

LOW TECH

# POUR UNE CONSTRUCTION FRUGALE EN ÉNERGIE, EN MATIÈRE ET EN TECHNICITÉ

TEXTE : PHILIPPE HEITZ  
PHOTOS & ILLUSTRATIONS : (APM)ARCHITECTES,  
BOÎTE À 2, VINCENT BOUTIN, PIERRE-YVES BRUNEAU,  
FAIR, NICOLAS PEYREBONNE/CO-ARCHITECTES, RA2,  
STÉPHANE REPENTIN, SEUIL ARCHITECTURE

Face à la consommation effrénée des ressources de la planète pour la construction, les pratiques « low tech » prennent tout leur sens. Réhabiliter, réemployer, limiter les déchets et la consommation des matériaux, obtenir le résultat avec le minimum de matière et d'énergie, associer les habitants au bon usage de leur bâtiment, sont le souci d'un nombre croissant d'acteurs de la construction.

Photo © Seuil Architecture

3 000 bottes de paille isolent les murs de 10 m de hauteur de la nouvelle usine de pièces aéronautiques AEREM : un matériau biosourcé low tech au service de l'industrie high-tech.



## LE MANIFESTE POUR UNE FRUGALITÉ HEUREUSE ET CRÉATIVE

En janvier 2018, l'ingénieur Alain Bornarel et les architectes Dominique Gauzin-Müller et Philippe Madec publiaient le *Manifeste pour une frugalité heureuse et créative*, accessible sur le site [www.frugalite.org](http://www.frugalite.org). Soulignant la lourde part des bâtisseurs dans les émissions de GES et dans la consommation foncière et des ressources planétaires, ils y appelaient le monde du bâtiment à une frugalité en énergie, en matière et en technicité. Fin mars 2020, le *Manifeste* compte plus de 8 600 signataires de 73 pays. Il est devenu un mouvement organisé en groupes nationaux ou régionaux. ■

**S**ans chercher l'abandon de la «high-tech» mais en réservant plutôt son utilisation là où elle est irremplaçable, la démarche «low tech» vise à développer des solutions minimisant la consommation des ressources, des solutions les plus simples possibles, les moins dépendantes des ressources non renouvelables. Pour le bâtiment, la démarche low tech privilégie la réhabilitation, l'économie circulaire, le réemploi et le recyclage. La sobriété tant à la construction qu'à l'usage se décline en termes d'énergie grise des matériaux et des constructions, de confort thermique d'hiver et d'été, d'évolutivité des besoins et des usages, de modularité et d'utilisation attentive des territoires. Le succès grandissant du «Off du Développement Durable», manifestation lancée en 2012 par l'Iceb (Institut pour la conception écoresponsable du bâti) et CO2D (Collectif démarche durable), révèle l'intérêt des acteurs de la construction et des maîtres d'ouvrage pour «un établissement humain frugal, à toutes les échelles, de celle du bâtiment à celle du territoire, privilégiant l'approche bioclimatique et passive pour l'énergie et le confort, privilégiant les matériaux et systèmes constructifs biosourcés, à faible énergie grise, ou bas carbone, ayant recours avec modération et de façon écoresponsable à la technologie pour les systèmes techniques et les réseaux, insérés dans leur territoire pour ce qui est des ressources, des impacts, de la vie culturelle, sociale et économique, co-élaboré avec la participation des habitants pour la prise en compte de l'usage et de la responsabilisation des usagers» (1). Différentes réalisations remarquables, notamment celles mises en valeur par le Off du Développement Durable 2019, montrent comment mettre en œuvre ces pratiques low tech.

### Bioclimatisme tropical

Remplacer, en climat tropical et pour un établissement de 2500 m<sup>2</sup> recevant du public, la climatisation électrique par une combinaison de solutions architecturales et l'implication des occupants, c'est le pari réussi par l'agence Co-Architectes à La Réunion. Livrée en 2017 à la commune de Saint-Joseph, la médiathèque du Sud Sauvage n'utilise la climatisation artificielle que pour les locaux du serveur informatique, de la loge de sécurité et des livres anciens. Tout le reste des locaux, qui voient pourtant 600 000 passages par an, bénéficie de climatisation naturelle combinant architecture bioclimatique, occultations, végétalisation et ventilation naturelle.

L'architecte Nicolas Peyrebonne explique les moyens mis en œuvre. «D'abord il ne faut pas avoir d'air chaud autour des bâtiments: ni béton, ni bitume en pied de façade, qui peuvent atteindre 80 °C en milieu tropical. Les arbres et la verdure créent un îlot de fraîcheur, y compris à l'intérieur par des cours ombragés et sur les toits terrasses végétalisés. Ensuite, ne jamais avoir d'ensoleillement direct à l'intérieur, grâce à des débords de toit, une cinquantaine de brise-soleil fixes et des jalousies motorisées. Contrairement à ce qu'on ferait

(1) Voir le site du Off du Développement Durable : [www.leoffdd.fr](http://www.leoffdd.fr).



1 Photo © Stéphane Repentin



Photo © Nicolas Peyrebonne

2

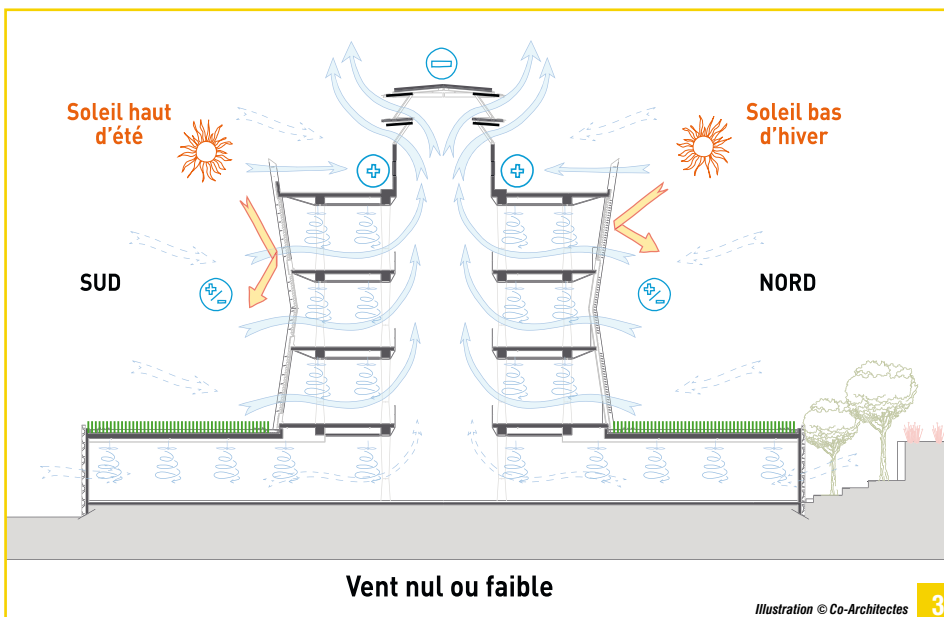


Illustration © Co-Architectes

3

1 Se passer de climatisation électrique en milieu tropical : pari réussi pour la médiathèque du Sud Sauvage à La Réunion.

2 Végétalisation abondante, brise-soleil, façades bois bien isolées et ventilation naturelle évitent les surchauffes.

3 La cheminée centrale dépressionnaire crée la ventilation naturelle en l'absence de vent (médiathèque du Sud Sauvage à La Réunion).

en métropole, on cherche un bâtiment à faible inertie thermique. L'essentiel des façades exposées est en bois pour avoir peu d'inertie. Bois extérieur, occultations et forte isolation des toits et murs limitent les apports thermiques extérieurs. Comme l'hygrométrie est peu contrôlable en milieu ouvert, c'est la ventilation naturelle traversante qui va évacuer les surcharges thermiques et apporter une sensation de fraîcheur par des courants d'air, tout simplement. Une vitesse de circulation d'air de 1 m/s donne sur la peau une température ressentie de 3 à 4 degrés inférieure à la température réelle de l'air. Certains bâtiments sont faciles à ventiler s'ils ont une

bonne orientation par rapport aux alizés et aux brises, si leur épaisseur est inférieure à 12 m, avec des parois à 30 % de porosité et pas d'obstacles intérieurs. Mais une trame aussi fine est difficile pour la médiathèque elle-même, qui a une trame de 17 m. D'où un puits central, qui permet de créer une cheminée dépressionnaire utilisée en dernier recours, en période très chaude et par vent faible. En période fraîche ou fortement ventée, l'ouverture légère des jalousies suffit à évacuer l'humidité et à ressentir le courant d'air. En période chaude et moyennement ventée, des brasseurs d'air créent un mouvement d'air complémentaire. >>>



4 Photo © Stéphane Repentin

«Ventilation naturelle et bâtiment très ouvert font que l'acoustique est un vrai sujet, à traiter systématiquement. Malgré la fréquentation, une ambiance feutrée a été obtenue par l'emploi le plus possible de matériaux acoustiques, résille de bois en plafonds cachant un absorbant, panneaux perforés, sols en caoutchouc. Le non-parallélisme des parois empêche la réverbération et le bruit de fond du vent dans les arbres masque les bruits intérieurs.»

Récupération des eaux pluviales pour les WC, mise en œuvre du basalte réunionnais dans le socle de la médiathèque complètent le bon bilan environnemental de l'ouvrage public.



4 Plafonds et baffles acoustiques, murs inclinés, sols caoutchouc compensent contre le bruit le décloisonnement de l'espace (médiathèque du Sud Sauvage à La Réunion).

5 et 6 Paille autoporteuse et poteaux-poutres bois pour un local commun de jardiniers de la ville de Bourg-en-Bresse.



5 Photo © RA2



6 Photo © RA2

### Biosourcés et géosourcés locaux

La réduction de l'empreinte écologique d'une construction passe par l'utilisation prioritaire de matériaux à faible énergie grise, donc peu transportés et peu transformés comme la pierre, la terre, le bois local, la paille. Pour l'architecte grenoblois Vincent Rigassi, de l'agence RA2 (Rigassi et Associés Architectes), «les matériaux peu transformés sont peu coûteux, mais demandent plus de savoir-faire. La dépense liée à la construction va à l'humain, elle est qualitative. En adaptant un projet aux ressources locales, on privilégie la polyvalence des matériaux plutôt que la performance particulière. Un matériau industriel est très performant



Photo © Boite à 2 **7**

“La réduction de l’empreinte écologique d’une construction passe par l’utilisation prioritaire de matériaux à faible énergie grise, donc peu transportés et peu transformés comme la pierre, la terre, le bois local, la paille”



Photo © Boite à 2 **8**

sur une seule propriété, d’où l’empilement des couches. Alors qu’une matière première comme la terre est structurale, apporte de l’inertie thermique, régule l’hygrométrie et est esthétique. La rusticité de la construction rend son entretien et sa transformation plus faciles. Faire un trou dans la terre est plus facile que traverser le frein-vapeur et les couches d’une ossature bois.»

Pour la ville de Bourg-en-Bresse (01), l’agence RA2 a proposé pour un local commun pour jardiniers une construction en paille autoportée aux enduits terre et chaux. À Saint-Quentin-Fallavier (38), la réhabilitation d’un bâtiment communal en pisé pour la création de locaux associatifs a été faite en réutilisant



**7** À Saint-Quentin-Fallavier (38), réhabilitation d’un bâtiment communal en pisé avec réutilisation de la charpente existante et de la terre du site pour les enduits intérieurs et extérieurs.

**8** Le bois utilisé pour la restauration de l’ancienne scierie de Valjoux (38) n’a parcouru que 34 km de la forêt au chantier.

la charpente existante, ainsi que la terre du site et des ouvertures nouvelles pour les enduits terre intérieurs et extérieurs. La restauration en musée de la scierie des Ségoins à Valjoux (38) a valorisé le bois de la commune, travaillé par un scieur et un charpentier local : « 34 km au total de parcours des bois de la forêt au chantier » se félicite l’architecte, qui a choisi « de renforcer l’existant plutôt que de le remplacer, dans une logique de paysan ou d’artisan ».

Éminemment low tech, le matériau botte de paille peut se mettre au service de l’enveloppe d’une usine high-tech comme celle de la Scop AEREM, qui fabrique des pièces pour l’aéronautique en région >>>



9 Photo © Seuil Architecture



10 Photo © Seuil Architecture

toulousaine. C'était une volonté du maître d'ouvrage d'avoir une solution économique et écologique pour isoler le bâtiment de 3700 m<sup>2</sup>. « Avec des murs d'une dizaine de mètres de haut, cela représentait une quantité astronomique d'isolant biosourcé », se souvient Leslie Gonçalves, architecte cofondatrice de Seuil Architecture. Elle a donc préconisé la botte de paille, à la plus faible énergie grise de tous les isolants et au bon coefficient de résistance thermique R de 6,5 m<sup>2</sup>/W.K. « 3000 bottes de paille pour 2365 m<sup>2</sup> de murs ont été produites à 30 km du site. L'entreprise Pyrénées Charpente a imaginé un système très simple de caissons en bois de 10 m de hauteur, montés au sol, remplis de paille avec un film pare-vapeur. Certains murs exposés sont protégés par un bardage intérieure métallique perforé, doublé de 5 cm de laine de verre pour être conforme aux exigences feu. Le reste reçoit un bardage intérieure en liteaux de bois. À l'extérieur, un bardage en résille métallique rappelle la vocation métallurgique de l'entreprise et assure aussi une occultation des ouvertures contre les surchauffes. Mise en place sans cadre, c'est une solution économique. » Les caissons bois isolés en paille permettront une extension des ateliers par la création facile d'ouvertures larges par découpage et démontage. L'usine est chauffée et rafraîchie par des dalles actives alimentées par 23 forages géothermiques. Trois pompes à chaleur gèrent les flux de calories entre les dalles actives, notamment la récupération de la chaleur excédentaire de certains process pour l'envoyer vers les zones plus froides de l'usine. Très bonne isolation, géothermie profonde et toiture photovoltaïque rendent ce bâtiment industriel déjà exemplaire à énergie positive.

Pour la construction de la nouvelle école à six classes de la commune de Saint-Antonin-Noble-Val (82), l'emploi des matériaux locaux a été poussé par la



Photo © Vincent Boutin

11

9 L'entreprise Pyrénées Charpentes fabrique les caissons isolés en paille pour les murs de la Scop AEREM.

10 Les caissons de 10 m de haut sont doublés à l'intérieur d'une membrane frein-vapeur. Ils seront bardés en liteaux de bois ou en métal selon les ateliers.

11 Les pierres de taille d'un ancien mur d'enceinte ont été rebâties pour faire le socle de la nouvelle école de Saint-Antonin-Noble-Val (Tarn-et-Garonne).

12 Un gros mur de terre coulée au centre de l'école apporte une importante inertie thermique.



culture de l'agence nancéenne Mil Lieux et par la politique de soutien de la Région Occitanie. Cette dernière a en effet très fortement subventionné ce projet lauréat en 2016 d'un appel à projet de bâtiments exemplaires valorisant les matériaux locaux. «Au départ, la mairie, maître d'ouvrage, très soucieuse du bilan énergétique, voulait avant tout un bâtiment à énergie positive», explique Mathieu Fucks, architecte de Mil Lieux. «Notre agence, qui travaille depuis 15 ans exclusivement avec le bois et les biosourcés, a beaucoup mis l'accent sur la qualité de l'air et la santé. Avant de faire un Bepos, plutôt que de couvrir les toits de photovoltaïque, il vaut mieux réduire la consommation énergétique, faire d'abord du passif et recourir aux techniques naturelles. Nous avons donc proposé à la mairie de faire passif, Bepos, et valoriser les matériaux biosourcés et géosourcés et les savoir-faire locaux. Le mur d'enceinte de la parcelle a été démonté et ses pierres de taille remontées à la main pendant huit mois par un maçon du pays pour édifier l'ensemble du socle du bâtiment. Les toitures sont en tuiles canal. L'ensemble du bois, qu'il soit mis en structure, en bardage, en menuiseries, vient essentiellement du territoire proche. Les murs à ossature bois ont un parement intérieur en contreplaqué d'épicéa du Gers. Des bardages sont faits en planches de châtaignier séché et vidé de son tanin chez le scieur, selon la culture locale. Pour apporter de l'inertie thermique au cœur du bâtiment, un grand mur de terre coulée a été construit avec un mélange de déchets argilo-calcaires de carrière locale, de sable, de gravier et de ciment. Nous avons déjà testé cette technique en Moselle, avec une ATEX (2). Les murs à ossature bois sont isolés par de la ouate de cellulose, >>>

(2) Appréciation Technique d'Expérimentation délivrée par le CSTB.



Photo © Vincent Boutin

12





13 Photo © Vincent Boutin



14 Photo © (apm) architectes

doublée à l'extérieur par 6 cm de fibres de bois. Contre les surchauffes, les ouvertures sont protégées par des débords de toit et de murs et par des brise-soleil orientables motorisés. La ventilation naturelle nocturne est créée par des ouvrants motorisés en façade et des skydômes. Il y a une petite centrale VMC double flux par salle : petits équipements à maintenance réduite. Tous les automatismes sont pilotables et débrayables. Pendant la canicule de juin 2019, il faisait 25 à 27 °C à l'intérieur pour 40 °C dehors, sans climatisation mécanique. » L'architecte mandataire se félicite du regroupement des compétences locales pour tenir les délais, avec l'architecte Laurence Ryckwaert et un groupement d'entreprises comprenant tailleur de pierre et artisan piseur.

### Urbanisme relié à la Nature

Architecte et urbaniste depuis 1979, enseignant, écrivain, membre du Club de Rome, expert auprès de l'ONU, Philippe Madec développe « une approche éco-responsable du projet architectural et urbain » depuis le début de sa pratique professionnelle. Pour lui, « la frugalité, c'est deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources. L'étymologie latine de frugalité vient de frux, frugis, le fruit : une récolte de fruits qui ne blesse pas la Terre et rassasie ceux qui en prennent soin. » Alors, quand en 2010, la commune de Val-de-Reuil (27) et le bailleur social Siloge consultent pour la création d'un éco-quartier de 100 logements sur une rive de l'Eure, très motivé par la globalité du projet architectural et urbanistique, il engage son atelier (apm) & associés dans la procédure inusitée pour lui de conception-réalisation-entretien-maintenance imposée par le maître d'ouvrage. Siloge a un ambitieux programme de 100 logements individuels,

## “La frugalité, c'est deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources”

▲  
13 École de Saint-Antonin-Noble-Val : pierres de taille de réemploi, claires-voies en châtaignier local, contreplaqué d'épicéa local, tuiles canal valorisent matériaux et savoir-faire locaux.

▲  
14 L'écoquartier des Noés à Val-de-Reuil (Eure) compose avec l'ensoleillement et les débordements de l'Eure.

▲  
15 Tous les logements sont au niveau passif.

▲  
16 La zone inondable est aménagée en jardins familiaux et production horticole support de réinsertion.

intermédiaires et collectifs – passifs pour les logements locatifs, BBC pour ceux en accession –, une halle avec magasin bio et blanchisserie coopérative, un réseau de chaleur avec chaufferie bois, des jardins familiaux bio et une exploitation horticole bio support de réinsertion sociale, une maison de jardiniers. La commune créera une crèche et une cuisine municipales. La proximité de la rivière soumet une partie des terrains à des inondations saisonnières.

Pour Philippe Madec, « le projet de l'écovillage des Noés est unique pour notre atelier. Il est magique par la possibilité d'aller au bout de l'histoire : combiner zone inondable, biodiversité, agriculture urbaine bio avec réinsertion, logements passifs, chaufferie bois... En 2018, c'est devenu une réalité accomplie, achevée grâce à tous les partenaires, dont l'entreprise mandataire Bouygues Construction Grand Ouest et le bureau d'études Tribu. Le grand enjeu fut d'intégrer l'eau dans le projet urbain, l'air et le soleil dans le projet architectural. Au 21 décembre, tous les logements bénéficient au moins de deux heures de soleil. Dans l'esprit d'un projet low tech, il ne fallait pas tout construire, mais laisser venir la Nature. Les débordements de la rivière sont accueillis par des noues et une zone inondable, aménagée en parc public par la communauté de communes. »

L'écart entre les volumes bâtis permet une solarisation importante des logements, apportant lumière et chaleur en hiver dans toutes les pièces de vie, y compris les salles de bains. Au moins >>>



Photo © Pierre-Yves Bruneau 15



Photo © Pierre-Yves Bruneau 16

deux façades opposées procurent une possibilité de ventilation naturelle traversant chaque logement. Un travail d'études poussé sur les apports solaires, l'isolation, l'inertie thermique, les apports internes, ainsi que la simplification du projet, a amené tous les logements au niveau passif.

Cerise sur le gâteau pour l'architecte engagé : le bailleur social Siloge, également maître d'ouvrage du lotissement voisin aux 100 maisons Phénix anciennes, a décidé de le réhabiliter avec l'atelier de Philippe Madec. « Par cette réhabilitation, l'écoquartier va passer de 100 à 200 logements, avec moins d'argent et plus rapidement. C'est très intéressant au niveau de l'empreinte écologique, car on ne construit en neuf par an qu'un pour cent du parc immobilier en France. Un projet d'urbanisme durable demande un engagement massif sur les 99 % existants. »

### Réhabiliter frugal

Réhabiliter un immeuble de bureaux de 1 100 m<sup>2</sup> dans une démarche frugale, tel était le défi posé à Baptiste François et Ivan Fouquet, les architectes de la Scop parisienne « fair », fabrique d'architectures innovantes et responsables. Le maître d'ouvrage est un CFA dédié à l'apprentissage dans le secteur médical, l'Adaforss, qui souhaitait déménager son siège social à Levallois-Perret (92), dans un immeuble de bureaux des années 1930. Les objectifs environnementaux sont élevés sur les consommations d'énergie, la qualité de l'air et le confort d'été sans recours à la climatisation. Le programme demandait de réduire les consommations d'énergie pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, la ventilation et les auxiliaires de 30 % par rapport à la réglementation. Le but a été dépassé en divisant la consommation de chauffage par 3, de 183 à 69,5 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>SDP, et en supprimant la climatisation.

Pour atteindre ces objectifs, les architectes ont mis la technique au service de la frugalité. « Le frugal est une manière d'utiliser la technique avec le plus de pertinence possible. Dans ce bâtiment avec des bureaux et des salles de formation, nous avons privilégié un renouvellement d'air de 36 m<sup>3</sup>/h par personne pour en assurer la qualité. Des sondes CO<sub>2</sub> régulent le débit de la VMC double flux dans les salles à occupation variable, afin d'éviter les déperditions inutiles. Pour le confort d'été, la création d'un shed sur la grande verrière existante a permis de créer une ventilation naturelle traversante. Le rafraîchissement nocturne est ainsi réalisé VMC à l'arrêt. Pour qu'il perdure en journée, nous avons valorisé l'importante inertie thermique de la maçonnerie de briques et de béton. Par exemple, les faux-plafonds sont partiels : l'air frais est en contact direct avec la sous-face des dalles lourdes qui déstockent ainsi la chaleur. Nous avons en outre ajouté de l'inertie dans les espaces qui en manquaient par des cloisonnements lourds en enduit de chanvre. Ce rafraîchissement est maîtrisé par les utilisateurs eux-mêmes en ouvrant les fenêtres et baissant les brise-soleil orientables (BSO) de leurs bureaux. Seules la verrière et les salles de formation ont des ouvrants et des BSO automatisés. Pour les gérer, connaissant les retours d'expérience sur les réglages et la maintenance complexe des centrales de Gestion technique du bâtiment (GTB), nous avons choisi des solutions assez low tech avec de simples connecteurs



17 Réhabilitation du siège parisien de l'Adaforss : intégration de l'acoustique, de l'inertie thermique et de la ventilation naturelle dans l'espace de détente.

18 Stockage des dalles de faux-plafond pour réemploi.

19 Atelier participatif entre architectes et salariés de la Scop AEREM sur le projet de leur nouvelle usine.

**“Tous les maîtres d'œuvre cités témoignent de l'importance de l'implication des maîtres d'ouvrage et des usagers pour le succès d'un projet low tech”**



électriques, une horloge et un bouton marche-arrêt. Ainsi, par des solutions architecturales, la participation des habitants et peu de techniques, on atteint les mêmes services, la même qualité et un confort accru qu'avec des systèmes techniques complexes. »

Un important travail d'inventaire a également été mené au préalable sur tout ce qui pouvait être réemployé dans ce bâtiment, dont la dernière rénovation lourde datait de 2010. C'est ainsi que des cloisons légères, prévues pour le réemploi mais généralement mises à la benne, ont été déposées, stockées et réinstallées sur site, ainsi que 70 % du réseau électrique.

### De l'intelligence collective

Tous les maîtres d'œuvre cités témoignent de l'importance de l'implication des maîtres d'ouvrage et des usagers pour le succès d'un projet low tech.



Photo © FAIR 18



Photo © Seuil Architecture 19

Alors qu'à La Réunion la climatisation est déjà perçue comme symbole de progrès, l'agence Co-Architecture et le bureau d'études Tribu ont mené en amont un travail avec le personnel de la médiathèque Sud Sauvage pour que ces usagers permanents comprennent le fonctionnement de la ventilation naturelle traversante. Un livret de mode d'emploi et la formation du personnel ont achevé de rendre ce dernier partie prenante du projet, selon l'adage « à bâtiment passif, usager actif ».

Seuil Architecture, architectes de l'usine AEREM, comme ceux du siège de l'Adafors, estiment tous avoir co-conçus les projets avec les « habitants » des lieux, dans une vraie démarche d'intelligence collective et de montées en compétences. De son côté, Baptiste François se rappelle qu'au départ, « la clim' était incontournable pour le comité de pilotage

du maître d'ouvrage. Avec le BET Tribu, nous avons fait une simulation thermique dynamique poussée, mais l'aspect théorique n'est pas convaincant s'il n'est pas expérimenté, pas ressenti. Une visite pendant une semaine de canicule de 2018 d'un bâtiment en ventilation naturelle a convaincu le maître d'ouvrage d'abandonner la climatisation. »

L'ouverture d'esprit au niveau des services instructeurs et des bureaux de contrôle facilite aussi l'innovation low tech. Nicolas Peyreboune a ainsi pu trouver un accord avec le SDIS réunionnais pour compenser la création de la cheminée dépressionnaire au centre de la médiathèque du Sud Sauvage, qui met en communication trois niveaux, à rebours du principe de cloisonnement, par un ensemble de mesures de sécurité incendie : surlargeur des évacuations, détection plus performante, agent SSIAP permanent. ■

