

# Ecole en paille et boulodrome à Issy-les-Moulineaux

(version provisoire - chantier)



La construction de l'École Louise Michel s'inscrit dans le réaménagement du quartier du Fort d'Issy-les-Moulineaux. Pour cette opération exemplaire, deux engagements forts ont été pris : utiliser des matériaux sains (ossature bois avec remplissage en botte de paille) et limiter la consommation énergétique au maximum (niveau global BBC, étanchéité à l'air au niveau Passif).



## Lieu

Ecole maternelle et primaire Louise Michel  
et Boulodrome  
18 rue du Docteur Zamenhof  
92130 Issy-les-Moulineaux

## Acteurs

Maîtrise d'ouvrage : SEMADS  
(Société d'Economie Mixte d'Arc de Seine)  
Architecte: ADSC Sonia Cortesse (mandataire)  
et Bernard Dufournet (associé)  
BET Structure bois : Gaujard Technologie SCOP  
BET Structure béton : Tekhné Ingénierie  
BET Fluides : ICR LBE fluides  
BET Acoustique : Alhyange Acoustique  
Bureau de contrôle : Socotec  
Entreprise bois : Arbonis  
BET HQE: ADSC

## Chiffres

### Surfaces:

- Ecole primaire de 9 classes : 3 823 m<sup>2</sup> SHON (R+2) + parking 29 places
- Ecole maternelle de 5 classes et galeries de liaison : 1 385 m<sup>2</sup> SHON (RDC)
- Boulodrome de 24 pistes avec club house de 280 m<sup>2</sup> et halle de jeu de 480 m<sup>2</sup>

**Coût de l'opération :** 14 747 403 € HT  
(12 211 103 € HT pour l'école et 2 536 300 € HT pour le boulodrome), comprenant dépollution du terrain, construction du local à ordures ménagères avec collecte pneumatique, et chaufferie collective

## Dates

Début des travaux : novembre 2011  
Réception des travaux : juin-septembre 2013



## Éléments techniques « Développement Durable »

### CHOIX DES MATÉRIEAUX

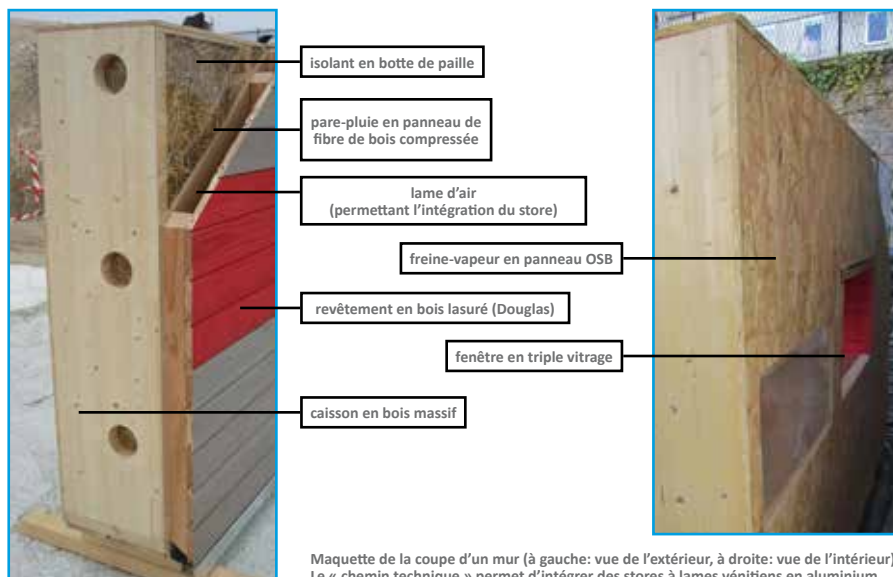
La cible de la démarche Haute Qualité Environnementale « **choix des matériaux** » a été traitée au niveau **Très Performant** : le bois et la paille ont été privilégiés, des matériaux intérieurs sains peu émissifs ont été choisis, et l'énergie grise des matériaux a été limitée.

### BOIS ET PAILLE

- Les étages des bâtiments sont en superstructure poteaux-poutres bois (en lamellé-collé) avec des planchers en bois. Le sous-sol et la dalle du rez-de-chaussée ont une infrastructure en béton.
- Les murs principaux et les toitures sont constitués de caissons en bois isolés par des bottes de paille, avec un bardage en bois lasuré.



Plancher en panneau bois trois plis contrecollé : il est composé de 3 lames de bois massif collées entre elles, le sens du fil du pli du panneau central étant croisé à 90° par rapport au sens du fil des plis extérieurs, ce qui confère au produit une résistance très élevée.



Maquette de la coupe d'un mur (à gauche: vue de l'extérieur, à droite: vue de l'intérieur)  
Le « chemin technique » permet d'intégrer des stores à lames vénitiens en aluminium, orientables et repliables qui contribuent au confort d'été. Le mur est perspirant, ce qui permet de laisser passer la vapeur d'eau



## Zoom sur...

### QU'EST-CE QU'UN MUR PERSPIRANT?

Un mur perspirant permet à la vapeur d'eau de traverser la paroi sans création de point de rosée à l'intérieur de l'isolant. Le point de rosée de l'air est la température à laquelle la vapeur d'eau présente dans l'air commence à se condenser, ce qui peut entraîner l'apparition de moisissures et une dégradation prématurée des matériaux. Ici, les isolants naturels, la structure en

ossature bois et le panneau de finition intérieure en gypse et en cellulose rendent les murs perspirants en permettant la migration de vapeur d'eau vers l'extérieur. Cela n'aurait pas été le cas si on avait utilisé des isolants conventionnels (laine de verre, de roche...), une structure en béton et un parement intérieur en plâtre, non perméables à la vapeur d'eau.

- Afin de valider le **degré coupe-feu** (durée pendant laquelle la paroi empêche la propagation d'un incendie) du montage plancher/façade<sup>1</sup> qui doit être de **30 minutes minimum en ERP** (Etablissement Recevant du Public), un **essai au feu** d'une maquette en grandeur réelle de 2 étages a été réalisé par le CSTB en 2009 à la demande du bureau de contrôle. Le test a été réalisé avec succès : **la façade testée est parfaitement conforme aux exigences de résistance à l'incendie.**

→ Cette reconnaissance officielle permet de lever des verrous psychologiques vis-à-vis de la sécurité incendie et devrait faire évoluer la réglementation, ouvrant ainsi la voie pour **l'émergence de la filière paille dans la construction des bâtiments publics à plusieurs étages.**



Photos de l'incendie-test (© ADSC).

A gauche : maquette avant la mise au feu ; à droite : état de la maquette 30 minutes après le déclenchement du feu.

Le test, qui a coûté environ 60 000 € pour la construction d'un R+1 en grandeur réelle, les études et le test du CSTB, a été financé à 35% par la Région PACA (où se trouve le bureau d'études), à 35% par le FEDER (Fonds Européen de Développement Régional) et à 30% par la maîtrise d'oeuvre.

<sup>1</sup> Des tests allemands sur une botte de paille revêtue d'un enduit attestant d'un degré coupe-feu d'1h30 n'ont pas été pris en compte car ils portent sur un matériau et non sur le montage plancher/façade propre à ce système constructif en particulier.



### • Le bois est omniprésent sur le bâtiment :

→ Le **bardage** est en Douglas (de classe 3, naturellement résistant) non traité. Le bardage est lasuré en atelier avec une lasure contenant des paillettes réfléchissant les UV (pour une meilleure résistance dans le temps).

→ Le **pare-pluie** est en fibre de bois compressé, le freine-vapeur en panneaux OSB et les murs non principaux sont isolés par de la laine de bois (ou de la ouate de cellulose).

→ Les **menuiseries** et les escaliers intérieurs sont en bois.



Bardage en douglas lasuré

### DES MATÉRIAUX SAINS PEU ÉMISSIFS

Les matériaux intérieurs ont été choisis afin de limiter la pollution de l'air intérieur :

- Revêtement des sols : carrelage en grès cérame recyclé et linoléum constitué de poudre de liège prise dans une résine à base d'huile de lin (le PVC a été exclu).
- Doublage intérieur des murs et cloisons : **panneaux de gypse et de cellulose** remplaçant un parement classique à base de plâtre et carton.

### ÉNERGIE GRISE LIMITÉE

L'énergie grise d'un matériau ou d'un produit est l'énergie nécessaire à sa fabrication, à son transport, à sa mise en oeuvre sur le chantier et à sa fin de vie.

Afin de limiter l'énergie grise du bâtiment :

- Les matériaux choisis sont pour la plupart issus de ressources naturelles peu transformées.
- Des matériaux recyclés ont été utilisés : isolation en ouate de cellulose à base de journaux recyclés et broyés, carrelage en grès cérame recyclé.
- Certains matériaux sont locaux ou viennent d'Europe afin de limiter l'impact écologique de leur transport :

→ La **paille de blé** provient en partie de Nemours (à 70 km de Paris) et en partie de Toulouse.

→ Le **bois de structure** provient de l'Europe du Nord, le Douglas du Limousin et les panneaux contre-collés d'Autriche.

- Plafond : Panneaux de gypse et de cellulose et panneaux acoustiques en plâtre, sauf dans la cuisine (laine minérale portant le label Cygne Blanc).

- Peintures, colles et lasures **éco-labelisées** et panneaux de bois sans formaldéhyde.

- Extérieur : Jeux en bois de robinier sur sol souple recyclé

Des préconisations de produits d'entretien sans émission de Composés Organiques Volatils ont été formulées.



Matériaux naturels utilisés dans la construction: bois, paille, ouate de cellulose et laine de bois



## GESTION DE L'ÉNERGIE

### PERFORMANCES PRÉVUES

Le niveau global de performance énergétique visé pour l'école et le boulodrome est le BBC (Bâtiment Basse Consommation). Le niveau d'étanchéité à l'air visé est celui du label Passivhaus (bâtiment passif).

Paramètre	Ecole	Boulodrome
Consommation <b>globale</b> d'énergie primaire (Cep)	Cep : 49,92 kWh EP/m <sup>2</sup> /an Cep référence : 101,96 kWh EP/m <sup>2</sup> /an 51,04 % de gain par rapport à la RT 2005 → <b>Niveau BBC (-50% par rapport RT)</b>	Cep : 43,38 kWh EP/m <sup>2</sup> /an Cep référence : 111,91 kWh EP/m <sup>2</sup> /an 61,24 % de gain par rapport à la RT 2005 → <b>Niveau BBC (-50% par rapport RT)</b>
Consommation de <b>chauffage</b>	Chauffage 6,79 kWh EP/m <sup>2</sup> /an Référence : 44,15 kWh EP/m <sup>2</sup> /an 84,61% de gain par rapport RT 2005 → <b>Consommation de chauffage &lt; 8 kWh EP/m<sup>2</sup>/an</b>	Chauffage 25,58 kWh EP/m <sup>2</sup> /an Référence : 80,74 kWh EP/m <sup>2</sup> /an 68,31% de gain par rapport RT 2005
<b>Etanchéité à l'air</b>	n50 ≤ à 0,6 vol/h sous une dépression de 50 Pascals → <b>Niveau PassivHaus</b>	n50 ≤ à 0,6 vol/h sous une dépression de 50 Pascals → <b>Niveau PassivHaus</b>

Récapitulatif des performances énergétiques visées

### ISOLATION

Emplacement	Type et épaisseur	<b>R: résistance thermique</b> <b>Uw: coefficient de transmission thermique</b>
Murs principaux	36 cm de paille	R de 5 à 6 m <sup>2</sup> .K/W
Autres murs	Ouate de cellulose et laine de bois	R de 3,8 m <sup>2</sup> .K/W
Toiture	36 cm de paille	R de 5 m <sup>2</sup> .K/W
Menuiserie en mélèze	95 mm bois <b>triple vitrage</b>	Uw 1 W/(m <sup>2</sup> .K)

Récapitulatif du niveau d'isolation des différentes parois

### VENTILATION

- Une **ventilation double flux** en régime variable asservie à l'occupation a été mise en place dans les classes, les grandes salles collectives comme les salles à manger et salles de jeu.
- La cuisine et les locaux annexes sont traités par une centrale de traitement d'air indépendante avec récupération d'énergie.
- Le club house bénéficie d'une **ventilation naturelle assistée couplée à un puits canadien**.

## ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Afin d'assurer une bonne étanchéité à l'air, la mise en œuvre a été soignée, avec la pose de produits spécifiques (pare-vapeur hydrorégulant, bandes adhésives, joints précomprimés, etc). D'autre part, un **lot sur l'étanchéité à l'air** a été défini (sous la responsabilité du macro-lot bois) et des **formations sur chantier de tous les corps de métiers** (regroupés par macro-lots) ont été organisées.

Les performances ont été vérifiées grâce à **des tests à la porte soufflante** : le premier test a été réalisé juste avant le second œuvre. Si la perméabilité à l'air n'est pas inférieure à 0,6 vol/h sous 50 Pascals (niveau PassivHaus), les entreprises doivent reprendre les défauts et des tests successifs sont réalisés jusqu'à ce que l'objectif soit atteint.



Menuiserie en triple vitrage : une attention particulière a été accordée à l'étanchéité à l'air avec la mise en œuvre de joints pré-comprimés et de membranes spécifiques



Manchon permettant le passage des câbles électriques tout en limitant les fuites d'air parasites

## CHAUFFAGE, RAFFRAÎCHISSEMENT ET EAU CHAUDE SANITAIRE

- Les logements, les écoles et les commerces du quartier du Fort d'Issy-les-Moulineaux sont reliés à un **réseau de chaleur**. Deux **puits géothermiques** ont été creusés à 600 m de profondeur dans la nappe de l'Albien : un puits prélève de l'eau à **27°C** et l'autre puits la réinjecte dans le sol. L'eau pompée passe par un échangeur, ce qui permet de chauffer soit directement les bâtiments, soit indirectement après passage par des  **pompes à chaleur eau/eau**.

- **78% des besoins de chauffage et d'eau chaude** sont assurés par la **géothermie**, les **22% restants correspondent à l'électricité** nécessaire au fonctionnement des pompes à chaleur. La production d'eau chaude sanitaire est assurée par une pompe à chaleur indépendante raccordée sur le réseau de chaleur.

- L'émission de chaleur s'effectue grâce à un **plancher chauffant au rez-de-chaussée** de l'école et du boulodrome, et à des **plafonds rayonnants aux étages**.

- Le rafraîchissement du club house est assuré par un **puits canadien**.

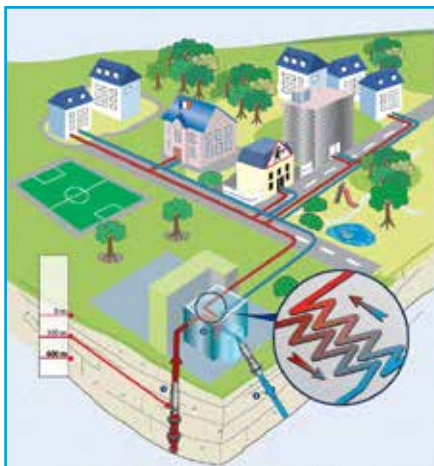


Schéma de principe de fonctionnement du réseau de chaleur géothermique du Fort d'Issy (© Dalkia)



## CHANTIER À FAIBLES NUISANCES

- Les **caissons de façade et de toiture** en bois-paille ont été **préfabriqués en atelier** en Région Centre et Toulouse. Les étapes de fabrication sont les suivantes :



Etape 1 : Conception Assistée par Ordinateur (©Michel Bulté)  
Cette phase permet de prévoir précisément l'emplacement des vis, des réservations, de calculer la taille des planches à découper...



Etape 2 : Découpe automatisée des planches en bois par une machine (©ADSC)



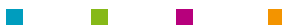
Etape 3 : Assemblage des caissons en bois (©Michel Bulté)  
Les montants en bois des caissons sont placés tous les 50 cm car les bottes de paille font 50 cm de largeur. Les caissons sont de 2,40 m de largeur sur 10 m de longueur pour faciliter le transport.



Etape 4 : Mise en œuvre des bottes de paille à la main (©Michel Bulté)  
Le pourcentage d'humidité de chacune des bottes a été mesuré en amont afin de vérifier que la paille est bien sèche.

- Ce mode de construction en filière sèche permet de **réduire les nuisances de chantier**: limitation du bruit, des rejets d'effluents liquides, des poussières, durée plus courte du chantier (1 semaine  $\frac{1}{2}$  environ par niveau pour le plancher et la charpente).

Cependant, il est nécessaire de **bien préparer le chantier en amont** (temps d'études plus long, calage en phase EXE avec une réflexion sur l'ensemble de la chaîne, de la fabrication au transport en passant par la mise en œuvre).



## POUR EN SAVOIR PLUS

Cette fiche a été réalisée par l'Agence Locale de l'Énergie Grand Paris Seine Ouest Énergie en collaboration avec ADSC (Architecture et Développements Sonia Cortesse).

Plus d'informations sur l'incendie-test réalisé par le CSTB :

- Article de la Maison écologique « Quand la paille avance, le feu recule », n°37 juin-juillet 2010, pages 16-17
- Article Le Moniteur « L'incendie qui autorise à construire en paille des ERP sur deux étages » du 22/02/2010 sur [www.lemoniteur.fr](http://www.lemoniteur.fr)

## CONTACTS

### Agence Locale de l'Énergie - GPSO Énergie

**Claire Huang : 01 45 34 26 52**

Chargée de mission efficacité énergétique  
[claire.huang@gpso-energie.fr](mailto:claire.huang@gpso-energie.fr)

### ADSC Architecture et Développements

**Sonia Cortesse: 01 43 48 58 20**

[contact@soniacortesse.eu](mailto:contact@soniacortesse.eu)



### SEMADS

**Emilie Boinot-Enfissi: 01 41 90 67 10**

[semads@wanadoo.fr](mailto:semads@wanadoo.fr)



### Les autres fiches techniques sur la même thématique :

- Les isolants naturels (grand public)
- Les isolants conventionnels (grand public)
- L'étanchéité à l'air
- Isolation écologique des combles de l'école Gambetta à Vanves

