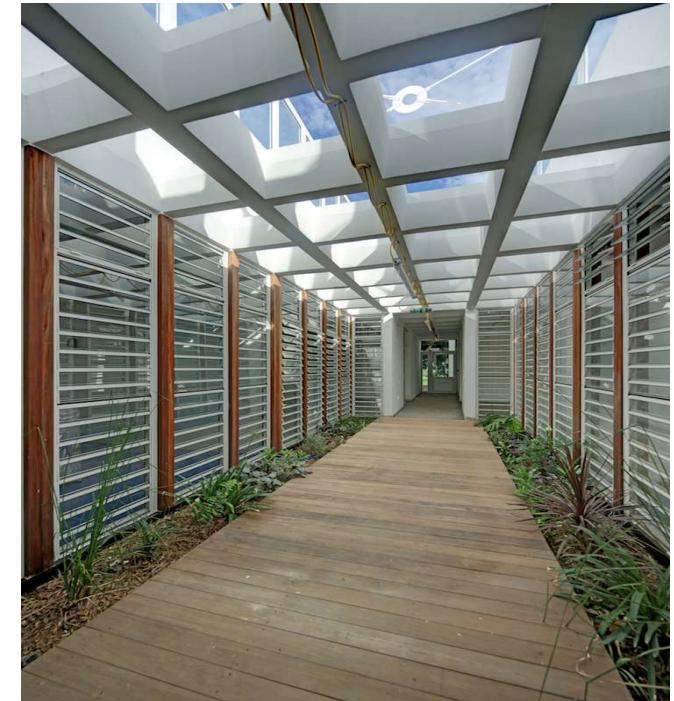
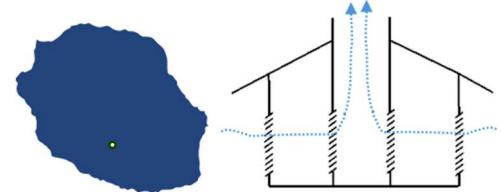
Type d'environnement : Péri-urbain

Effet de masques : Bâtiment RDC à proximité immédiate

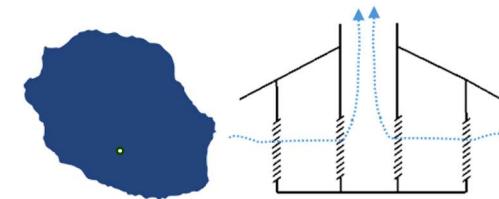


### 3. Bâtiment M : Système architectural

Gestion des ouvrants	type	Manuel
Emergence	m	2.5
Dimensions	m * m	6,9 * 3,45
Surface système	m <sup>2</sup>	23,80
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	39
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	41.2
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	72,36
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	280,86 (pour 104 m <sup>2</sup> )
Surface ouverture toit	m <sup>2</sup>	23,80
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	37,5
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	39,6



Pour les salles de cours, disposées de part et d'autre d'un couloir central, en réponse au besoin de ventilation naturelle et à celui d'isolation acoustique, l'architecte a imaginé un jeu d'éopies dépressionnaires. L'idée majeure est de créer une alternance d'éopies accolées fonctionnant à l'admission (salles sous le vent : admission plafond–sortie façade) et à l'extraction (salles au vent : admission en façade et extraction en plafond). Le dispositif fonctionne aussi bien au vent orthogonal qu'oblique, les éopies étant en quinconce et jointives. Les éopies sont disposées au-dessus du couloir de distribution et émergent de 2,5 m au-dessus du toit pour être le moteur d'une aspiration quelle que soit la direction du vent. Elles sont équipées de jalousies maintenues en permanence en position ouverte (sauf en cas de cyclone). La régulation des flux d'air se fait uniquement grâce à la simple manœuvre des jalousies des salles de cours par les usagers en fonction de leur ressenti.



### 3. Bâtiment M : Retours d'expérience

#### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Olivier Brabant

**Retour d'expérience :** Le bâtiment M est une vraie réussite, pour moi, de conception aéraulique appliquée à la réhabilitation qui est souvent très complexe. A la genèse, on s'est posé énormément de question sur la possibilité de faire fonctionner de manière performante la ventilation naturelle car la configuration « Salle de classe – couloir – salle de classe » n'est pas du tout appropriée à une conception en ventilation traversante (acoustique entre salles de classe principalement). Finalement après étude avec Jacques GANDEMÉR, nous avons abouti une organisation très particulière permettant de tester plusieurs dispositifs de ventilation naturelle : le puits dépressionnaire, les écopes à l'admission et les écopes à l'extraction. Ici, nous nous focalisons uniquement sur le puits dépressionnaire. Nous constatons que ce dispositif a été bien dimensionné pour extraire l'ensemble des surcharges thermiques. On aurait pu, dans l'idéal, augmenter la hauteur du « becquet » qui aurait permis d'encore plus maximiser le jeu de pression/dépression. D'après le retour des usagers que nous avons, le confort est bien atteint dans ces locaux ; à l'exception du confort hivernal où il peut y avoir de l'inconfort à cause des températures faibles étant situé sur le site universitaire du Tampon à 600m d'altitude environ. Si le bâtiment était à refaire, nous aurions peut-être travailler plus sur le confort hivernal et notamment sur les dispositifs de protection solaire qui sont sans doute dimensionné uniquement pour le confort estival.

#### *Point de vue du gestionnaire de site*

Personne interrogée : Bruno Malet Damour, docteur au laboratoire PIMENT et enseignant

**Retour d'expérience :** Il souligne d'abord un apport en lumière naturelle excellent, qui contribue grandement au confort des occupants. Concernant la ventilation naturelle, elle fonctionne bien en été, mais pose des problèmes en hiver, notamment en raison d'une régulation de l'air insuffisante. Les jalousies motorisées en partie haute des fenêtres, bien qu'importantes pour la gestion de l'aération, n'ont pas été réparées depuis plusieurs années. Le mécanisme est défectueux et grippé, ce qui rend leur fonctionnement difficile. De plus, une réparation incomplète a été réalisée, où deux câbles ont été changés au lieu d'un seul. Les élèves ont également des difficultés à comprendre leur fonctionnement.

Par ailleurs, l'orientation de certaines salles de classe est inadaptée, ce qui oblige à ouvrir les portes pour favoriser une bonne ventilation, une solution peu optimale, surtout en hiver. Le potentiomètre, utilisé pour réguler l'intensité lumineuse, s'use rapidement et doit être remplacé tous les trois ans. En revanche, le puits dépressionnaire, associé à la végétalisation dans la zone centrale, fonctionne très bien et aide à réguler la température du bâtiment de manière efficace. Enfin, le système de motorisation basse tension rencontre des problèmes récurrents, ce qui nécessite une attention particulière.



4. Grand amphithéâtre du Tampon : Identité du projet



Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Tampon

Date de livraison : 2014

Typologie : Amphithéâtre

Superficie totale du projet : 2050 m<sup>2</sup>

Coût travaux : 5,4 M€

Consommations énergétiques : 25 Kwhef/m<sup>2</sup>SU/an (totalité bâtiment, tous usages)

Maîtrise d'ouvrage : Université de La Réunion

Maîtrise d'œuvre : Atelier Grouard, IMAGEEN, Jacques Gandemer Conseil, ICR, INSET, et AIEE

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Canyon dépressionnaire



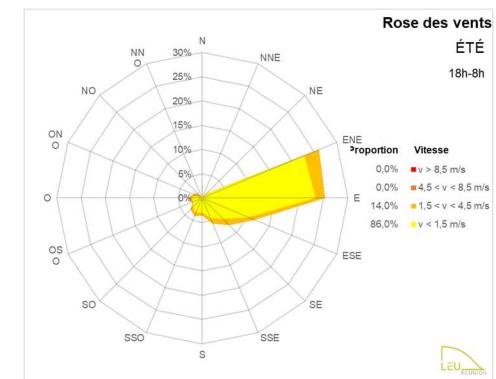
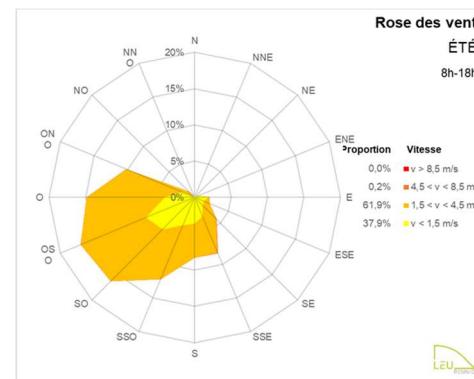
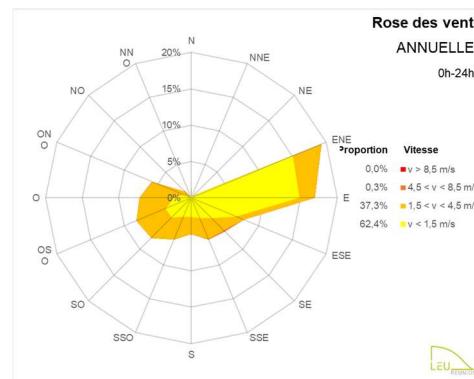
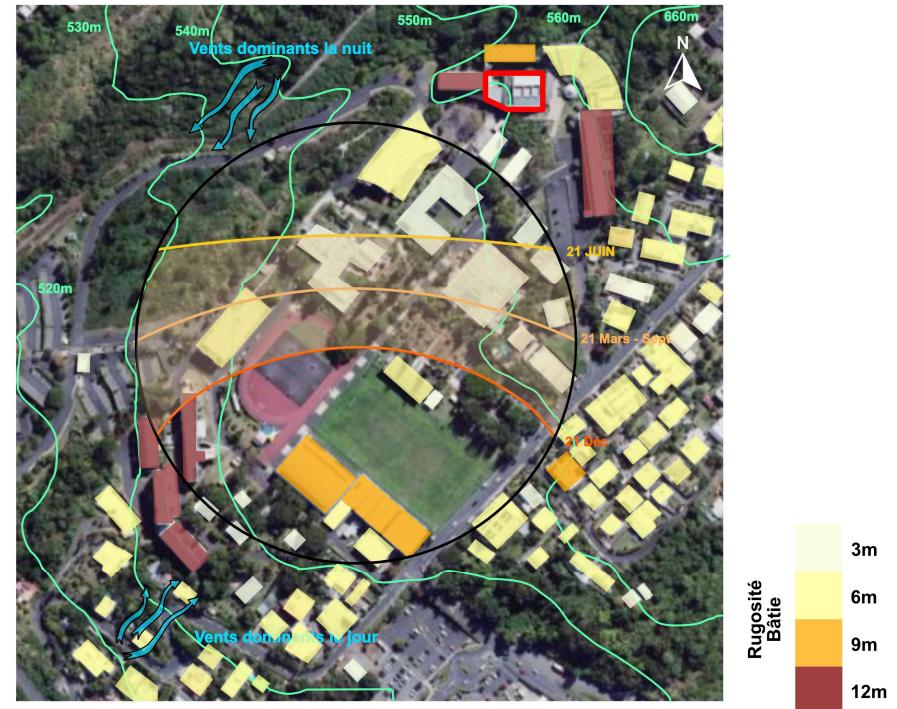


#### 4. Grand amphithéâtre du Tampon : Contexte environnemental et énergie

Le projet prend place à l'extrême Nord du campus universitaire du Tampon bordée par une ravine. Le projet devait répondre à un besoin de connexion entre la plateforme supérieure du campus (locaux d'enseignement) et la partie basse où se situent des équipements communs (bibliothèque, restaurant universitaire). Les deux étant séparées par un talus d'environ 6 m de haut. Les abords des bâtiments sont traités par des parterres végétalisés (éviter la surchauffe ou inconfort liés à des matériaux trop absorbants ou réfléchissant). La présence d'une ravine contiguë au bâtiment (limite Nord) procure de manière naturelle le rafraîchissement recherché lors du traitement des abords de bâtiments.

Altitude : 620m

Type d'environnement : Périphérie



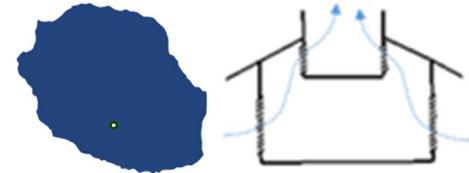


#### 4. Grand amphithéâtre du Tampon : Système architectural

L'amphithéâtre 500 places fonctionne grâce à un canyon dépressionnaire. Des études en soufflerie ont permis de valider le fonctionnement aéraulique. Les ouvertures en partie haut sont motorisées, tandis que l'ouverture des jalousesies en façades est manuelle.

Gestion des ouvrants	type	Motorisés en partie haute, manuelle en façades
Emergence	m	3
Dimensions	m * m	19 * 7.3
Surface système	m <sup>2</sup>	139
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	58
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	48
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	430
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	4180 (pour 490 m <sup>2</sup> )
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	11,8
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	9,7





#### 4. Grand amphithéâtre du Tampon : Retours d'expérience

##### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Nicolas GROUARD, architecte

Retour d'expérience : Le bâtiment, livré il y a dix ans dans le cadre d'un concours de 2010, présente une architecture innovante avec un amphithéâtre en pleine nature, ouvert et lumineux, protégé par une structure en verre et un canyon central. Le fonctionnement du bâtiment repose sur une structure en béton avec un habillage en tôle, sans problème de fuites d'eau. Tout le bâtiment est optimisé pour un fonctionnement sans système de climatisation ou de chauffage. La motorisation des jalousies est présente pour la gestion des débits d'air. Malgré un loupé sur la pose du sol souple, les conditions de confort, tant estivales qu'hivernales, sont satisfaisantes. Le bâtiment, hybride et orienté pour l'amphithéâtre, bénéficie d'une ventilation maximale, avec un vide sanitaire derrière les gradins pour optimiser l'air. Aucune difficulté particulière n'a été rencontrée en matière de confort thermique. L'étude en soufflerie réalisée, ainsi que l'objectif atteint par l'équipe PREBAT, témoignent d'une bonne maîtrise des enjeux techniques. Enfin, les jalousies vitrées dans le canyon contribuent à l'éclairage naturel du bâtiment, principalement blanc et lumineux.

##### *Point de vue du gestionnaire de site*

Personne interrogée : Xavier de Viviès, enseignant

Retour d'expérience : L'enseignant interrogé (qui fût le premier à donné cours dans cet amphithéâtre) a exprimé un avis globalement positif sur le bâtiment, soulignant qu'il est agréable pour enseigner, notamment grâce à la lumière naturelle. Cependant, il a mentionné que le puits n'était pas ouvert, ce qui limite les apports en air frais. Bien qu'il ait pu ajuster son confort à une époque, cela n'est plus possible aujourd'hui en raison d'une interdiction, même si théoriquement, il pourrait faire une demande à l'appareil, ce qui n'est pas pratique pour des cours de 2 heures. Il a également signalé des problèmes de sécurité avec les escaliers, jugés "casse-gueule", et des difficultés techniques avec la vidéoprotection, qui nuisent à la fluidité des cours. Néanmoins, l'enseignant reste pleinement satisfait des conditions de confort de ce bâtiment.



## 5. Aérogare Roland Garros, la nouvelle extension : Identité du projet



ASPIRHAUT \_ Cas d'études 20

Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Sainte-Marie

Date de livraison : 2024

Typologie : Aérogare

Superficie totale du projet : 13 000 m<sup>2</sup>

Coût travaux : 65 000 000 euros

Consommation énergétique : Objectif inférieur à 135 Kwhef/m<sup>2</sup>Sdo/an pour les usagers éclairage, froid et auxiliaires électriques de ventilation/climatisation

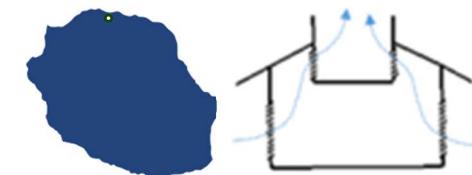
Maîtrise d'ouvrage : Aéroport Roland Garros

Maîtrise d'œuvre : AIA+OBA, Jacques Gandemer Conseil, VRD INCOM, INSET, TYSSERIE + Associés, et ATEA

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Canyon dépressionnaire



Crédit photos : Studio Lumière



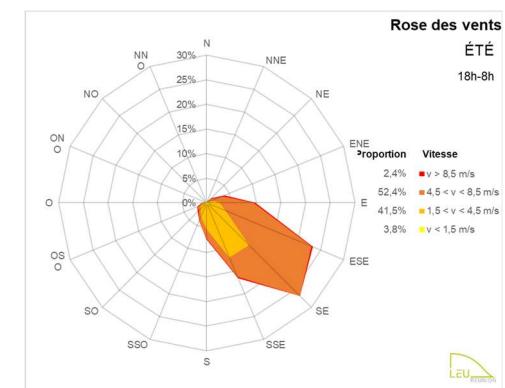
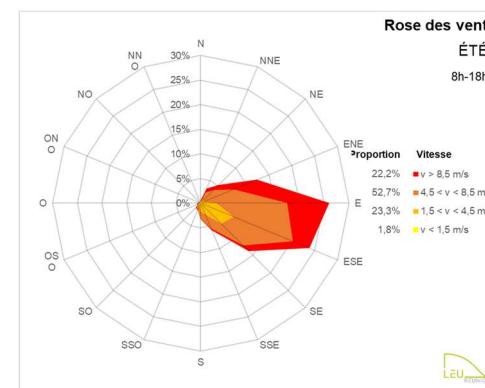
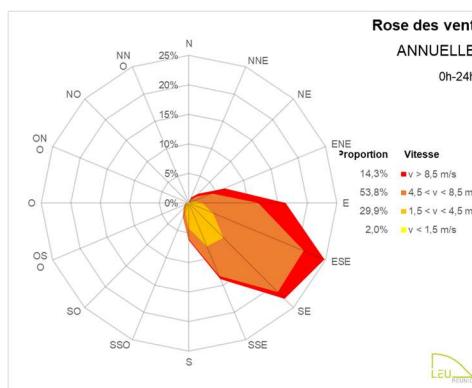
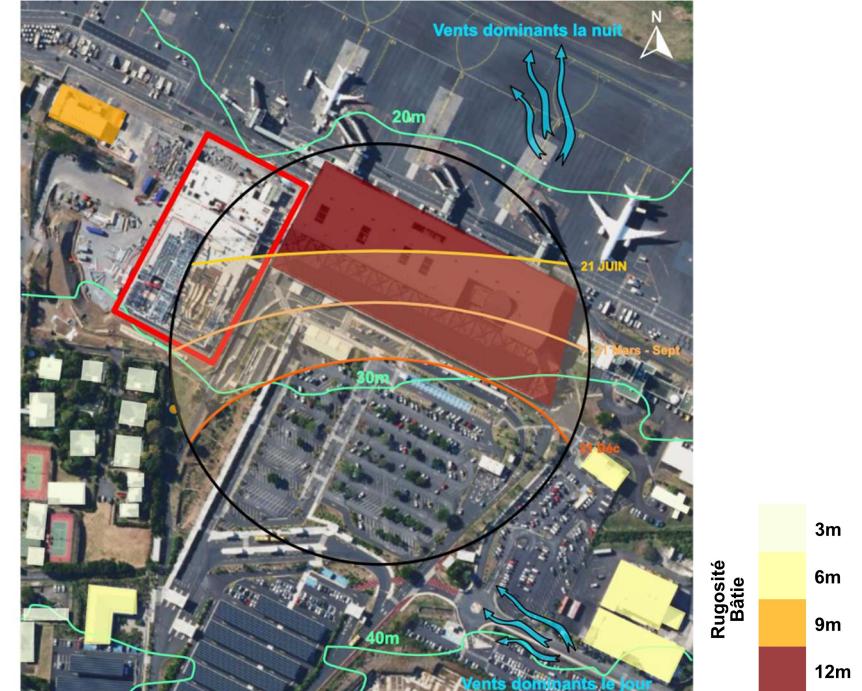
## 5. Aérogare Roland Garros, la nouvelle extension : Contexte environnemental et énergie

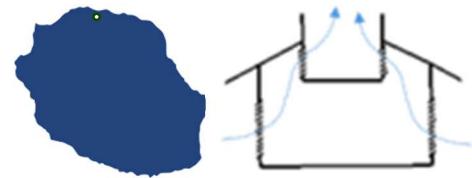
Altitude : 17 m

Type d'environnement : Péri-urbain

Effet de masques : Bâtiment R+2 à proximité immédiate

Bien plus qu'une extension, cette nouvelle infrastructure est la première aérogare bioclimatique en milieu tropical, de cette dimension, au monde. Une prouesse technique pour un bâtiment construit dans une île soumise à des phénomènes climatiques de plus en plus intenses. Cette conception exigeante et innovante s'est appuyée sur le savoir-faire réunionnais en matière de construction bioclimatique avec 91 % d'entreprises locales mobilisées sur le chantier. La conception repose sur des principes novateurs, incluant une ventilation naturelle grâce à un canyon traversant et un système de vantelles motorisées régulées par une station météo. La présence de végétation endémique et l'utilisation de matériaux naturels (notamment le bois) renforcent l'engagement environnemental de l'aéroport, déjà labellisé pour ses efforts de réduction carbone. Ce projet a vu le jour grâce à la collaboration de l'agence d'architecture AIA Life Designers, d'Olivier Brabant Architecte (OBA) architecte associé, et de leurs partenaires.





## 5. Aérogare Roland Garros, la nouvelle extension : Système architectural

Le canyon alimente tout le hall d'arrivée et de réception bagages. L'ensemble des ventelles de l'aérogare sont motorisées, que ce soit en façades et au niveau de l'extraction du canyon dépressionnaire. Elles sont asservies à la GTC et des scénarios été, hiver et pluie permettent de définir le pourcentage d'ouverture en fonction des conditions météorologiques.

En saison cyclonique, la totalité des ventelles sont fermées. Pour cela une station enregistreuse et communicante est présente sur l'aéroport.



Gestion des ouvrants	type	Motorisée & Pilotée
Emergence	m	3
Dimensions	m * m	65*10
Surface système	m <sup>2</sup>	964
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	248
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	839
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	4041
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	44000
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	6,13
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	20,76

La ventilation naturelle de nuit fait que la décharge thermique de la dalle est toujours atteinte les premières heures de la journée (même si les vents de nuit sont plus faibles) et Tint=Text quel que soit les variations climatiques.

Au début du lever du jour alors que Text atteint sa valeur la plus basse, la ventilation naturelle est stoppée et la dalle garde sa fraîcheur alors que Text croît avec la montée du soleil, et réchauffe globalement la Halle. Lorsque Tint atteint 27° la ventilation naturelle repart, mais alors Text = 28°. Cet écart donne un rafraîchissement (rayonnement frais de la dalle) qui permet de gagner en toutes circonstances 1° à 0,5° jusqu'à la fin de journée (17h -18h environ).

Ensuite la température extérieure peut descendre plus vite que la température intérieure, et il faudra quelques heures pour retrouver l'équilibrage Tint=Text. Cette phase de "surchauffe relative" est sans importance dans la mesure où



## 5. Aérogare Roland Garros, la nouvelle extension : Retours d'expérience

### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Olivier Brabant

Motivations à faire un système dépressionnaire : Objectif, réduire par 4 les consommations énergétiques par rapport à un aérogare classique.

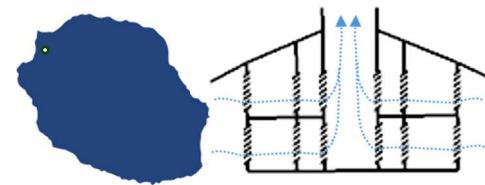
Retour d'expérience : Thermiquement et aérauliquement parlant, je trouve que le puits dépressionnaire est un objet architectural et technique extrêmement efficace. Le dimensionnement du puits en soufflerie nous a permis de générer des vitesses de vents suffisamment importante pour une évacuer les surcharges thermiques. Comme on peut le voir, la conception architecturale s'est articulée autour de cet imposant puits dépressionnaire qui est le moteur de la ventilation naturelle. La régulation fine des ouvertures (modulation de l'angle d'ouverture différenciée entre chaque façade et puits) en fonction de la température intérieure, extérieure, des vitesses de vents extérieurs, des précipitations a permis d'adapter le confort pour les usagers. Il y a un fonctionnement « été » et un fonctionnement « hiver ». Ainsi, on va pouvoir exploiter automatiquement toutes les potentialités climatiques du site. Une fois réglée, le MOA n'a plus rien à faire, le bâtiment gère son confort de manière autonome avec des automates dédiés ; à part en cas de cyclone où un bouton permet de fermer l'ensemble des ouvertures. A l'usage, les passagers sont satisfaits du confort thermique ainsi que le personnel travaillant à l'intérieur. De plus, on observe une très belle lumière à l'intérieur du volume de la salle d'arrivée ainsi qu'une vue exceptionnelle sur le grand paysage.

### *Point de vue du gestionnaire de site*

Personne interrogée : Marc Delanoë

Retour d'expérience : Nous sommes très satisfaits de la performance thermique de la salle d'arrivée de l'aérogare Roland Garros. Après une année d'utilisation, nous n'avons reçu aucune plainte sur le confort dans ces espaces que ce soit le personnel travaillant dans cette enceinte que les passagers. L'exploitation de ce bâtiment ne demande aucun effort car les ventelles à l'admission et à l'extraction sur l'ensemble des façades et canyon sont entièrement pilotées et motorisées. La seule manipulation a eu lieu lors du cyclone Garance où nous avons juste appuyer sur un bouton pour fermer l'ensemble des menuiseries. Tout le monde est très content de ce bâtiment. Si on doit citer un point faible, on pourrait évoquer que certains moteurs des ventelles installés sont déjà hors service mais ceci est ponctuel.

Si c'était à refaire, nous referions le même projet avec une réflexion autre sur les espaces Skybar, couloir d'accès avec l'existant, et WC mais ceci ne concerne le sujet du confort, c'est vraiment en fonctionnement où ces espaces sont perfectibles.



## 6. Centre Hospitalier Ouest Réunion : Identité du projet



Crédit photos : Sergio Grazia

Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Saint Paul

Date de mise en service : 2019

Typologie : Hôpital

Superficie totale du projet : 29 000 m<sup>2</sup>

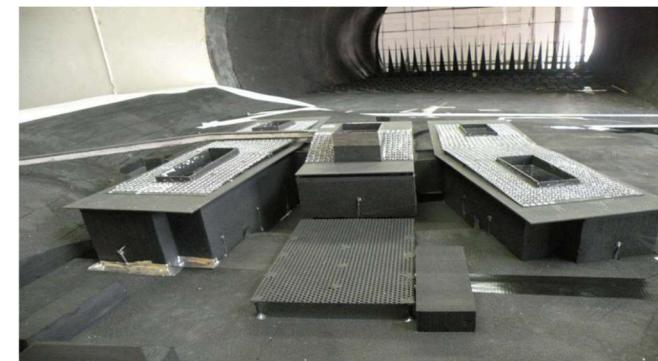
Coût travaux : 105 M€

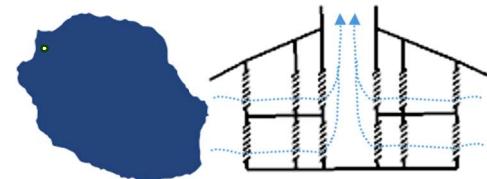
Conso énergétique : 254 Kwhef/m<sup>2</sup>SU/an (totalité bâtiment, tous usages), chambres uniquement : 86 Kwhef/m<sup>2</sup>SU/an

Maîtrise d'ouvrage : Centre Hospitalier Ouest Réunion

Maîtrise d'œuvre : AIA + L'atelier Architectes// Demathieu et Bard, AIA Environnement, BEGC, TISSEYRE, Integrale, Jacques Gandemer Conseil, AIA Ingénierie, et AIA Territoires

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Plusieurs puits dépressionnaires





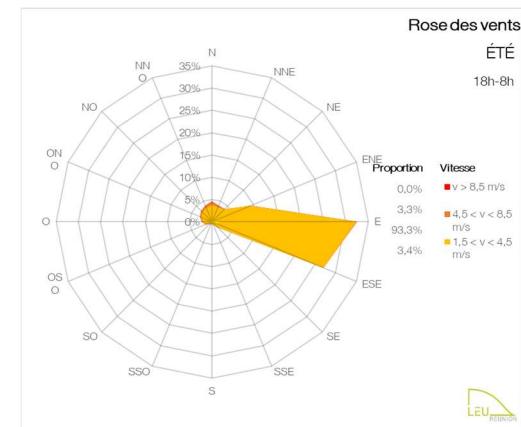
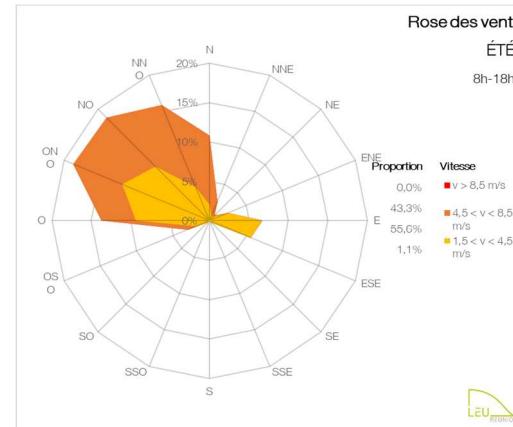
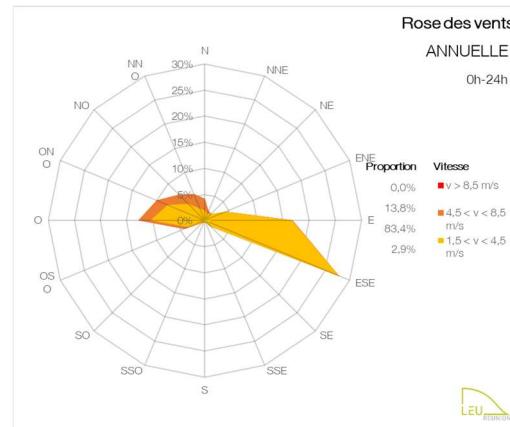
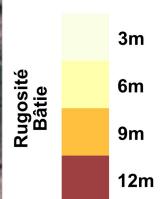
## 6. Centre Hospitalier Ouest Réunion : Contexte environnemental et énergie

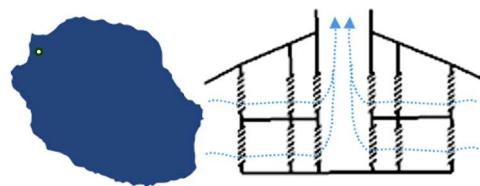
Le CHOR de Saint-Paul est un établissement hospitalier avec des zones dédiées aux consultations, aux hospitalisations, aux services d'urgence et aux équipements techniques et administratifs. Concernant son fonctionnement thermique, le bâtiment adopte une approche hybride. Certaines zones, telles que les blocs opératoires nécessitent un contrôle précis des conditions d'air et sont climatisées. En revanche, les chambres et l'accueil privilégiennent la ventilation naturelle, rendue possible grâce à des puits dépressionnaires. Cette combinaison vise à optimiser le confort thermique tout en minimisant la consommation énergétique globale.

Altitude : 12 m

Type d'environnement : Péri-urbain

Le CHOR de Saint-Paul s'inscrit dans un environnement périurbain. Il est situé à la périphérie de la ville, dans une zone de transition entre les espaces urbains et les paysages naturels. Les vents dominants proviennent principalement de l'Est, Est Sud Est.





## 6. Centre Hospitalier Ouest Réunion : Système architectural

Le Centre Hospitalier Ouest est constitué de plusieurs bâtiments organisés autour de puits dépressionnaires, qui assurent la ventilation naturelle des chambres des patients sur différents niveaux, ainsi que du hall d 'accueil. La configuration architecturale repose sur un agencement en trois parties : les locaux, les circulations, et les puits de ventilation. Afin de répondre aux exigences de la réglementation incendie, des portes coupe-feu ont été installées à chaque chambre, garantissant la sécurité des occupants. Le défi majeur a été de concilier cette obligation avec la nécessité d'assurer une ventilation naturelle efficace. La conception bioclimatique permet de limiter l'usage de la climatisation active sur l'année.

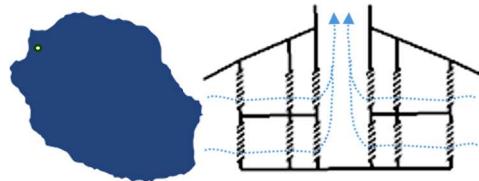


Source : Sergio GRAZIA

Projet ASPIRHAUT- OMBREE



		Puits 1	Puits 2	Puits 3	Puits 7	Puits 8
Gestion des ouvrants	type	Manuel	Manuel	Manuel	Manuel	Manuel
Emergence	m	3	3	3	3	3
Dimensions	m * m	12,5 * 9,05	7,3 * 21,7	7,3 * 21,7	8,2 * 18,7	8,2 * 19,4
Surface système	m <sup>2</sup>	113	158	158	153	159
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	104	101	67,3	84,5	84,5
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	65,7	79,9	53,2	56,3	65,6
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	1887	131,6	87,7	220	220
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	3433	2116	1410	1763	1763
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	10,6	16,8	16,8	16,9	16,9
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	6,7	13,3	13,3	11,2	13,2



## 6. Centre Hospitalier Ouest Réunion : Retours d'expérience

### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Alice Donguy, AIA Environnement

**Retour d'expérience :** Alice Donguy a participé activement à la conception initiale du CHOR, ainsi qu'au suivi du chantier. AIA Environnement a réalisé des guides usagers, affiches de sensibilisation et un guide d'exploitation-maintenance qui ont été transmis à la maîtrise d'ouvrage en phase PRO, cependant il n'y a pas eu de retour de la maîtrise d'ouvrage concernant la passation des informations auprès des usagers.

Alice a par la suite réalisé à distance un suivi en phase d'exploitation, puisque les données de consommations par usage étaient enregistrées sur une GTC, et remontées par les entreprises durant la GPA. Les résultats globaux sont conformes aux estimations, bien que certains postes aient présenté des surconsommations notables, notamment le poste froid (comportant la climatisation du bâtiment ainsi que le froid technique), qui représente environ 53 % de la consommation totale en exploitation. De nombreux échanges avaient d'ailleurs eu lieu sur les scénarios et usages des systèmes, afin d'approcher le plus précisément possible les futures consommations du bâtiment tous postes et tous services. Sur le plan thermique et aéraulique, des mesures de vitesses d'air ont été réalisées lors de la livraison et ont montré des résultats satisfaisants malgré quelques pièces plus contraintes.

Malgré ces observations, Alice se dit satisfaite de la conception du bâtiment, qui correspond aux attentes fixées par une MOA ambitieuse à l'origine et aux objectifs du programme PREBAT avec l'ADEME. Il a notamment obtenu la certification HQE Santé (selon le référentiel 2019). Le fonctionnement a été minutieusement étudié, jusqu'aux détails comme l'intégration de rideaux devant les portes pour combiner ventilation et intimité. Des tests en soufflerie (compris mesures de pressions et vitesses intérieures) ont validé le fonctionnement des puits dépressionnaires en lien avec la forme des sur toitures, malgré un site peu venté à la base.

Pour améliorer le confort et la performance globale, Alice recommande une meilleure passation avec la MOA et les usagers, ainsi qu'un commissionnement permettant de garantir un suivi efficace en exploitation. Si le bâtiment devait être refait, elle préconise de confier le commissionnement à la maîtrise d'œuvre ou à un intervenant externe, afin d'assurer le suivi des lots techniques et des consommations spécifiques à ce type de bâtiments hospitaliers complexes.

Enfin, le projet CHOR reste pour elle une référence en matière de bâtiments hospitaliers en ventilation naturelle, grâce à un effort initial solide et à l'engagement de la MOA et du groupement, même si la phase d'exploitation nécessite un accompagnement renforcé.

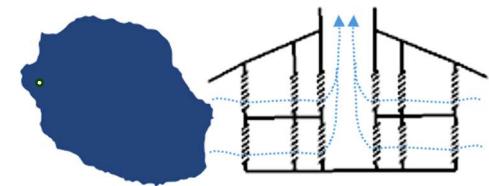
*Point de vue du gestionnaire de site*

Personne interrogée : Jonhy FIGUIN, gestionnaire de site

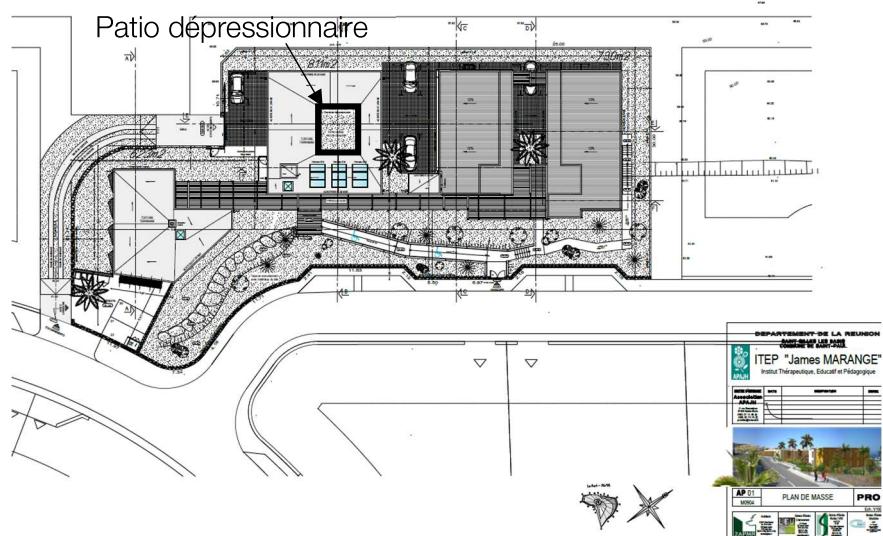
Retour d'expérience : Le bâtiment présente un fonctionnement globalement positif, notamment grâce aux jalousies motorisées et aux puits dépressionnaires, qui répondent bien aux exigences des études initiales. Les systèmes de ventilation naturelle fonctionnent efficacement lorsque les jalousies sont ouvertes. Cependant, l'utilisation de ces équipements est souvent aléatoire, principalement à cause d'un manque de communication et de formation, tant pour le personnel soignant que pour les patients. Les portes des chambres, qui s'ouvrent sur les circulations, sont rarement ouvertes, donnant l'impression que celles-ci restent fermées. L'ouverture des fenêtres dépend également des patients, et la présence de moustiques, malgré des traitements, complique la gestion de la ventilation.

Les brasseurs d'air, en revanche, sont jugés efficaces. Toutefois, l'utilisation des jalousies dans les patios reste faible, en raison d'un manque d'implication des soignants et d'une formation insuffisante. Il est donc nécessaire d'accompagner plus précisément les usagers pour assurer une gestion plus optimale de la ventilation et du confort thermique. On rappelle que le bâtiment est rafraîchi grâce à une CTA. Concernant la température d'air dans les chambres, des disparités sont observées : bien que l'air sorte de la centrale de traitement d'air (CTA) à 14°C, il atteint 26 à 27°C en bout de réseau, notamment dans les chambres situées en fin de circuit, exposées à la chaleur.

L'éclairage naturel est bien maîtrisé, sans éblouissement, et le bâtiment bénéficie d'une bonne intégration dans son environnement, évitant aux patients de se sentir dans un hôpital traditionnel. Le confort acoustique, tant extérieur qu'intérieur, est excellent, avec des relevés acoustiques à la réception confirmant l'absence de plaintes. En revanche, les jalousies motorisées présentent des pannes fréquentes dues aux moteurs, dont le coût de remplacement est élevé. Le stationnement est un point négatif, avec une saturation récurrente, causant des problèmes logistiques pour les changements de services. Enfin, bien qu'il n'y ait pas de problématiques d'infiltration d'eau, l'absence de suivi en exploitation depuis la certification PREBAT reste un point à améliorer pour une gestion pérenne du bâtiment



## 7. ITEP James Marange : Identité du projet



Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Roquefeuil, Saint-Paul

Date de livraison : 2013

Typologie : Médico-social

Superficie totale du projet : 1259 m<sup>2</sup>

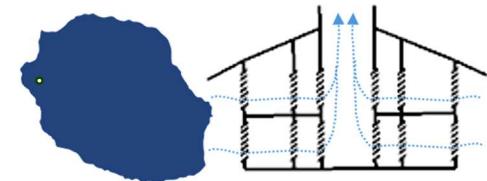
Coût travaux : 2.9M d'euros

Consommations énergétiques : objectif en conception < 50 kWhf/m<sup>2</sup>.an (tous usages)

Maîtrise d'ouvrage : APAJH

Maîtrise d'œuvre : 2APMR + Michel Reynaud, Leu Réunion, Jacques Gandemer Conseil, SOCETEM, GECP

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Patio dépressionnaire



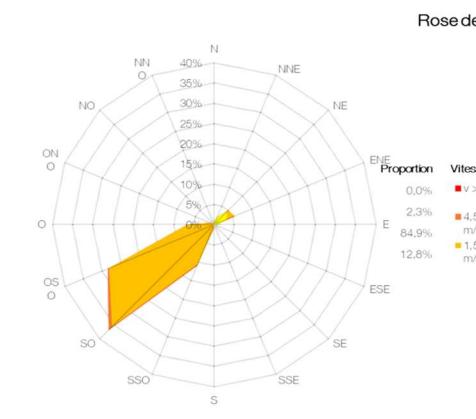
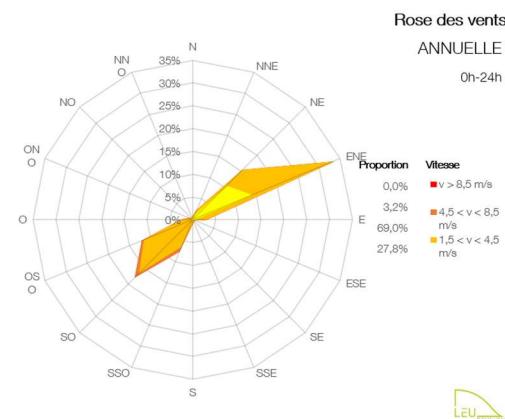
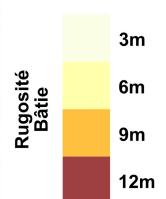
## 7. ITEP : Contexte environnemental et énergie

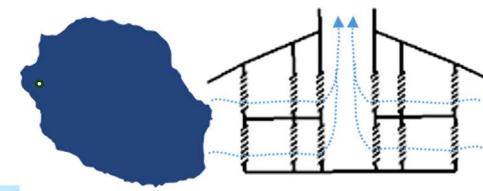
Le projet est situé dans un environnement calme ne présentant pas de nuisances sonores importantes, la ventilation naturelle traversante est favorisée avec de larges ouvertures en façades et sur les patios. Les espaces extérieurs sont fortement végétalisés afin d'offrir un environnement ombragé, avec une pénétration de la végétation au cœur du bâtiment grâce au patio. 100 % des locaux à occupation prolongée sont conçus pour fonctionner en ventilation naturelle traversante. Pour tous les locaux, les brasseurs d'air permettent une amélioration du confort thermique lors des périodes les plus chaudes en augmentant la vitesse de l'air ressentie sur les occupants.

Altitude : 60 m

Type d'environnement : Péri-urbain

Les vents dominants proviennent principalement du Sud-Ouest en journée d'été, et du Nord-Est la nuit.





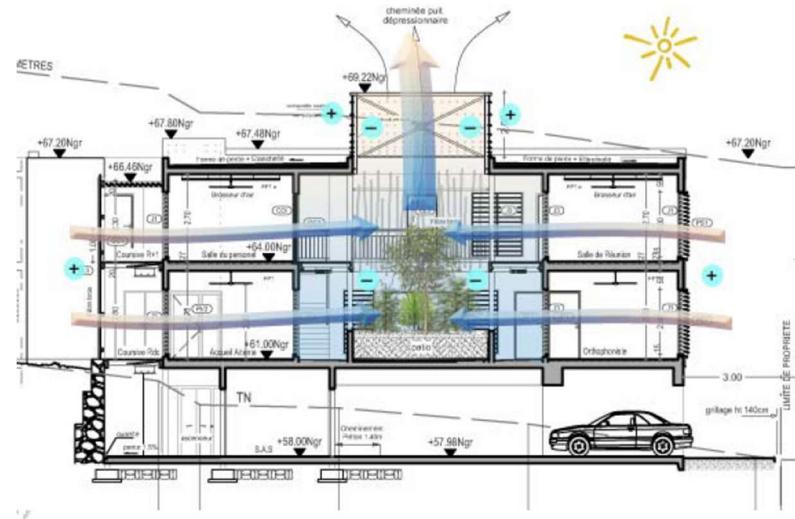
## 7. ITEP : Système architectural

Le bâtiment administratif de l'institut Thérapeutique Educatif et Pédagogique sur 2 niveaux est alimenté par un patio central aménagé et planté.

L'émergence est en matériaux polycarbonate avec structure bois fixée sur la dalle béton du bâtiment. Les ouvertures sont manuelles et en vis-à-vis dans les locaux afin d'assurer une ventilation naturelle traversante des espaces.



Gestion des ouvrants	type	Manuelle
Emergence	m	2
Dimensions	m * m	4.18*3.18
Surface système	m <sup>2</sup>	13
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	56
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	61
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	1465
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	560
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	27
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	29



## 7. ITEP : Retours d'expérience

### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Antoine PERRAU

Retour d'expérience : Antoine Perrau, l'architecte du projet, rapporte qu'il s'agissait de sa première expérience avec un système dépressionnaire, ce qui a marqué une étape importante dans sa démarche conceptuelle.

Malgré l'absence de comparaisons solides avec d'autres bâtiments utilisant ce type de système à l'époque, le projet a tout de même révélé des bénéfices significatifs. Le patio dépressionnaire a joué un rôle clé en apportant un supplément d'éclairage naturel, en assurant une gestion efficace des eaux pluviales et en contribuant à la qualité d'ambiance des espaces intérieurs grâce à un aménagement paysager soigné. Cet espace central, pensé comme une veine de circulation principale, reliait l'ensemble des locaux tout en créant une continuité harmonieuse entre intérieur et extérieur.

Cette première tentative, bien que perfectible, a posé les bases d'une réflexion plus globale sur les systèmes dépressionnaires.

### *Point de vue du gestionnaire de site*

Personne interrogée : Harry Singainy-Moutien, APAJG

Retour d'expérience : M. Singainy-Moutien, responsable de la logistique de l'ITEP James Marange à La Réunion, est basé sur le site et a pour rôle de superviser l'entretien général et les interventions extérieures. Le bâtiment s'organise autour d'un patio dépressionnaire qui fait office de zone de circulation et d'espace végétalisé. L'entretien de la végétation est assuré en interne par les agents de l'APAJH, garantissant ainsi un suivi régulier. Bien que le fonctionnement global du patio soit jugé satisfaisant par les usagers, son efficacité est peut-être limitée par des constructions environnantes plus hautes, pour certaines construites après la livraison de l'ITEP, ce qui limite le rôle dépressionnaire du patio.

Les usagers ouvrent fréquemment les jalousies et activent les brasseurs d'air en période estivale. Si certains évoquent un ressenti thermique inconfortable à certaines périodes, il n'y a pas de plaintes récurrentes ou insistantes. La question de l'installation d'une climatisation a toutefois été soulevée. Concernant les jalousies, elles ne présentent que très peu de problèmes : les poignées cassées sont rares, et les consignes visant à les fermer le soir ou en cas de pluie sont globalement bien respectées. De plus, aucune difficulté particulière n'a été signalée lors d'épisodes pluvieux.

## Projet ASPIRHAUT- OMBREE

### 8. Ecole Antoine Bertin : Identité du projet



Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Sainte-Suzanne

Date de livraison : 2019

Typologie : Ecole (maternelle et primaire)

Superficie totale du projet : 2 488.4 m<sup>2</sup>

Coût travaux : 6 262 429 euros

Consommation énergétique : Non disponible, cette information sera complétée pour la suite du projet.

Maîtrise d'ouvrage : Commune de Sainte-Suzanne

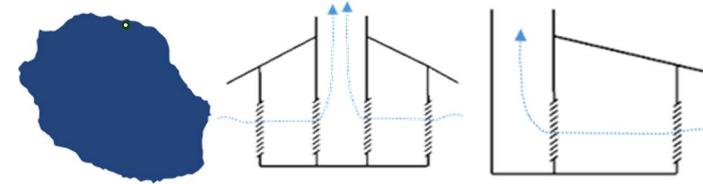
Maîtrise d'œuvre : 2APMR, APA, A3 Structures, INSET, CST, LEU Réunion, DOREMI

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : 2 puits dépressionnaires



Photos d'Hervé Douris

Source : LAB Réunion



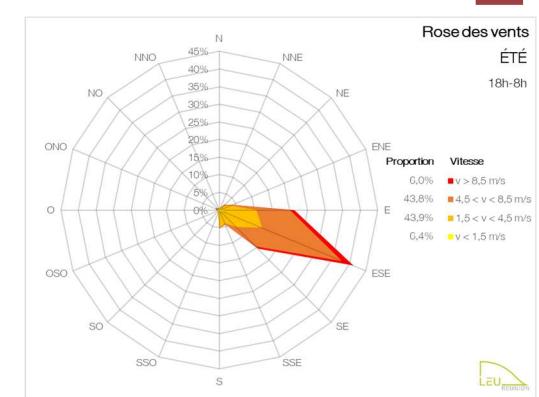
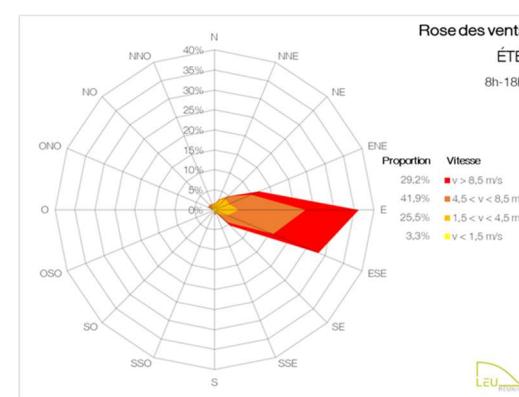
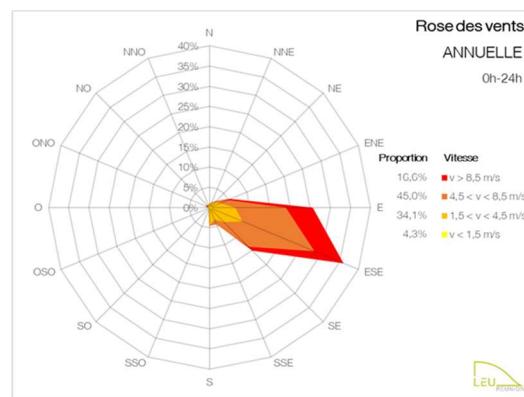
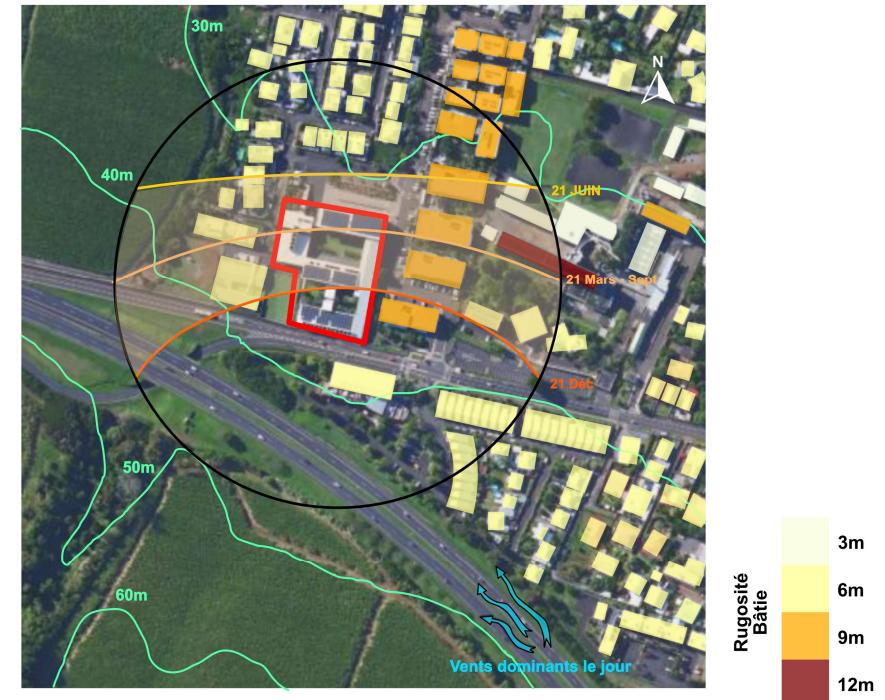
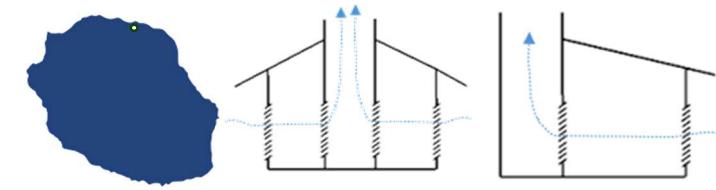
## 8. Ecole Antoine Bertin : Contexte environnemental et énergie

L'école Antoine Bertin, située à Sainte-Suzanne, est implantée sur un terrain en pente douce à proximité d'une route classée acoustiquement en raison de son trafic dense. Pour répondre à cette contrainte, l'architecture de l'école a été conçue de manière à réduire les nuisances sonores dans les espaces pédagogiques, notamment grâce à un puits dépressionnaire. Les espaces sensibles au bruit, tels que les salles de classe et les récréations, sont orientés vers des zones plus tranquilles, loin de la route. La végétation autour et au sein de l'établissement joue également un rôle clé, agissant comme un masque acoustique naturel et changeant la couleur du son, tout en intégrant l'école de manière harmonieuse dans son environnement.

Altitude : 35 m

Type d'environnement : Urbain

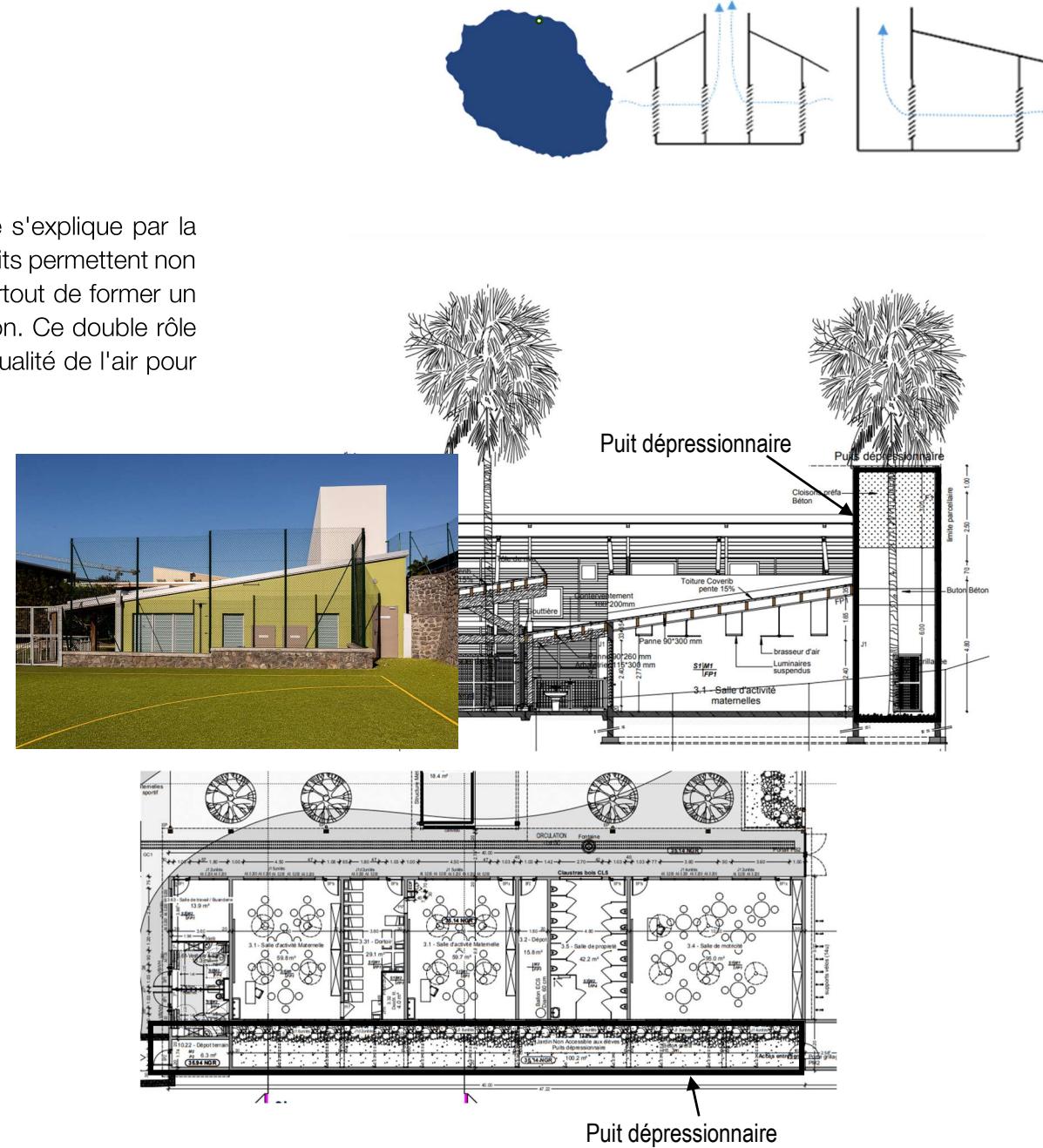
Les vents dominants proviennent principalement de l'Est, Sud-Est.



## 8. Ecole Antoine Bertin : Système architectural

Le choix des puits dépressionnaires pour les salles de classe s'explique par la proximité de la route nationale classée acoustiquement. Ces puits permettent non seulement d'assurer la ventilation naturelle des salles, mais surtout de former un écran acoustique contre les nuisances sonores de la circulation. Ce double rôle était crucial pour garantir à la fois le confort acoustique et la qualité de l'air pour les élèves.

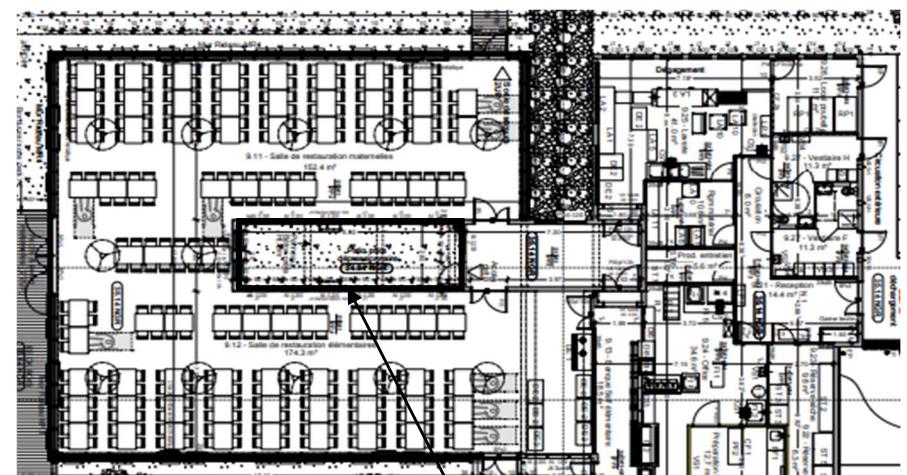
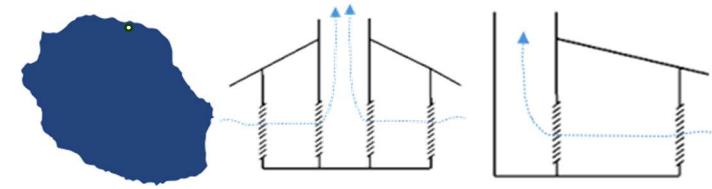
Gestion des ouvrants	Type	Manuel
Emergence	m	4
Dimensions	m * m	2.8*35.8
Surface système	m <sup>2</sup>	100
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	35
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	53
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	173
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	302
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	12
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	17

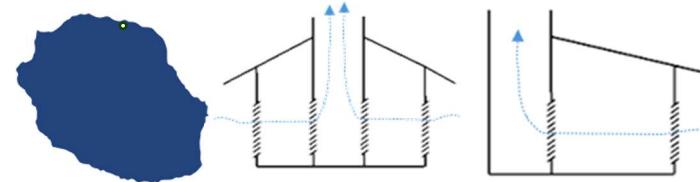


## 8. Ecole Antoine Bertin : Système architectural

Pour le réfectoire, le choix d'un puits s'est imposé en raison du grand volume de la salle et de sa position déventée sur le site. Sans ce dispositif, il aurait été difficile de maintenir une ventilation efficace dans un espace aussi vaste et isolé des courants d'air naturels. Toutes les jalousettes sont ouvrables manuellement.

Gestion des ouvrants	type	Manuel
Emergence	m	1 à 2
Dimensions	m * m	9.3*2.8
Surface système	m <sup>2</sup>	152
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	54.5
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	24
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	194
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	327
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	36
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	16





## 8. Ecole Antoine Bertin : Retours d'expérience

### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Antoine Perrau, architecte

Retour d'expérience : Le choix des puits dépressionnaires pour les salles de classe s'explique par la proximité de la route nationale classée acoustiquement. Ces puits permettent non seulement d'assurer la ventilation naturelle des salles, mais surtout de former un écran acoustique contre les nuisances sonores de la circulation. Ce double rôle était crucial pour garantir à la fois le confort acoustique et la qualité de l'air pour les élèves.

Pour le réfectoire, le choix d'un puits s'est imposé en raison du grand volume de la salle et de sa position décentrée sur le site. Sans ce dispositif, il aurait été difficile de maintenir une ventilation efficace dans un espace aussi vaste et isolé des courants d'air naturels. Toutes les jalousies sont ouvrables manuellement.

### *Point de vue du gestionnaire de site*

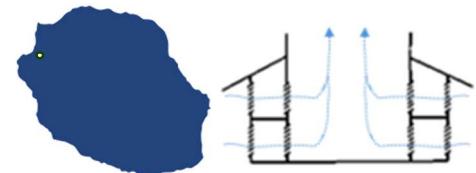
Personne interrogée : M. ALPOU, Directeur de l'école

Retour d'expérience : Dès le matin, les conditions de confort dans les salles de classe sont difficiles en raison des températures très élevées dues à un manque de ventilation naturelle. En effet, les jalousies sont cassées depuis près quatre ans et ne sont toujours réparées ; induisant forcément des surfaces ouvertes faibles. Plus précisément, 111 manivelles pour le haut et 10 poignées sont défectueuses. Lorsque cela est possible, des ventilateurs sont utilisés, mais ils ne font que brasser de l'air chaud, ce qui n'améliore pas significativement la situation.

La végétation dans la cour maternelle pose un problème pour les élèves en raison des racines apparentes, ce qui pourrait nécessiter un arrachage. Cette même végétation est bénéfique en termes de confort contrairement à la cour primaire qui est très peu ombragé. L'accès au rez-de-jardin de la cour maternelle et sortie parking vers le niveau supérieur n'est pas protégé de la pluie, et deux accès vers les réfectoires ne sont pas couverts, les élèves sont alors trempés à chaque fois qu'ils vont manger en temps de pluie. De plus, l'ascenseur a été inondé lors de fortes pluies car il y a un problème d'évacuation de l'eau au rez-de-jardin, où l'eau stagne. Il est à noter que la façade côté mer de la section maternelle prend l'eau.

Les salles de classe des maternelles équipées d'un puits dépressionnaire sont sombres et mal ventilées (due à des jalousies défectueuses).

L'établissement est également confronté à des problèmes de parasites. Des termites sont présents dans tout le bâtiment, notamment dans la salle de motricité, le réfectoire et les toilettes, mais ce problème a été réglé. Des chauves-souris induisent des odeurs nauséabondes, et bien que des réceptacles à guano aient été posés, une nouvelle colonie s'est installée, nécessitant la pose de filets. Enfin, la double peau en bois nécessite un entretien régulier, incluant ponçage et traitement qui n'a pas encore été réalisé.



### 9. Collège de Roquefeuil : Identité du projet



Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Saint-Gilles-les bains

Date de livraison : 2021

Typologie : Collège

Superficie totale du projet : 7 052 m<sup>2</sup>

Coût travaux : 18 000 000 euros

Conso énergétique : 46 Kwhef/m<sup>2</sup>SU/an (totalité bâtiment, tous usages)

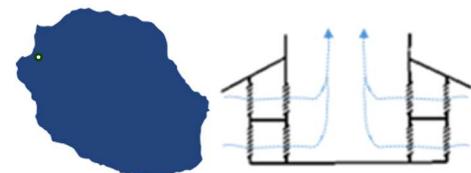
Maîtrise d'ouvrage : Département de la Réunion

Maîtrise d'œuvre : LAB Réunion, LEU Réunion, LET Réunion, INSET, OMEGA, ETBT

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Puits dépressionnaire



Crédit photo : Hervé Douris



## 9. Collège de Roquefeuil : Contexte environnemental et énergie

L'organisation générale des bâtiments par rapport aux vents dominants couplée à des protections solaires généralisée des façades (débords de toitures et brise soleil) et à grande porosité (plus de 30%) de celles-ci permet de faire fonctionner les bâtiments en ventilation naturelle de confort. Des brasseurs d'air apportent le complément de confort les jours sans vent.

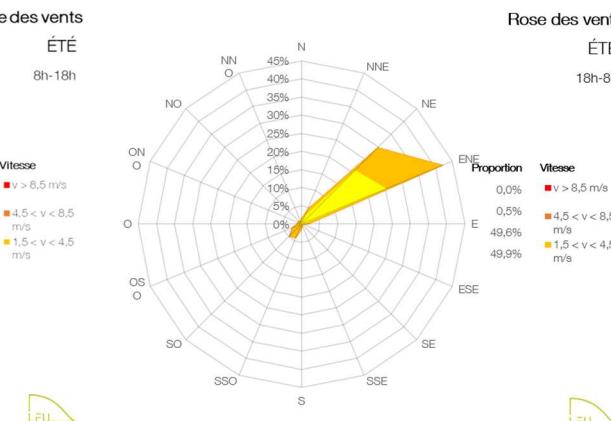
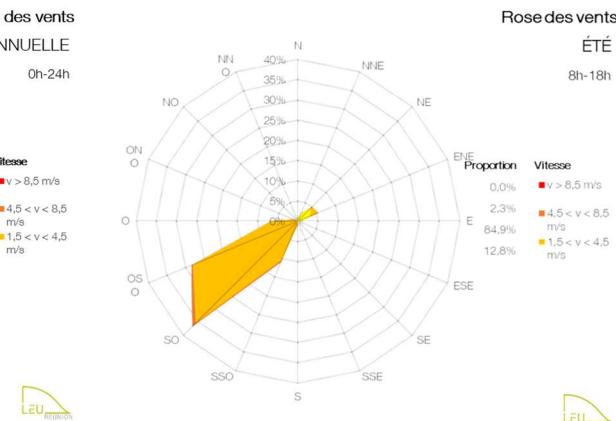
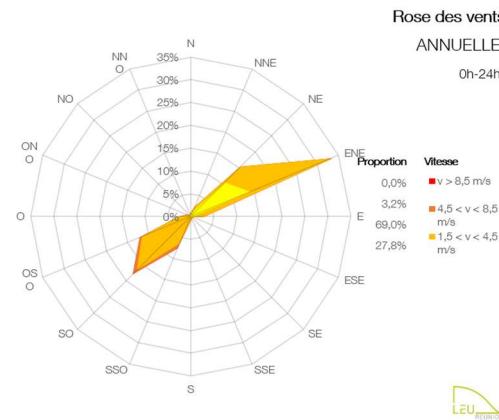
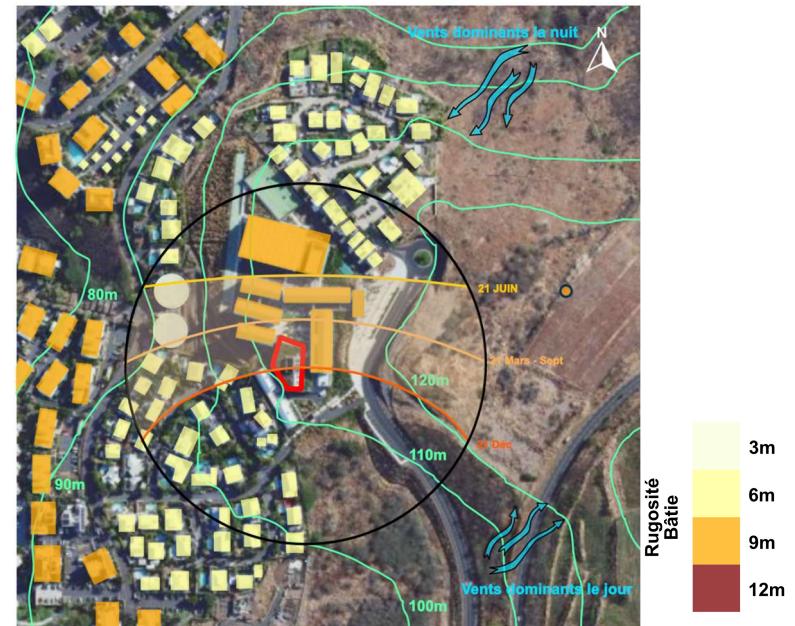
Un puit dépressionnaire permet de ventiler les grands volumes de la restauration et du CDI tout en leur apportant la lumière naturelle.

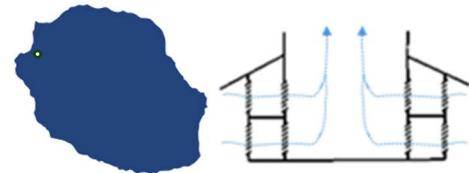
Le projet est situé en point haut d'une ZAC, il domine le site et profite ainsi des vues et surtout d'un bon potentiel de ventilation naturelle (pas de masques bâtis alentour).

Altitude : 112 m

Type d'environnement : Péri-urbain

Les vents dominants proviennent principalement du Sud-Ouest en journée, et Est-Nord-Est en journée.





## 9. Collège de Roquefeuil : Système architectural

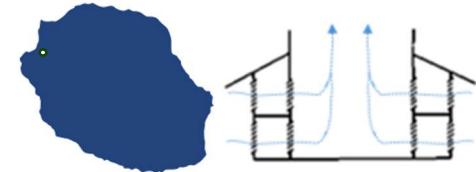
Le puits dépressionnaire du collège de Roquefeuil alimente le CDI ainsi que le réfectoire, deux espaces de grands volumes qui auraient engendré des coûts énergétiques élevés s'ils avaient été complètement climatisés.

Les ouvertures sur le puits sont de type jalousettes manuelles placées en vis-à-vis. Le puits n'est pas accessible mais est planté ce qui apporte une ambiance paysagère agréable aux usagers des locaux alimentés par le système.

Gestion des ouvrants	type	Manuel
Emergence	m	3
Dimensions	m * m	10.3*6.03
Surface système	m <sup>2</sup>	60.5
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	168
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	115
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	1004
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	1880
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	24
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	17



Crédit photo : Hervé Douris



## 9. Collège de Roquefeuil : Retours d'expérience

### *Point de vue du concepteur*

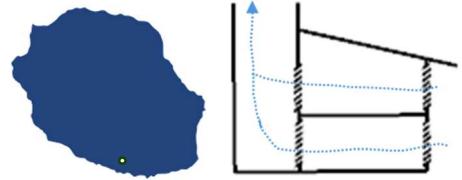
Personne interrogée : Cédric DELAHAYE, architecte LAB Réunion

**Retour d'expérience :** Cédric explique que l'option du puits dépressionnaire pour le réfectoire et le CDI a été choisie en raison des grands volumes de ces espaces, qui auraient un impact environnemental trop important s'ils avaient été climatisés toute l'année. En optant pour un système de ventilation naturelle, la consommation énergétique est maîtrisée tout en garantissant un confort thermique pour les usagers. Le puits dépressionnaire, couplé à des protections solaires efficaces, assure une bonne circulation de l'air, et il est particulièrement efficace lorsque toutes les jalousies sont ouvertes. De plus, bien que le bâtiment soit situé en milieu de parcelle, où les vents dominants peuvent être partiellement réduits, l'intégration du puits dépressionnaire améliore la circulation de l'air.

### *Point de vue du gestionnaire de site*

Personne interrogée : Nathalie Pulou, principale du Collège

**Retour d'expérience :** Lors d'une visite organisée par LEU Réunion en partenariat avec l'association Elles Bougent, nous avons rencontré Mme Pulou, directrice du collège de Roquefeuil. Elle s'est montrée fière et satisfaite du fonctionnement du collège, en particulier du système de ventilation naturelle qui contribue à maintenir un confort thermique optimal dans les bâtiments. Elle milite activement pour l'usage de cette ventilation naturelle et sensibilise les enseignants à son niveau pour éviter certaines mauvaises pratiques, comme la fermeture des rideaux, qui bloquent la circulation de l'air. En général, les enseignants sont également satisfaits de cette solution. En revanche, Mme Pulou rencontre des difficultés à mettre en place un système efficace de tri des déchets dans le réfectoire, car certaines directives départementales entrent en contradiction avec ses initiatives. Elle regrette également le manque de moyens pour entretenir les espaces verts, qui ont souffert ces derniers temps. Enfin, elle se sent bien dans son bureau, un espace où elle apprécie le confort offert par la ventilation naturelle.



## 10. ECOTOLE : Identité du projet



Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Saint-Pierre

Date de livraison : En chantier

Typologie : Bureaux

Superficie totale du projet : 1300 m<sup>2</sup>

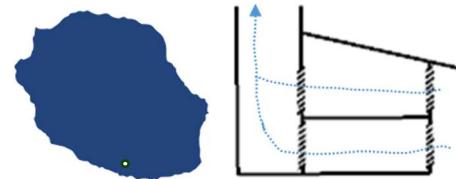
Coût travaux : 2.5 M€ estimés

Consommations énergétiques : données non disponibles, le bâtiment n'est pas encore livré

Maîtrise d'ouvrage : ECOTOLE

Maîtrise d'œuvre : LAB Réunion, LEU Réunion, LET Réunion, Jacques Gandemer Conseil, AIR DARWIN, CREATEUR, Laboratoire Eiffel, DELHOM acoustique

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Puits dépressionnaire



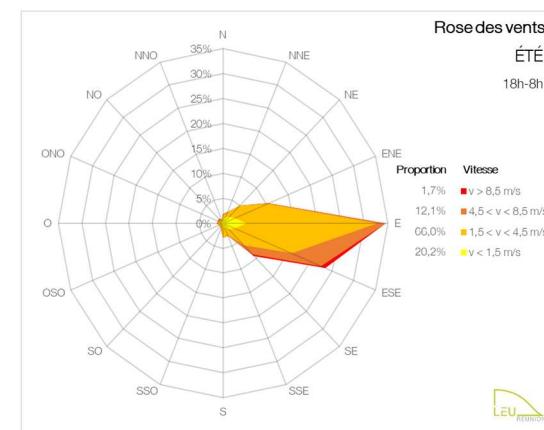
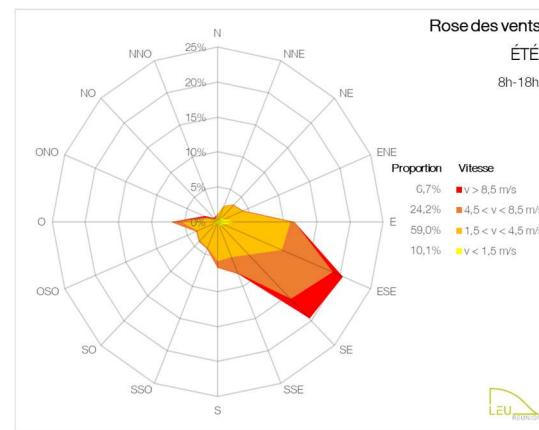
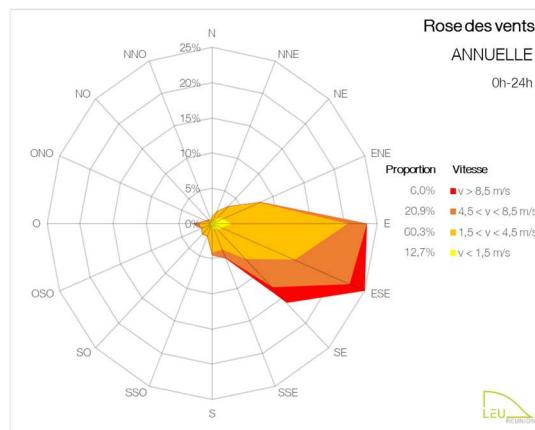
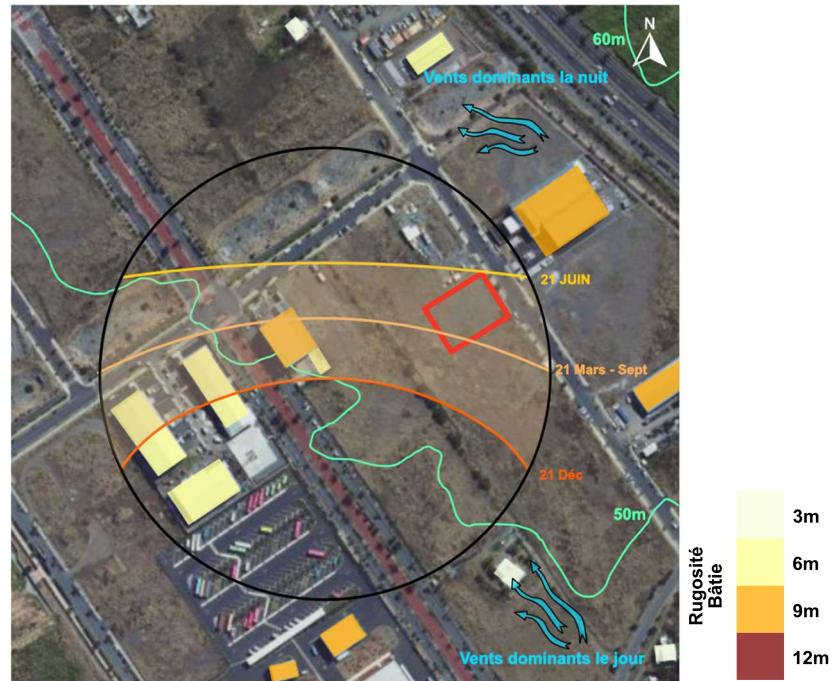
## 10. ECOTOLE : Contexte environnemental et énergie

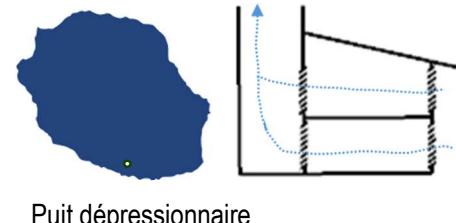
Le projet se situe sur la côte de Pierrefonds à Saint-Pierre. On peut noter une pente générale Est/Ouest, correspondant à la déclivité du secteur. Les terrains environnants ont une altitude similaire, ce qui permet une insertion optimale du bâtiment dans son environnement.

L'orientation choisie permet pour les différentes pièces de limiter l'utilisation de l'éclairage artificiel. De plus, cet agencement permet également un bon fonctionnement de la ventilation naturelle. En saison chaude, les directions Sud-Est des Alizés ainsi que les brises venant du Sud-Ouest, seront optimisées, cependant, lors de la saison froide celles-ci seront minimisées. Concernant les bureaux, un puit dépressionnaire est mis en place en façade Ouest afin de permettre une ventilation des locaux par différence de pression entre les façades. Les protections solaires type brises soleil et débords de toiture permettent de minimiser les apports solaires.

Altitude : 53 m

Type d'environnement : Urbain



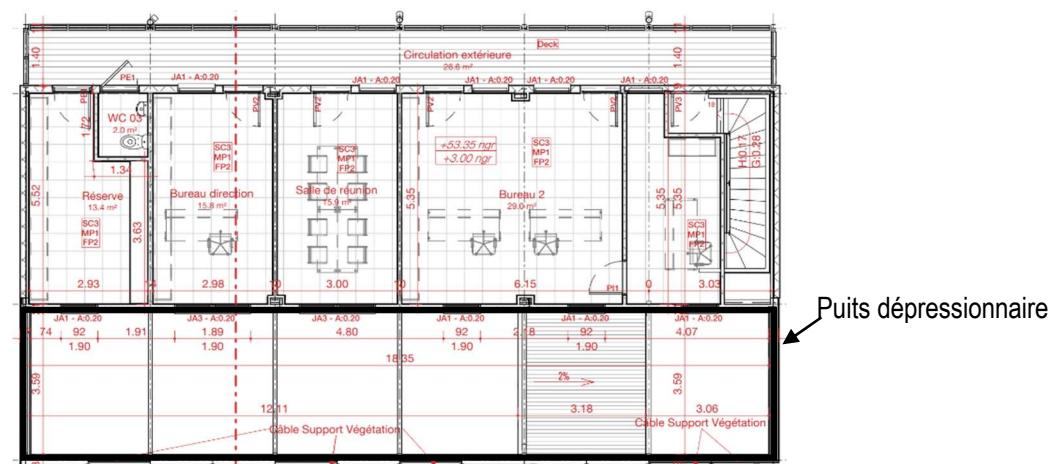
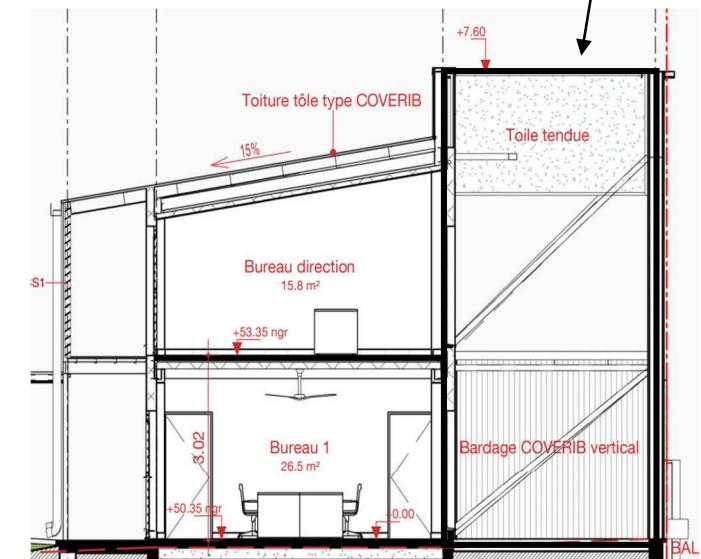


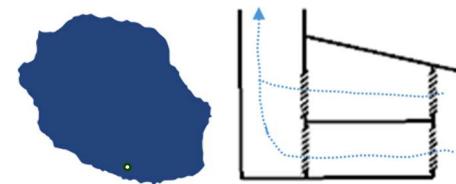
## 10. ECOTOLE : Système architectural

Le puits dépressionnaire d'ECOTOLE alimente les bureaux de l'administration situés sur 2 niveaux. Les bureaux, de trame fine, disposent d'ouvertures de type jalousettes manuelles placées en vis-à-vis.

Les essais en soufflerie précisent que le taux de renouvellement d'air sera de 80 Vol/h dans les bureaux ce qui permet de répondre aux objectifs de confort des usagers.

Gestion des ouvrants	type	Manuel
Emergence	m	1.3
Dimensions	m * m	18.8*4
Surface système	m <sup>2</sup>	75.2
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	45
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	33
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	295
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	132.7
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	27
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	20





## 10. ECOTOLE : Retours d'expérience

*Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Antoine Perrau, architecte

Retour d'expérience :

Dans le cadre du projet ECOTOLE, le choix d'utiliser un puits dépressionnaire pour alimenter les bureaux répartis sur deux niveaux s'est imposé en raison de plusieurs contraintes liées à son emplacement en zone industrielle. Le puits permet de limiter le recours à la climatisation, tout en réduisant les nuisances sonores provenant des activités industrielles environnantes. La configuration de la parcelle et le contexte urbain et architectural ont conduit à imaginer un puits capable de capter la dépression en hauteur, car les possibilités d'implantation des bâtiments étaient limitées. Sans ce dispositif, le hangar voisin aurait déventé le bâtiment de bureaux, compromettant une ventilation naturelle efficace. Le puits a ainsi permis de contourner ces obstacles tout en assurant un environnement intérieur confortable et bien ventilé.

*Le projet n'est pas encore livré, nous ne pouvons donc pas questionner d'usagers pour le moment.*



11. Amphithéâtre du Moufia : Identité du projet



**UR | UNIVERSITÉ  
DE LA RÉUNION**

Localisation : Ile de La Réunion

Ville : Sainte-Marie

Date de livraison : 2014

Typologie : Amphithéâtre

Superficie totale du projet : 1 185 m<sup>2</sup>

Coût travaux : 9 640 000 euros

Consommation énergétique : 23 Kwhef/m<sup>2</sup>SU/an

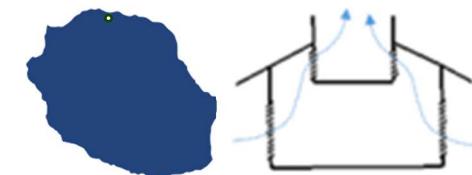
Maîtrise d'ouvrage : Université de La Réunion

Maîtrise d'œuvre : Mandataire OBA, Scénographe Roland Roussel, IMAGEEN, Jacques Gandemer

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Canyon dépressionnaire



Crédit photo : Hervé Douris



## 11. Amphithéâtre du Moufia : Contexte environnemental et énergie

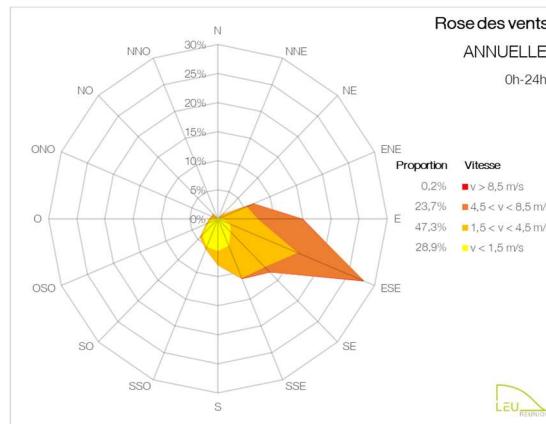
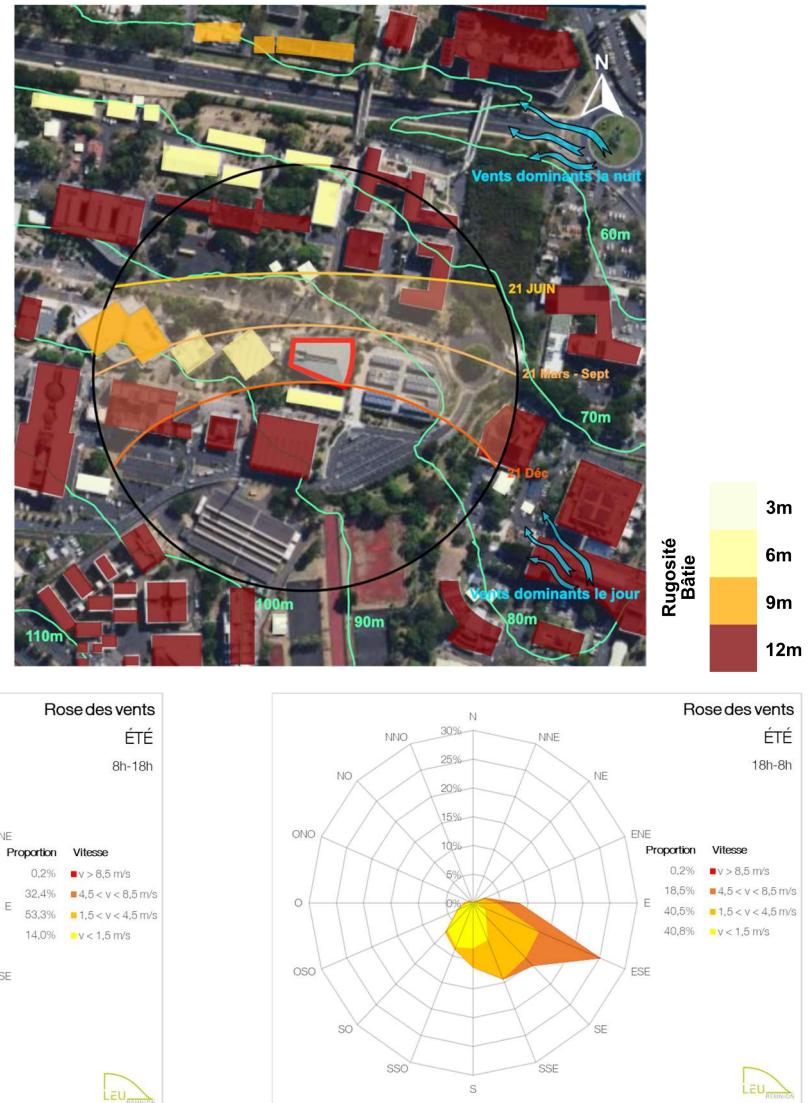
Le bâtiment se situe dans un environnement urbain. Il est proche d'un bâtiment R+2 au Sud mais surplombe la voie de desserte de l'Université au Nord. Globalement, il n'y a pas d'obstacles majeurs bloquant la circulation d'air sur les orientations Est et Nord-Est.

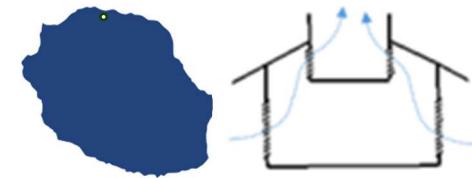
Altitude : 82 m

Type d'environnement : Urbain

Effet de masques : Absence de masque immédiat entre le Sud-Est et le Nord-Est

Les vents dominants proviennent principalement de l'Est-Sud-Est en journée, avec des influentes de brises thermiques orientées Sud-Sud-Est la nuit.

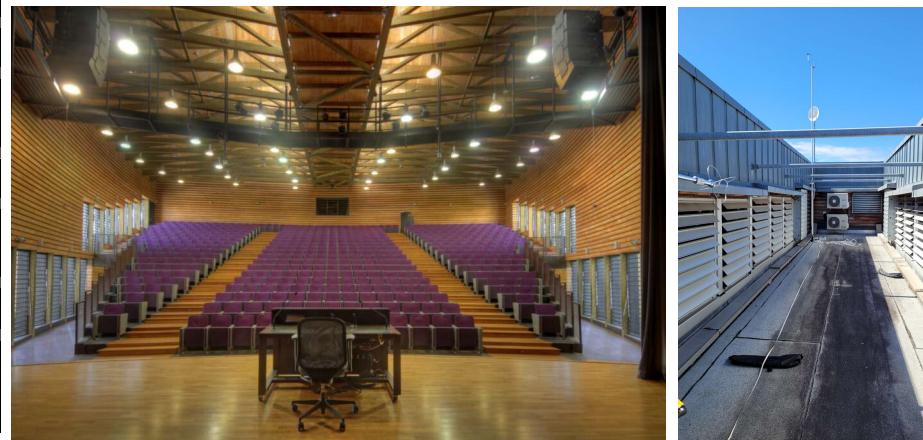
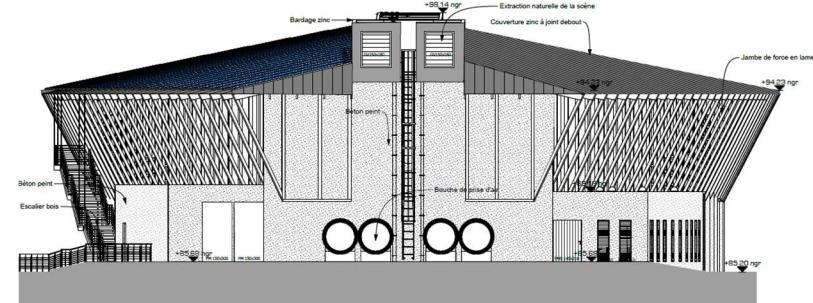




## 11. Amphithéâtre du Moufia : Système architectural

Le canyon dépressionnaire de l'amphithéâtre du Moufia alimente un volume de 4580 m<sup>3</sup>. Il s'agit du plus grand amphithéâtre entièrement en ventilation naturelle en climat tropical. Les jalousettes du canyon sont motorisées tandis que toutes les jalousettes en façades sont manuelles et gérées par un technicien du site, formée à la bonne utilisation des ouvertures. L'air entre par les façades Nord, Sud ainsi que par le dessous des gradins qui sont perforées à l'Est. Il est extrait par le canyon et 2 ouvertures existent en fond de scène. Seule la régie est climatisée.

Gestion des ouvrants	type	Motorisée au niveau du canyon et manuelle en façades
Emergence	m	45 cm au point le plus bas, 90 cm au point le plus haut (Pour 3m de profondeur)
Dimensions	m * m	23 * 2.9
Surface système	m <sup>2</sup>	67
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	97 compris pipes sous les gradins
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	46
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	817 (compris façade Est comprenant les pipes)
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	4580 (Pour 508 m <sup>2</sup> )
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	19 %
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	9 %



Crédit photo : Hervé Douris



## 11. Amphithéâtre du Moufia : Retours d'expérience

### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Olivier Brabant

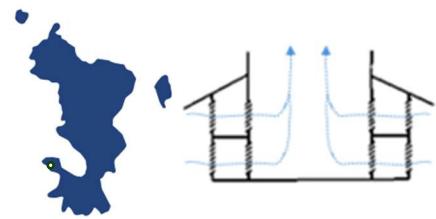
Retour d'expérience : Thermiquement je trouve que le puits dépressionnaire permet aux usagers d'être en situation de confort toute l'année sans usage de système de climatisation. Ce bâtiment fût le premier équipé d'un système de puits dépressionnaire. L'université nous a suivi dans cette démarche novatrice et maintenant on voit de plus en plus de bâtiments avec ces systèmes de ventilation. On peut en conclure que cela a été une réussite. D'après les questionnaires réalisés auprès des usagers, le confort thermique est atteint et ceci sans système de climatisation énergivore dans un amphithéâtre ayant une contenance de 500 personnes, donc avec des charges internes qui peuvent être très importantes. Il avait été imaginé de placer des systèmes d'extraction aéraulique, en sus, car nous n'avions aucun retour d'expérience sur cette manière d'optimiser la ventilation naturelle et on pouvait avoir un doute. Néanmoins après usage, il n'a pas été nécessaire de placer ce dispositif, le bâtiment étant déjà performant et atteignant les taux de renouvellement d'air souhaité pour l'évacuation des surcharges thermiques. Si je devais l'améliorer en matière de confort, il aurait intéressant de plus insister sur le confort thermique de la scène.

### *Point de vue du gestionnaire de site*

Personne interrogée : Jean Paul Albac et Eric Monceyron, Technicien/gestionnaire de site et Responsable de la Maîtrise de l'Energie de l'Université

### Retour d'expérience :

Tous deux en poste depuis la mise en service du bâtiment, ils ont participé à la campagne de sensibilisation sur le fonctionnement de l'amphithéâtre, à la livraison, qui impliquait les usagers et la maîtrise d'ouvrage. Ils précisent que l'ouverture et la fermeture des menuiseries se font manuellement, avec une possibilité d'intervention par les usagers. Globalement satisfaits de la conception du bâtiment, ils relèvent toutefois un léger inconfort thermique, surtout en période chaude et humide, mais il insiste que ce n'est pas la chaleur en elle-même qui pose un problème, plutôt la présence de moustiques. Des tests avec des moustiquaires ont été réalisés dans d'autres bâtiments, mais ils ont réduit la luminosité. Ils signalent aussi que l'ouverture des jalouses par temps venteux génère de la poussière, ce qui pourrait être réduit par une meilleure végétalisation des abords. Par ailleurs, les conférences organisées dans l'amphithéâtre engendrent des nuisances sonores pour les bâtiments voisins. Pour améliorer le confort, ils suggèrent la motorisation des jalouses en façades et une meilleure ventilation de la scène, qui a tendance à être plus chaude. Malgré ces ajustements possibles, ils sont satisfaits de l'approche énergétique du bâtiment. S'il devait être reconstruit, ils privilégieraient à nouveau une ventilation naturelle plutôt que la climatisation, estimant que le faible inconfort ressenti à l'échelle de l'année ne justifie pas un système climatisé.



## 12. Collège de Bouéni : Identité du projet



Crédit photo : Hervé Douris



ASPIRHAUT \_ Cas d'études 51

Localisation : Mayotte

Ville : Bouéni

Date de livraison : 2013

Typologie : Collège

Superficie totale du projet : 6 764 m<sup>2</sup>

Coût travaux : 18 628 176 euros

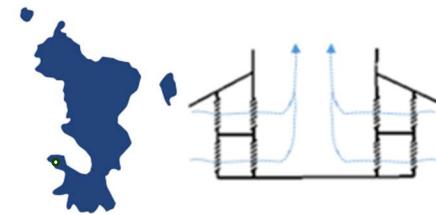
Consommation énergétique : Cette donnée sera récupérée pour la suite du projet.

Maîtrise d'ouvrage : ministère de l'Éducation nationale

Maîtrise d'œuvre : LAB Reunion (2APMR / APA), LEU Reunion, Tandem, GECP, A3 Structures, OMNIS, INSET, CST, CIEA, AGORA, DARDEL ingénierie

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Patio dépressionnaire





## 12. Collège de Bouéni : Contexte environnemental et énergie

Les seules données météorologiques disponibles pour Mayotte sont celles de l'aéroport à Dzaoudzi. Pour le collège de Bouéni, le bureau d'étude qualité environnemental avait réalisé un recalage des données météorologiques pour la zone de Bouéni, en utilisant la méthode énoncée dans le livre « La Ventilation naturelle en pratique » de l'ADEME. Les résultats ont montré que sur site, on distingue deux typologies de vents dominants :

- Les vents du Sud-Sud-Est jusqu'à Sud-Sud-Ouest en hiver
- Les vents du Nord-Ouest à Nord-Nord-Ouest en été

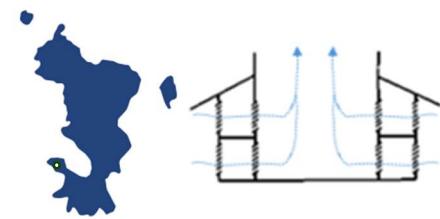
Les vitesses de vents seront plus importantes en hiver qu'en été. Les moyennes sont d'environ 4 à 5 m/s en hiver alors qu'en été, elles sont plutôt de 2 à 3 m/s.

Altitude : 82 m

Type d'environnement : Rural

Effet de masques : Absence de masque immédiat

	Vitesse de vent moyen (m/s)	Pourcentage de vitesses de vents supérieures à 2,50 m/s
<b>Janvier</b>	<b>3,10</b>	<b>59,41%</b>
<b>Février</b>	<b>2,83</b>	<b>52,02%</b>
<b>Mars</b>	<b>2,66</b>	<b>54,84%</b>
<b>Avril</b>	<b>3,35</b>	<b>62,63%</b>
<b>Mai</b>	<b>4,38</b>	<b>82,93%</b>
<b>Juin</b>	<b>5,35</b>	<b>90,99%</b>
<b>JUILLET</b>	<b>4,77</b>	<b>85,48%</b>
<b>Août</b>	<b>3,56</b>	<b>70,83%</b>
<b>Septembre</b>	<b>3,17</b>	<b>60,35%</b>
<b>Octobre</b>	<b>3,13</b>	<b>65,73%</b>
<b>Novembre</b>	<b>3,49</b>	<b>70,83%</b>
<b>Décembre</b>	<b>3,04</b>	<b>62,23%</b>
<b>Année</b>	<b>3,57</b>	<b>69,49%</b>

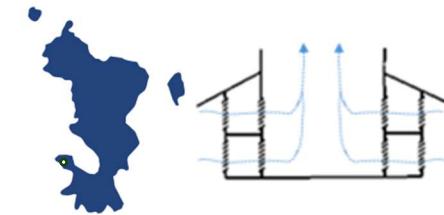


## 12. Collège de Bouéni : Système architectural

Le bâtiment administratif est équipé d'un patio dépressionnaire alimentant quelques salles de classe, les bureaux de l'administration ainsi que le CDI. Sur ce bâtiment, l'ensemble des salles alimentées par le patio dépressionnaire disposent également de climatisation.

Gestion des ouvrants	type	Manuelle
Emergence	m	1.7
Dimensions	m * m	16.5 * 10.5
Surface système	m <sup>2</sup>	173
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	118
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	105
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	450
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	1900
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	17
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	15





## 12. Collège de Bouéni : Retours d'expérience

### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Cédric Delahaye, architecte

**Retour d'expérience :** Pour le collège de Bouéni, la création d'un patio dépressionnaire s'est imposée en raison des particularités du site. Bien que les vents dominants descendent naturellement de la montagne, le bâtiment administratif avait du mal à capter ces flux d'air, car les salles de classe situées en amont faisaient obstacle. En plus de cette contrainte, le bâtiment administratif comporte des espaces de grands volumes, tels que le CDI et la salle des professeurs, qui nécessitent une ventilation efficace. Le patio dépressionnaire permet ainsi de compenser cette difficulté en créant un flux d'air naturel dans ces espaces, assurant un renouvellement d'air optimal malgré la configuration défavorable du site.

### *Point de vue du gestionnaire de site*

Personne interrogée : Technicien de site et principal du collège

**Retour d'expérience :** Lors de notre déplacement à Mayotte, un technicien du collège de Bouéni nous a partagé son retour d'expérience. Il se dit fier du bâtiment, qu'il trouve beau et agréable, mais informe que les enseignants se plaignent de la chaleur dans certaines salles en été. Cela s'explique en partie par le fait que les professeurs et les élèves n'ouvrent pas toutes les jalousies, jugées trop nombreuses et compliquées à manipuler. Ils n'ouvrent souvent que la partie basse, et de manière incomplète. De plus, certaines commandes de brasseurs d'air sont cassées ce qui fait que certains brasseurs d'air ne sont pas non plus utilisés.

Dans le bâtiment administratif, nous avons également constaté que les jalousies des bureaux, de la salle des professeurs et du CDI étaient fermées, tandis que la climatisation était en fonctionnement. Dans ces conditions, le patio dépressionnaire, qui repose sur une ventilation naturelle, ne peut pas remplir son rôle dépressionnaire. D'après le technicien, la climatisation y tourne en continu, notamment parce que certaines commandes sont introuvables, comme au CDI. Le technicien, présent lors de la livraison du chantier, a expliqué que l'entreprise d'électricité n'avait pas terminé les travaux en fin de chantier, ce qui pourrait expliquer que certaines commandes de climatisation n'aient pas été installées. De plus, le manque de prestataires spécialisés en local, combiné à des moyens financiers limités, empêche un entretien régulier de la climatisation, ce qui aggrave les difficultés.

Nous avons également échangé avec le principal du collège, qui a reconnu utiliser fréquemment la climatisation dans son bureau. Cette utilisation est compréhensible, car son bureau, partiellement enterré, est situé dans une zone difficilement connectée au patio. Cependant, il est important de noter que l'équipe encadrante du collège a changé depuis la livraison du projet, et qu'il n'y a pas eu de passation des informations sur le fonctionnement spécifique du bâtiment. Le principal actuel n'est donc pas informé de la conception particulière du projet, ce qui limite la mise en œuvre des bonnes pratiques pour exploiter pleinement les atouts du bâtiment.



### 13. Centre médico-social de la CAFAT : Identité du projet



Localisation : Nouvelle-Calédonie

Ville : Nouméa, quartier de Rivière Salé

Date de livraison : 2020

Typologie : Médico-social

Superficie totale du projet : 2022 m<sup>2</sup> SDP

Coût travaux : 7 120 000 €

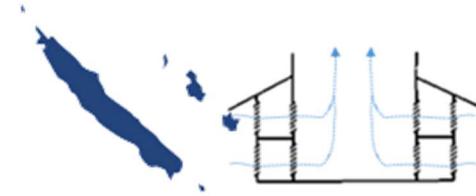
Consommation énergétique : Consommations en énergie finale sur les mois après travaux : climatisation et traitement d'air : 32580 kWh/an, VMC : 2895 kWh/an, brasseurs d'air : 1430 kWh/an, éclairage : 13125 kWh/an, ascenseur : 6000 kWh/an, eau chaude sanitaire : 1800 kWh/an. Total : 57 830 kWh/an EF soit environ 33 kWh/m<sup>2</sup>.an.

Maîtrise d'ouvrage : CAFAT

Maîtrise d'œuvre : Atelier d'architecture KASO, LAB réunion, LEU Réunion, ECEP, LFJ design paysage, SIGMA, ES2

Type de système dépressionnaire mis en œuvre : Patio dépressionnaire

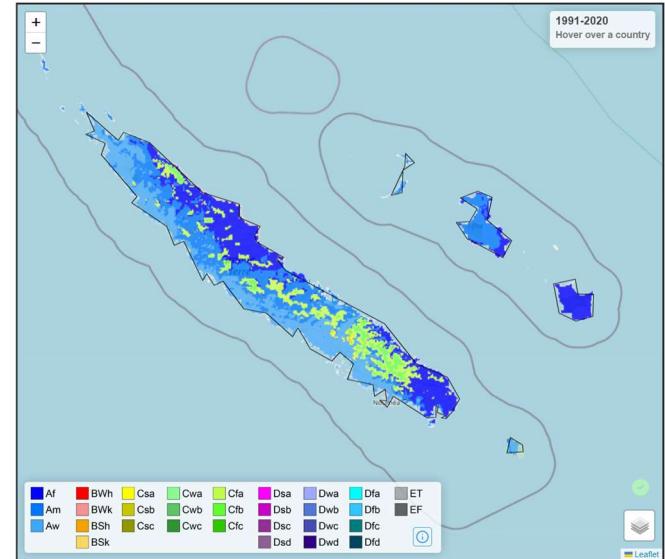
### 13. Centre médico-social de la CAFAT : Contexte environnemental et énergie



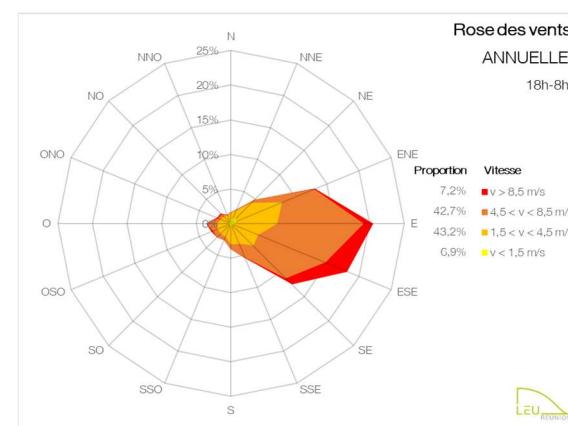
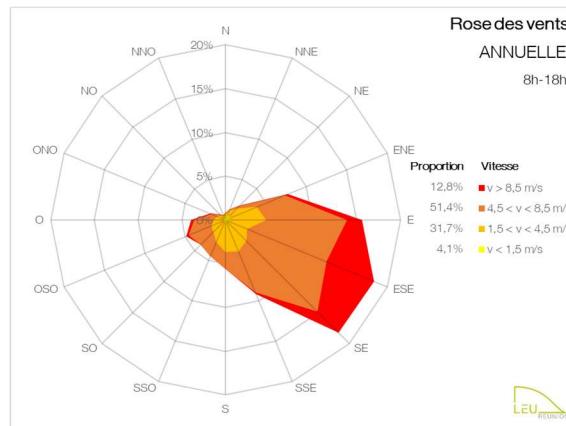
Le climat à Nouméa est de type tropical de savane avec hiver sec (Aw) selon la classification de Köppen. Les vents dominants sont de secteur Nord Est à Sud Est (avec une direction largement majoritaire au Sud Est), et après recalage climatique (référence au modèle Météodyn) la vitesse moyenne annuelle à 10m de hauteur sur le Site est de 2.9 m/s. Il a été vérifié aérodynamiquement sur un modèle en soufflerie qu'aucun effet de masque ou de sillage ne venait « déventer » le projet, qu'il s'agisse du secteur des vents dominants (Nord Est au Sud Est) où les émergences sont en R+1 maximum et relativement éloignées ( $L >> 10h$ ), ou des autres secteurs aux rugosités bâties très clairsemées.

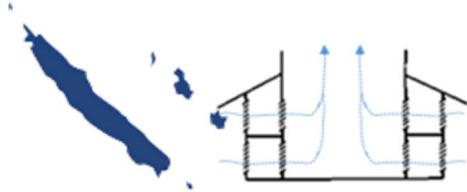
Altitude : 7 m

Type d'environnement : Urbain



Zones climatiques de Köppen-Geiger de Nouvelle-Calédonie  
(source : <https://koppene.earth>)





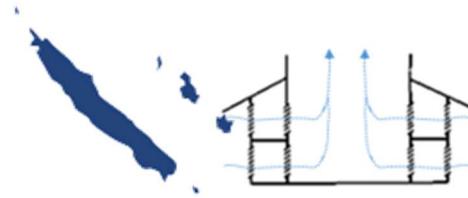
### 13. Centre médico-social de la CAFAT : Système architectural

Le concept aérodynamique général repose sur un patio dépressionnaire central, largement dimensionné. Les locaux, et les coursives sont repartis autour du patio. Les entrées d'air se font par les façades perméables (gamme de porosité de 15% à 25% en façade Sud-Ouest, et 25% pour les autres façades), l'air transite et balaye ensuite par les locaux et espaces à irriguer, et ressort par le patio central pour être extrait au niveau du toit.

Ce mécanisme utilise la différence de pression aérodynamique entre les façades (en surpression ou légèrement en dépression) et la sortie en toiture toujours largement dépressionnaire et émergente (3m environ au-dessus de tous éléments de toiture). Ce puits dépressionnaire, est le moteur de la ventilation, et fonctionne quelle que soit la direction des vents.

Gestion des ouvrants	type	Manuelle
Emergence	m	2.1
Dimensions	m * m	19.3*17
Surface système	m <sup>2</sup>	328.5
Surfaces ouvertures façade admission	m <sup>2</sup>	131
Surface ouvertures façade extraction	m <sup>2</sup>	71
Surface totale des façades	m <sup>2</sup>	410
Volume des espaces à ventiler	m <sup>3</sup>	3180
Ratio surface ouverture admission/ S ventilée	%	11
Ratio surface ouverture extraction/ S ventilée	%	6





### 13. Centre médico-social de la CAFAT : Retours d'expérience

#### *Point de vue du concepteur*

Personne interrogée : Jocelyn MESCHENSMOSER, Ingénieur qualité environnementale du bâtiment sur le projet

#### Retour d'expérience :

Il souligne que la mission de suivi des performances thermiques et énergétiques, qui a été réalisé sur un an après la livraison du bâtiment, incluait également un accompagnement humain pour aider les usagers à prendre en main le bâtiment, notamment à travers des questionnaires et des mesures de températures. Les usagers étaient initialement opposés au projet en raison de son implantation dans un quartier plus populaire, ce qui a renforcé une résistance collective. Des choix techniques, comme la ventilation naturelle, n'ont pas été bien accueillis. Les locaux médicaux et les bureaux, conçus en mode mixte avec ventilation naturelle, climatisation et gestion de la confidentialité, n'ont pas suffi à apaiser ces réserves. La zone d'accueil à l'origine conçue en espaces ouverts et ventilés intégralement, est également devenu un point de discorde. Après la première année de garantie de parfait achèvement, une partie de ces espaces a été refermée et climatisée, réduisant l'écart entre la vision initiale et la réalité du projet actuel.

En tant qu'ingénieur, Jocelyn a constaté un rejet de la part des usagers vis-à-vis du concept de bâtiment passif. Certains ressentaient un recul plutôt qu'un progrès, estimant qu'ils devaient désormais se déplacer pour ouvrir les fenêtres, ce qui leur semblait contraignant. Les réactions négatives des usagers ont été plus vives que prévu, un phénomène rarement observé dans d'autres projets en Nouvelle-Calédonie. Il cite en exemple la lutte menée par la direction pour interdire au personnel de fumer à l'intérieur du bâtiment, une directive difficile à faire respecter.

Malgré tout, Jocelyn mentionne que certains aspects de la conception ont été appréciés par une partie des usagers. D'un point de vue personnel, il a trouvé le bâtiment agréable et confortable, tout en soulignant une difficulté à s'ouvrir sur un environnement extérieur bruyant, poussiéreux, avec une forte présence de voitures et de parkings. Il note également quelques plaintes concernant le bruit et estime qu'il serait intéressant de réaliser des mesures ponctuelles à ce sujet, tout en veillant à ce que l'entretien du bâtiment, notamment au niveau du cœur végétal, soit maintenu dans le temps.

Personne interrogée : Cédric Delahaye, architecte

#### Retour d'expérience :

La parcelle étant étroite pour un programme aussi dense, l'intégration d'un patio est rapidement devenue une solution évidente pour assurer une ventilation efficace et fonctionnelle dans l'ensemble du bâtiment.

*Point de vue de la maîtrise d'usage*

Personne interrogée : SECAL, maître d'usage délégué de la CAFAT

Retour d'expérience :

Il y avait une véritable ambition environnementale sur ce projet notamment à travers l'intégration de la ventilation naturelle et d'un concept novateur de patio dépressionnaire, dans une démarche de développement durable. Le choix du lieu d'implantation du projet représentait un enjeu social majeur, nécessitant un important travail pour faire accepter le déplacement du personnel de la CAFAT d'un quartier plus huppé vers un quartier plus populaire. Bien que le chantier se soit déroulé sans encombre, le projet a souffert d'un important turnover côté maître d'ouvrage et d'une perte d'historique lors des changements de personnel pendant la conception. Si le projet final est réussi et ambitieux sur le plan architectural et environnemental, nous avons néanmoins rencontré des difficultés à bien accompagner les usagers dans ce changement malgré l'existence de groupes de travail avec eux lors de la phase de programmation et les efforts réalisés lors de la livraison du site. La mission de SECAL, en tant que maîtrise d'usage déléguée, s'est terminée à la livraison du bâtiment.

*Point de vue usagers*

Personnes interrogées : 6 patients (3 femmes, 3 hommes, d'âges différents)

Retour d'expérience :

Les retours des usagers sur le bâtiment sont globalement positifs, avec des ressentis variés en fonction de leur expérience.

Une femme d'une soixantaine d'années, habituée à venir régulièrement, trouve que le bâtiment est bien conçu. Elle ne ressent pas de chaleur excessive, ni de froid en hiver. Elle apprécie particulièrement la présence de l'ascenseur et le lien avec la nature offert par le patio, sans relever de points négatifs.

Un homme d'environ 70 ans partage un avis similaire, indiquant que le bâtiment est agréable, qu'il n'a ni trop chaud ni trop froid, et qu'il n'a rien à critiquer.

Une autre femme d'une soixantaine d'années, qui est venue deux fois, apprécie également le bâtiment, qu'elle juge différent des autres dans la zone. Elle trouve que l'accès est pratique. Elle mentionne que le bâtiment qu'elle n'a jamais trop chaud, bien qu'elle n'ait pas encore visité le site en hiver. Elle trouve l'ascenseur vitré innovant et agréable.

## Projet ASPIRHAUT- OMBREE

Un homme d'une trentaine d'années note qu'il fait chaud si les jalousies ne sont pas toutes ouvertes, mais souligne que le cadre du bâtiment est plus agréable et ouvert que d'autres bâtiments, souvent plus confinés. Il apprécie l'espace pour les enfants et la végétation omniprésente, rendant l'endroit moins stressant que d'autres centres médicaux. Il trouve également l'espace d'attente spacieux et le lien avec la nature, visible depuis presque partout, très plaisant.

Une autre femme d'une soixantaine d'années, qui vient souvent, remarque que le bâtiment est agréable en été grâce à la ventilation, mais qu'il fait froid en hiver, surtout quand il y a du vent et de la pluie. Elle apprécie le jardin, mais trouve les escaliers dangereux par temps de pluie car ils deviennent glissants, ce qui pose un problème de sécurité.

Enfin, un agent de sécurité d'environ 50 ans, présent la plupart du temps à l'entrée, explique que l'on a demandé de laisser les portes ouvertes pour améliorer la ventilation. En hiver, un détecteur de présence gère l'ouverture et la fermeture des portes. Il admet qu'il fait chaud en été quand les portes sont fermées, mais lorsque celles-ci sont ouvertes, le bâtiment est bien ventilé. Il considère le bâtiment beau et agréable dans l'ensemble.