

CAHIER DES MODULES DE CONFÉRENCE POUR LES ÉCOLES D'ARCHITECTURE

CONFÉRENCES : BÉTON, ARCHITECTURE, PERFORMANCES ET APPLICATIONS



Photo H. Abbadie

ÉTUDE DE CAS, LYCÉE DU PIC SAINT LOUP
ARCHITECTES : PIERRE TOURRE, SERGE SANCHIS (CHEF DE PROJET)



*CONFÉRENCES : BÉTON, ARCHITECTURE,
PERFORMANCES ET APPLICATIONS*

*ÉTUDE DE CAS,
LYCÉE DU PIC-SAINT-LOUP*

ARCHITECTES : PIERRE TOURRE, SERGE SANCHIS (CHEF DE PROJET)

Avant-propos

● Renouer avec l'esprit de l'architecture méditerranéenne! Une architecture bioclimatique attentive à son environnement, en adéquation avec le site dans lequel elle s'inscrit et qui intègre dans sa conception et dans ses modes de construction les paramètres du vent, de l'ensoleillement, de l'orientation. Tel est le fil conducteur qui a guidé l'architecte Pierre Toure dans la conception du Lycée Jean Jaurès dit aussi lycée du Pic-Saint-Loup à Saint-Clément-de-Rivière, au nord de Montpellier.

Sommaire

Contexte et principes de conception du projet	6
Le projet	7
Protection solaire et éclairage naturel	8
Ventilation naturelle et inertie	9
Chantier	11
Détails et mise en œuvre du dispositif de ventilation naturelle	12
Détails et mise en œuvre des étagères à lumière	13
Conclusion - évaluation	14

Contexte et principes de conception du projet

En 2000, lorsque la Région Languedoc-Roussillon lançait la consultation, il s'agissait du premier concours de lycée devant répondre à la démarche HQE. Le programme affichait des objectifs très forts en la matière.

Un des principaux objectifs énoncés était le respect du confort thermique d'été. En revanche, la demande n'était pas axée sur un objectif de performance énergétique d'hiver. En effet, le Maître d'Ouvrage (la Région) considérait que la conformité à la RT 2000 (Règlementation Thermique) était suffisante en la matière, car dans le contexte du climat méditerranéen aller au-delà pour l'hiver nécessitait un investissement qui semblait trop important pour une rentabilité très faible au final.

Un autre objectif important était la limitation de la puissance électrique. Alors qu'habituellement la puissance installée dans un lycée était de l'ordre de 800 kW, pour ce projet il était demandé de ne pas dépasser 160 kW. Le programme exprimait aussi une demande qui pouvait *a priori* sembler contradictoire, puisqu'il fallait à la fois concevoir un édifice

intégré le plus possible au site, tout en étant emblématique de l'institution qu'il abrite.

Pour son projet l'architecte Pierre Tourre a développé une démarche HQE globale ne se limitant pas uniquement aux aspects énergétiques. Dans cet esprit, il a intégré dans son équipe de projet le bureau d'études Tribu, spécialisé en développement durable.

La conception du lycée se fonde sur trois objectifs : lier la forme à la stratégie climatique, fusionner le bâtiment avec le terrain, concevoir un édifice économe en coût de fonctionnement et d'entretien. Pierre Tourre fragmente le programme en plusieurs entités, pour éviter d'avoir un ensemble trop massif en volume et tire parti de la pente naturelle du terrain relativement importante descendant dans le sens est-ouest. Les différents volumes, qu'il organise, s'étagent dans cette pente, à partir de la voie de desserte en montant vers le haut du terrain. Il existe deux vents dominants sur ce site, le mistral et la tramontane (nord est et nord ouest), qui soufflent de façon continue avec plus ou moins d'intensité selon les périodes. Cette situation est favorable à la ventilation naturelle des locaux. Construit dans un paysage de garrigue, avec les Causses en toile de fond, le lycée Jean Jaurès privilégie, dans sa conception, à la fois protection solaire, éclairage et ventilation naturelle.



Vue depuis l'avenue Saint-Sauveur.



Vue d'ensemble du lycée.

Le projet

Le terrain d'assise du projet est façonné par des terrasses appuyées sur des murets de pierres, reproduisant la figure des bancels (terrasses de culture) qui sculptent les versants des Cévennes voisines. Le rez-de-chaussée de l'édifice accompagne cet étagement de terrasses. Réinterprétant dans un langage contemporain certains aspects de l'architecture traditionnelle cévenole, il est revêtu en partie d'un habillage de pierres de la région. Il constitue ainsi un socle qui semble émerger du sol rocailleux. Quatre fins parallélépipèdes en béton blanc sont posés sur ce socle perpendiculairement à la pente. Décalés l'un par rapport à l'autre, ils sont disposés parallèlement selon l'axe est-ouest de la ligne de pente. Les salles d'enseignement,

qu'ils abritent, bénéficient ainsi d'une orientation nord-sud. L'étalement dans le site multiplie les vues proches et lointaines sur le paysage. Le tronc de cône inversé de l'amphithéâtre, le plan ovale du restaurant et la cybercafeteria apportent un contrepoint aux lignes strictement orthogonales des lieux d'enseignement et de l'administration. En partie haute du terrain, se trouvent le restaurant, très ouvert sur le paysage, l'internat, le plateau sportif et les logements de fonction disséminés dans la garrigue avec des vues privilégiées sur le fameux Sommet du Pic Saint-Loup.

Tendue entre le cône de l'amphithéâtre recouvert de lames de châtaignier et un des volumes en béton blanc, l'ombrière constituée de panneaux colorés et de panneaux photovoltaïques



Restaurant.



Plan masse.



Porche d'entrée.

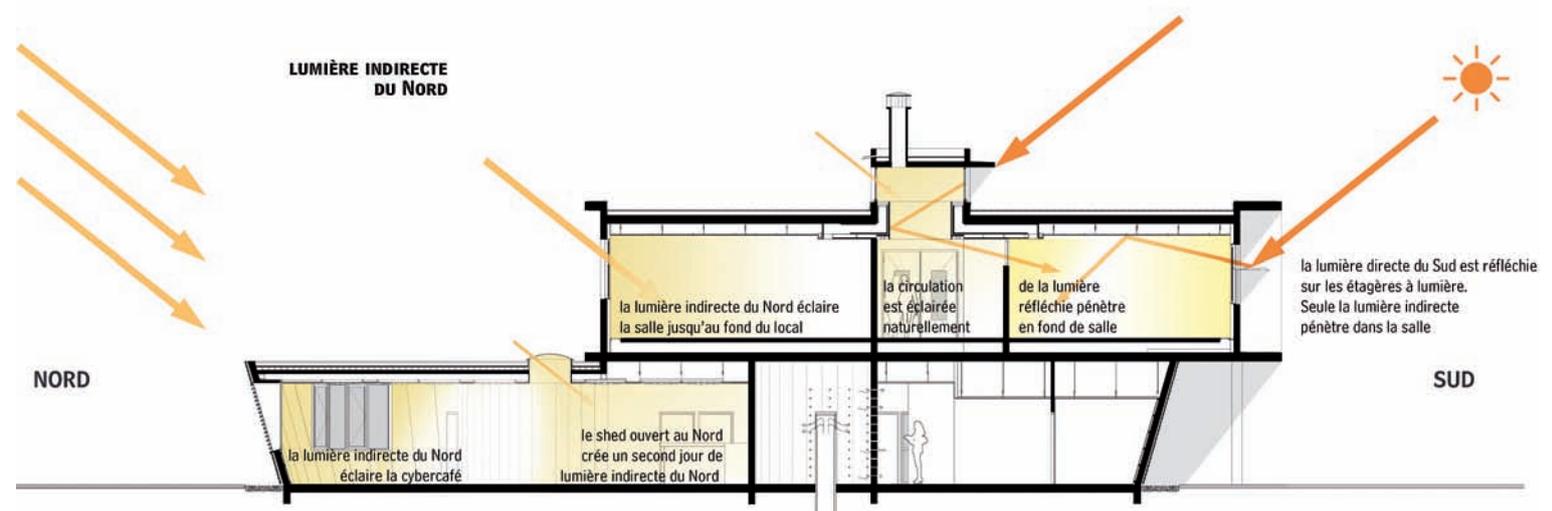
fabrique un porche aérien et multicolore qui signale l'entrée du lycée. Sous l'ombrière, le portail donne sur une grande allée, ponctuée par un jeu de volées d'escaliers qui traverse le site et donne accès aux différents espaces du lycée. L'étagement des terrasses et le jeu des passerelles relient les différents corps de bâtiment entre eux et rendent les parcours sur ce site pentu plus aisés pour les élèves.

À partir de l'entrée le rez-de-chaussée regroupe toutes les fonctions communes : accueil, administration, salles des professeurs, vie scolaire, CPE, infirmerie, etc. Au premier étage se répartissent toutes les salles de classe : enseignement général, langues vivantes, art plastique et enseignement technique. Sur les volumes en béton blanc des classes on distingue les lanterneaux éclairant les couloirs de circulation centrale et les tourelles de

type Edmonds permettant la ventilation naturelle des salles de classe. Les larges débords en porte-à-faux, des volumes en béton blanc, protègent les baies vitrées de l'ensoleillement direct et créent de petits préaux qui permettent aux élèves de s'abriter du soleil ou des intempéries. Le béton blanc enveloppe les façades peintes. Côté sud, il se lit comme une feuille dont les débords contrastent avec l'effet de masse du bloc coloré.

Protection solaire et éclairage naturel

Lors du concours, le programme demandait un facteur de lumière du jour de 2 (rapport d'éclairage naturel dans la partie la plus sombre de la classe et



Protection solaire et éclairage naturel.

l'éclairage naturel à l'extérieur). Cet objectif a été ramené ensuite à 1,8. Le dimensionnement des baies vitrées découle de cette exigence. Des impostes donnant sur les couloirs de circulation centrale permettent d'apporter un double jour aux salles de classe : un édicule vitré couvre les circulations et assure une prise de lumière sur les faces latérales.

Toutes les façades sud des bâtiments d'enseignement sont équipées « d'étagères à lumière », associées aux larges débords de toiture en béton blanc. Ces « étagères à lumière » sont des lames horizontales en tôle d'aluminium laqué de blanc placées à mi-hauteur des baies, qui assurent une double fonction. Elles protègent la partie basse du vitrage du rayonnement solaire direct et réfléchissent ce même rayonnement solaire en le renvoyant vers les plafonds eux aussi peints en blanc. Agissant comme des réflecteurs, les plafonds diffusent à leur tour la lumière de façon uniforme dans les classes.

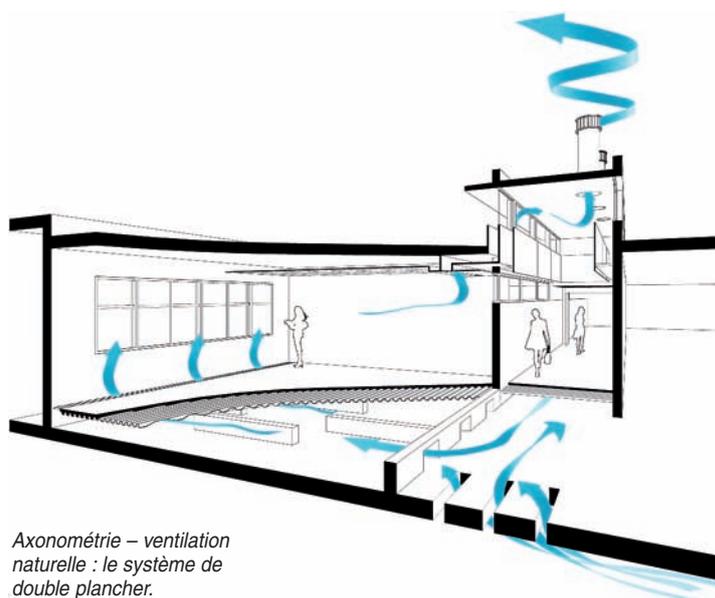
Ventilation naturelle et inertie

Comme nous l'avons déjà évoqué, l'enjeu majeur est de répondre à l'objectif de confort thermique d'été. Pour ce faire, il s'agit de ne pas dépasser 28 °C dans les salles de classe au mois de juin et au mois de septembre, sans climatisation, pour une température extérieure de 33 °C. La réponse s'articule, sur la base d'une stratégie climatique, définie par Pierre Tourre en collaboration avec Alain Bornarel du bureau d'études Tribu. Cette stratégie climatique se fonde sur plusieurs principes. Ainsi, l'orientation des bâtiments est strictement définie. Pour les salles de classe l'orientation est-ouest est totalement exclue. (En effet, en cas d'orientation est-ouest le soleil peut descendre très bas et pour se protéger il faut des brise-soleil qui affaiblissent la lumière naturelle.) Tous les corps de bâtiment contenant des salles de classes sont orientés nord-sud. À cela s'ajoute l'obligation d'avoir des protections solaires fixes. Dans un lycée, il est exclu d'avoir des solutions mobiles qui sont trop fragiles (fort taux de manipulation, risque de détérioration par négligence ou vandalisme, etc.). La solution de protection solaire retenue est constituée par les « étagères à lumière » côté sud.

Pour répondre à l'objectif de confort thermique d'été, la bonne orientation et la protection solaire sont des conditions indispensables, mais non suffisantes. Il faut aussi jouer sur d'autres paramètres qui sont d'une part l'inertie thermique du bâtiment (ou des corps de bâtiment) et la ventilation naturelle.

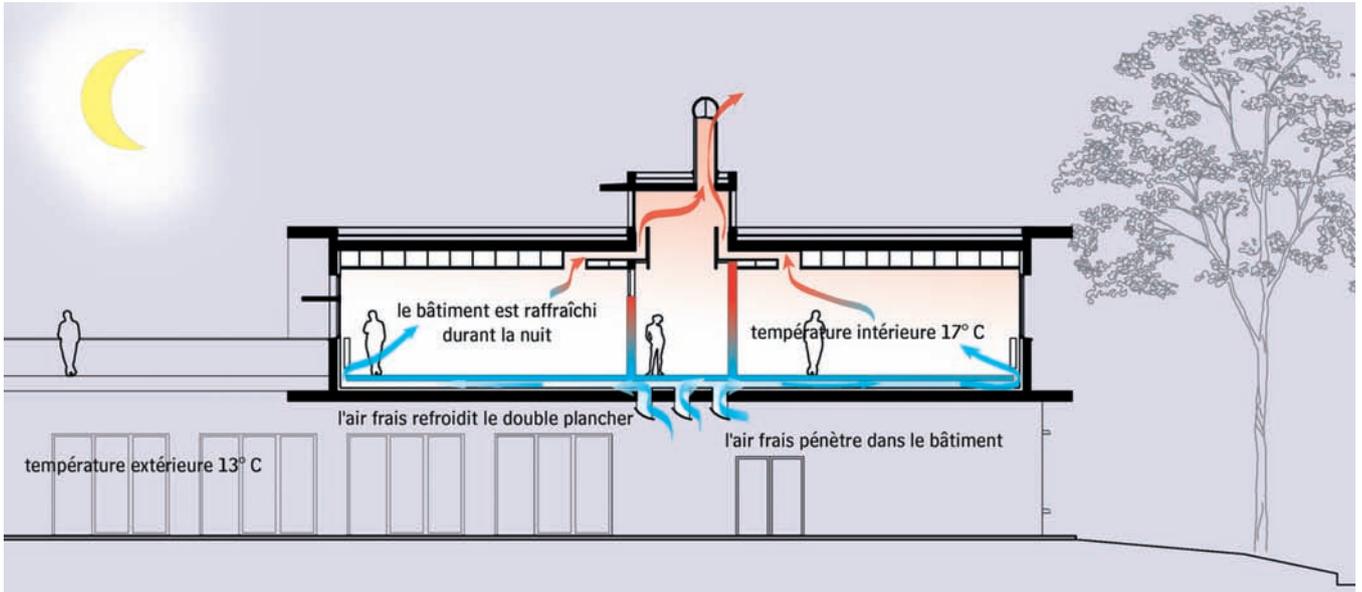
Pour mémoire rappelons que l'inertie thermique est la capacité d'un bâtiment à absorber puis, à restituer les calories ou les frigories avec un décalage dans le temps. Plus l'inertie est importante (plus les matériaux utilisés sont lourds, plus l'inertie est importante), plus le bâtiment stockera d'énergie. Le béton est un matériau à forte inertie thermique. Il peut capter la chaleur ou la fraîcheur ambiante, la stocker et la restituer plus tard dans l'habitation, favorisant ainsi les économies d'énergie pour le chauffage ou la ventilation. Dans le cadre du lycée, l'inertie thermique est obtenue en utilisant du béton coulé en place pour construire les différents bâtiments (refends porteurs en béton, murs de façades en béton et murs des couloirs de circulation en béton). Tous ces murs peuvent accumuler de la fraîcheur pendant les nuits d'été et la restituer le jour.

À cela s'ajoute un système spécifique de ventilation naturelle conçu pour le projet, afin de favoriser le principe d'inertie thermique mis en œuvre. Le système de ventilation naturelle est basé sur un double plancher. L'air est capté, sous le plancher dans une zone à l'ombre, donc plus fraîche. Il circule dans le double plancher, où il se rafraîchit au contact du béton. L'air rafraîchi pénètre ensuite dans chaque salle par des grilles, situées au sol et circule dans la classe. Il est ensuite aspiré en haut de la salle et passe par un plénum dans le couloir de circulation. Il est enfin évacué par des tourelles

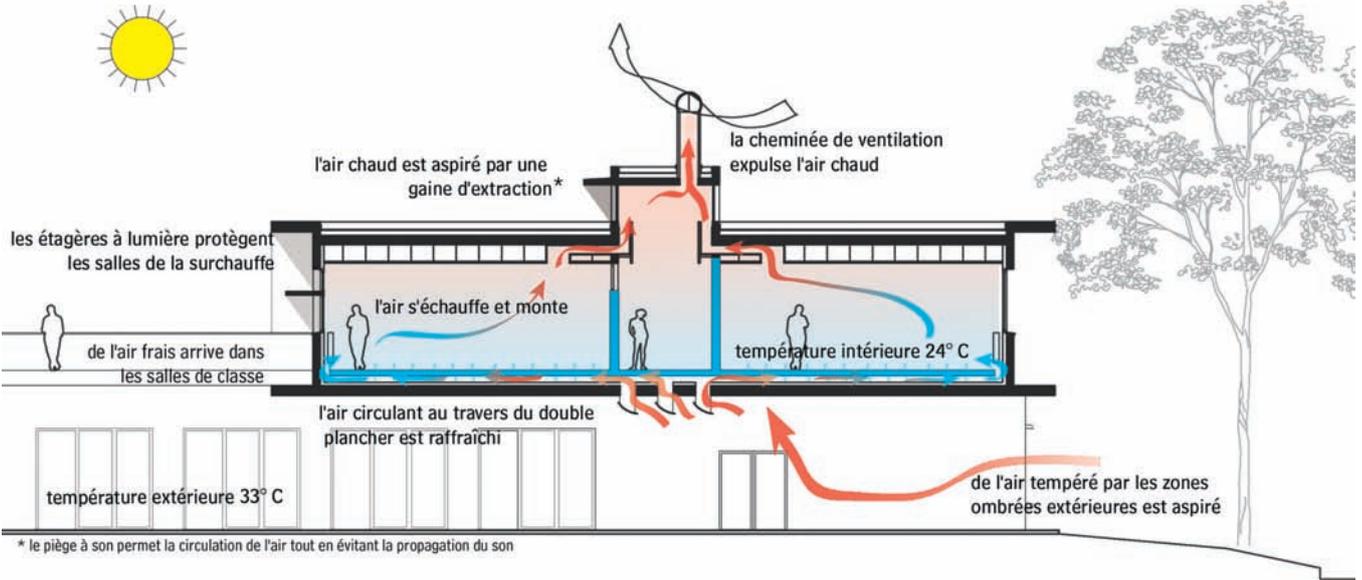


Axonométrie – ventilation naturelle : le système de double plancher.

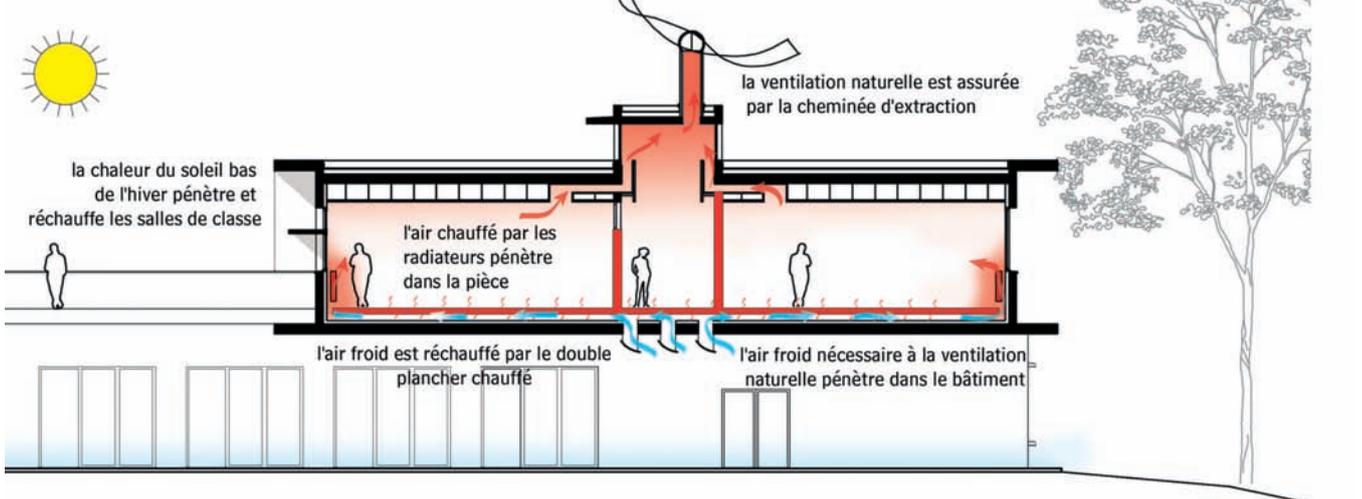
NUIT D'ÉTÉ



JOUR D'ÉTÉ



JOUR D'HIVER



Coupes – principe de l'inertie thermique et de la ventilation.



Ailettes de captation de l'air.

particulières de type Edmonds. Ces tourelles australiennes, activées par le vent ou fonctionnant par dépression thermique, présentent un diamètre de 40 cm et donnent un débit d'air suffisant. Elles permettent une extraction continue de l'air. Les tourelles équipées d'un registre motorisé asservi à la vitesse du vent et à la température assurent la mise en dépression des circulations et permettent un balayage des classes. Toute l'année, quelle que soit la saison, les salles de classe bénéficient ainsi d'une température constante. Le système de ventilation est par ailleurs très hygiénique car il n'utilise aucun conduit ce qui évite les problèmes d'aérolique.

En sous-face des planchers des parties de volumes en porte à faux, des ensembles composés de trois ailettes métalliques constituent des déflecteurs qui orientent l'air vers les prises d'air pour alimenter le cycle de ventilation naturelle. Ces prises d'air sont toujours à l'ombre.

Selon son concepteur, le dispositif de ventilation naturelle mis en œuvre ici n'existe sous cette forme nulle part ailleurs. Transposant le principe des pièges à vent de l'architecture moyen-oriental, le système consiste à utiliser l'inertie thermique du béton grâce au double plancher et s'appuie sur la propension de l'air chaud à s'élever. En été, la température plus basse la nuit permet de refroidir le bâtiment. Pendant la journée, l'air est rafraîchi dans le double plancher par l'inertie du béton, il pénètre dans la classe, s'échauffe puis est rejeté en partie haute et est extrait par les tourelles Edmonds. Pendant les journées d'hiver, l'air froid est tempéré lors de son passage dans le double plancher. Pénétrant dans la salle de classe au niveau des radiateurs, il est réchauffé par ces derniers avant de circuler dans la classe.

Chantier

À l'exception de la salle de restauration et de l'amphithéâtre, tous les bâtiments sont construits en béton. La structure est de type façades + refends longitudinaux et transversaux porteurs. Ils sont en béton gris coulé en place. Les planchers et le toit terrasse sont eux aussi en béton. Les parties visibles des volumes blancs, sont en béton blanc coulé en place pour les pignons et les planchers. Les parties en auvent sur les façades sud sont des dalles préfabriquées en béton blanc. Les parois verticales destinées à être habillées de pierre ou peintes sont en béton gris. Dans le projet la plupart des murs séparant les classes entre elles et séparant les classes du couloir sont en béton banché pour pouvoir profiter des qualités en matière d'inertie thermique du matériau.



Chantier, vue extérieure.

Gros œuvre en béton.

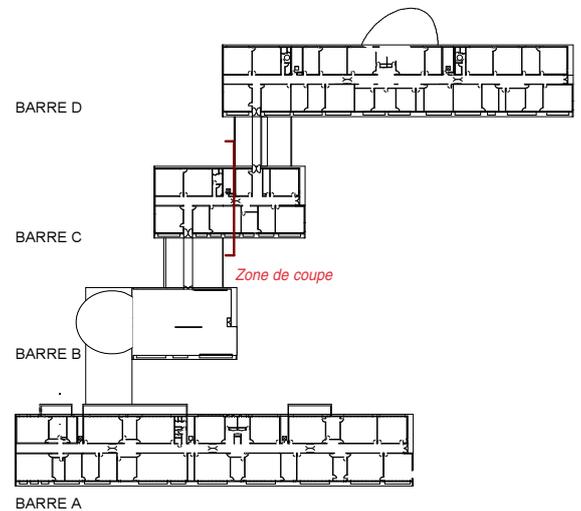


Détails et mise en œuvre du dispositif de ventilation naturelle

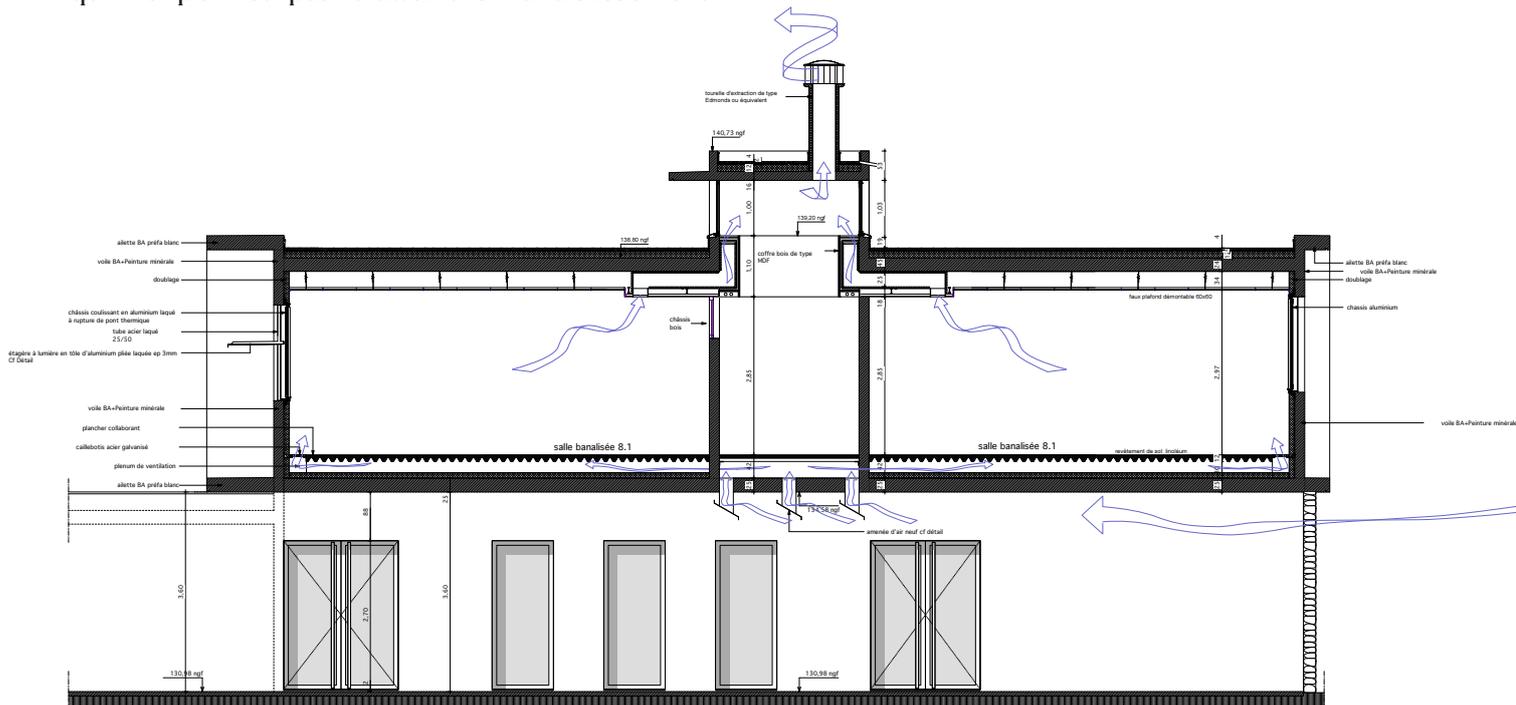
Le double plancher repose sur une dalle basse porteuse en béton coulé en place qui fait partie de la structure du bâtiment. Des longrines en chicane sont réalisées pour permettre la circulation de l'air. Un isolant est mis en place uniquement dans les parties de plancher en porte à faux, les zones de plancher situées sur un rez-de-chaussée ne sont pas isolées. Sur les longrines, un coffrage métallique perdu (COFRASTRA) est mis en place. Sur ce coffrage la dalle du plancher supérieur est coulée à la pompe à béton. Des prises d'air sont disposées dans le plancher supérieur le long des fenêtres. La lame d'air dans le plancher fait environ 30 cm dans les secteurs avec isolant et dans les parties non isolées elle fait 47 cm. Les ailettes permettant de capter l'air extérieur sont en tôle d'aluminium laqué. Elles orientent le courant d'air vers les prises d'air percées dans la dalle basse du double plancher.

En ventilation naturelle (comme c'est le cas dans ce projet), il faut de grosses sections pour les gaines. Il en résulte que le son peut passer entre la salle de classe et la circulation (et vice-versa), ce qui ne permet pas d'atteindre l'affaiblissement

acoustique réglementaire (plus les sections sont importantes, plus le son passe). Pour que le son ne passe pas d'une salle de classe à la circulation ou de la circulation à une salle de classe, il faut réaliser une gaine d'évacuation, jouant aussi le rôle de piège à son. Dans ce projet, une sorte de chicane de 2 m de long est créée, pour constituer la gaine d'évacuation de l'air vicié de chaque salle de cour. Elle est entièrement nappée d'absorbant acoustique (laine de roche) ce qui permet d'obtenir l'affaiblissement acoustique réglementaire tout en permettant à l'air de s'évacuer.



Plan schématique.



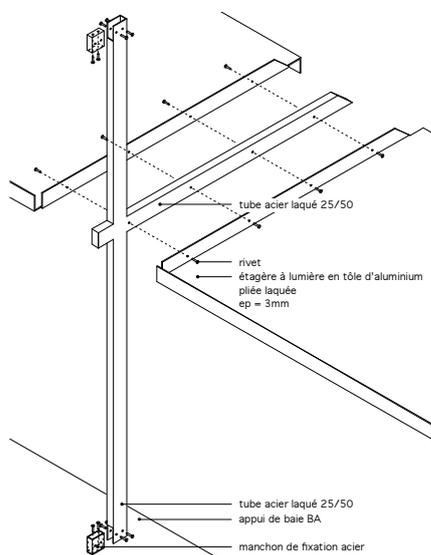
Coupe sur Barre C – système de ventilation naturelle.



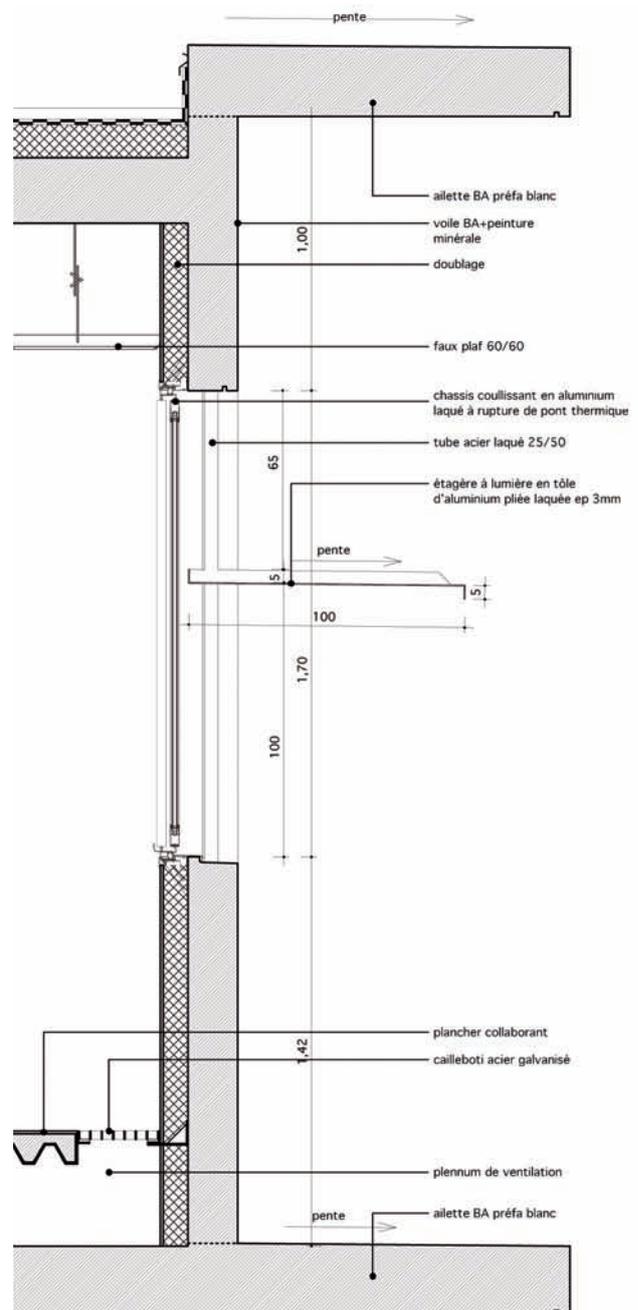
Étagères à lumière.

Détails et mise en œuvre des étagères à lumière

Toutes les façades sud des bâtiments d'enseignement sont équipées « d'étagères à lumière », associées aux larges débords de toiture en béton blanc. Ces « étagères à lumière » sont des lames horizontales en tôle d'aluminium laqué de blanc placées à mi-hauteur des baies, qui assurent une double fonction. Elles protègent la partie basse du vitrage du rayonnement solaire direct et réfléchissent ce même rayonnement solaire en le renvoyant vers les plafonds eux aussi peints en blanc. Agissant comme des réflecteurs, les plafonds blancs diffusent à leur tour la lumière de façon uniforme dans les classes. Chaque étagère est en tôle d'aluminium laquée pliée et chaque étagère est tenue par deux potelets en acier laqué.



Système de fixation des étagères à lumière.



Coupe – étagères à lumière.

Conclusion - évaluation

Dès sa mise en fonctionnement le lycée a fait l'objet d'une mission d'évaluation (Eva). Sur une période de trois ans, cette mission d'évaluation a permis de connaître le comportement du bâtiment et de mesurer ses performances de consommations d'électricité, de gaz et d'eau. Cette mission a permis de vérifier, en particulier, que l'objectif de confort thermique d'été est atteint. La contrainte de ne pas dépasser 28 °C en été, dans les salles de classe, est bien respectée. Concernant la consommation électrique : le ratio de l'éclairage intérieur est de 3 kWh/m²/an alors que dans l'étude le ratio retenu était de 7 kWh/m²/an. Ce résultat très satisfaisant a été vérifié plusieurs fois. L'analyse d'ensemble fait apparaître que l'éclairage extérieur prend une grande importance. Le poste autres usages qui comprend les cafetières électriques et les photocopieurs atteint 13,5 kWh/m²/an. L'effort réalisé sur les consommations de fonctionnement du bâtiment, fait apparaître le laxisme existant sur d'autres postes liés aux comportements quotidiens des usagers. Les facteurs de jour mesurés font

Éclairage naturel – résultats des mesures sur le site				
	Nb de locaux simulés	FLJ > 1,8	1,5 < FLJ < 1,8	FLJ < 1,5
Rez-de-chaussée (administration, vie scolaire)	64	62,5 %	11 %	26,5 %
Enseignement scientifique et général (étage)	29	79 %	7 %	14 %

apparaître un facteur de jour supérieur à 1,8 au RdC sur 62,5 % des pièces. Le facteur est de 1,5 à 1,8 sur 11 % des pièces et le facteur est inférieur à 1,5 sur 26,5 %. À l'étage le facteur de jour est supérieur à 1,8 dans 79 % des pièces, se situe entre 1,5 et 1,8 dans 7 % des pièces et est inférieur à 1,5 dans 14 % des pièces.

Les utilisateurs des lieux (élèves, professeurs et personnel) ont été également interrogés et les résultats de cette enquête sont positifs. Cela est d'autant plus important que les utilisateurs ont leur rôle à jouer dans le bon fonctionnement de cette architecture bioclimatique. Au lycée Jean Jaurès, la pédagogie du développement durable se vit au quotidien.

Electricité – année glissante de novembre 2004 à octobre 2005			
	% consommation annuelle 2005	Ratio 2005 (kWh/m² SDO/an)	Références calculées par PAPOOSE en phase étude
Éclairage intérieur	11 %	3,02	16 kWh/m ² sdo/an
Éclairage extérieur	9 %	2,59	
Prise informatique	7 %	2,03	1.6 kWh/m ² sdo/an
ECS	1 %	0,39	
Clim. et VMC	10 %	2,79	3.5 kWh/m ² sdo/an
Sous station	3 %	0,91	
Chaufferie	7 %	2,11	
Ascenseurs	1 %	0,22	
Cuisines et plaques	3 %	0,81	
autres usages	48 %	13,54	
TOTAL		28,42	32 kWh/m² sdo/an

Crédit photographique

H. Abbadie – Tous droits réservés.

Plans et illustrations

Pierre Tourre – Tous droits réservés.

Mise en page et réalisation

Amprincipe Paris

R.C.S. Paris B 389 103 805

Mise en page couverture

Minibus

Édition novembre 2009

CIM *Béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10
E-mail : centrinfo@cimbeton.net • internet : www.infociments.fr



ÉCOLE FRANÇAISE DU BÉTON

7, place de La Défense
92974 Paris-La-Défense CEDEX