



# JACO

## DES JARDINS POUR LE CONFORT

---

PARTENAIRES FINANCIERS

ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie



GUIDE UTILISATEUR

## L'ÉQUIPE TECHNIQUE

LEU Réunion

*Urbanisme, paysage, QEB*

139 rue François Isautier  
97410 Saint-Pierre, La Réunion  
Tèl. 0262 91 11 28

Laboratoire EIFFEL  
*Expertise en aérodynamique*

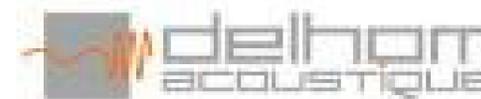
67 rue Boileau  
75016 Paris  
Tél. 01 42 88 47 40

DELHOM Acoustique  
*Ingénierie acoustique*

ZA de Tourneris  
31470 Bonrepos sur Aussonnelle  
Tèl. 05 61 91 64 90

Jacques GANDEMER  
*Consultant en aérodynamique*

117 rue de la Mairie  
44240 Sucé sur Erdre  
Tél. 09 54 33 39 57





# PROJET **JACO**, LES JARDINS POUR LE CONFORT

## GUIDE UTILISATEUR

**1. CONTEXTE ET ENJEUX**

**2. LA VÉGÉTATION,  
UN ATOUT  
INDISPENSABLE !**

**3. INTÉGRATION DE  
LA VÉGÉTATION À  
UNE CONCEPTION  
DURABLE**

**4. PRÉCONISATIONS**

# 1. CONTEXTE ET ENJEUX

## CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL



A partir des années 60 et l'arrivée des systèmes actifs de rafraîchissement, la conception architecturale a quelque peu délaissé le climat, ce qui a engendré des consommations énergétiques accrues et de l'inconfort à tout point de vue (thermique, esthétique, acoustique, qualité air, etc.).

Pourtant, dans la littérature des années 50, on retrouve tout un ensemble d'arguments en faveur de la végétalisation des abords de bâtiments et le livre « Connaissance de l'architecture réunionnaise » définit la case créole urbaine comme ceci : « La case créole urbaine est surtout caractérisée par sa façade. Son plan, les relations qu'elle entretient avec son jardin ou la rue, répondent aux contingences d'un modèle culturel et d'un environnement naturel particulier ».

Ces atouts ne sont pas ou trop peu reconnus par les acteurs de la construction réunionnaise à l'heure actuelle. On peut citer par exemple les CEE (Certificats d'Economies d'Energie) qui permettent d'aider la mise en place de certains dispositifs améliorant le confort à l'intérieur des logements (toiture performante, protection solaire des murs & baies, équipements performants, etc.) mais aucune spécification n'incite à la création de jardins plantés en périphérie de bâtiments.

Seul le référentiel PERENE spécifie, en 2009, que « les surfaces bitumées et bétonnées aux abords du bâtiment doivent être évitées [...] Pour cela, le sol fini autour du bâtiment doit être protégé efficacement de l'ensoleillement direct sur une bande d'au moins trois mètres de large. Elle concerne obligatoirement les façades ventilées. La nouvelle réglementation RTAA DOM n'incite pas encore à la réalisation d'espaces végétalisés en pied de bâtiments.

D'autre part, il est important de noter que le coût du lot « jardin » est souvent dérisoire comparé aux autres lots de construction.

A titre d'exemple, pour le projet emblématique « Ilet du Centre » composé d'un cœur vert comprenant de nombreuses essences endémiques de 2800m<sup>2</sup>, le lot jardin représente moins de 0,7% du projet de construction avec un coût d'entretien annuel de l'ordre de 4000€ par an. A titre de comparaison, entretenir une petite unité de climatisation coûte en moyenne 200€ par an. Sachant qu'il y a 66 logements avec des typologies bien différentes, on arriverait à un coût d'entretien de l'ordre de 25 000€ chaque année pour l'ensemble de l'opération. Les frais d'entretien et de gestion des jardins sont souvent rabaissés au minimum.

## ENJEUX DU PROJET

Les enjeux du projet JACO sont multiples :

- Montrer et quantifier l'importance du végétal du point de vue thermique, aérodynamique et acoustique ;
- Sensibiliser les usagers et les acteurs du bâtiment ;
- Améliorer le confort général dans les bâtiments ;
- Réduire les consommations énergétiques
- Limiter les nuisances acoustiques vis-à-vis de l'extérieur
- Apporter de la diversité végétale aux projets de construction ;
- Améliorer la gestion des eaux pluviales sur la parcelle afin de limiter les rejets dans les réseaux et donc le volume à traiter par les stations d'épurations ;
- Apporter de la qualité aux projets de construction ;
- Développer les savoir-faire locaux ;
- Optimiser un outil de conception local ;
- Valoriser les espaces intermédiaires.



L'objectif principal du projet était de quantifier tous les atouts du végétal dans la construction environnementale en milieu tropical, et particulièrement pour des bâtiments de logement collectif.

Cette quantification se fait en fonction des caractéristiques propres, mais simplifiées et typées du végétal (volumétrie, architecture et forme, densité et texture, distance par rapport au bâti, nature du sol, etc.), et à partir de mesures directes de paramètres physiques et climatiques classiques.

“

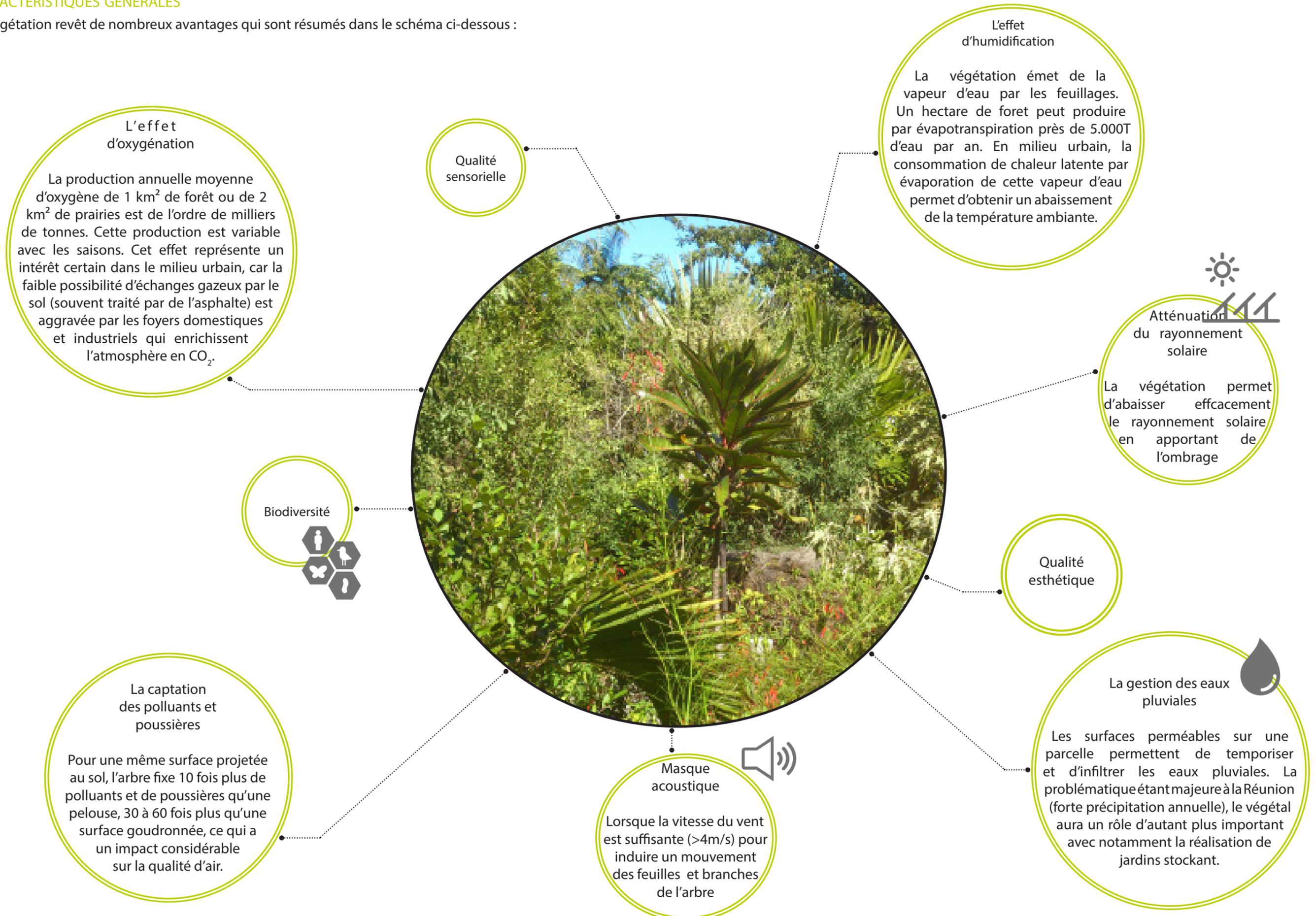
Le projet JACO s'inscrit donc dans les thématiques proposées dans l'appel à projet PACTE (2015—2018) et du plan logement outre-mer 2015-2020. Il s'inscrit dans les champs d'action de l'appel à projet PACTE AP11, à savoir « Champ 1.A. Capitaliser et valoriser les retours d'expérience sur les bâtiments performants » et « Champ 3.C. Favoriser l'émergence de nouvelles façons de construire ».

”

## 2. LA VÉGÉTATION, UN ATOUT INDISPENSABLE

### CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

La végétation revêt de nombreux avantages qui sont résumés dans le schéma ci-dessous :



## 2. LA VÉGÉTATION, UN ATOUT INDISPENSABLE



### CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Nous avons cherché à démontrer de manière quantitative l'impact de la végétation sur le confort hygrothermique à l'intérieur de bâtiments. Nous avons analysé plusieurs paramètres et notamment le rayonnement global que reçoit une façade sous influence d'un environnement végétal, comparé, de manière synchrone, à une façade sous influence d'un environnement minéral pour une même orientation et typologie de bâtiment. Plusieurs cas d'étude ont ainsi été à Saint-Pierre dans le Sud de l'île de la Réunion.

#### BÂTIMENTS INSTRUMENTÉS



#### PROTOCOLE

Nous avons utilisé 2 mâts de mesures, conçus spécifiquement pour le projet. Les paramètres analysés sont : la température et humidité relative sous abri ventilé et le rayonnement global sur un axe vertical. Ces données ont été relevés pour 3 niveaux de mesure (1,8m, 3,6m et 5,4m) et ceci sur des journées type.



Tous les résultats présentés sont basés sur quelques jours de mesure qui ont eu lieu en période austral au cours du mois de novembre et décembre 2019. Nous pouvons en déduire des tendances mais pas des conclusions. Idéalement, il aurait fallu réaliser ce travail de mesure sur une année entière pour voir ainsi les évolutions durant différentes périodes de l'année.

Néanmoins, il a été constaté que la présence de végétation aux abords des façades impacte significativement le rayonnement solaire reçu sur la façade. Il est ainsi moins important pour un environnement végétalisé que pour un environnement minéral. Les façades étant plus ou moins sollicitées en fonction de l'orientation; l'effet sur l'atténuation du rayonnement solaire de la végétation variera, comme on peut le constater dans les schémas en page suivante.

Localisation des bâtiments instrumentés



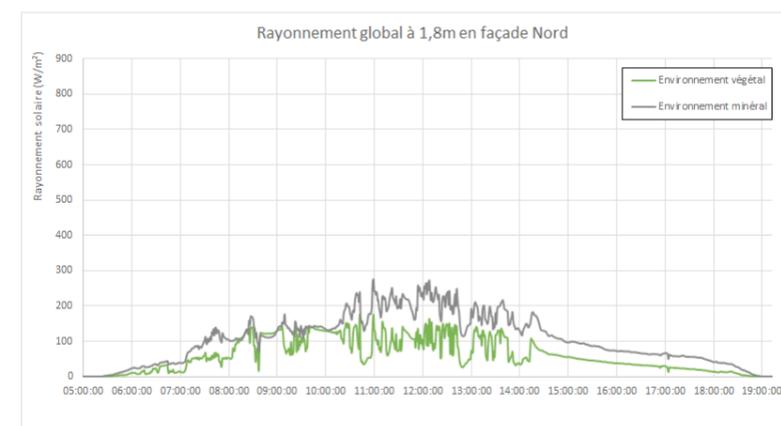
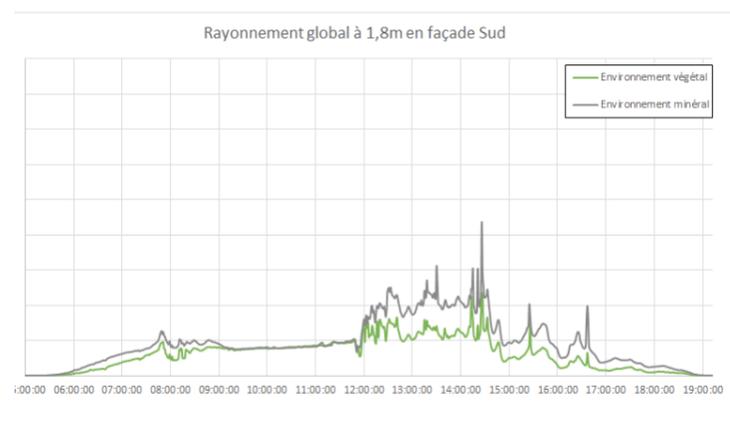
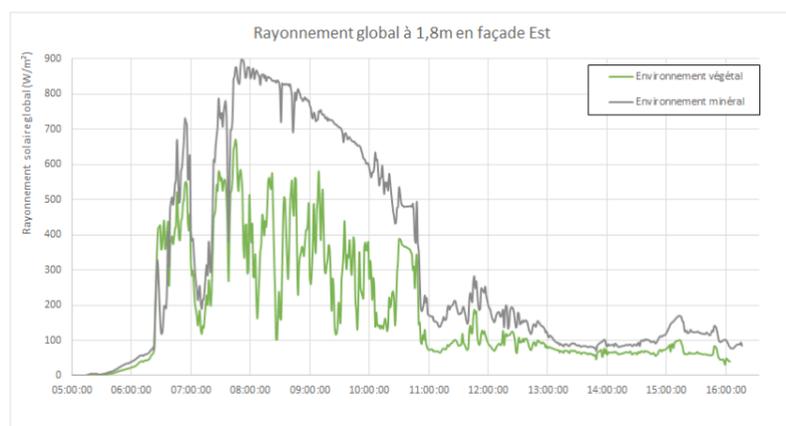
## 2. LA VÉGÉTATION, UN ATOUT INDISPENSABLE

### CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Dans les schémas ci-dessous, on peut constater les différences de l'atténuation du rayonnement solaire sur façade entre un environnement végétal et un environnement minéral pour différentes orientations de façades. Ces résultats sont issus d'une campagne de mesure à l'échelle de la journée. Ceci nous permet de donner un ordre de grandeur de l'influence du végétal sur le rayonnement solaire subi par une façade. On retrouve ci-dessous des courbes comparatives du rayonnement solaire sur une façade Est, Sud et Nord.

### RÉSULTATS

Evolution journalière du rayonnement global au point de mesure 1,8m sur *façade végétalisée (vert)* et sur une *façade minérale (gris)* à différentes orientations (de gauche à droite : Est, Sud et Nord)



On constate que le rayonnement solaire sur une façade varie en fonction de l'orientation des façades. Au mois de décembre et dans un environnement minéral, la façade Est aura un pic de rayonnement solaire de l'ordre de 900 W/m<sup>2</sup> alors que pour une façade Nord et Sud, on aura des valeurs plutôt de l'ordre de 300 à 400 W/m<sup>2</sup>.

Voici les résultats sur les écarts relatifs moyens entre le rayonnement reçu sur une façade avec environnement végétal et une façade avec environnement minéral :

#### Façade Est

44% à 1,8m du sol, 25% à 3,8m du sol et de 15% à 5,6m du sol

#### Façade Nord

42% à 1,8m du sol, 25% à 3,6m du sol et de 20% à 5,6m du sol

#### Façade Sud

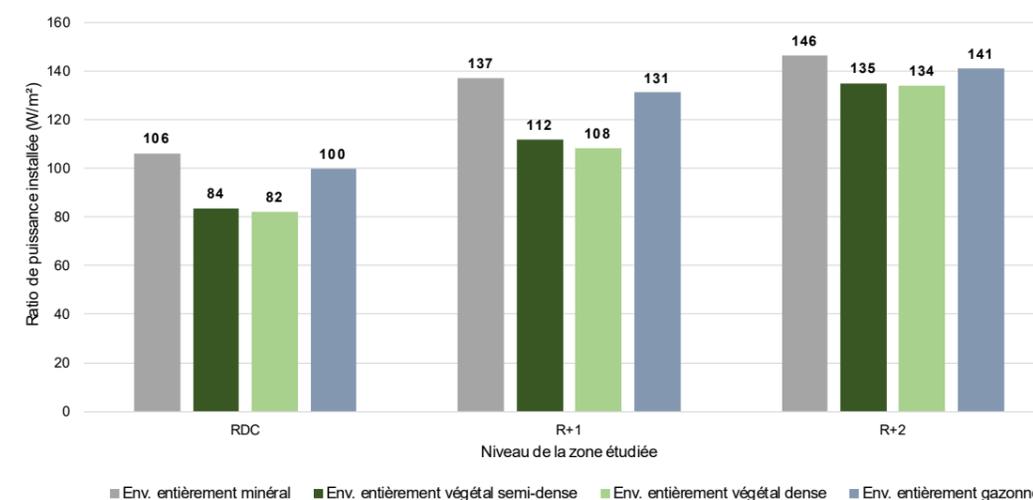
35% à 1,8m du sol, nul à 3,8m et 5,6m du sol

### CONCLUSION

Le végétal a un réel rôle sur le confort thermique à l'intérieur des bâtiments. En effet, placer des jardins en pied de bâtiments permettra d'abaisser significativement les apports solaires sur les façades au droit des jardins. Ceci sera plus marqué pour les deux premiers niveaux d'un bâtiment alors que pour les étages supérieurs, l'impact du végétal sera peu ou pas significatif.

En journée d'été, on arrive à des différences très importantes entre une façade ayant des abords végétalisés et une façade ayant un environnement minéral. L'ordre de grandeur sera de 40% pour le RDC. Si on considère qu'un bâtiment est entièrement entouré de végétal à ces abords, l'atténuation du rayonnement solaire sera conséquente et permettra de limiter efficacement la surchauffe intérieure.

### Comparaison des besoins en froid en (W/m<sup>2</sup>) pour différents types d'environnements



Dans le cas d'un bâtiment climatisé, l'impact de la végétation sur les consommations de climatisation a été approché en analysant les données de la campagne de mesure et en réalisant une simulation thermique dynamique. Les conclusions sont qu'en intégrant un environnement végétalisé type strate arbustive et/ou buissonnante, on peut obtenir une diminution des besoins en froid de l'ordre de 20% pour le RDC et le R+1, par rapport au cas minéral. Pour les niveaux supérieurs, la différence sera moins significative, il y aura une diminution de l'ordre de 5%.

## 2. LA VÉGÉTATION, UN ATOUT INDISPENSABLE



### CARACTÉRISTIQUES AÉRAULIQUES

Le confort thermique est fondamentalement gouverné non seulement par la température ambiante, les charges internes, l'habillement mais aussi par les rayonnements solaires reçus par les diverses parois d'un bâtiment, et les flux d'irrigations. Si l'impact thermique du végétal a été étudié, il était nécessaire de vérifier si à contrario s'il n'appauvrit pas la potentialité de ventilation naturelle (effet brise vent avec réduction des flux d'irrigation d'une part et altération du champs de pression potentiel développé par le vent sur les façades et moteur de la ventilation traversante d'autre part). Une série de mesures sur site sur différents plots végétaux de densité différente a été réalisée. A partir de ce travail de caractérisation terrain, une étude de simulation sur maquette en soufflerie, réalisée en collaboration entre le Laboratoire Eiffel et Jacques Gandemer, a permis de quantifier les champs de pression en façades et toiture en fonction des caractéristiques de la végétation.

#### PROTOCOLE EXPÉRIMENTALE

Deux types de végétation ont été étudiés : une végétation haute (de l'ordre de 6m) et une végétation basse (<3m).

Une station de référence a été positionnée à environ 15m en amont de la végétation. Cette station de référence de 6m de haut mesurait et enregistrait la vitesse d'air et l'orientation du vent. Les vitesses d'air en aval de la végétation ont été mesurées grâce à une deuxième station de 4,5m de haut et positionnée à 3m en aval du plot végétal. Elle comprenait 2 niveaux de mesures (niveau 1 à 1,5m de haut et niveau 2 à 4,5m de haut). Les stations de mesures étaient positionnées de telle sorte que la direction du vent soit perpendiculaire à la largeur du plot végétal.

Les résultats des mesures ont été analysés en comparant les données de vitesses d'air en amont et en aval du plot végétal, pour voir l'impact qu'un plot végétal peut avoir.

#### Mesures de caractérisation du végétal sur site



#### ÉTUDES AÉRODYNAMIQUES EN SOUFFLERIE

Suite à ces mesures en vraie grandeur, des modélisations ont été réalisées en soufflerie, en collaboration entre le laboratoire Eiffel et Jacques Gandemer.

La campagne d'essais s'est déroulée en deux phases :

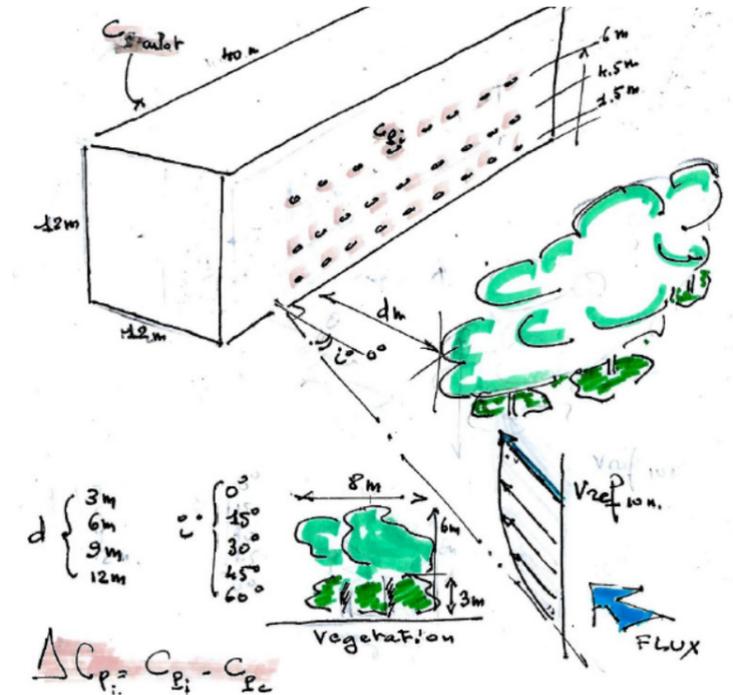
Phase 1 : Fabriquer des maquettes de bosquets végétal aérodynamiquement semblable à des bosquets réels dont l'impact sur la vitesse du vent a été mesuré in situ ;

Phase 2 : Mesurer la pression aérodynamique en façade d'un édifice de mesure, pour différentes distances du plot végétal par rapport à la façade, et pour différentes incidences de vent.

#### Maquette réalisée par la soufflerie Eiffel



#### CONCLUSION



Aérodynamiquement, toutes implantations de végétation dans le sillage d'un bâtiment ne conduit à aucune différence significatives des différences de pression entre façades au vent et sous le vent.

Le plot végétal induit, dans la moitié basse de la façade, une augmentation des différences de pression. Par suite, la ventilation naturelle traversante de la moitié basse se trouve donc avantagée. Ce résultat montre que le végétal « fixe » (mieux que sans sa présence) la « surpression » relative induite par le vent sur la façade au vent, et que globalement la différence de pression a tendance à croître.

En approche conservative et en globalisant toute la façade au vent, on peut conclure que le tampon végétal le long de la façade induit aérodynamiquement une baisse maximale de la différence de pression entre façades de 20% et une baisse maximale des débits traversants de 10%.

L'étude aérodynamique conduit à préconiser l'implantation d'un tampon végétal à proximité immédiate de la façade (en gardant un espace libre de 3 m pour les aspects fonctionnels notamment). Ce tampon végétal sera suffisamment épais (H/2), qu'il soit bas (H/4) ou mieux plus haut (H/2) et densifié (même avec des passages et transparences périodiques dans la couche).

## 2. LA VÉGÉTATION, UN ATOUT INDISPENSABLE



### CARACTÉRISTIQUES ACOUSTIQUES

La végétation joue un rôle sur l'ambiance acoustique. Un des objectifs de la démarche JACO était d'analyser dans quelle mesure l'ajout de végétation dans un environnement urbain permet d'améliorer la qualité de vie en modifiant le bruit habituel et en réduisant certaines nuisances sonores du quotidien, comme le bruit du trafic routier au niveau des riverains. La végétation va également moduler les ondes acoustiques lorsqu'elle sera soumise aux effets du vent. Il peut s'agir de la collision entre les feuilles ou encore d'effets dus à l'écoulement de l'air autour des aiguilles et des branches (produisant un bruit similaire au sifflement des lignes téléphoniques sous le vent).

DELHOM Acoustique a réalisé une étude complète basée sur des mesures acoustiques «terrain» et sur la mise en place d'un modèle numérique calé sur les mesures réelles.

#### LES MESURES SUR TERRAIN

Les mesures de caractérisations acoustiques ont été réalisées sur deux types de végétations. En parallèle, le bruit de fond (hors bruit de végétation) de la zone a été caractérisé.

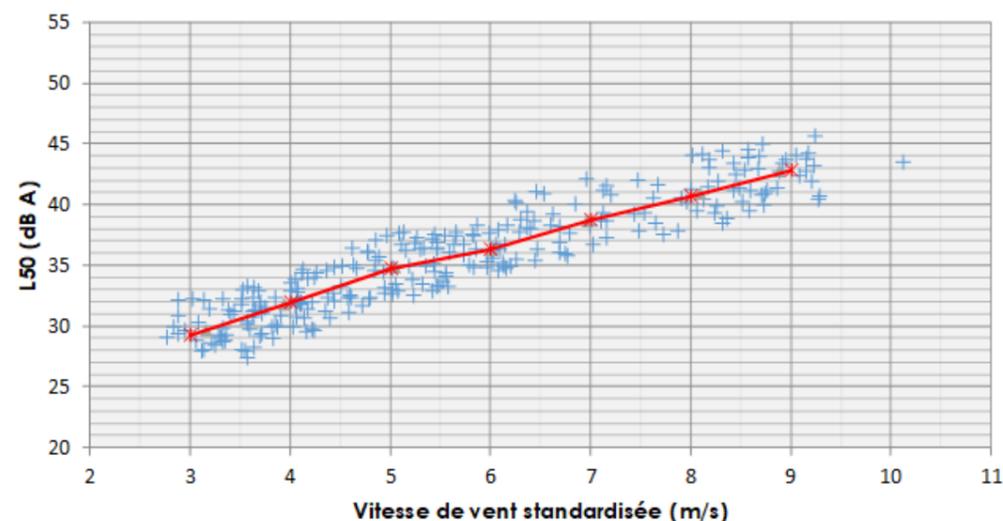
Les vitesses de vent ont été mesurées sur site avec un mât de mesures qui inclue un anémomètre et une girouette. Les niveaux de bruit mesurés à une dizaine de mètres de la source (végétation) retranchés du bruit de fond ont été intégrés sur un intervalle d'une minute.



Arbre

Bosquet

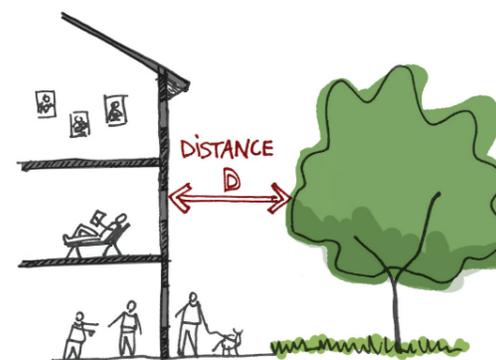
Niveaux de bruit particulier de la végétation de type bosquet en fonction de la vitesse de vent



De 3 à 8 m/s, le bruit généré par ce type de végétation augmente de manière assez linéaire (environ 3 dB par classe de vitesse de vent).

On notera qu'une stabilisation du bruit s'amorce à partir de 8 m/s. L'accroissement du bruit entre 8 et 9 m/s n'est, en effet, que de 0.5 dB(A).

#### LE MODÈLE NUMÉRIQUE

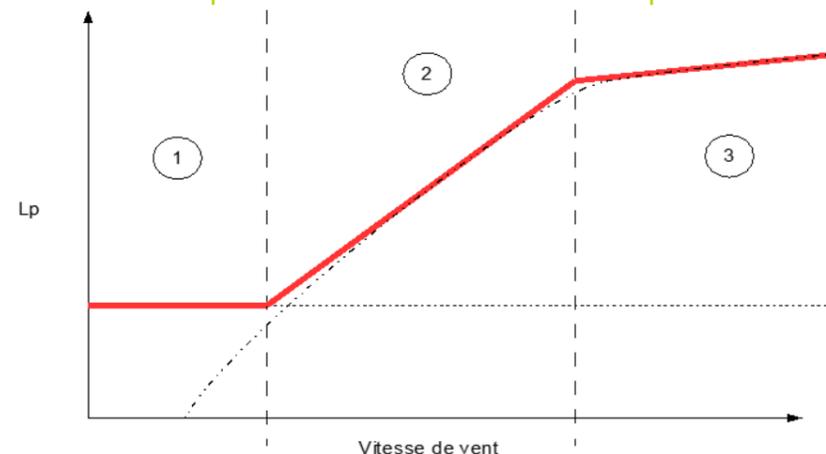


Un modèle numérique recalé sur les mesures terrain a été utilisé pour étudier différents scénarios, relatifs à l'impact acoustique de la végétation à l'intérieur d'une pièce d'habitation soumise à un bruit routier permanent.

Les mesures ont démontré que dans certaines configurations, la végétation peut engendrer des niveaux résiduels non-négligeables, et donc possède un certain potentiel pour masquer les sources de nuisances.

#### RÉSULTATS & CONCLUSION

##### Allure théorique de la croissance des niveaux de pression



##### Zone 1 (en général de 0 à 4-5 m/s)

Le vent est trop faible pour que la végétation dépasse le niveau de bruit ambiant, le niveau est stable sur ce domaine.

##### Zone 2 (de ~5 à ~9-10 m/s)

La végétation recouvre le bruit de fond et la relation entre niveau de pression et vitesse de vent semble correspondre à une fonction affine sur ce domaine.

##### Zone 3 (> 9-10 m/s)

L'allure logarithmique apparaît et la croissance du niveau de pression par rapport aux vitesses de vent est beaucoup plus faible que précédemment.

Le masquage sonore est, par conséquent, très adapté aux sites ayant des vitesses de vent moyennes supérieures à 4 m/s et au-delà. Pour les sites peu ventés ou abrités du vent, la mise en place de végétations n'aura que peu d'influence sur le paysage sonore.

D'autre part, pour un masquage efficace, les fréquences mises en jeu au niveau de la source et du masque doivent être similaires. Cette contrainte est plutôt respectée car, à l'image des émissions des bruits routiers, le spectre issu de la végétation couvre une large gamme fréquentielle. A celui-ci s'ajoute le large spectre issu des turbulences engendrées par l'écoulement du vent pour des vitesses élevées (au-dessus de 10 m/s).

Considérant les études qui ont été réalisées sur la distance bâtiment-végétation, une efficacité du bruit résiduel n'est obtenue que pour une distance « d » végétation-façade de 2m à 5m.

### 3. INTÉGRATION DE LA VÉGÉTATION DANS UNE CONCEPTION DURABLE

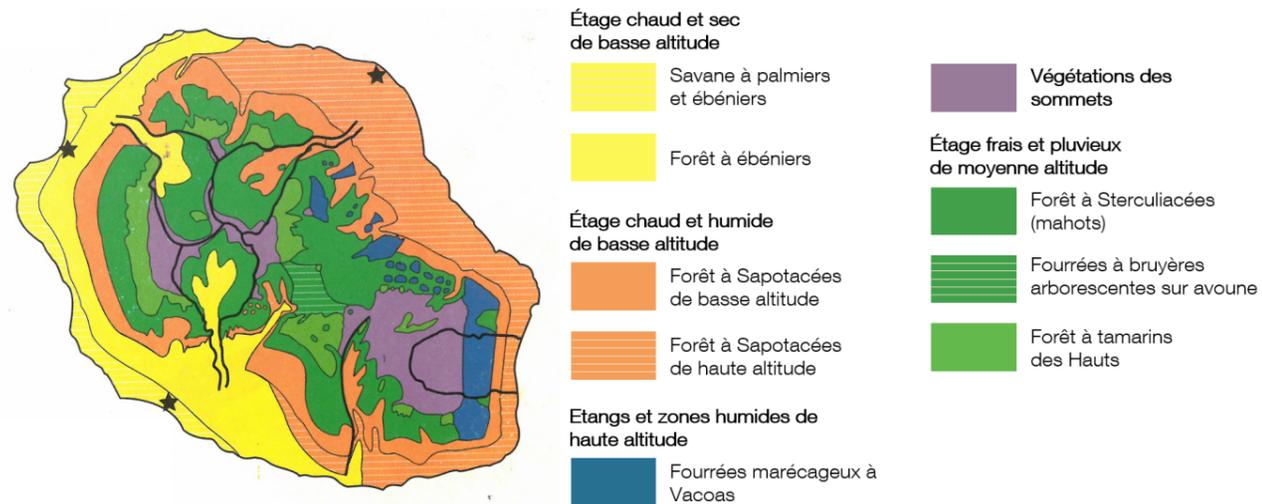
« Le bon arbre au bon endroit » - Francis Hallé

#### PRINCIPE D'UNE CONCEPTION PAYSAGÈRE

Les projets paysagers menés à La Réunion visent à intégrer une flore tropicale et endémique. Cette flore se décompose en plusieurs strates végétales qui se différencient par leur forme, hauteur et densité :

- Les couvreurs sol, avec une hauteur qui varie entre 0,5 m et 1 m ;
- Les arbustes massifs dont la hauteur se situe entre 1 à 2 m ;
- Les arbustes qui peuvent atteindre 5 m de haut ;
- Les arbres qui ont en moyenne une hauteur allant de 10 m à 15 m.
- Les dominants qui peuvent aller jusqu'à 30 m de hauteur.

Il est important de savoir qu'en fonction de l'endroit où nous nous situons sur l'île, et donc en fonction du climat, les espèces à mettre en place vont varier. Ci-dessous, un schéma représentant les étages de végétation par rapport à la localisation à La Réunion (source : « Guide des milieux naturels, La Réunion-Maurice-Rodrigues », Frédéric Blanchard) :



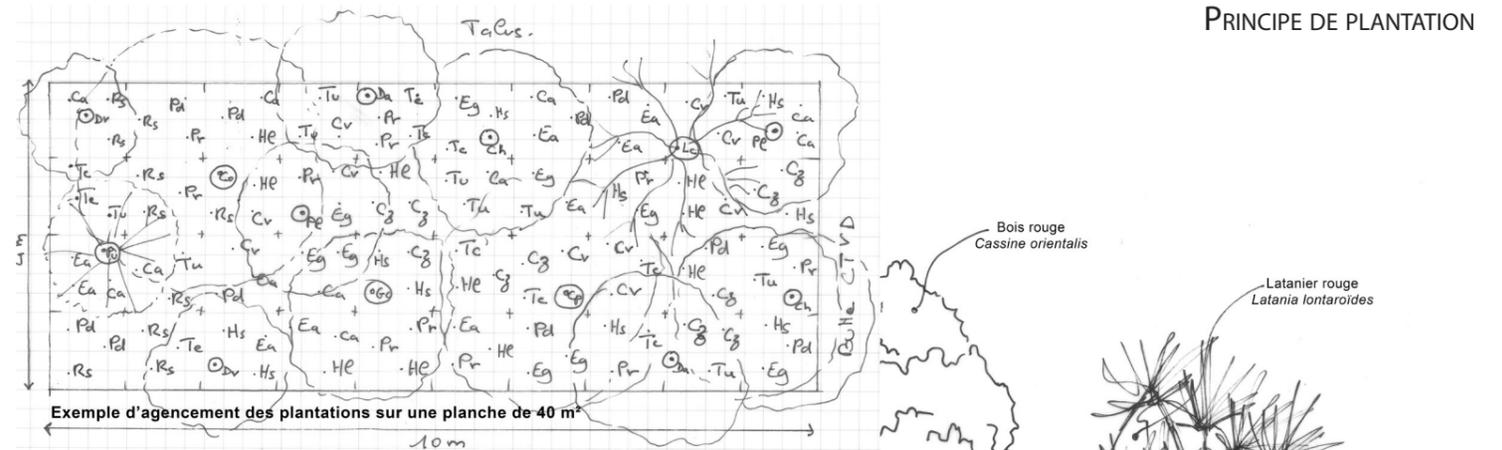
La végétation peut être intégrée de différentes façons au sein d'un projet de construction. Plusieurs structures peuvent être créées : des jardins stockants, des patios végétalisés, des plots végétalisés, des impluviums, des jardins sur dalles, des jardinières, etc. L'implantation du végétal est à prendre en compte dès les premières phases de conception, en prenant conscience qu'il est vivant et donc en tenant compte du développement propre à chaque espèce au fil du temps. Cela permet d'anticiper et d'éviter certains risques liés à la végétation.



INSERTION DE LA VÉGÉTATION

L'idée est d'intégrer différentes strates au sein des projets de construction, de réhabilitation ou encore d'urbanisme, ce qui permet de créer une hétérogénéité des espèces ainsi qu'une écriture et une diversité architecturale unique.

Les espèces endémiques et indigènes au climat tropical sont à privilégier en raison de leur adaptation aisée.



PRINCIPE DE PLANTATION

Patio végétalisé (ZAC Coeur de Ville, Réunion)

Jardin partagé (Beauséjour, Réunion)



Plantes de l'exemple  
Cf. palette complète dans le guide de plantation

**Arbres : 1/8 m<sup>2</sup>**

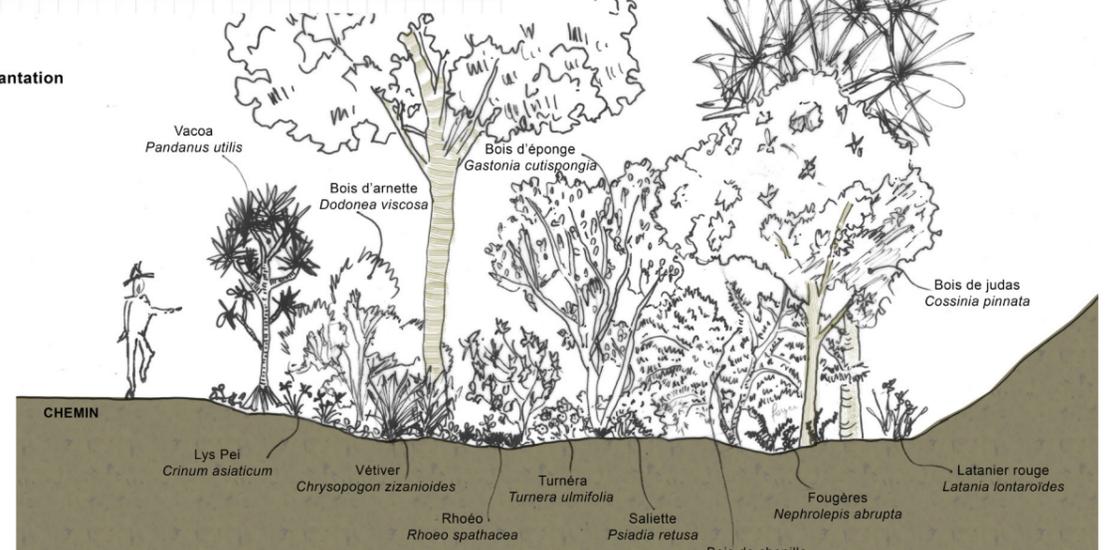
- Cp : *Cossinia pinnata*
- Co : *Cassine orientalis*
- Gc : *Gastonia cutispungia*
- Lc : *Lantania lantaroides*
- Pu : *Pandanus utilis*

**Arbustes : 1/5 m<sup>2</sup>**

- Dv : *Dodonea viscosa*
- Ch : *Clerodendron heterophyllum*
- Pl : *Pouzolzia laevigata*
- Da : *Doratoxylon apetalum*

**Couvreantes : 3/ m<sup>2</sup>**

- Pr : *Psiadia retusa*
- Pd : *Psiadia dentata*
- Ca : *Crinum asiaticum*
- Cz : *Chrysopogon zizanioides*
- Rs : *Rhoeo spathacea*
- Eg : *Euphorbia geroldii*
- Tu : *Turnera ulmifolia*
- Ea : *Evolvulus alsinoides*
- Hi : *Hymenocallis littoralis*
- Te : *Thunbergia erecta*
- Cr : *Cordiaum variegatum*
- HS : *Heliconia stricta*



### 3. INTÉGRATION DE LA VÉGÉTATION DANS UNE CONCEPTION DURABLE

#### UNE GESTION ALTERNATIVE DES EAUX PLUVIALES

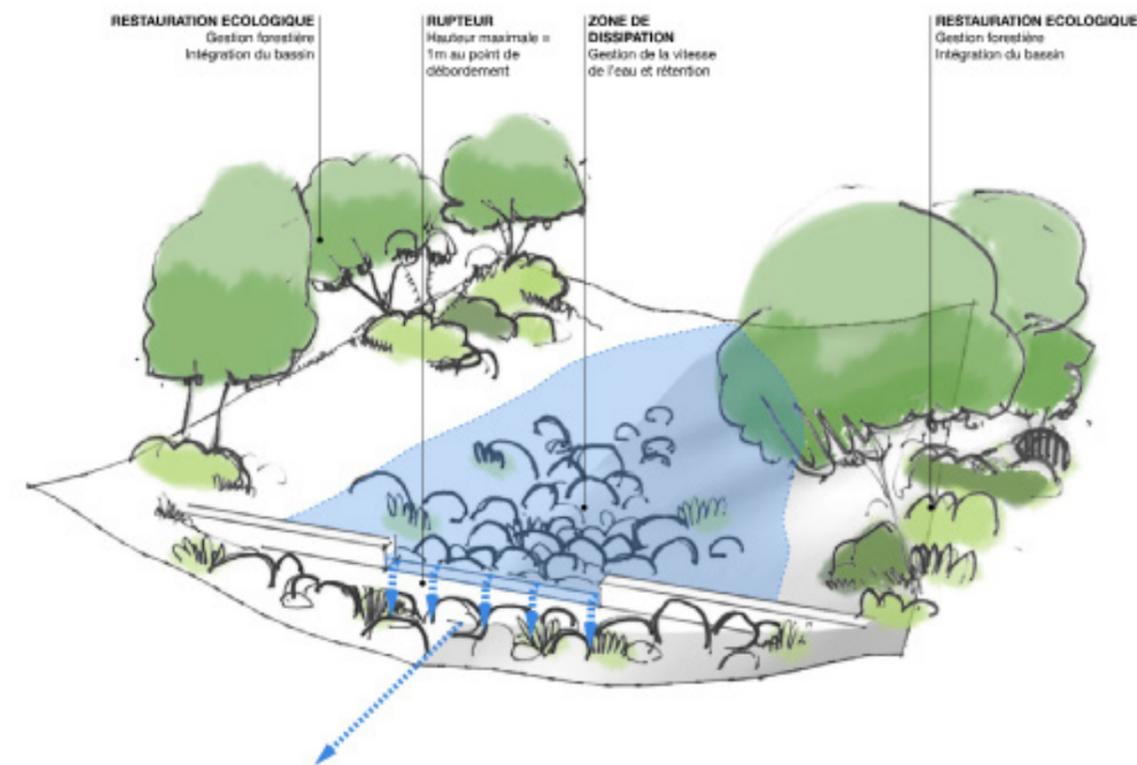
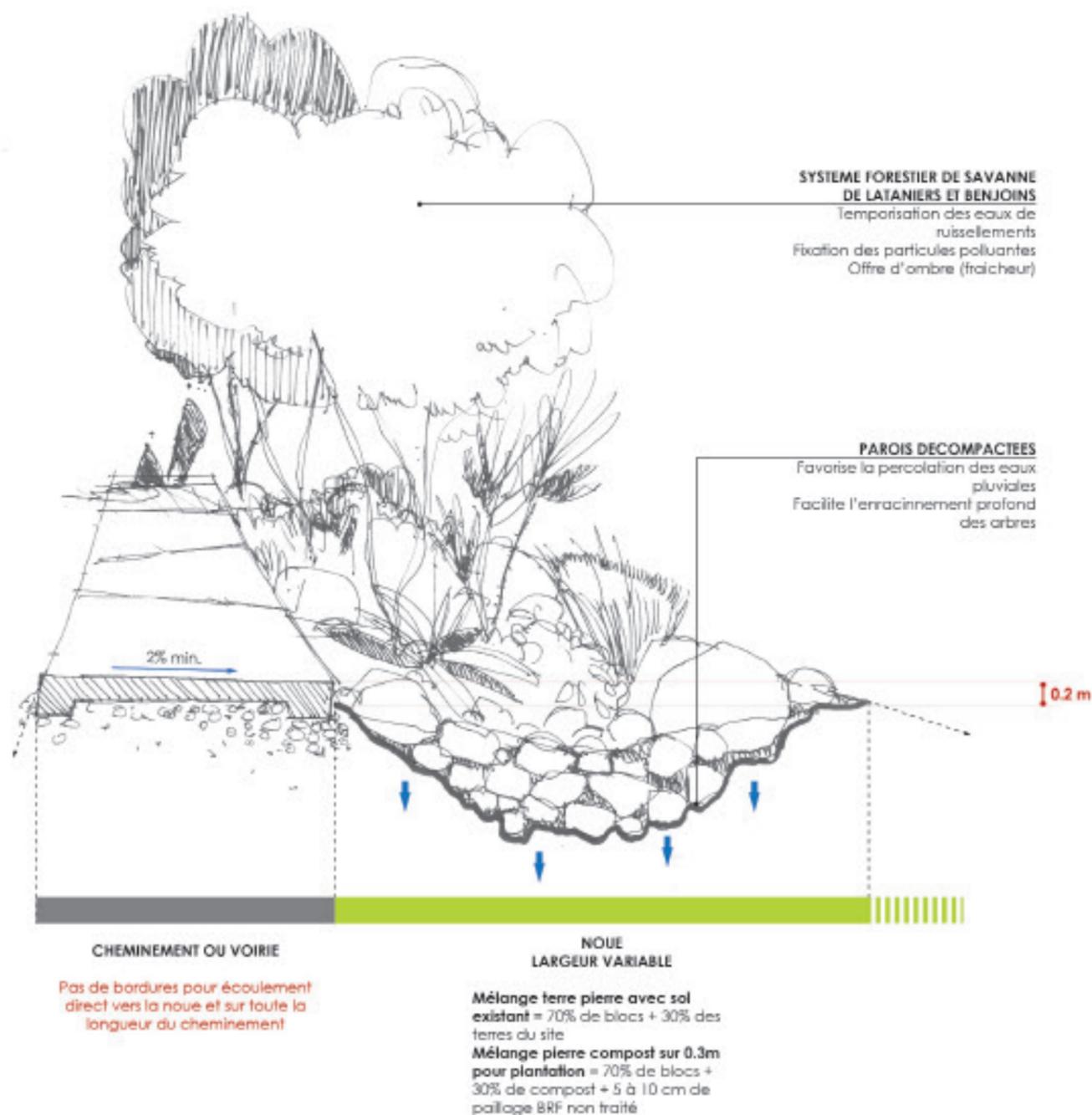
Une gestion alternative des eaux pluviales se matérialise par des noues (ou jardin stockant) et de larges zones de temporisation perméables et arborées. Les noues végétalisées sont des ouvrages, permettant donc de collecter et de réguler les eaux de pluie et de ruissellement en ralentissant leur écoulement vers un exutoire. Ce type de technique est adapté pour la gestion des eaux pluviales d'un particulier, d'un projet d'ensemble, le long de bâtiments, de voiries...

La noue peut être apparentée à un fossé large, plus ou moins profond et dont les rives sont en pente douce.

Il faut noter que l'on peut distinguer plusieurs types de noues avec différents modes de fonctionnement :

- La noue d'infiltration,
- La noue d'infiltration avec massif drainant
- Et la noue de rétention/temporisation/infiltration

Une noue peut fonctionner de manière tout à fait autonome sans organe de collecte ni de régulation. La collecte des eaux de pluie se fait principalement de façon naturelle par ruissellement gravitaire. Le stockage temporaire se fait au sein de la noue et l'évacuation est assurée :



- Si le sol est perméable : par infiltration directe. Cette infiltration permet d'éviter les zones de stagnation, induisant divers types de nuisances. La présence de végétation peut accélérer par évapotranspiration le processus.
- Si le sol est imperméable : la noue doit être raccordée à un exutoire qui permettra l'évacuation de l'eau à débit régulé (temporisé)

Dans ces deux premiers points, la noue est utilisée comme un ouvrage de rétention, de rétention-infiltration ou d'infiltration quand le sol le permet. La noue peut constituer un ouvrage de stockage. Mais elle peut également être utilisée pour :

- Suppléer le réseau d'assainissement pluvial traditionnel ;
- Compléter un ouvrage pluvial enterré qui serait saturé lors d'un épisode pluvieux.

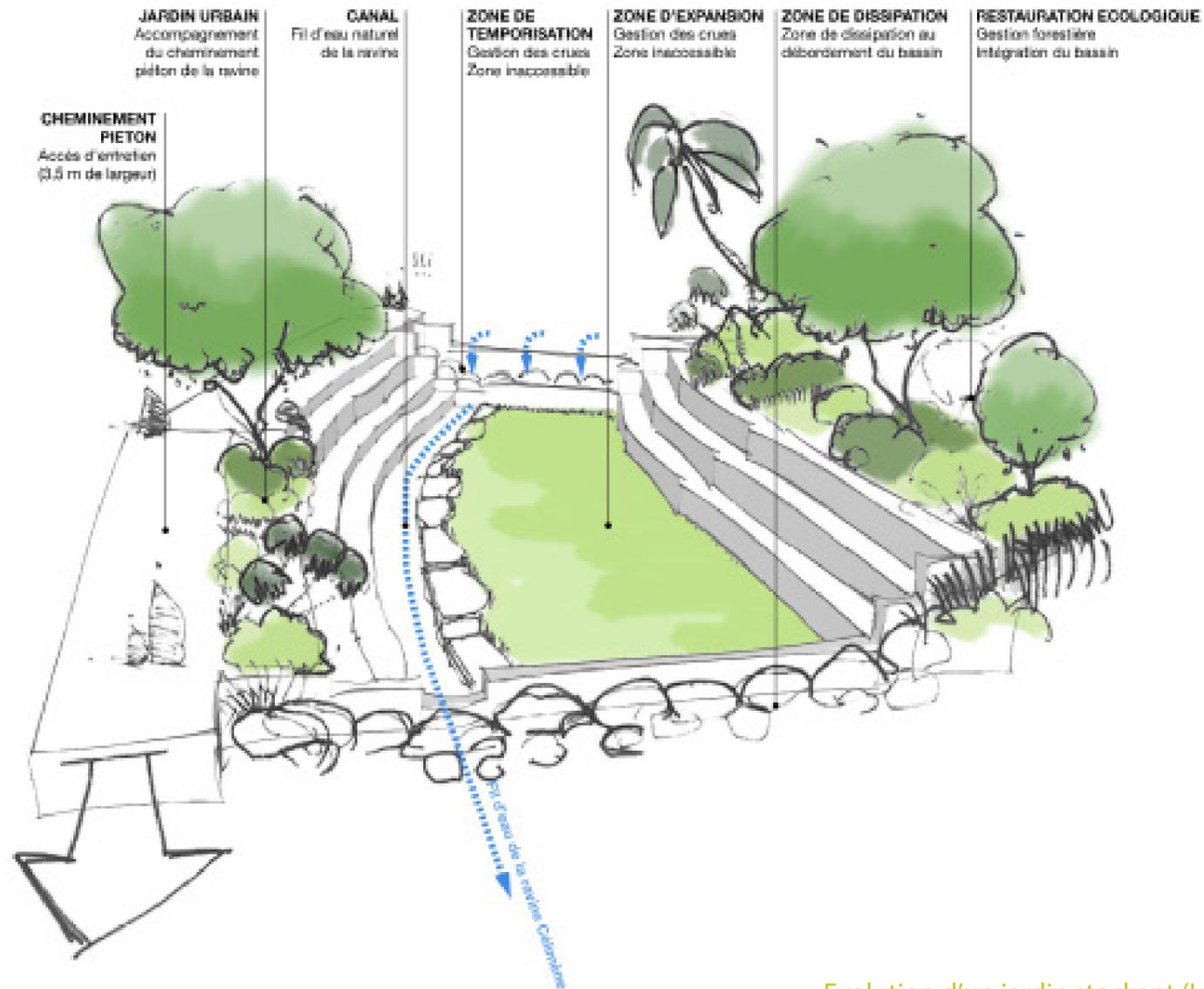
Dans ces cas, elle constituerait un volume de stockage supplémentaire alimenté par débordement lors de la mise en charge du réseau ou de l'ouvrage. La vidange et l'évacuation se faisant par la suite de façon régulée. Les noues présentent plusieurs intérêts, notamment

- Temporiser le rejet des eaux pluviales au réseau EP
- Réduction, voire suppression dans le cas d'ouvrages d'infiltration couplé à l'évapotranspiration, du débit de pointe à l'exutoire ;

- Très bonne intégration dans le paysage, création de paysages végétaux, d'habitats aérés : corridors écologiques trame verte et bleue ;
- Une même structure permet à la fois la collecte, le stockage, l'épuration partielle et l'évacuation des eaux pluviales
- Ils constituent des exutoires naturels, si le sol est assez perméable
- Réalimentation des nappes avec une phytoépuration
- Conception et réalisation simple et peu coûteuse avec une possibilité de réutilisation des matériaux du site ;
- Gérer de manière paysagère les pieds de bâtiments et les patios avec un dispositif drainant sec. Cohérence et mutualisation de la végétation en pied de bâtiment avec la gestion des eaux pluviales au plus près du chemin de l'eau ;
- Entretien simple mais réalisé par des personnes spécialisées ;
- Sensibilisation du public par visualisation directe du problème du traitement des eaux pluviales. Mémoire collective et patrimoniale du chemin de l'eau.
- Choix d'une solution au plus proche des processus naturels gravitaires

### 3. INTÉGRATION DE LA VÉGÉTATION DANS UNE CONCEPTION DURABLE

#### UNE GESTION ALTERNATIVE DES EAUX PLUVIALES



En fonction de la perméabilité des sols, il sera important de maîtriser la rétention et le débit de fuite des zones de temporisation. C'est pourquoi des ouvrages pourront être nécessaires mais devront s'appuyer sur une réflexion globale bien en amont des exutoires. Les schémas ci-joints mettent en exergue des exemples de traitement :

- Le premier (page précédente), montre le principe des rupteurs ayant pour objectifs de retenir et ralentir l'eau tout en assurant le libre écoulement des eaux de ruissellement par débordement. Un exutoire d'assainissement doit impérativement être prévue à la base des rupteurs afin d'éviter la stagnation de l'eau.
- Le deuxième est un ouvrage beaucoup plus structuré mais toujours perméable (interdiction de mettre en place des bâches d'étanchéité). L'ouvrage présenté est une zone de rétention réalisé avec des matériaux drainant tels que les gabions pour maintenir les talus latéraux et des rupteurs de rétention.

La mise en œuvre des noues et autres zones de temporisation varie selon le gabarit de ces derniers, toutefois une règle d'or existe :

- Décompactage des parois de la noue.
- Ancrage de bloc structurant et calage si nécessaire avant comblement par le mélange terre-pierres et compost-pierres.

Evolution d'un jardin stockant (Lycée Saint Benoît IV, Réunion)

Réception...



Année N+1...



Année N+3...



### 3. INTÉGRATION DE LA VÉGÉTATION DANS UNE CONCEPTION DURABLE

#### L'ENTRETIEN, UNE VRAIE STRATÉGIE

Les méthodes d'entretien s'avèrent être les principales sources de destruction des milieux urbains végétalisés. Aussi, la production d'espaces paysagers de valeur patrimoniale ne peut se faire sans une stratégie importante et une place prépondérante à l'entretien. L'objectif de l'entretien est le développement des jardins et de leurs arbres ou autres végétaux de manière harmonieuse, et un objectif de résultat optimisé avec un minimum de débauche d'actions inutiles. Il est donc nécessaire de s'assurer des principes suivants :

- 1/ L'entretien est l'objet d'un contrat précis et détaillé ;
- 2/ La durée de l'entretien est déterminée pour sécuriser les investissements de la production et de la mise en œuvre ;
- 3/ L'entretien est soumis à un contrôle compétent et à une obligation de résultats ;
- 4/ L'entretien est réalisé par des personnels compétents et motivés.



#### Les clauses techniques

- Elles doivent être **adaptées et précisées en cohérence avec les aménagements**.
- Clauses relatives à la gestion de l'eau d'arrosage, gestion des sols, suivis des espèces, gestion des tuteurages, gestion des adventices, aux interventions sanitaires, au remplacement des végétaux morts...



#### Les outils

- **Cahier de suivi de l'entretien** avec note des interventions, photographie des espèces plantées.
- Faire le **bilan à terme de l'entretien et de ses méthodes** à fin de transmission au maître d'ouvrage.
- Suivre le **développement de la biodiversité associée** qui apparaît sur le site.

Jardins de biodiversité sans entretien destructif et utilisant des méthodologies douces d'intervention.  
Le foisonnement végétal est partie intégrante de la composition intégrant la biodiversité.



#### La durée

- La durée de l'entretien, à charge de l'entreprise qui réalise les travaux, **doit être adaptée à la période réelle de démarrage et d'installation des sujets et à la consolidation des principes de mise en œuvre**.
- La période d'entretien doit être **rallongée à 3 voire 5 années** (au lieu d'une) permettant de lancer véritablement le jardin.



#### Les pénalités

- Le non suivi des clauses techniques **doit être assujéti à des pénalités adaptées**.
- Un arbre abîmé par une débroussailleuse thermique ou électrique est un arbre affaibli qui doit être considéré comme mort sur le temps.

Ilôt du Centre  
Saint-Pierre, Réunion



Hôtel le Dimitile  
Entre-Deux, Réunion



Les portes de Beauséjour  
Sainte-Marie, Réunion



### 3. INTÉGRATION DE LA VÉGÉTATION DANS UNE CONCEPTION DURABLE

#### ANALYSE DES RISQUES

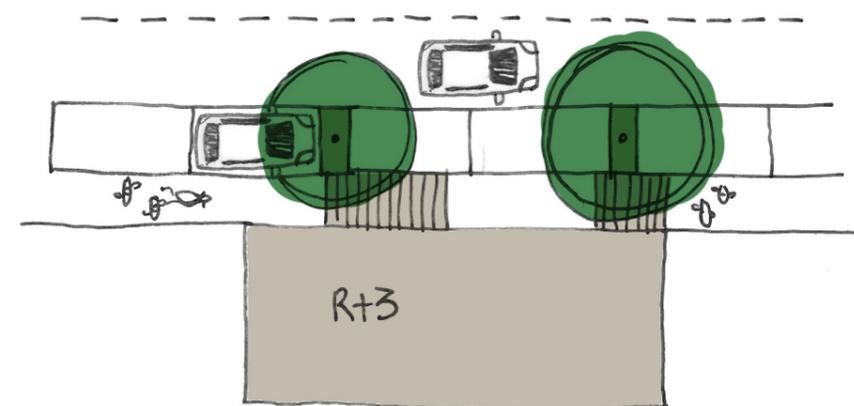
| Identification des phénomènes dangereux            | Situation dangereuse  | Domage/Risque  | Probabilité d'apparition | Gravité des dommages |
|--|---|--|--------------------------|----------------------|
| Cyclone  | Implantation d'arbres à proximité des constructions (choix des espèces non adapté)      | Chute des arbres   | Faible                   | Irréversible         |
| Problématique racinaire à proximité des fondations | Implantation d'arbres à proximité des constructions (choix des espèces non adapté)      | Endommagement sur la structure des bâtiments via la croissance des racines | Faible                   | Irréversible         |
| Remontée des eaux                                  | Faible végétation (imperméabilité du sol)   | Inondation de la parcelle  | Moyenne                  | Irréversible         |
| Etanchéité des jardinières                         | Plantes en jardinière non adapté avec des racines imposantes qui attaquent l'étanchéité | Domage de la structure   | Moyenne                  | Réversible           |
| Plante grimpante                                   | Pas d'entretien des supports pour les plantes grimpantes                                | Support abimé  | Moyenne                  | Réversible           |
| Mauvais entretien des plantes                      | Arbre fragilisé (exemple : élagage non adapté)  | En cas de cyclone risque plus important de chute                           | Forte                    | Irréversible         |

D'autres risques peuvent également intervenir lors de l'implantation de la végétation, à savoir :

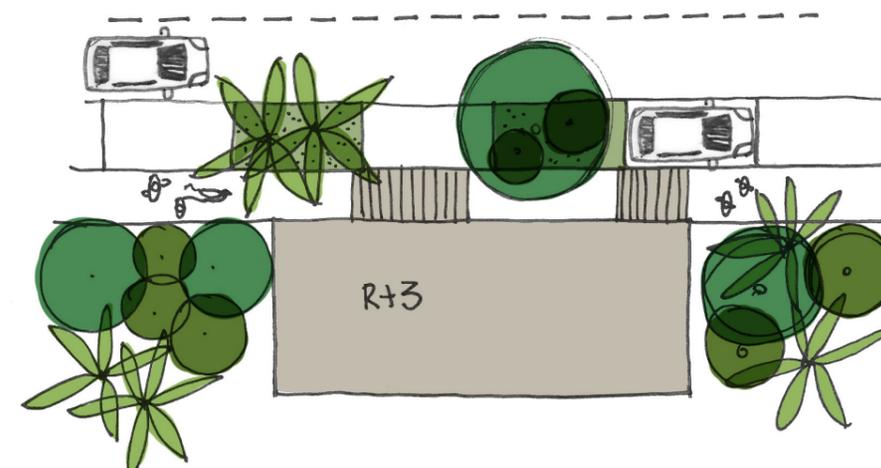
- Le fait que les espèces exotiques s'acclimatent moins à leur environnement que les espèces endémiques. Le développement des espèces exotiques n'est pas optimal et est très rapide, d'où un risque de casse de branches plus important lors des intempéries. (Exemple : faux-poivrier, manguier, letchi).

- Le risque de conflit entre la croissance de la végétation et le bâti, lorsque celui-ci n'est pas anticipé dès la conception. En effet, chaque espèce a un développement particulier et à terme, aura une hauteur particulière. Il faut donc tenir compte du développement de chaque espèce lorsqu'elle est placée au plus proche de la façade. On privilégiera des strates dont le houppier restera à une certaine distance de la façade ou des ouvertures.

DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME VÉGÉTAL NON-ADAPTÉ



CHOIX COHÉRENT D'IMPLANTATION D'UN SYSTÈME VÉGÉTAL



#### COÛTS DES AMÉNAGEMENTS PAYSAGERS

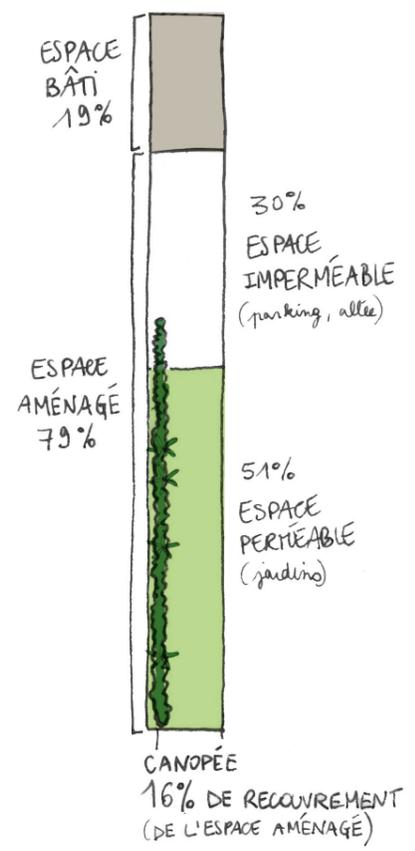
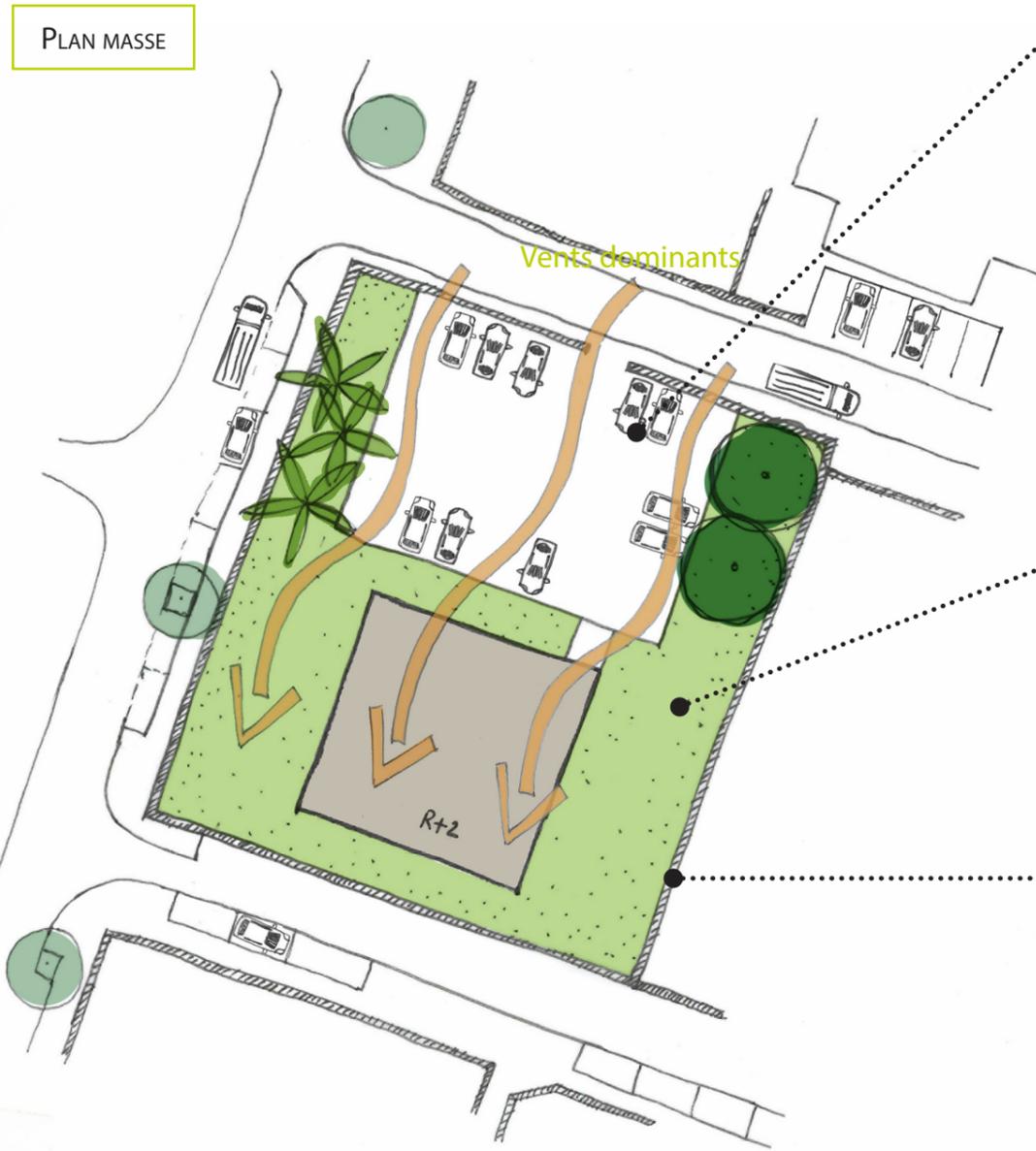
##### Ratios financiers pour la mise en place d'un système forestier - Restauration écologique

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Travaux préparatoires  |                          |
| Mise en culture des végétaux   |                          |
| Préparation des terres   |                          |
| Paillage   | 45 à 85 €/m <sup>2</sup> |
| Plantation (qui comprend 0,1 arbres de haute tige par m <sup>2</sup> de surface végétalisée, et au moins 50 espèces endémiques et indigènes différentes pour 1000 m <sup>2</sup> de surface végétalisée) |                          |
| Contrat de 3 ans d'entretien   |                          |
| Système d'arrosage par clapets-vannes  | 5 à 6 €/m <sup>2</sup>   |

Règle d'or qui nécessite une adaptation systématique au contexte urbain (microclimat, topographie, altitude etc.)

# 4. PRÉCONISATIONS

CE QU'IL NE FAUT SURTOUT PAS FAIRE !



Ne pas positionner le parking dans l'axe des vents dominants.

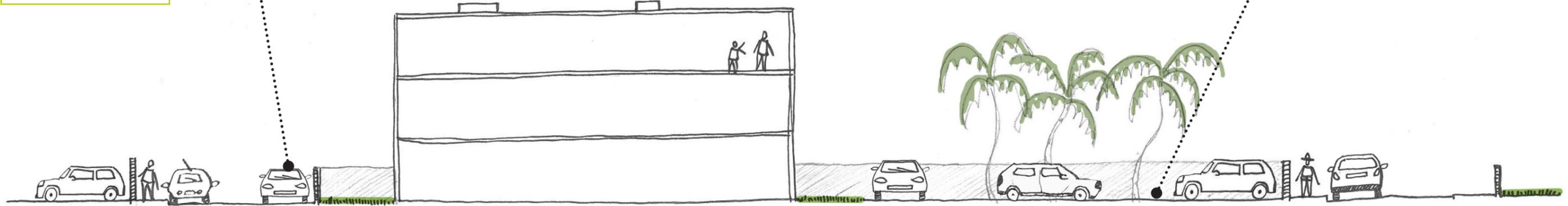
Eviter d'avoir une densité d'espèces végétales trop faible et limiter à 5% les espaces paysagers de type pelouse.

Eviter de mettre en place des clôtures entièrement opaques.

Ne pas mettre en oeuvre 100% de revêtements imperméables.

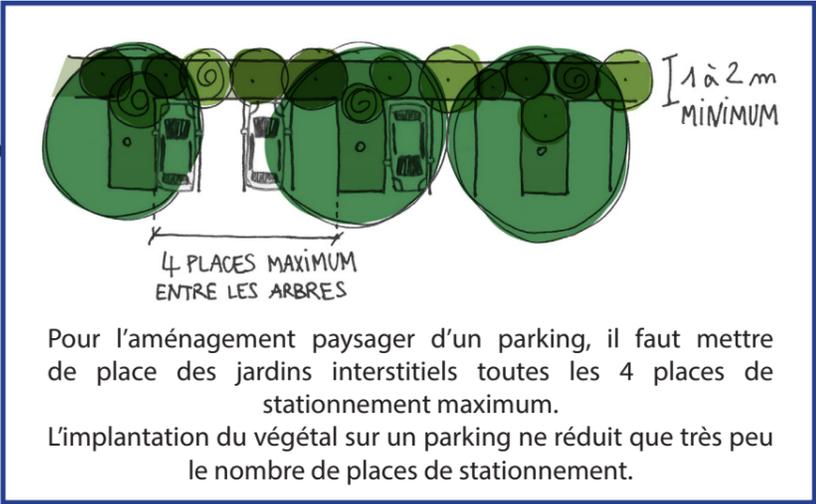
Eviter de positionner des parkings entièrement minéralisés aux abords du bâtiment, au même niveau que le rez-de-chaussé.

COUPE SCHEMATIQUE



# 4. PRÉCONISATIONS

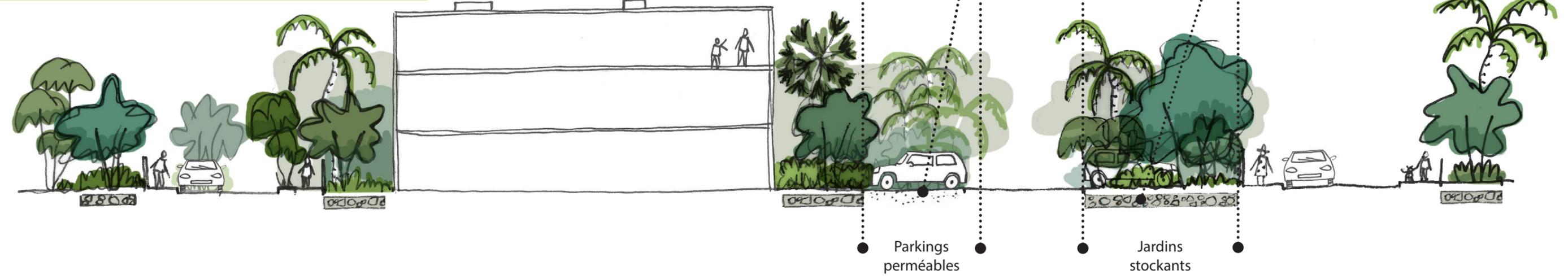
## COMMENT INTÉGRER LA VÉGÉTATION À VOTRE PROJET DE RÉHABILITATION ?



Maximiser l'implantation de jardins forestiers denses sur les espaces hors bâti et au devant des façades.

Développer des zones de temporisation perméables (jardins stockants, parking à revêtement drainant...) pour favoriser la gestion des eaux pluviales et réduire l'albédo environnant le bâtiment.

COUPE SCHÉMATIQUE DU PROJET APRÈS RÉHABILITATION

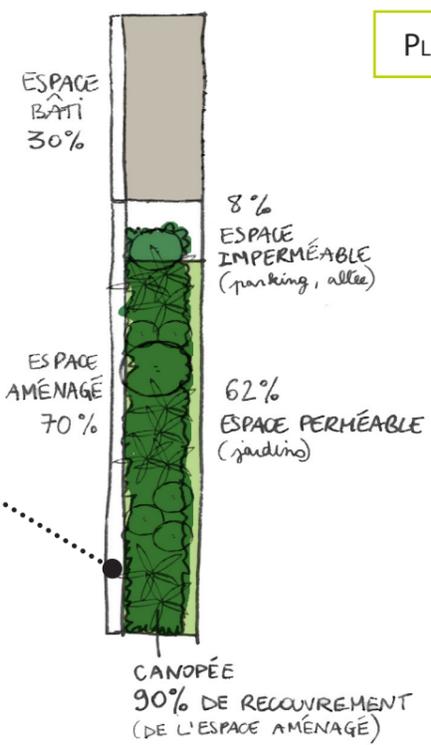


# 4. PRÉCONISATIONS

## COMMENT INTÉGRER LA VÉGÉTATION À VOTRE NOUVEAU PROJET DE CONSTRUCTION ?

Dans le cas d'aménagements paysagers extérieurs, l'objectif est que la canopée des espaces végétalisés recouvre 80% des espaces non bâtis libres.

Dans la bande de 0 à 3m par rapport au droit de la façade, mettre en place une végétation basse (couvrante, arbustes). A partir de 3m, privilégier des jardins constitués d'arbres à haute tige, avec une épaisseur au minimum égal à H/2.



PLAN MASSE



Privilégier les clôtures transparentes pour ne pas perturber le signal aéroulique.

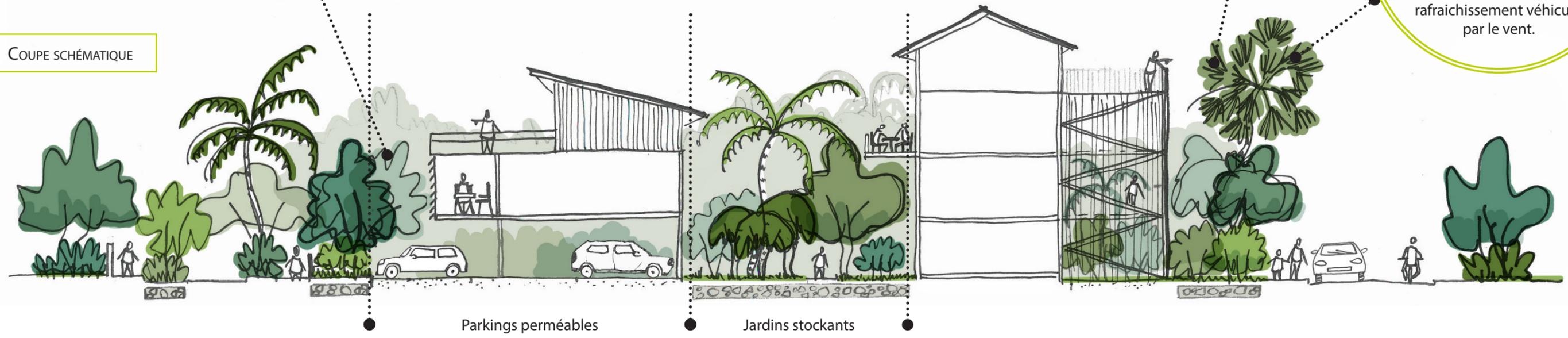
Pour avoir une densité d'espèce végétale optimale au m<sup>2</sup>, il est conseillé d'implanter au minimum 50 espèces endémiques et indigènes différentes pour 1000 m<sup>2</sup> de jardins.

Au minimum, 75% du linéaire du bâtiment doit être constitué de jardins.

Si l'objectif est de réduire la surchauffe à l'intérieur d'un bâtiment et que la végétalisation au-devant de l'ensemble des façades n'est pas possible, privilégier l'implantation de végétation aux abords des façades les plus sollicitées par l'irradiation solaire directe.

Positionner ces tampons végétaux à une distance de la façade comprise entre 3 et 5 mètres et de préférence dans l'axe des vents dominants, pour profiter au mieux de l'atténuation acoustique du végétal ainsi que potentiel de rafraîchissement véhiculé par le vent.

COUPE SCHEMATIQUE



Parkings perméables

Jardins stockants

# CONCLUSION

Les études expérimentales réalisées dans le cadre du projet PACTE JACO ont permis de quantifier les atouts et inconvénients du végétal du point de vue thermique, aérodynamique et acoustique. En parallèle, nous rappelons les nombreux avantages que procurent le végétal sur la qualité esthétique, sensorielle, gestion des eaux pluviales et sur la filtration des poussières notamment.

Les principales conclusions que nous avons pu déterminer dans ce projet sont les suivantes :

- o La partie basse des façades profite d'avantage des effets positifs de la végétation du point de vue thermique (effet sur le rayonnement direct grâce aux masques solaires créés par la végétation, et effet sur le rayonnement diffus grâce à l'albédo du sol) et aérodynamique (les différences de pression entre les façades opposées du bâtiment augmentent en partie basse) ; En fonction de l'orientation des façades, on sera sur une diminution de l'ordre de 25 à 40% du rayonnement solaire global dans le cas d'une façade végétalisée. Le signal vent étant plus faible dans les parties basses que les parties hautes, il est clair que l'apport du végétal permettra de compenser ce manque de ventilation en réduisant les apports thermiques sur façades.
- o Du point de vue aérodynamique, la présence de végétal aux abords de la façade provoque une légère baisse de pression en partie haute du bâtiment. Une différence de pression entre des façades opposées ne dépasse jamais 20%, ceci implique une réduction maximale des débits de ventilation de 10%.
- o La végétation possède un potentiel pour masquer les sources et nuisances sonores environnantes. Cette atténuation du bruit est valable lorsque la vitesse de vent extérieure est supérieure à 4m/s et au-delà. Pour un masquage efficace, les fréquences mises en jeu au niveau de la source et du masque doivent être similaires. Cette contrainte est plutôt respectée car, à l'image des émissions des bruits routiers, le spectre issu de la végétation couvre une large gamme fréquentielle. A celui-ci s'ajoute le large spectre issu des turbulences engendrées par l'écoulement du vent pour des vitesses élevées (au-dessus de 10 m/s). La végétation sert également de masque sur le contact visuel entre les habitants et la structure visée comme gênante. Des liens existants entre les sens, il est clair que ce masque aura un impact sur le ressenti des personnes.

Au regard des études menées lors du projet JACO, les principales règles de conception que nous préconisons sont les suivantes :

- o Dans la bande de 0 à 3 mètres par rapport au droit de la façade d'un bâtiment, il est privilégié la pose d'une végétation dites basse pour limiter les apports solaires, engendrer des mécanismes d'évapotranspiration et réduire l'albédo. Cette végétation basse sera essentiellement constituée de couvrantes et d'arbustes.
- o A partir de 3 mètres par rapport au droit de la façade, il est vivement conseillé de mettre en place un réel tampon végétal, avec une épaisseur au minimum égal à H/2 (H la hauteur du bâtiment) et densifiés. Cette végétation sera constituée d'arbres à hautes tiges mais également des autres strates végétales plus basses.
- o Positionner ce jardin dense dans l'axe des vents dominants pour profiter au mieux de l'atténuation acoustique du végétal ainsi que potentiel de rafraîchissement véhiculé par le vent.
- o Pour avoir une densité d'espèces optimale au m<sup>2</sup>, il est conseillé d'implanter au minimum 50 espèces endémiques et indigènes (flore) différentes pour 1000 m<sup>2</sup> de jardins.
- o Si l'objectif est de réduire la surchauffe à l'intérieur d'un bâtiment et que la végétalisation au-devant de l'ensemble des façades n'est pas possible, privilégier l'implantation de végétation aux abords des façades les plus sollicitées par l'irradiation solaire directe.
- o Au minimum, 75% du linéaire du bâtiment doit être constitués de jardins.
- o Dans le cas d'aménagements paysagers extérieurs, l'objectif est que la canopée des espaces végétalisés recouvre 80% des espaces non bâtis libres.
- o L'implantation du végétal est à prendre en compte dès les premières phases de conception, en prenant conscience qu'il est vivant et donc en tenant compte du développement des espèces au fil du temps. Cela permet d'anticiper et d'éviter certains conflits entre végétal et bâti.

De plus et de manière opérationnelle pour les maîtres d'ouvrage, nous conseillons vivement d'intégrer un « diagnostic climatique et paysager » dans tous les programmes de maîtrise d'œuvre. Ce diagnostic permettrait d'identifier les zones prioritaires à végétaliser dans les projets de conception et surtout de son positionnement. Il est également important de tenir compte de l'orientation des vents dominants et à la course du soleil.



# LEXIQUE

## ANÉMOMÈTRE

Appareil permettant de mesurer la vitesse ou la pression du vent.

## CANOPÉE

La canopée est l'étage supérieur de la forêt, directement influencée par le rayonnement solaire. Elle est parfois considérée comme un habitat ou un écosystème en tant que tel, notamment en forêt tropicale.

## ENDÉMIQUE ≠ EXOTIQUE ≠ INDIGÈNE

Endémique qualifie une plante native d'une région déterminée et que l'on ne trouve pas ailleurs en site naturel.

Exotique qualifie une espèce non indigène et provenant de milieux non endémiques.

Une espèce indigène qualifie la nature d'une espèce particulière native d'une région particulière.

## HOUPIER

En botanique, un houppier est la partie d'un arbre constituée de l'ensemble des branches situées au sommet du tronc. La cime est l'extrémité supérieure du houppier.

## NOUE PAYSAGÈRE

Une noue est une sorte de fossé peu profond et large, végétalisé, qui recueille provisoirement de l'eau de ruissellement, soit pour l'évacuer via un trop-plein, soit pour l'évaporer (évapotranspiration) ou pour l'infiltrer sur place permettant ainsi la reconstitution des nappes phréatiques.

## SOUFFLERIE

Installation d'essais utilisée en aérodynamique pour étudier les effets d'un écoulement d'air sur un corps, généralement un modèle de dimension réduite par rapport au réel.