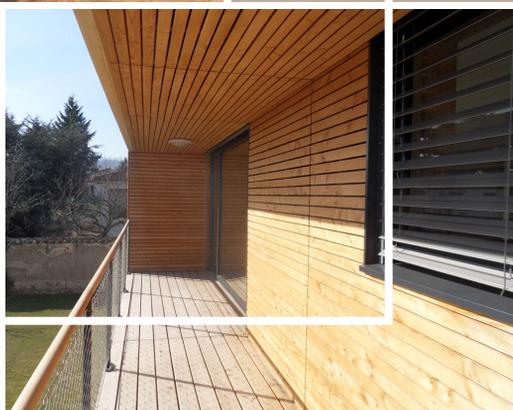


# BEPOS

bâtiment à  
énergie positive

## Solutions bois



COLLECTION  
Retour d'expériences®

**CNDB**  
LE BOIS AVANCE.





## **Bois construction : une réponse pour les concepteurs de Bâtiments à Energie Positive.**

Le bâtiment à énergie positive (BEPOS) deviendra le standard de construction en 2020. Il est inscrit dans la directive européenne datant de 2010 et relative à la performance énergétique des bâtiments.

Ainsi, les bâtiments neufs dits « Nearly zero energy » seront généralisés en Europe à l'horizon 2020, avec une anticipation pour les bâtiments publics dès 2018. Cette obligation a été partiellement transcrite dans le droit français avec la Loi Grenelle 1 qui transforme le « Nearly zero energy building » en « BEPOS ».

En France, le nombre de projets BEPOS augmente régulièrement.

Les techniques constructives pour atteindre cet objectif doivent idéalement conjuguer deux qualités :

- permettre l'élaboration d'un ouvrage avec très peu de déperditions thermiques,
- présenter un bilan en énergie grise aussi favorable que possible.

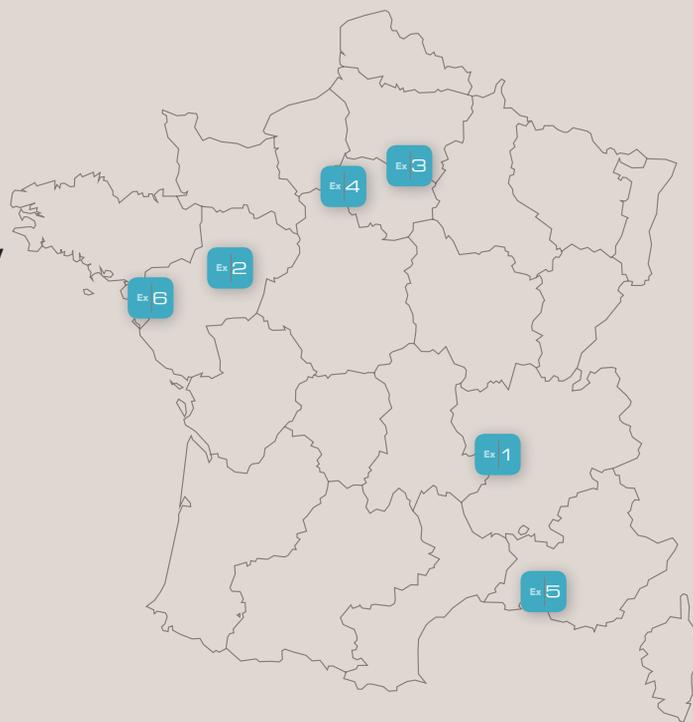
Le matériau renouvelable qu'est le bois répond à ces deux critères. Il permet de passer de la RT 2012 au BEPOS sans rupture technologique, comme en témoignent les 6 opérations de ce document.

# Sommaire

## 1<sup>ère</sup> PARTIE

### Les retours d'expériences

- Ex 1** **Maison des Aînés**  
à Montbrison (42). **page 3**
- Ex 2** **Résidence l'Espéria**  
à Montreuil-Juigné (49). **page 9**
- Ex 3** **Groupe scolaire Antoine de Saint-Exupéry**  
à Pantin (93). **page 15**
- Ex 4** **Groupe scolaire Abdelmalek Sayad**  
à Nanterre (92). **page 21**
- Ex 5** **Bureaux Ywood Aix L'Ensoleillée**  
à Aix en Provence (13). **page 27**
- Ex 6** **Bureaux partagés MC2**  
à Nantes (44). **page 32**



# BEPOS bâtiment à énergie positive

## Solutions bois

## 2<sup>ème</sup> PARTIE

### Synthèse

Les points clés du label « BEPOS Effinergie 2013 » page 38

Retour d'expériences : quelques points à retenir pour une opération BEPOS page 39

Ex 1

### Maison des Aînés à Montbrison (42)

8 logements R+1 et espace communautaire



#### Le programme

Cet ensemble multigénérationnel se compose de 3 maisons regroupant chacune des logements du T1 au T3, pour les personnes âgées ou handicapées en rez-de-chaussée et à l'étage pour les couples ou les jeunes familles. Chaque maison bénéficie de l'espace communautaire de plain-pied.

#### Les intervenants

Maître d'ouvrage : SCI du Repos (42)  
Architecte de conception : Edouard Molard (75)  
Architecte d'exécution : Archipente (42)  
BE : bois & béton : Lignalithe (42)  
BE : fluide & thermique : Philae / HELIASOL (69)  
Conseiller Label Passiv'Haus : Franck Janin (69)  
Entreprise bois : Lignatech (42)  
Entreprise menuiseries extérieures : Meunier Marnat (42)  
Équipement solaire : Bealem-Pellequer (42)

#### Le choix constructif

Dalle béton sur radier.  
Murs en panneaux bois massif contre-cloués associés à des lisses bois secondaires, système de type Lignapli®.  
Plancher intermédiaire en bois massif de type Lignadal® associé à une dalle béton.  
Charpente traditionnelle clouée et toiture terrasse.

#### Les caractéristiques générales

Livraison : 2010  
Surface SHON maison 1 : 167,5 m<sup>2</sup>  
Surface habitable maison 1 : 134,4 m<sup>2</sup>  
Classement incendie : 2<sup>ème</sup> famille.  
Coût total de construction maison 1 : 286 960 € HT



En bref

Déperdition thermique Ubat : 0,19 W/m<sup>2</sup>.K  
1. Conso. en énergie primaire Cep : 40 kWh ep/m<sup>2</sup>.an  
(Compris bois)  
2. Conso. électrodomestique : 56 kWh ep/m<sup>2</sup>.an  
3. Production photovoltaïque : 83 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

Bilan BEPOS (1+2)-3 = non concerné

Méthode de calcul PHPP. Certification Maison Passive France.

1\_Vue d'ensemble de la maison avec l'appartement des anciens au rez-de-chaussée, l'appartement des plus jeunes à l'étage et « l'auberge » pour la famille ou le personnel soignant. 2\_Vue sur les murs structurels en panneaux de bois massif contre-cloués. 3\_Axonométrie des 3 maisons.

## L'organisation du projet



Edouard Molard  
Archipente  
architecte

### Quel est le programme de cette opération ?

L'enjeu de ce programme est de réaliser une alternative à la maison de retraite. La parcelle est assez allongée, orientée Nord/Sud et munie d'un CES de 0,4. Nous n'imaginions pas une barre de logements dans ce parcellaire pavillonnaire. Nous avons donc proposé un collectif de 3 maisons, dans un esprit de quartier, qui intégrera, à terme, 11 logements. Au rez-de-chaussée se situent les logements des personnes âgées et au niveau 1 les familles plus jeunes. Un T2 que nous avons appelé « l'auberge » et qui est aujourd'hui une salle commune, pourra accueillir une infirmière qui s'occupera des soins et des urgences. Les logements traversants sont tous orientés Nord/Sud.

Le label passif nous est apparu comme étant un minimum pour cet ensemble. Trois séries de tests seront réalisées tous les 2 à 4 ans pour recueillir le retour des utilisateurs et corriger les défauts. L'objectif est d'être prêt pour la réglementation 2020.



5

## Résultat des mesures acoustiques

Les mesures effectuées montrent que les murs et planchers bois respectent les exigences acoustiques réglementaires dans les logements. Toutefois quelques mauvais résultats ont été observés au droit des gaines techniques, dans lesquelles ont été placées des gaines métalliques rigides limitant ainsi les pertes de charges. Ce défaut a été corrigé par la mise en place de pièges à son.

Le texte réglementaire applicable est l'Arrêté du 30 juin 1999. Les mesures sont réalisées selon la norme NFS 31-057.

RÉSULTATS DES MESURES ACOUSTIQUES ENTRE LOGEMENTS	Objectif en dB	Valeurs mesurées en dB
Isolement acoustique standardisé en vertical	DnT,A ≥ 53	57, 60, 59, 54, 59
Isolement acoustique standardisé en vertical	DnT,A ≥ 50	60, 59
Isolement acoustique standardisé en horizontal	DnT,A ≥ 53	43, 44, 45, 50, 48, 45
Isolement acoustique standardisé en horizontal	DnT,A ≥ 50	54

Il est toléré un écart de 3 dB vis-à-vis de l'objectif afin de tenir compte des incertitudes de mesure.  
Gris = conforme ou conforme dans l'incertitude de mesure.  
Rouge = non conforme à l'objectif.



4



Plan niveau rez-de-chaussée.



Coupe transversale sur les trois bâtiments



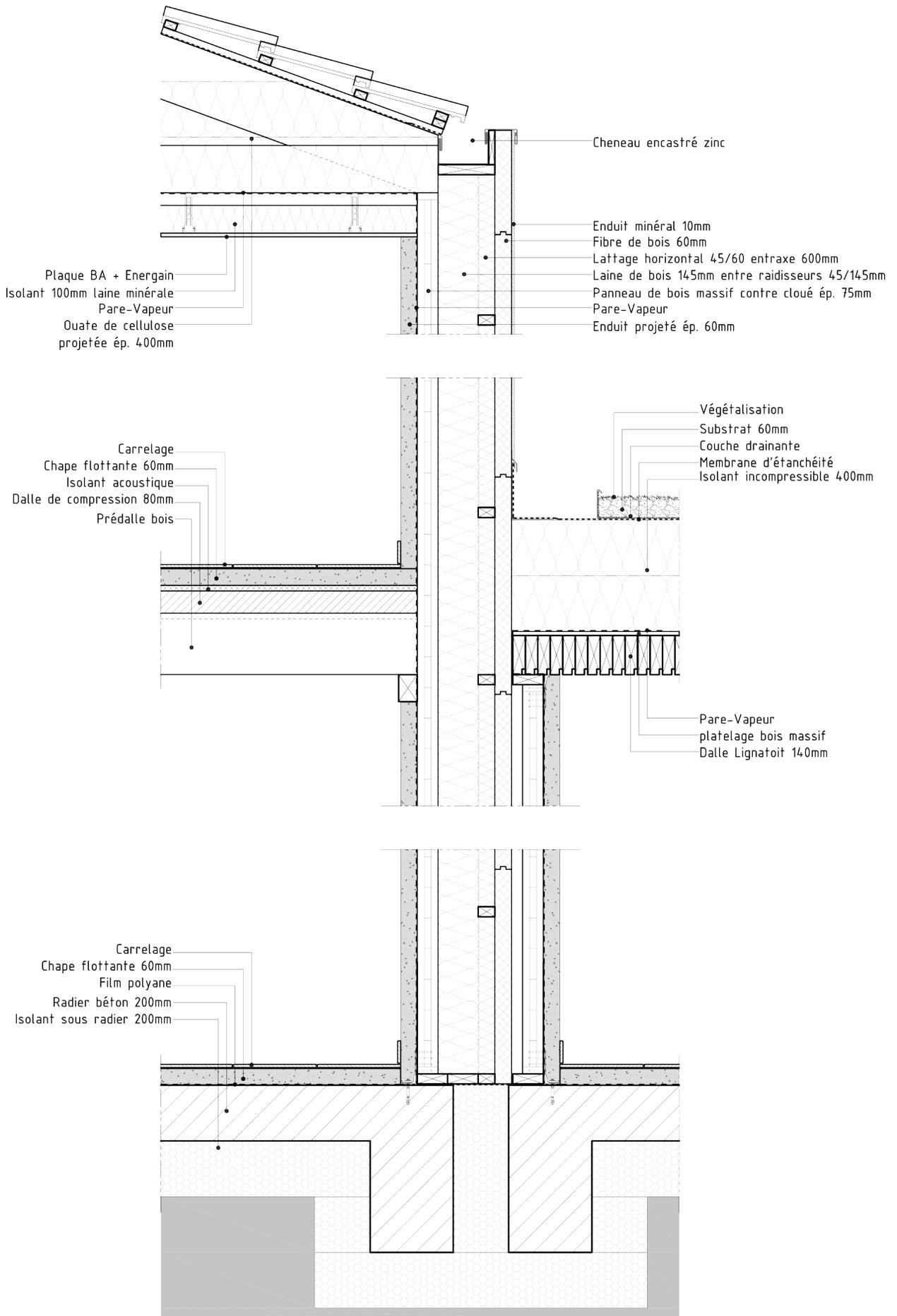
6



4 & 5\_Vues sur la maison ; on remarquera que le bardage bois est mis en œuvre uniquement dans les zones abritées. 6\_Vue sur balcon.

# Détails techniques

Coupe verticale sur plancher intermédiaire, charpente et toiture végétalisée.





Franck Janin  
HELIASOL  
expert thermicien

### Quel est le niveau de performance énergétique du bâtiment ?

Ce bâtiment est positif même en incluant l'électricité spécifique, l'éclairage, l'ordinateur, la machine à laver... Les consommations constatées sur 2 ans d'utilisation ont montré qu'il restait un peu d'énergie disponible, de l'ordre de 23kWh/m<sup>2</sup>, pour charger une voiture.

Nous disposons de capteurs photovoltaïques et thermiques et d'un réseau de chaleur avec une chaudière à granulés. Ce réseau se justifie par la présence de bureaux, qui sont également chauffés, mais un tel dispositif n'aurait pas d'intérêt pour seulement 12 logements.

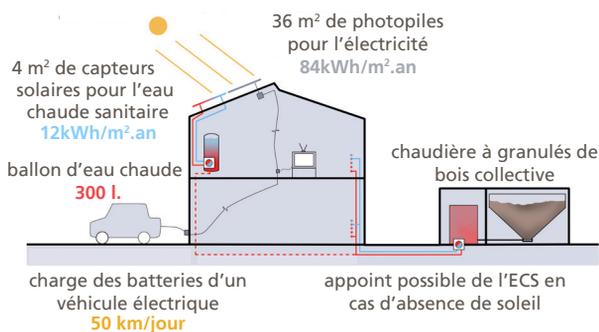
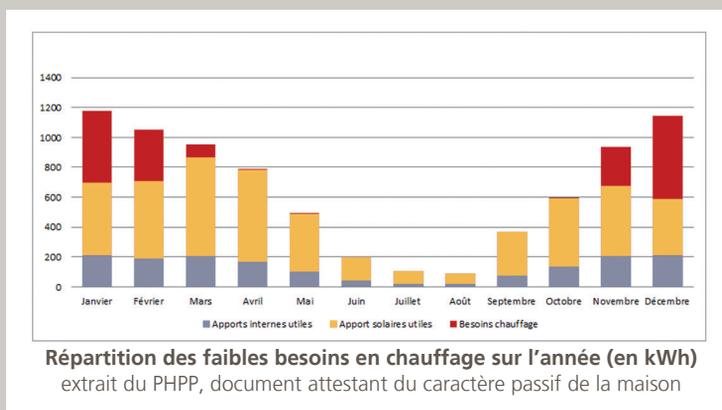
### Commentaires sur les besoins en chauffage :

Les besoins pour le chauffage sont signifiés en rouge, sur le schéma, les apports internes en gris et les apports solaires en jaune.

Les triples vitrages ont un bilan positif puisqu'ils permettent d'apporter plus en énergie que ce qu'ils perdent quand il n'y a pas d'apports solaires. Les apports solaires, même en Janvier, sont identiques au besoin de chauffage. On ne chauffe que de Novembre à Mars et très ponctuellement sur Avril et Mai selon le besoin.

## Performances thermiques

PAROIS	U déperdition surfacique W/m <sup>2</sup> K	Résistance Thermique 1/U
Plancher bas	0,161	6,2
Parois	0,141	7,1
Toiture	0,082	12,2



## Consommation par poste

DÉTAILS	BÂTIMENT (kWh ep/m <sup>2</sup> .an)
Chauffage bois	18,6
Refroidissement par géocooling	0
ECS bois	9,3
Auxiliaires	12
Electrodomestique + éclairage	56

## L'énergie grise

Dominique Molard  
architecte

### Quelle a été votre approche en énergie grise ?

Nous avons mené une réflexion sur l'énergie grise et les circuits courts. Les planchers Lignadal® en bois-béton, que nous avons mis au point et qui sont sous Avis Technique depuis 2000, ont été utilisés en plancher. Nous avons également utilisé des murs à base de planches croisées clouées, réalisés par des artisans locaux, avec des bois du Forez, proche du chantier.

L'énergie grise reste faible car il y a peu de transformation de la matière et pas de colle. La laine de bois a été utilisée comme isolant dans les murs et de la cellulose a été choisie pour les plafonds.

## Résultats des mesures d'infiltrométrie

Tests réalisés conformément aux normes NF EN 13 829 et GA P50-784.

LOGEMENT COLLECTIF	RT 2012 BEPOS Effinergie 2013	Q4Pa-surf	n50
		1	2,2
	0,8	-	
<b>Valeur moyenne</b>		<b>0,14</b>	<b>0,46</b>

Construction		Fonctionnement sur 30 ans	
CO <sub>2</sub> émis (béton, bois, acier, isolants) = 118 kg/m <sup>2</sup>	16t.	CO <sub>2</sub> émis (béton, bois, acier, isolants) = 480 kg/m <sup>2</sup>	65t.
CO <sub>2</sub> stocké (dans le bois de structure) = 518 kg/m <sup>2</sup>	70t.	CO <sub>2</sub> non émis (grâce à la production énergétique des photophiles)	77t. = 570 kg/m <sup>2</sup>
Économie réalisée = 400 kg/m <sup>2</sup>	54t.	<b>Bilan sur 30 ans</b>	
<b>Emission de CO<sub>2</sub></b>		CO <sub>2</sub> émis	81t.
		CO <sub>2</sub> stocké	70t.
		CO <sub>2</sub> non émis	77t.

## Le confort d'été

Franck Janin  
expert thermicien

### Comment est vécu le confort d'été ?

Le confort d'été s'avère correct. L'enduit chaux-sable de 6 cm sur les murs et les planchers collaborants bois-béton, en amenant un peu de masse, a permis de stocker la chaleur le jour et la déstocker la nuit. Nous avons pu constater des baisses importantes de température la nuit qui permettent de retrouver du confort le lendemain. La seule fois où la température est montée à 27°C à l'étage provenait d'une interruption de la ventilation nocturne causée par l'absence des locataires ou par la présence de moustiques... Nous remarquons d'ailleurs que l'on peut avoir du confort dans l'un des logements et pas dans l'autre, cela est lié aux différences de comportements des locataires.

## Volume de bois mis en oeuvre dans le bâtiment

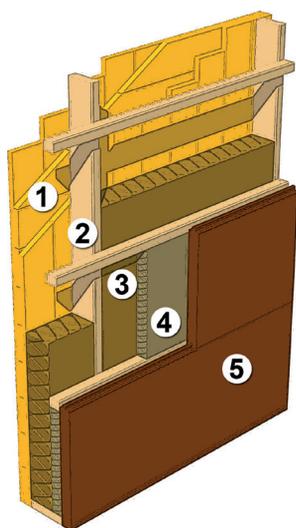
LOCALISATION	Plancher massif	Prémur bois	Bois lamellé collé	Bois massif	Panneaux	Isolation	Total
Cubage m <sup>3</sup>	14,4	17,3	19,9	15,4	7,5	23,3	97,8
Pourcentage	15%	18%	20%	16%	8%	24%	100%



8\_Pose de l'enduit à la chaux sur les parois intérieures afin d'améliorer le confort d'été. 9\_Levage des murs.

## Caractéristiques de l'opération

<b>Typologie</b>	8 logements et 1 espace communautaire répartis sur 3 maisons.
<b>Construction</b>	3 maisons en R+1, chacune regroupant 2 à 4 logements du T1 au T3 et 1 espace communautaire.
<b>Structure</b>	Mur porteur de type Lignapl <sup>®</sup> en panneaux de bois massifs contre-cloués de 75 mm suivis d'une double isolation croisée entre lisses bois de 145 mm et tasseaux horizontaux de 60 mm. Côté intérieur, un pare-vapeur suivi d'une projection d'enduit lourd chaux sable de 60 mm. Plancher collaborant type Lignadal <sup>®</sup> . Prédalle bois contre-clouée sous dalle de compression en béton, isolant acoustique, chape flottante humide et carrelage. La charpente transpose la technique de la ferme en bois massif. Toiture végétalisée pour l'espace communautaire.
<b>Isolation</b>	Plancher bas : 200 mm isolant polystyrène sous radier. Uplancher = 0,161 W/m <sup>2</sup> .k. Façade : 140 + 60 mm de laine de bois flexible entre lisses et tasseaux bois + 60 mm de fibre de bois rigide sous enduit ou bardage bois. Umurs = 0,141 W/m <sup>2</sup> .k. Toiture : 400 mm de fibre de cellulose par projection à plat sur faux plafond + 100 mm d'isolant complémentaire de laine minérale intérieure. Utoiture = 0,082 W/m <sup>2</sup> .k.
<b>Menuiserie extérieure</b>	Menuiseries extérieures bois-aluminium triple vitrage (excepté pour la 1 <sup>ère</sup> maison, dont le séjour est en double vitrage). Certifié Passiv'Haus.
<b>Vêture</b>	Bardage en Douglas et enduit minéral 10 mm sur isolant.
<b>Vitrage</b>	Triple vitrage bois Uf 0,72. Cadre 128 mm Ug 0,6, FS 0,49. Grande baie en double-vitrage, ouverture Sud.
<b>Occultation</b>	Brise soleil orientable à lamelles empilables.
<b>Protection solaire</b>	Auvent structure métallique avec des lamelles en bois.
<b>Ventilation</b>	VMC double flux collective avec récupérateur de chaleur. Rendement 92%.
<b>Chauffage</b>	Chaufferie collective aux granulés de bois, y compris un silo intégré. Radiateur sans inertie. Rendement 91%.
<b>Rafratchissement</b>	Récupération des eaux pluviales par cuve pour l'alimentation du plancher rafraîchissant.
<b>Eau chaude sanitaire</b>	Panneaux solaires thermiques (4 m <sup>2</sup> ) pour chauffe-eau solaire de 300 litres. Rendement 79%.
<b>Label</b>	Label Passiv'Haus certifié par Maison Passive France.
<b>Equipement panneaux solaires</b>	Panneaux solaires thermiques (4 m <sup>2</sup> ) pour l'ECS et solaires photovoltaïques (36 m <sup>2</sup> ) pour production d'électricité.
<b>Equipement divers</b>	Cuve enterrée de 5 000 litres de récupération d'eau pluviale pour les sanitaires et plancher.
<b>Equipement électrodomestique</b>	Traditionnel.



- 10** 1.Panneau de bois massif contre-cloué épaisseur 75 mm  
 2.Montants secondaires 45x145, entre-axes 1,20 m réduisant les affaiblissements thermiques  
 3.Isolation en laine de bois, épaisseur 145 mm entre montants  
 4.Isolation extérieure complémentaire en fibre de bois épaisseur 60 mm  
 5.Panneau de fibres de bois haute densité épaisseur 60 mm support d'enduit



## Prix HT de construction constatés

Les coûts présentés sont issus du décompte final transmis par l'architecte pour la construction de la maison 1. Les marchés ont été signés en 2010. Les lots indiqués en bleu correspondent aux lots bois.

DÉSIGNATION	Marchés HT Année 2010	Prix € HT/m <sup>2</sup> SHON	Prix €HT/m <sup>2</sup> SHAB	% montant du lot ramené au sous-total construction
		167,50 m <sup>2</sup>	134,40 m <sup>2</sup>	
Terrassement VRD	10 710 €	64	80	3,7%
Gros-oeuvre	38 808 €	232	289	13,5%
<b>Charpente ossature bois</b>	<b>69 908 €</b>	<b>417</b>	<b>520</b>	<b>24,4%</b>
<b>Menuiseries extérieures</b>	<b>21 389 €</b>	<b>128</b>	<b>159</b>	<b>7,5%</b>
Couverture-zinguerie	6 361 €	38	47	2,2%
Étanchéité	2 034 €	12	15	0,7%
<b>Clos couvert</b>	<b>149 210 €</b>	<b>891</b>	<b>1 110</b>	<b>52%</b>
<b>Menuiseries intérieures</b>	<b>3 285 €</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>1,1%</b>
Serrurerie	19 224 €	115	143	6,7%
Carrelage faïence	12 393 €	74	92	4,3%
Sols souples	2 067 €	12	15	0,7%
Cloisons doublage	10 383 €	62	77	3,6%
Peinture	Compris lot cloison doublage			
<b>Parachèvement</b>	<b>47 352 €</b>	<b>283</b>	<b>352</b>	<b>16,5%</b>
Électricité	9 572 €	57	71	3,3%
Plomberie-sanitaire	4 336 €	26	32	1,5%
VMC	Compris lot chauffage			
Chauffage	17 443 €	104	130	6,1%
Chaufferie	21 739 €	130	162	7,6%
Photovoltaïque	30 345 €	181	226	10,6%
Garage	1 441 €	9	11	0,5%
Réseaux*	5 521 €	33	41	1,9%
<b>Équipements</b>	<b>90 398 €</b>	<b>540</b>	<b>673</b>	<b>31,5%</b>
<b>Sous-total construction HT</b>	<b>286 960 €</b>	<b>1 713</b>	<b>2 135</b>	<b>100</b>
Aménagement extérieur	-	-	-	-
<b>Coût total construction HT</b>	<b>286 960 €</b>	<b>1 713</b>	<b>2 135</b>	

\* travaux raccordement électricité, réseau

10\_Eclaté de la composition d'un mur. 11\_Levage des murs. 12\_Levage des planchers en bois Lignadal®. 13\_Coulage de la dalle sur le plancher Lignadal®.

Ex

2

## Résidence l'Espéria à Montreuil-Juigné (49)

23 logements collectifs R+2



1

### Le programme

Réalisation de 23 logements répartis sur 2 bâtiments en R+2.  
Démarche en conception-réalisation.

### Les intervenants

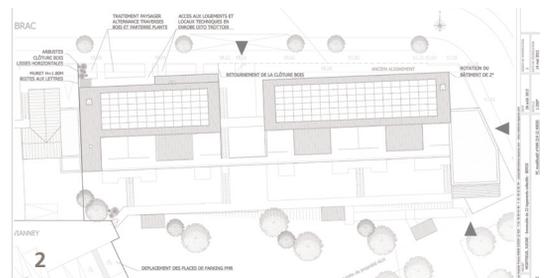
Maître d'ouvrage : Angers Loire Habitat (49)  
Architecte et étude thermique : Matières d'espaces (94)  
BE fluide : Matières d'espaces (94)  
BE charpente : Rousseau (49)  
BE acoustique : Accord Acoustique (49)  
Entreprise de charpente, mandataire du groupement :  
Entreprise Rousseau (charpente structure bardage bois,  
menuiseries extérieures et intérieures) (49)  
Bureau de contrôle : Socotec (49)

### Le choix constructif

Parking en sous-sol et infrastructure en prémurs béton.  
Murs ossature bois préfabriqués.  
Planchers séparatifs en solive bois lamellé-collé.  
Refends en voile bois massif pour assurer les contraintes structurelles et acoustiques.  
Charpente industrialisée et toiture terrasse bois accessible.  
Les parties communes extérieures limitent les nuisances et les contraintes de volumes chauffés et éclairés.

### Les caractéristiques générales

Livraison : 2014  
Surface SHON : 2 308 m<sup>2</sup>  
Surface habitable : 1 459 m<sup>2</sup>  
Surface de plancher : 1 602 m<sup>2</sup>  
Classement incendie : 2<sup>ème</sup> famille  
Coût total construction : 2 244 918 € HT



2



3



En bref

**Bbio : 25 kWh ep/m<sup>2</sup>.an**

**1. Cep BEPOS (hors Bois et EnR) : 7,5 kWh ep/m<sup>2</sup>.an**

Conso. en énergie primaire Cep : 46,2 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

**2. Conso. forfaitaire électrodomestique : 70 kWh ep/m<sup>2</sup>.an**

**3. Production photovoltaïque : 59,1 kWh ep/m<sup>2</sup>.an**

**Bilan BEPOS Effinergie (1+2)-3 = 18,5 kWh ep/m<sup>2</sup>.an**

Ecart autorisé : 23 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

Méthode de calcul (RT 2012).

## L'organisation du projet



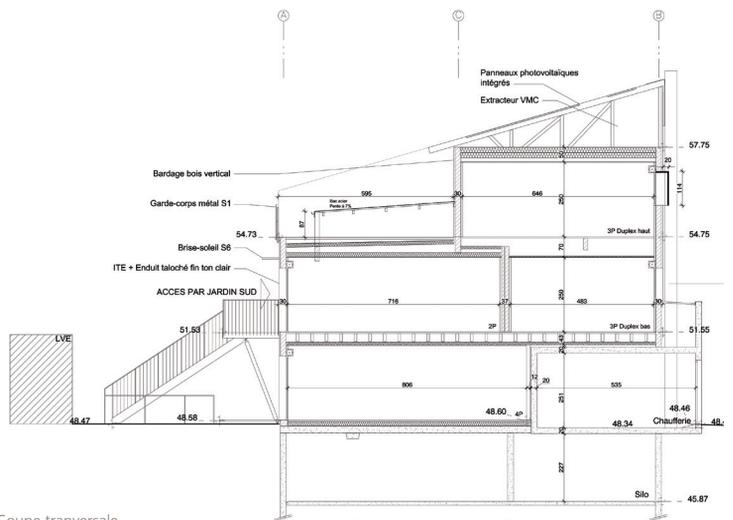
Clément Faure  
Matières d'Espaces  
architecte

### Pouvez-vous nous décrire le projet ?

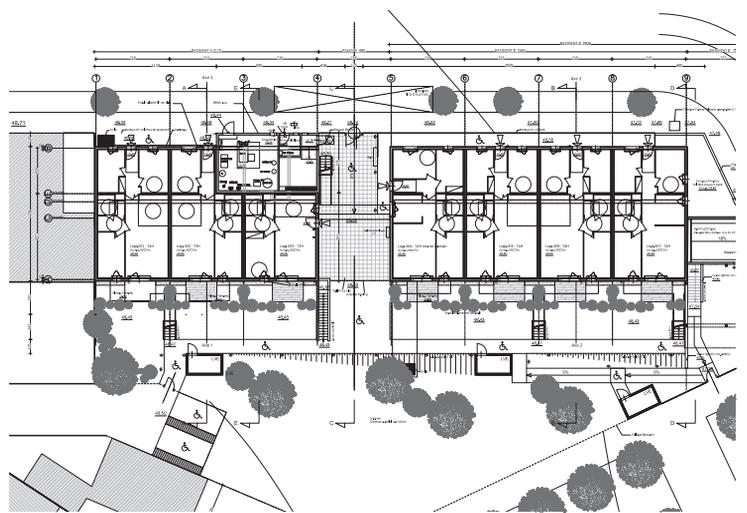
Cette opération, livrée en mars 2014, est issue d'un concours conception-réalisation pour la construction de 23 logements BEPOS. Cette méthode a permis d'arriver avec des solutions simples aux objectifs du maître d'ouvrage.

Sur un sous-sol complet nous trouvons de grands logements traversants en rez-de-chaussée, au niveau supérieur des 2 pièces mono-orientés et au 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étages des duplex. L'objectif était d'offrir à tous les logements une orientation Sud pour les pièces principales.

Les accès aux logements se font par des escaliers ou des coursives en façade Sud. Une gaine unique sur les 3 niveaux permet de rassembler les chutes, l'alimentation en chauffage et en eau de tous les logements. Nous avons voulu rester sur des solutions simples pour limiter l'entretien du matériel ; ainsi la VMC est une simple flux plutôt qu'une double flux. Par ailleurs, le bâtiment est tramé tous les 7 mètres.



Coupe transversale.



Plan du rez-de-chaussée.



## Résultats des mesures acoustiques

Clément Faure  
architecte

Les planchers sont constitués d'un solivage bois, sur lequel a été tirée une chape pour répondre aux exigences acoustiques. Les logements sont totalement désolidarisés sur le plan vertical, au niveau des refends, par une lame d'air. Les résultats des mesures sont conformes à la réglementation.

Le texte réglementaire applicable est l'Arrêté du 30 juin 1999.  
Les mesures sont réalisées selon la norme NFS 31-057.

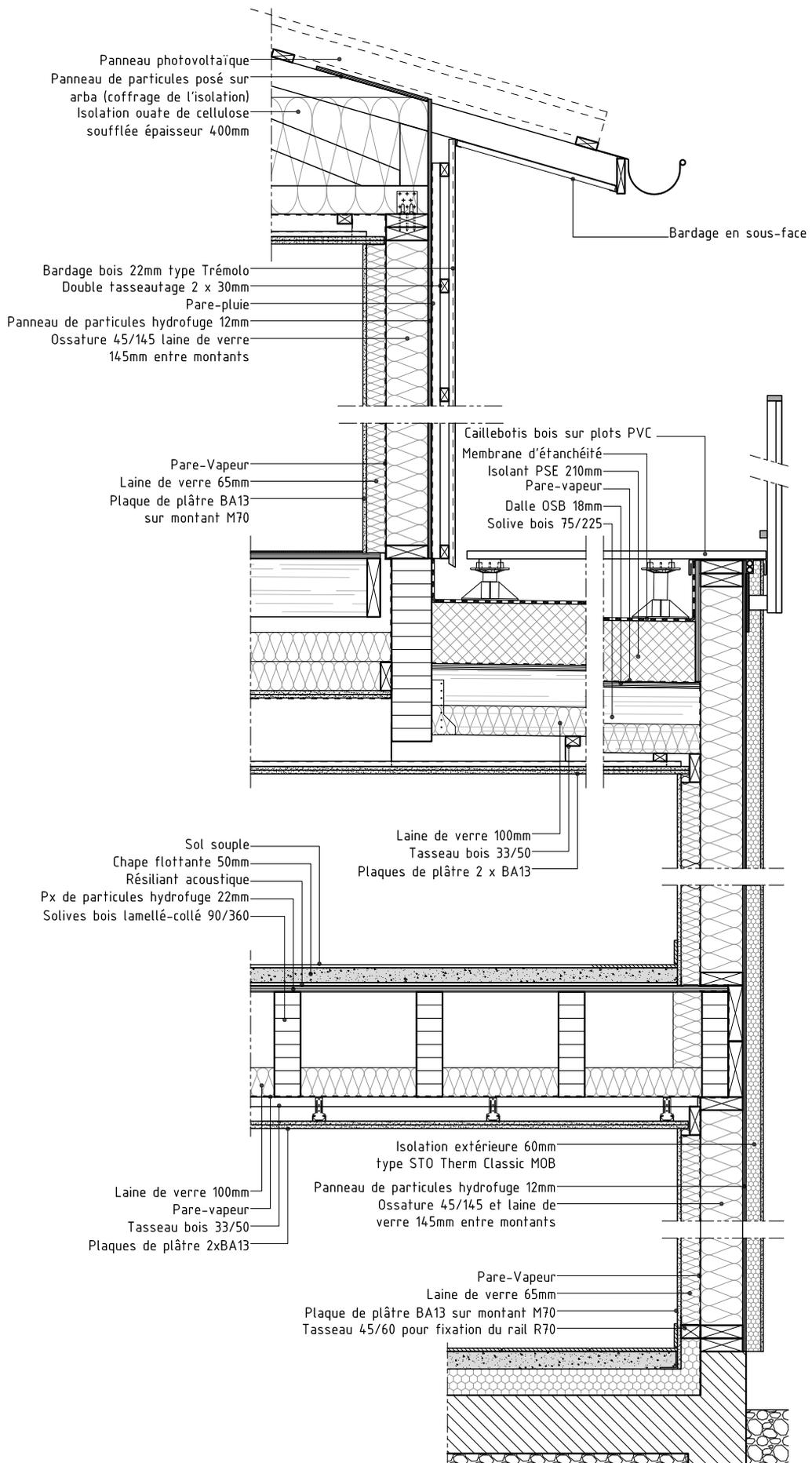
RÉSULTATS DES MESURES ACOUSTIQUES ENTRE LOGEMENTS	Objectif en dB	Valeurs mesurées en dB
Isolement acoustique standardisé en vertical	$DnT,A \geq 53$	63, 64, 63
Isolement acoustique standardisé en horizontal	$DnT,A \geq 50$	61, 57, 56, 54, 53, 55, 57, 55, 54
Niveau de bruit de choc en vertical	$L'nT,w \leq 55$	37, 43, 45, 33
Niveau de bruit de choc en horizontal	$L'nT,w \leq 55$	48, 38
Isolement de façade	$DnT,A,Tr \geq 30$	31, 32, 33, 41

Il est toléré un écart de 3 dB vis-à-vis de l'objectif afin de tenir compte des incertitudes de mesure.  
Gris = conforme ou conforme dans l'incertitude de mesure.  
Rouge = non conforme à l'objectif.

4\_Vue aérienne du chantier.

# Détails techniques

Coupe verticale sur les trois niveaux de logements.



## La consommation d'énergie



Nicolas Desvignes  
Matériaux d'Espaces  
expert thermicien

Le maître d'ouvrage souhaitait un bâtiment à énergie positive, afin d'anticiper la réglementation 2020 et découvrir les problématiques et surcoût que cela pouvait entraîner.

Nous avons fait entrer le bâtiment dans le label BEPOS d'effinergie, qui était en cours d'élaboration. Dans la RT 2012, le bois énergie n'était pas considéré comme énergie renouvelable, ce qui est le cas pour le label BEPOS Effinergie. Un réel avantage pour le bois !

Désormais il y a un contrôle des systèmes de ventilation, ce qui a un impact sur les consommations énergétiques et la qualité de l'air. Nous sommes passés de l'étanchéité à l'air avec le BBC à l'étanchéité des réseaux de ventilation avec le BEPOS.

L'électricité spécifique est également prise en compte. Ce poste n'intervient pas dans la conception de l'ouvrage habituellement, mais, vu son importance, il devient nécessaire que l'habitant commence à considérer cette consommation domestique.

Si on analyse les consommations réelles d'un bâtiment, nous constatons qu'environ 30% de ses consommations ne sont pas prises en compte dans la réglementation. Il est donc nécessaire de penser un peu « au-delà » de la RT 2012.

Sur ce projet, un important travail a été fait sur les distributions collectives de chaleur. Bien sûr en isolant fortement les réseaux mais également les vannes, les coudes et l'ensemble des organes en chaufferie, ce que l'on ne fait jamais habituellement. Bilan pour ces distributions : réduction de 15% des consommations totales du projet chauffage et ECS !

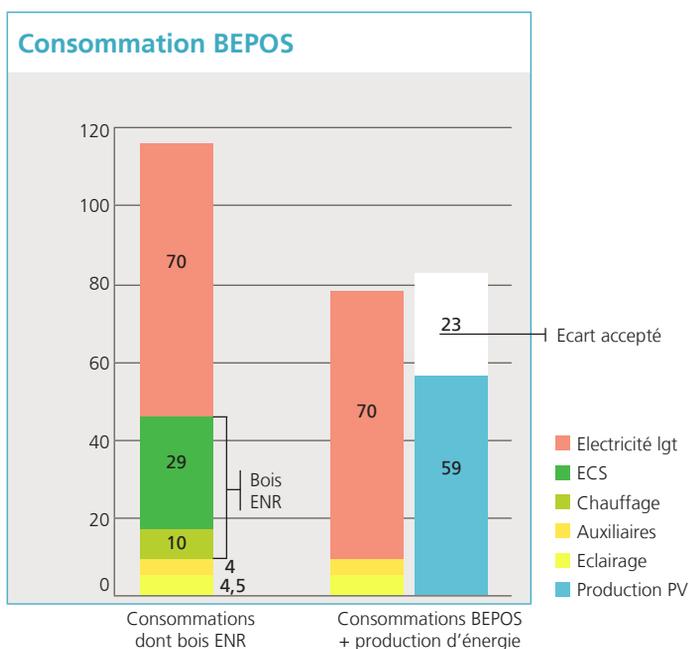
## L'étanchéité à l'air

Clément Faure  
architecte

Nous avons été vigilants sur l'étanchéité à l'air, avec une formation des corps d'état secondaires. L'important était le respect des ouvrages sur le chantier, par les ouvriers des différents lots, notamment pour l'étanchéité à l'air. Si les lots du clos couvert avaient déjà cette sensibilisation, ce n'était pas le cas pour les plaquistes, électriciens, plombiers.

Le gain d'étanchéité à l'air obtenu par rapport à la RT 2012 correspond au gain qu'auraient amené 5 cm d'isolation supplémentaires.

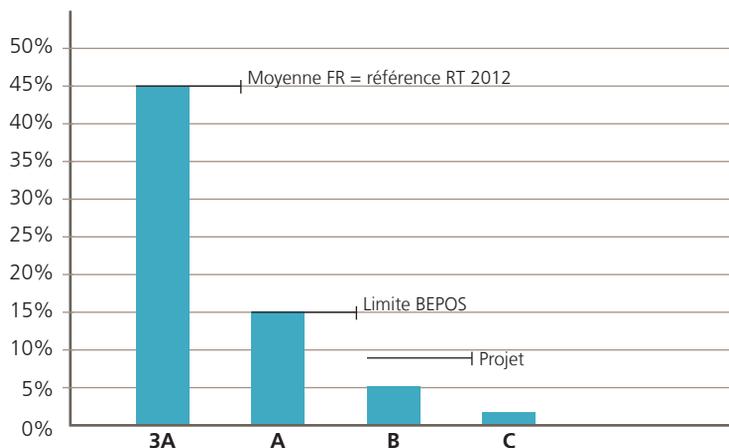
RÉSULTAT DES TESTS D'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR	Q4 (m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> )
Bâtiment A	0,55
Bâtiment B	0,47



A gauche apparaît l'ensemble des consommations énergétiques tandis qu'à droite, la part d'énergie liée au bois disparaît dans le cadre du BEPOS.

## Impératif BEPOS : l'étanchéité des réseaux

Les fuites des réseaux de ventilation représentent en moyenne 10% des consommations de chauffage d'un bâtiment RT 2012.



Mesure de l'étanchéité du réseau. Ratio : fuites / débit VMC hygro B.

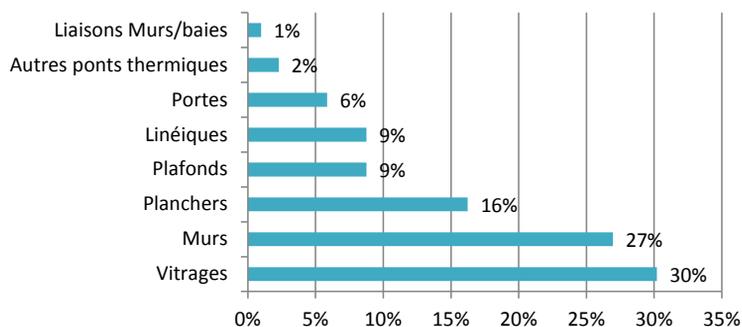


Tableau de répartition des déperditions dans le bâtiment.

## Energie grise utilisée à la construction Projet BEPOS = 15%

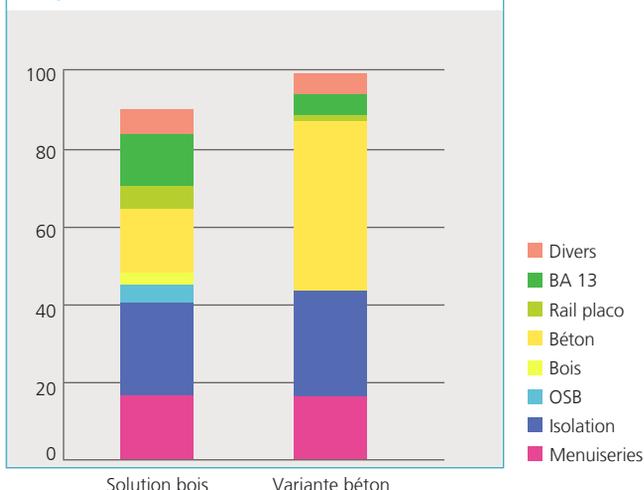


Schéma de comparaison des solutions bois ou béton.

## Energie grise : comparaison des solutions bois ou béton

Une simulation de l'impact en énergie grise a été réalisée entre une solution bois et une solution béton. Le schéma ci-contre restitue cette comparaison ; l'utilisation du bois permet de réduire de 50% l'impact du béton et, au global, c'est un gain de 15% sur l'ensemble de l'ouvrage.



## Caractéristiques de l'opération

<b>Typologie</b>	23 logements répartis sur 2 bâtiments avec 8 T2, 10 T3 en duplex et 5 T4.
<b>Construction</b>	Sous-sol enterré avec 24 places de stationnement et silo de stockage granulé bois. Chaudière bois collective en rez-de-chaussée. 2 bâtiments distincts en R+2, logements superposés et accolés, majoritairement traversants, avec accès depuis des escaliers extérieurs. Toiture terrasse accessible servant de coursive et espace privatif.
<b>Structure</b>	Structure mixte ossature bois et refends en panneaux de bois massif contre-collés. Plancher bois lamellé-collé, charpente industrialisée, toiture terrasse accessible.
<b>Isolation</b>	Plancher bas : 100 mm de polyuréthane R = 4,5 m <sup>2</sup> .K/W. R+1 et R+2 : murs : 145 mm de laine minérale haute performance entre ossature + 65 mm en intérieur R = 6,2 m <sup>2</sup> .K/W. RDC : idem, 60 mm en isolation extérieure support d'enduit, type STO THERM CLASSIC MOB. Toiture pente : 400 mm de ouate de cellulose soufflée après tassement, R = 10 m <sup>2</sup> .K/W. Toiture terrasse : 100 mm de laine de verre entre-chevron et 210 mm PSE sous étanchéité.
<b>Menuiserie extérieure</b>	Menuiserie extérieure PVC.
<b>Vêture</b>	Enduit type STO THERM CLASSIC MOB en rez-de-chaussée. Bardage vertical en Douglas aspect faux claire-voie 22 mm.
<b>Vitrage</b>	Double vitrage. U = 1,4 W/m <sup>2</sup> .K.
<b>Occultation</b>	Volet roulant.
<b>Protection solaire</b>	RDC par balcon supérieur, R+1 par brise-soleil fixe, R+2 par débord de toiture.
<b>Ventilation</b>	VMC simple flux hygroréglable B.
<b>Chauffage</b>	Chaudière collective granulés de bois. Rendement 93%.
<b>Rafraîchissement</b>	Ventilation naturelle.
<b>Eau chaude sanitaire</b>	Chaudière collective granulés de bois. Rendement 93%.
<b>Label</b>	BEPOS Effinergie 2013.
<b>Équipement panneau solaire</b>	Panneaux solaires photovoltaïques pour production d'électricité et compensation des consommations électriques communes et domestiques, 224 m <sup>2</sup>
<b>Équipement divers</b>	Sur-isolation des distributions de chauffage et ECS.



5



6



7



8

## Prix HT de construction constatés

Les coûts présentés sont issus du décompte des situations à fin Mars 2014 transmis par l'architecte (marchés et avenants). Les lots indiqués en bleu correspondent aux lots bois.

DÉSIGNATION	Marchés HT décompte situations mars 2014	Prix € HT/m <sup>2</sup> SHON	Prix € HT/m <sup>2</sup> SHAB	% montant du lot ramené au sous-total construction
		2 308 m <sup>2</sup>	1 459 m <sup>2</sup>	
VRD	Compris lot gros oeuvre			
Gros-oeuvre	415 751 €	180	285	18,5%
<b>Charpente bois</b>	<b>621 963 €</b>	<b>269</b>	<b>426</b>	<b>27,7%</b>
Menuiseries extérieures	87 422 €	38	60	3,9%
Serrurerie	130 000 €	56	89	5,8%
Couverture	38 391 €	17	26	1,7%
Étanchéité	45 847 €	20	31	2%
Isolation extérieure	48 088 €	21	33	2,1%
Clos couvert	1 387 462 €	601	951	61,8%
<b>Menuiseries intérieures</b>	<b>54 876 €</b>	<b>24</b>	<b>38</b>	<b>2,4%</b>
Sols scellés	54 821 €	24	38	2,4%
Cloisons doublage	136 863 €	59	94	6,1%
Sols souples	Compris lot peinture			
Peinture	112 449 €	49	77	5%
Parachèvement	359 009 €	156	246	16%
Électricité	195 543 €	85	134	8,7%
Plomberie	Compris lot chauffage			
VMC	Compris lot chauffage			
Chauffage	302 904 €	131	208	13,5%
Photovoltaïque	Compris lot électricité			
Équipements	498 447 €	216	342	22,2%
<b>Sous-total construction HT</b>	<b>2 244 918 €</b>	<b>973</b>	<b>1 539</b>	<b>100%</b>
Aménagement extérieur	-	-	-	-
<b>Coût total construction HT</b>	<b>2 244 918 €</b>	<b>973</b>	<b>1 539</b>	

5 & 6\_Détail façade Nord. 7\_Façade Sud, courcives et terrasses. 8\_Pose des panneaux photovoltaïques.

Ex

3

## Groupe scolaire A. de Saint-Exupéry, à Pantin (93)

Energie et démarche HQE®



1

### Le programme

Groupe scolaire comprenant 4 classes maternelles, 8 classes élémentaires, 1 centre de loisirs et 1 restaurant scolaire. L'ensemble, réparti sur 3 bâtiments, peut accueillir 450 enfants.

### Les intervenants

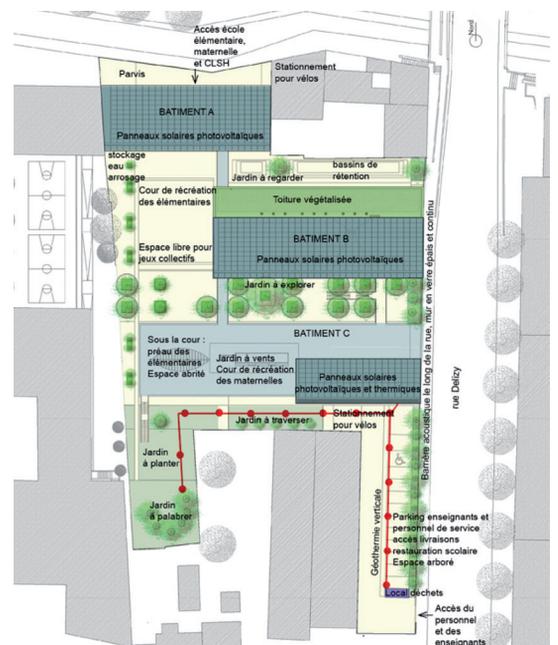
Maîtrise d'ouvrage : Ville de Pantin (93)  
AMO HQE : Tribu (75)  
Maîtrise d'œuvre : Atelier Méandre (93)  
BE fluide & thermique : ALTO Ingénierie (77)  
BE structure bois : Anglade Structure Bois (66)  
BE structure béton : EVP (75)  
Acousticien : Acoustique Vivie & Associés (75)  
Panorma paysage, ATPI, Novorest, cabinet Poncet, SD Ingénierie  
Entreprise bois : Aux Charpentiers de France (91)  
BE étanchéité à l'air : Manexi (92)  
Entreprise menuiseries : Daubigny (39)  
Bureau de contrôle : Socotec (93)

### Le choix constructif

Voile béton en pignon, refend et circulation verticale, isolé par l'extérieur.  
Structure mixte bois, poteau-poutre lamell-collé et ossature bois. Plancher bois.  
Toiture charpente bois et terrasse accessible.

### Les caractéristiques générales

Livraison : Septembre 2010  
Surface SHON : 3 570 m<sup>2</sup>  
Surface terrain : 5 000 m<sup>2</sup>  
Classement incendie : ERP type R ; salle polyvalente type L ; restaurant type N.  
Coût total des travaux non actualisé : 10 010 951 € HT



En bref

- Déperdition thermique Ubat : 0.44 W/m<sup>2</sup>.K
- 1. Conso. en énergie primaire Cep : 53 kWh ep/m<sup>2</sup>.an
- 2. Conso. forfaitaire électrodomestique : non prise en compte
- 3. Production photovoltaïque : 78 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

Bilan BEPOS (1+2)-3 = -25 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

Méthode de calcul (RT 2005).

1\_Vue de la cour de récréation des cours élémentaires.

## L'organisation du projet



Emmanuelle Patte  
Agence Méandre-ETC  
architecte

### En quoi cette école zéro énergie est-elle différente d'une construction traditionnelle ?

Cette école zéro énergie est différente : dès l'esquisse et jusqu'au chantier, nous avons pensé aux économies d'énergie, afin d'avoir à en consommer le moins possible, pour contribuer à la survie de l'humanité sur « cette terre qui est quelquefois si jolie » comme disait Prévert. Donc économiser de l'énergie, oui, mais il faut également avoir du plaisir à vivre dans cette école et autour de celle-ci. Le plaisir des matériaux, des espaces, de la lumière, des vues, des températures, de l'air pour bien respirer, de l'acoustique pour bien entendre ce que dit le maître ou la maîtresse, le plaisir de bouger dans les couloirs, les escaliers ou les cours de récréation. Ce qui est difficile et nouveau, c'est d'obtenir tout cela sans avoir recours à des systèmes technologiques énergivores. Par exemple qu'il fasse frais à l'intérieur du bâtiment l'été sans mettre de climatisation mais grâce à la masse thermique, c'est-à-dire aux murs en béton à l'intérieur, qui stockent la fraîcheur la nuit et la redistribuent pendant les journées chaudes.

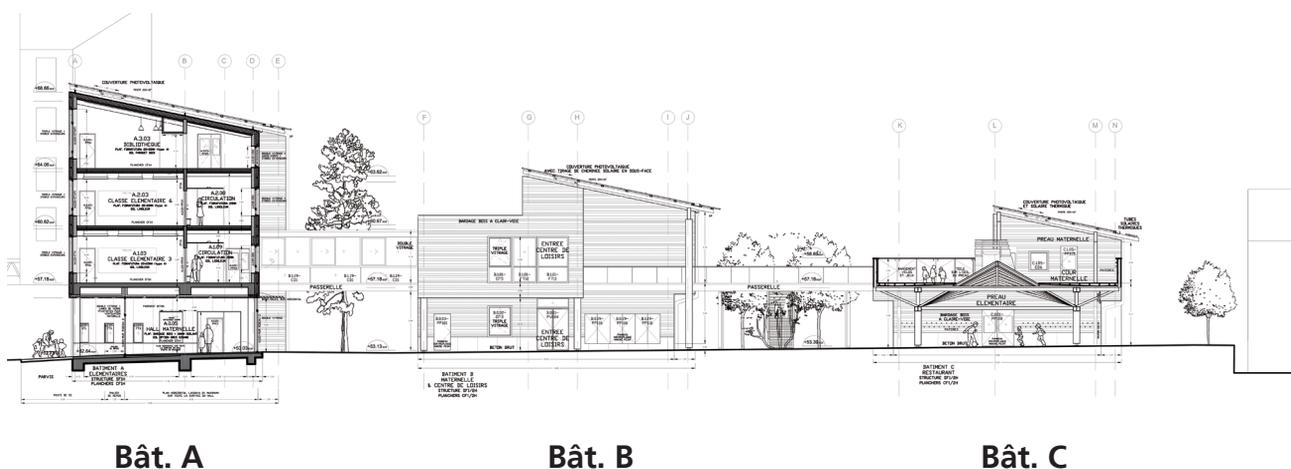
### Quelle est votre méthode pour atteindre ces objectifs ?

Pour arriver à ce confort, il faut dès le départ penser à l'orientation des bâtiments, isoler par l'extérieur, prévoir des protections solaires, créer des espaces tampons. Nous dessinons avec la connaissance que nous avons du climat et notamment de la course du soleil. Puis nous vérifions avec des simulations thermiques dynamiques pour nous assurer d'atteindre, tous les jours de l'année, les meilleures conditions de confort tout en limitant les consommations d'énergie.

Comme cela ne marche pas du premier coup, nous modifions les façades, améliorons l'isolation, varions les paramètres pour arriver à la plus basse consommation possible de manière à équilibrer avec la production des capteurs photovoltaïques installés en toiture des trois bâtiments et à atteindre le zéro énergie. Ça, c'est nouveau !

### Quels en seront les avantages pour les enfants scolarisés ?

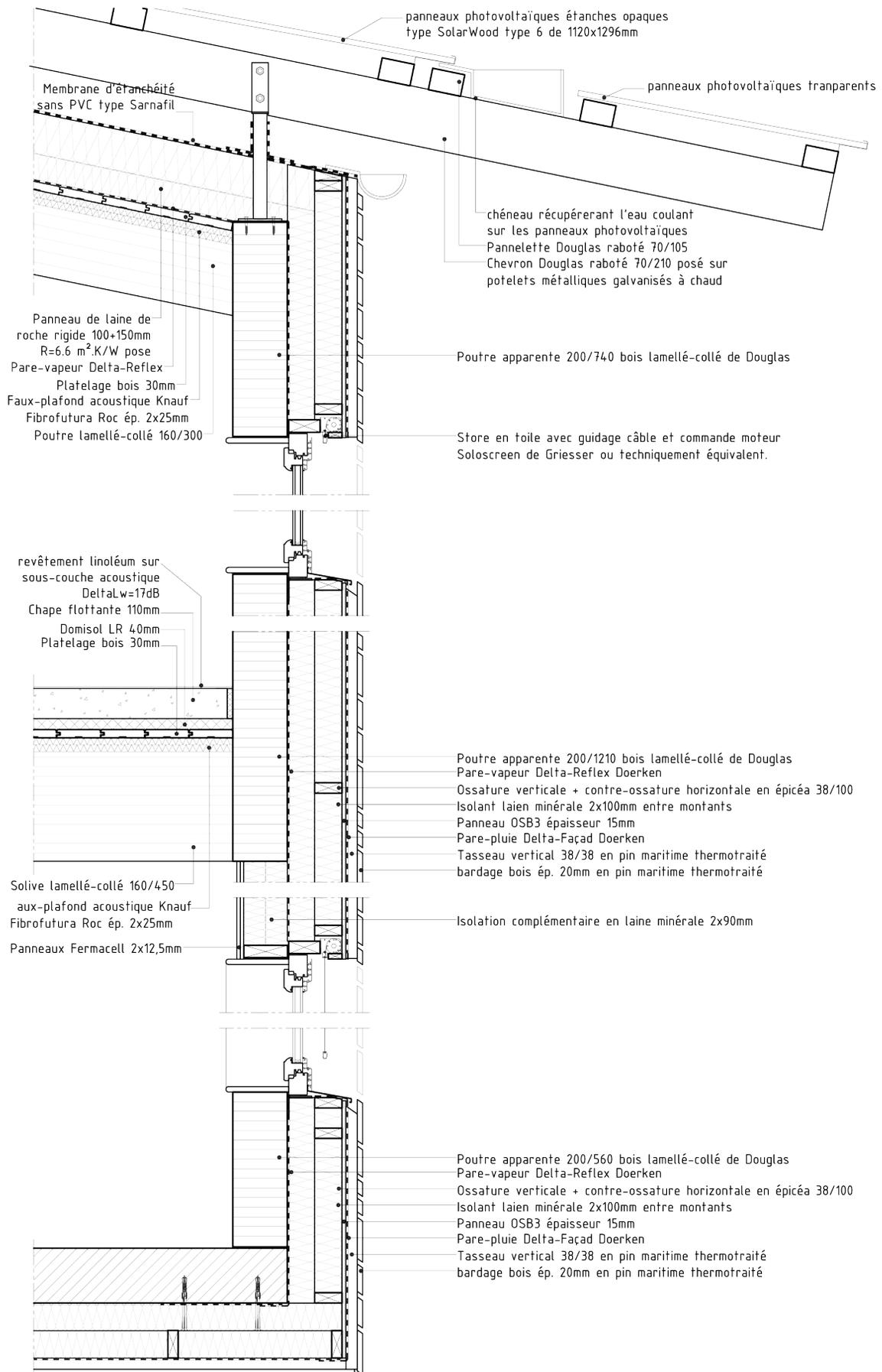
C'est une aventure pour les enfants, comme cela l'a été pour nous. Les utilisateurs, enseignants, enfants et services de la ville apprennent et inventent de nouvelles manières d'habiter, d'entretenir cette école. Par exemple, l'hiver il n'est pas nécessaire d'ouvrir les fenêtres car le bâtiment est ventilé grâce à un système de double flux très économe où l'air neuf est préchauffé en récupérant la chaleur. Tandis que l'été, au contraire, il faudra ouvrir pour ventiler naturellement, rafraîchir la nuit, fermer les stores le jour, etc. C'est un peu comme avoir une garde-robe d'hiver et une d'été. C'est une nouvelle façon d'habiter, plus vivante, plus attentive au climat que celle à laquelle on s'est habitué dans la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle où nous sommes pris en charge par une technologie énergivore dispendieuse. Il y aura aussi des tas d'autres expériences autour de l'environnement, comme les économies d'eau, ou la biodiversité. Il y aura un potager pédagogique.



2\_Levage des poutres lamellé-collées en Douglas, laissées apparentes. 3\_Passerelle reliant le bâtiment B au bâtiment C. 4\_Pignon du bâtiment B.

# Détails techniques

Coupe verticale et détails sur murs, planchers et toiture en façade sud.



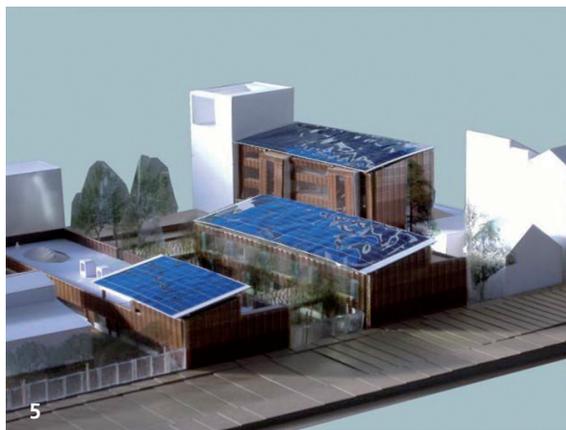
## La consommation d'énergie

- 1 168 m<sup>2</sup> de toiture photovoltaïque.
- Production de 110 500 kWh/an basculés sur le réseau ERDF.
- 12 m<sup>2</sup> de panneaux solaires thermiques qui permettent de satisfaire 50% des besoins en eau chaude sanitaire du restaurant scolaire et de l'office.

Les plus importantes consommations énergétiques du bâtiment sont enregistrées au niveau de la restauration.

La consommation d'électricité totale du bâtiment devrait s'élever à 100 000 kWh par an (les panneaux photovoltaïques devraient en produire autant).

L'objectif de l'ensemble des consommations annuelles (chauffage, ventilation, ECS, auxiliaire, cuisine en liaison froide, bureautique, éclairage) n'excède pas 110 000 kWh soit 27 kWh/m<sup>2</sup>.an. Elles sont compensées par la production d'électricité des 1 168 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques installés sur les toitures des trois bâtiments.



## Lumière naturelle et cadre de vie

La meilleure lumière, c'est la lumière du jour.

De larges baies vitrées dans les classes orientées majoritairement au nord évitent l'éblouissement.

Un système de puits de lumière sous coupole en toiture permet, avec un conduit réflecteur et des lentilles, la diffusion de la lumière naturelle dans les salles de cours les moins bien exposées.

L'éclairage artificiel est prévu avec des appareils performants, privilégiant l'emploi de sources économes en énergie et une variation de la lumière suivant la luminosité naturelle extérieure.



## Le bois, matériau d'architecture

Le bois est utilisé comme matériau de construction pour ses qualités environnementales (matériau renouvelable, local, stockant le CO<sub>2</sub>), ses performances techniques (portée, préfabrication, rapidité, précision et propreté de mise en œuvre, savoir-faire des charpentiers) mais aussi pour ses qualités sensorielles et esthétiques (chaleur au toucher et à l'œil, correction acoustique).

La structure bois est apparente à l'intérieur, dans les salles de classe. Elle était préfabriquée en atelier pendant que les murs en béton étaient montés sur le site.

## Acoustique

- L'école est ouverte sur la ville vers le canal mais aussi vers le mouvement de la rue Delizy, avec un mur acoustique de pavés de verre qui donne une vision kaléidoscopique.
- Une attention toute particulière a été apportée à l'acoustique notamment à l'isolation phonique par rapport à la proximité d'une rue à fort trafic. Cela a nécessité la mise au point, au cours du chantier, d'un triple vitrage à haute performance acoustique (une première en France).
- Dans les classes, une correction intérieure a été obtenue grâce à un plafond en fibre acoustique.

## Volume de bois mis en œuvre

Volume de bois dans l'ouvrage : 440 m<sup>3</sup>.

## Consommation par poste

DÉTAILS	BÂTIMENT A (kWh ep/m <sup>2</sup> .an)
Chauffage	4,82
Refroidissement	0
ECS	0
Ventilation	31,76
Éclairage	13,93
Auxiliaires	2,60
Production photovoltaïque	78,65
Électrodomestique forfaitaire	non concerné (calcul selon la RT 2005)

## Choix environnemental des matériaux et énergie grise

En phase études, nous avons fait, avec la société Énergies Demain, un calcul de l'impact environnemental du bâtiment construction, exploitation et déconstruction sur 5 indicateurs : consommation d'énergie, consommation d'eau, émission de CO<sub>2</sub>, déchets radioactifs, déchets ultimes. Ce travail a été mené sur le logiciel Econsten avec la base de données Ecoinvent et présenté lors d'un ICEB Café.

C'est une première, avec beaucoup d'imprécisions et aucun moyen de comparer avec d'autres bâtiments. Nous avons donc été amenés à modéliser des variantes pour nous auto-comparer. Dans un bâtiment zéro énergie, il n'y a pas de consommation d'énergie pendant la phase exploitation. Du coup, la dépense énergétique pour la construction (dite énergie grise), qui autrefois paraissait négligeable, devient importante.

## Caractéristiques de l'opération

<b>Typologie</b>	Groupe scolaire comprenant 4 classes maternelles, 8 classes élémentaires, 1 centre de loisirs et 1 restaurant scolaire. L'ensemble réparti sur 3 bâtiments peut accueillir 450 enfants.
<b>Structure</b>	Murs pignons, refends et circulations verticales en béton. Façades vitrées porteuses, planchers, charpente, toiture et préau en bois lamellé-collé Douglas. Étage : ossatures extérieures en Sapin de pays (provenance Jura) traité classe 2. Escaliers intérieurs : Chêne massif laissé au naturel.
<b>Isolation</b>	Mur extérieur : 200 mm de laine minérale ( $R = 4,2 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ ). 200 mm d'ossature bois, ( $R \text{ total} = 5,9 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ ), $U = 0,15 \text{ W} \cdot \text{m}^2 / \text{C}$ . Dalle rez-de-chaussée : 60 mm de polystyrène extrudé ( $R = 2 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ ).
<b>Acoustique</b>	Ouverture sur le mouvement de la rue Delizy protection avec un mur acoustique de pavés de verre. Une correction intérieure (salle de classe) avec un plafond en fibre acoustique. Renforcé dans la salle de restauration par rapport à la réglementation ( $Tr = 0,8s$ au lieu de 1,2s) par le traitement en plafond et en parois verticales.
<b>Étanchéité à l'air</b>	Traitement de l'étanchéité à l'air : 0,6 vol h à 50 pascal.
<b>Menuiseries extérieures</b>	Menuiseries extérieures bois/alu. Avec vitrage 4/4/4, remplissage argon.
<b>Vêture</b>	Lame de bardage en Pin Maritime thermo-traité (ép. 20 mm à largeur variable 145 mm, 98 mm, 49 mm).
<b>Vitrage</b>	Triple vitrage très isolants thermiquement et acoustiquement au Nord. Double vitrage au Sud, $U_{w} = 0,8 \text{ W}/\text{C} \cdot \text{m}^2$ .
<b>Occultation</b>	Bâtiment A : Stores extérieures en tissus (Nord) $FS = 0,3$ et stores extérieurs en tissus et bardage bois au niveau des escaliers (Sud). Bâtiment B : aucune protection solaire (Nord) et stores extérieurs en tissus ( $FS = 0,25$ ). Bâtiment C : pas de protection solaire.
<b>Ventilation</b>	Réduction des besoins : pas de système de climatisation mais des enveloppes performantes qui isolent en été et en hiver, des ouvrants dans chaque pièce et un système de ventilation mécanique double-flux à haut rendement. Utilisation des énergies renouvelables : sur-ventilation naturelle nocturne avec des ouvrants traversants et une cheminée solaire avec un tirage en toiture sous les panneaux photovoltaïques qui génèrent de la chaleur.
<b>Chauffage</b>	Réduction des besoins : bâtiments compacts, enveloppes performantes, consignes de températures basses. Utilisation des énergies renouvelables : radiateurs basse température alimentés avec une eau à 35°C chauffée par une pompe à chaleur composée de 15 sondes géothermiques.
<b>Éclairage</b>	Réduction des besoins : des façades vitrées dans chaque pièce, un nombre de luminaires réduit au minimum pour assurer le confort visuel, des cellules photosensibles qui régulent la lumière artificielle en fonction de la lumière naturelle, une coupure générale de l'éclairage le soir. Principalement de l'éclairage naturel. Bâtiment B : R+1, éclairage naturel au Nord, tubes solaires, au rez-de-chaussée, une solution de SolarSpot. Bâtiment C : puits de lumière pour éclairer le restaurant scolaire.
<b>Eau chaude sanitaire</b>	Réduction des points d'alimentations en eau chaude. Utilisation des énergies renouvelables : 12 m <sup>2</sup> de panneaux solaires thermiques qui permettent de satisfaire 50% des besoins en eau chaude sanitaire du restaurant scolaire et de l'office avec un appoint par la PAC.
<b>Équipements</b>	Réduction du nombre d'équipements et de leurs puissances surtout dans le restaurant et l'office. Utilisation des énergies renouvelables : alimentation du lave-vaisselle directement en eau chaude produite par les tubes solaires thermiques.
<b>Espaces extérieurs</b>	Continuité visuelle avec le canal. Jardin en contre bas pour protéger des bruits de la rue. Arbres choisis et positionnés pour ne pas faire de l'ombre aux capteurs photovoltaïques. Cheminements extérieurs éclairés par des spots en sous face des passerelles (limite la pollution lumineuse).
<b>Label</b>	Haute Qualité Environnementale Zéro Energie.
<b>Santé, qualité de l'air et confort olfactif</b>	Débit d'air hygiénique fixé à 25 m <sup>3</sup> /h/personne dans tous les locaux. Ballons ECS à proximité des points de puisage. Utilisation de matériaux massifs et limitation des colles, peintures et vernis. Limitation des émissions de COV, bois non traité.
<b>Pérennité et performances environnementales</b>	Mise en place d'un système de régulation des équipements. Facilité d'accès aux systèmes pour l'entretien et la maintenance. Locaux évolutifs. Surfaces extérieures en béton pour pouvoir les nettoyer. Végétation nécessitant peu d'entretien. Bardage en essence naturellement durable. Vitrage auto-nettoyant avec un entretien annuel. Capteurs photovoltaïques auto-nettoyants.
<b>Économie eau potable</b>	Récupération des eaux pluviales pour les toilettes élémentaires en rez-de-chaussée.
<b>Déchets d'activité</b>	Circuit des déchets avec collecte sélective dans la cour et le restaurant : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Déchets organiques compostables</li> <li>• Déchets papiers recyclables</li> <li>• Autres déchets</li> </ul>



## Prix HT de construction constatés

Les coûts présentés sont issus du suivi financier transmis par l'architecte en date d'avril 2011. Les lots indiqués en bleu correspondent aux lots bois.

DÉSIGNATION	Marchés HT suivi financier d'avril 2011	Prix € HT/m <sup>2</sup> SHON	Prix € HT/m <sup>2</sup> SHAB	% montant du lot ramené au sous-total construction
		3 570 m <sup>2</sup>	2 600 m <sup>2</sup>	
VRD	Compris lot VRD, sols, clôtures, mobiliers, jeux			
Fondations spéciales	185 153 €	52	71	2,0%
Gros oeuvre	2 012 888 €	564	774	22,2%
<b>Charpente ossature bois</b>	<b>1 618 183 €</b>	<b>453</b>	<b>622</b>	<b>17,9%</b>
Menuiseries extérieures	1 090 919 €	306	420	12,0%
Étanchéité	533 938 €	150	205	5,9%
Photovoltaïque	817 520 €	229	314	9,0%
Pavés verre	73 359 €	21	28	0,8%
<b>Clos couvert</b>	<b>6 331 960 €</b>	<b>1 774</b>	<b>2 435</b>	<b>69,9%</b>
<b>Menuiseries intérieures</b>	<b>304 019 €</b>	<b>85</b>	<b>117</b>	<b>3,4%</b>
Serrureries intérieures	172 578 €	48	66	1,9%
Carrelage faïence	125 793 €	35	48	1,4%
Sols souples	98 406 €	28	38	1,1%
Cloisons doublage	328 674 €	92	126	3,6%
Peinture	Compris lot cloison doublage			
Plafonds suspendus	119 327 €			1,3%
<b>Parachèvement</b>	<b>1 148 796 €</b>	<b>322</b>	<b>442</b>	<b>12,7%</b>
Courants forts et faibles	407 437 €	114	157	4,5%
Plomberie	Compris lot chauffage			
VMC	Compris lot chauffage			
Chauffage	1 038 950 €	291	400	11,5%
Ascenseur	34 919 €		13	0,4%
Cuisine	100 038 €		38	1,1%
Équipements	1 581 343 €	443	608	17,5%
<b>Sous-total construction</b>	<b>9 062 099 €</b>	<b>2 538</b>	<b>3 485</b>	<b>100%</b>
VRD, sols, clôtures, mobiliers, jeux	790 796 €	222	304	
Espaces verts	43 056 €	12	17	
<b>Aménagement extérieur</b>	<b>833 852 €</b>	<b>234</b>	<b>321</b>	
Déchets	45 000 €	13	17	
Nettoyage	70 000 €	20	27	
<b>Coût total construction HT</b>	<b>10 010 951 €</b>	<b>2 804</b>	<b>3 850</b>	

7\_Vue du chantier de la façade Nord du bâtiment A. 8\_Carpente du préau assemblée au sol. 9\_Préau des cours élémentaires supportant un espace de récréation.

Ex 4

## Groupe scolaire Abdelmalek Sayad, à Nanterre (92)

Une opération à énergie zéro et zéro carbone pour la ZAC Centre Sainte Geneviève.



1

### Le programme

Les 5 hectares reconquis sur une friche industrielle, reçoivent un éco-quartier exemplaire en matière de développement durable. L'ensemble se déploie avec 600 logements, des commerces et bureaux et pour accueillir les futurs habitants, 1 groupe scolaire et 1 centre de loisirs affirmant l'identité de cette nouvelle ZAC.

### Les intervenants

Architecte : Nicolas Favet Architectes (93)  
BE thermique : Corétude (78)  
BE structure : Biic (92)  
BE bois : Teckicea (25)  
Entreprise bois : Vaninetti (78)

### Le choix constructif

Murs ossature bois préfabriqués.  
Plancher intermédiaire en bois massif tourillonné.  
Noyaux des circulations verticales et refends en béton.  
Charpente bois lamellé-collé et charpente traditionnelle.

### Les caractéristiques générales

Livraison : 2013  
Surface SHON : 5 063 m<sup>2</sup>  
Surface utile : 4 379 m<sup>2</sup>  
Classement incendie : ERP Type R, N et L 3<sup>ème</sup> catégorie  
Coût total construction non actualisé : 13 712 175 € HT



2



3

En bref

Déperdition thermique Ubat : 0,326 W/m<sup>2</sup>.K  
1. Conso. en énergie primaire Cep : 43 kWh ep/m<sup>2</sup>.an  
2. Conso. électrodomestique : 5 kWh ep/m<sup>2</sup>.an  
3. Production photovoltaïque : 48 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

**Bilan BEPOS (1+2)-3 = 0 kWh ep/m<sup>2</sup>.an**

Méthode de calcul (RT 2005).

1\_Vue aérienne façade Sud. 2\_Perspective d'ensemble. 3\_Vue du chantier.

## L'organisation du projet



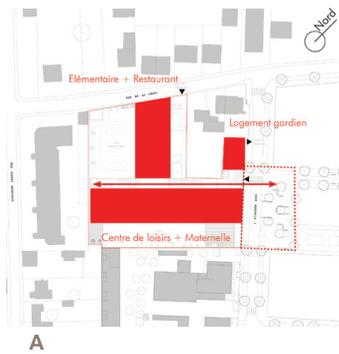
Nicolas Favet  
Agence NFA  
architecte

### Quelle est la force de votre équipe ?

Avec mon partenaire compagnon charpentier, Laurent Houdart, nous définissons toutes les bases techniques. Cependant, il nous arrive de collaborer avec un BET bois externe (Teckicea) qui nous apporte son expertise, son expérience et réalise les calculs. Notre dialogue est permanent entre le BET bois et l'entreprise bois lors des études d'exécution ainsi que durant la phase chantier que nous suivons presque au quotidien. Nous réalisons également l'ingénierie environnementale et les simulations thermiques dynamiques.

### Quelles sont les contraintes de ce site urbain ?

Les 8 000 m<sup>2</sup> de surface à implanter sur un terrain qui n'en fait que 5 000, la gestion des flux avec un fonctionnement conforme au cahier des charges et enfin, la performance énergétique à atteindre quand il n'y a plus de choix pour l'orientation des façades et de la centrale photovoltaïque. Un bâtiment BEPOS ou très performant doit avant tout répondre à une demande de fonctionnement et de qualité d'espace. Cette intelligence et cette complexité environnementale génèrent une création architecturale singulière et performante pour ce groupe scolaire.

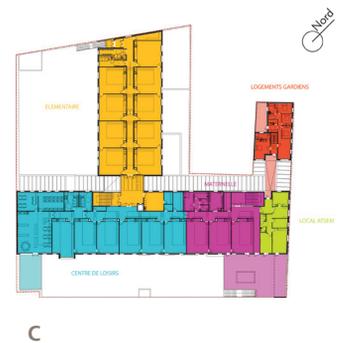


A



B

- A. Organisation du bâtiment.
- B. Rue intérieure distribuant les différents pôles.
- C. Plan d'étage.



C

- Ecole maternelle, 6 classes
- Ecole élémentaire, 9 classes
- Centre de loisirs, 11 ateliers

## Résultats des mesures acoustiques

Nicolas Favet  
architecte

Les planchers sont constitués d'un solivage bois, sur lequel a été tirée une chape pour répondre aux exigences acoustiques. Les logements sont totalement désolidarisés sur le plan vertical au niveau des refends par une lame d'air. Les résultats des mesures sont conformes à la réglementation.

Le texte réglementaire applicable est l'Arrêté du 30 juin 1999.  
Les mesures sont réalisées selon la norme NFS 31-057.

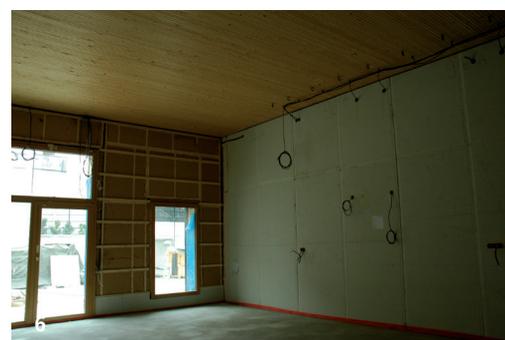
RÉSULTATS DES MESURES ACOUSTIQUES ENTRE LOGEMENTS	Objectif en dB	Valeurs mesurées en dB
Isolement acoustique standardisé en horizontal, entre sanitaires et salles de classe	≥ 50 dB +/- 3 dB	52
Isolement acoustique standardisé en horizontal, entre classes et classes, dortoir et dortoir	≥ 43 dB +/- 3 dB	42
Isolement acoustique standardisé en horizontal, entre circulation et classes, salles d'attente et cabinet médical	≥ 30 dB +/- 3 dB	41
Isolement acoustique standardisé en horizontal, entre circulation et dortoir, circulation et salle de vie	≥ 25 dB +/- 3 dB	38, 42
Isolement acoustique standardisé en vertical, entre salle psychomotricité et bureau psychologue	≥ 50 dB +/- 3 dB	63
Isolement acoustique standardisé en vertical, entre atelier cuisine et salle d'arts plastiques	≥ 43 dB +/- 3 dB	52

Il est toléré un écart de 3 dB vis-à-vis de l'objectif afin de tenir compte des incertitudes de mesure.

Gris = conforme ou conforme dans l'incertitude de mesure.

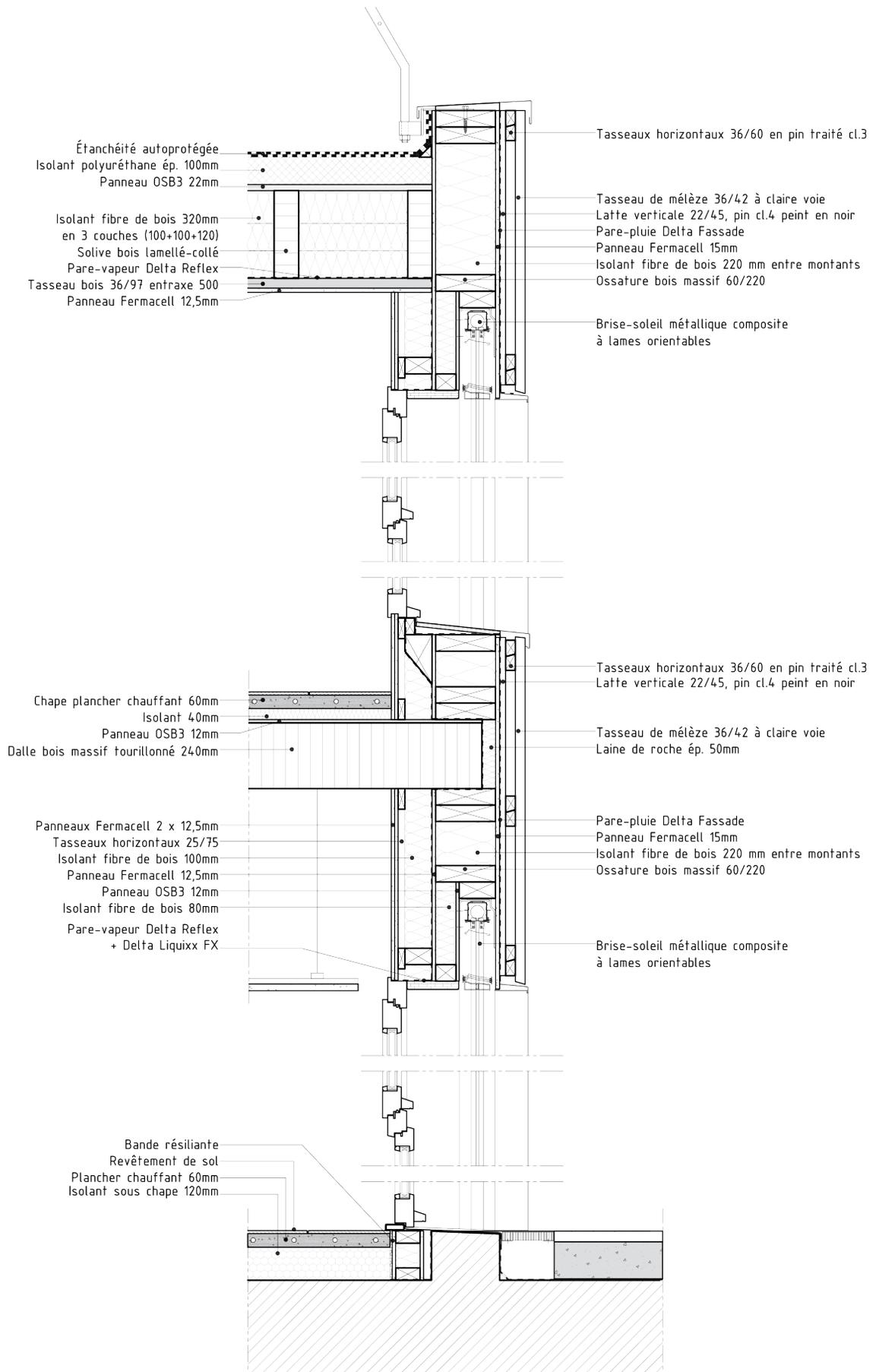
Rouge = non conforme à l'objectif.

4\_Cour intérieure. 5\_Rue intérieure généreusement lumineuse. 6\_Contre isolation intérieure en fibre de bois, puis tasseaux horizontaux pour recevoir les panneaux Fermacell.



# Détails techniques

Coupe verticale sur façade sur cours maternelle.



# La consommation d'énergie

Nicolas Favet  
architecte

## Quel est le système de chaleur innovant ?

La ZAC bénéficie d'un réseau de chaleur innovant qui récupère la chaleur des eaux usées, couvrant environ 35% des besoins. Ce système a été développé pour la première fois en France. Les 55% de production renouvelable sont atteints grâce à un complément par sonde géothermique.

## Quel est le retour sur le bilan énergétique constaté après une année scolaire de fonctionnement ?

Depuis septembre dernier, le bilan réel des utilisateurs s'avère meilleur que les bilans énergétiques calculés. La Ville vérifie rigoureusement que les températures ne soient pas supérieures aux réglementaires et que les locaux inoccupés ne soient pas anormalement chauffés. Ce contrôle continu permet d'optimiser les réglages de la GTC. La production photovoltaïque est supérieure aux estimatifs. Conclusion, les consommations sont en cohérence avec les estimations et la tendance est même à la baisse. C'est aussi le résultat d'un affichage prudent des consommations en phase études et d'un long processus de scénarios, à la fois constructif et multicritères sur l'énergie, le confort d'été, le bilan carbone, le coût d'investissement et la notion de retour sur investissement.

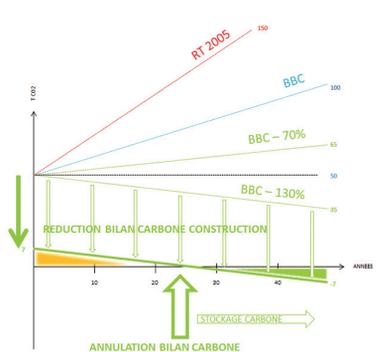
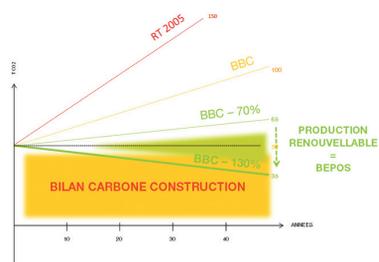
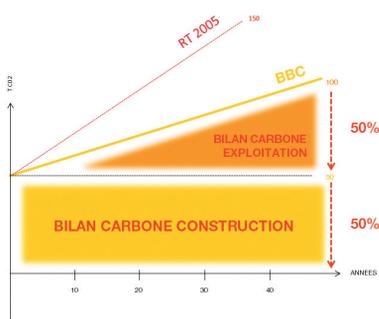
# Consommation par poste

DÉTAILS	BÂTIMENT (kWh ep/m².an)
Chauffage dont réseau de chaleur	13,2
Refroidissement	0
ECS dont réseau de chaleur	4,4
Éclairage	9
Auxiliaires + ventilation	16,5
Électrodomestique forfaitaire	5,1

# Résultats des mesures d'infiltrométrie

La mesure d'étanchéité à l'air du bâtiment est obligatoire pour tous les bâtiments tertiaires de moins de 3 000 m².

TERTIAIRE	BEPOS Effinergie 2013	Q4Pa-surf < 3 000 m²	n50
<b>Valeur moyenne</b>		<b>0,39</b>	<b>0,62</b>



# L'énergie grise

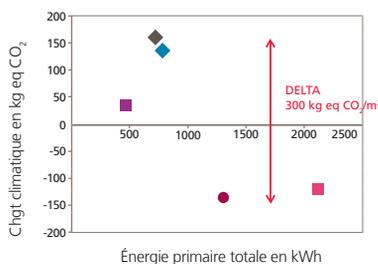
Nicolas Favet  
architecte

## Quelle est l'importance des matériaux bio-sourcés ?

Dans le cadre d'une opération BBC, il est demandé de diviser par deux les consommations énergétiques. Au bout des 50 ans d'usage, le bilan carbone construction, qui est l'équivalent de 50% de la consommation énergétique de ce bâtiment, reste malgré tout un socle inusable. Si le BEPOS améliore le bilan carbone, en toute hypothèse, il n'annule ce socle qu'au bout de 7 siècles. L'enjeu est donc de réduire le bilan carbone construction, en utilisant des matériaux bio-sourcés, avec cet ample débat sur leur prise en compte.

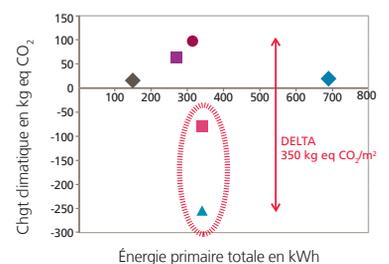
Quand je constate que certains référentiels annoncent qu'une poutre en béton armé a un meilleur indicateur énergie qu'une poutre en lamellé-collé, je ne suis pas d'accord. Même s'il pose la question du nucléaire le carbone est sans doute un meilleur indicateur que l'énergie. Pour ce groupe scolaire le concours demandait l'exemplarité, sans recherche de label, ce qui nous a permis de viser un objectif d'annulation du bilan carbone d'ici une vingtaine d'année. Le bilan du chantier tend même à démontrer que le bilan carbone est nul à la réception, ce qui fait de ce bâtiment un véritable puits de carbone!

Dalles & planchers : comparatif au m² selon : énergie primaire totale en kWh et Chgt climatique en Kg eq CO₂



- ◆ Plancher béton + Laine de verre + Linoléum
- Plancher bois + Laine de verre + Linoléum
- Plancher bois + Laine de bois + Linoléum
- Plancher béton + Laine de bois + Linoléum
- ◆ Dalle béton sur parking

Murs : comparatif au m² selon : énergie primaire totale en kWh et Chgt climatique en kg eq CO₂



- ◆ MOB + Laine de verre
- Béton banché + Laine de bois + Fermacell
- MOB + Laine de bois
- Béton banché + Laine de verre + BA13
- ▲ MOB + Fibre de bois
- ◆ Parpaing + Laine de bois + Fermacell

Etude comparative des murs avec le logiciel Cocon.

## Le confort d'été

Nicolas Favet  
architecte

### Pourquoi avoir conçu des sheds ?

Les sheds rappellent l'histoire de l'ancienne usine productrice de batteries. La volumétrie singulière du shed industriel permet de générer du volume intérieur, de créer une lumière naturelle avec, potentiellement, une ouverture pour la ventilation transversale favorisant le confort d'été et l'installation d'une centrale photovoltaïque sur les pans de toiture. L'étude d'ensoleillement démontre que les différentes inclinaisons des sheds ne créent aucune ombre portée gênante sur les panneaux photovoltaïques.



## Volume de bois mis en oeuvre dans le bâtiment

LOCALISATION	Structure / partition	Bardage	Menuiseries ext.	Menuiseries int./ mobilier	Faux-plafond	Isolation <sup>1</sup>	Total
Cubage m <sup>3</sup>	1 134	49	42	28	22	79	1 354
Pourcentage	84%	4%	3%	2%	2%	6%	100%

1. Isolant fibre de bois : 889 m<sup>3</sup> de fibre de bois à 90 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Les bois sont tous certifiés PEFC.

## Caractéristiques de l'opération

<b>Typologie</b>	Groupe scolaire de 15 classes, 1 centre de loisirs et 150 places de parking en souterrain.
<b>Construction</b>	6 classes maternelles, 9 classes élémentaires, 11 ateliers, 1 salle plurivalente, 1 pôle restauration et 2 cours sur parking en sous-sol.
<b>Structure</b>	Mur porteur en ossature bois. Plancher intermédiaire en bois massif tourillonné. Charpente traditionnelle en bois lamellé-collé.
<b>Isolant</b>	Plancher bas : 120 mm de polystyrène expansé sous chape. Façade : 220 mm entre montants + 100 mm coté intérieur de fibre de bois. Toiture : 320 mm entre solive lamellé-collée de fibre de bois + 100 mm de polyuréthane.
<b>Menuiserie extérieure</b>	Menuiseries extérieures bois-aluminium double vitrage.
<b>Vêtue</b>	Bardage vertical de Mélèze à claire voie, panneau composite.
<b>Vitrage</b>	Double vitrage, 6/20/6, remplissage argon. Uw 1,13 W/m <sup>2</sup> .K et triple vitrage remplissage argon 44,2/14/4/14/44,2 Uw 0,7
<b>Occlusion et protection solaire</b>	Stores à lames orientables sur baie et store sur fenêtre de toit. Pilotés par la GTC et débrayables par les utilisateurs.
<b>Ventilation</b>	VMC double flux avec changeur de chaleur de type rotatif.
<b>Chauffage</b>	Réseau de chaleur desservant l'éco-quartier émanant des eaux usées, dispositif Degrés Bleus. Complément de chaleur par une géothermie sur nappe à faible profondeur. Centrale de production au gaz pour l'appoint et le secours. Plancher chauffant à basse température.
<b>Rafraîchissement</b>	Free cooling nocturne. Complément par la géothermie.
<b>Eau chaude sanitaire</b>	Ballons électriques répartis dans le bâtiment.
<b>Label</b>	BEPOS Effinergie. Projet soutenu par l'ADEME au titre du Fonds chaleur.
<b>Équipement panneau solaire</b>	360 panneaux photovoltaïques (env. 1 000 m <sup>2</sup> ), pour une puissance installée de 112 kWc, posés sur sheds, inclinaison 25°C. Orientation Sud/Ouest pour 204 et Sud/Est pour 156.
<b>Équipement électrodomestique</b>	Éclairage par LED, avec gradation et détection de présence.

7\_ Menuiseries extérieures bois-aluminium. Mobiliers et parements bois habillent les espaces intérieurs. 8\_ Éclairage naturel par les sheds dans les salles de classes.

## Le système constructif

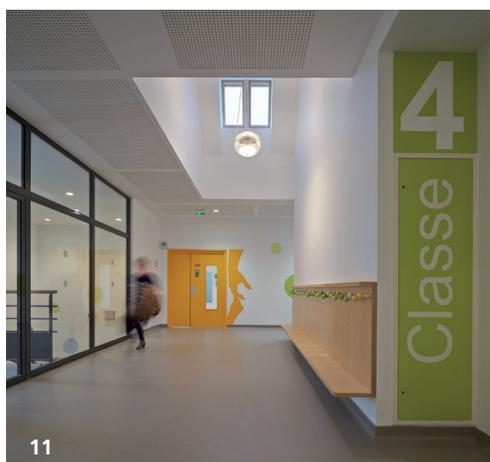
Nicolas Favet  
architecte

### Quelles sont les particularités du système constructif choisi ?

Quelques refends et trois circulations verticales en béton, le reste est tout en structure bois. Les murs en ossature bois avec fibre de bois sont encaissonnés de plaques de Fermacel assurant le contreventement et répondant ainsi aux exigences de la sécurité incendie, idem pour les cloisons intérieures.

Le plancher en bois massif tourillonné nous a séduit car c'est un produit sans colle mais il impose de fortes contraintes de chantier car il est extrêmement sensible à la reprise d'humidité.

L'entreprise Vaninetti, qui assurait le macro-lot clos-couvert, a posé une étanchéité provisoire à l'avancement de la mise en œuvre et l'a laissée en place par la suite. Un regret : ne pas voir suffisamment de bois structurel apparent pour des raisons de protection.



9 & 10\_Mise en place du plancher bois massif tourillonné. 11\_Vue intérieure.

## Prix HT de construction constatés

Les coûts présentés sont issus de la délibération du Conseil Municipal de Nanterre en date de Mars 2011 transmis par l'architecte. Les lots étant groupés, il n'est pas possible d'indiquer en bleu les lots bois.

DÉSIGNATION	Marchés HT marchés mars 2011	Prix € HT/m <sup>2</sup> SHON	Prix € HT/m <sup>2</sup> SHAB	% montant du lot ramené au sous-total construction
		5 063m <sup>2</sup>	4 379 m <sup>2</sup>	
Terrassement, dépollution, préparation de chantier	478 547 €	95	109	3,7%
Fondation, gros-oeuvre	2 350 000 €	464	537	18,1%
Charpente - structure bois	6 694 706 €	1 322	1 529	51,7%
Menuiseries extérieures	Compris lot charpente - structure bois			
Couverture - zinguerie	Compris lot charpente - structure bois			
Étanchéité	Compris lot charpente - structure bois			
Bardage	Compris lot charpente - structure bois			
Clos couvert	9 523 253 €	1 881	2 175	73,5%
Menuiseries intérieures	Compris lot charpente - structure bois			
Serrurerie - ferronnerie	700 868 €	138	160	5,4%
Carrelage faïence	477 995 €	94	109	3,7%
Sols souples - chapes	Compris lot carrelage faïence			
Cloisons doublages, faux-plafonds	Compris lot charpente - structure bois			
Peinture	514 231 €	102	117	4%
Verrières	Compris lot charpente - structure bois			
Occultations	Compris lot charpente - structure bois			
Parachèvement	1 693 093 €	334	387	13,1%
Électricité courants forts et faibles	535 000 €	106	122	4,1%
Plomberie - sanitaire	329 883 €	65	75	2,5%
VMC	Compris lot chauffage			
Chauffage	824 135 €	163	188	6,4%
Photovoltaïque	Compris lot charpente - structure bois			
Ascenseurs	47 276 €	9	11	0,4%
Équipements	1 736 294 €	343	397	13,4%
<b>Sous-total construction HT</b>	<b>12 952 641 €</b>	<b>2 558</b>	<b>2 958</b>	<b>100%</b>
Espaces verts	396 740 €	78	91	
Aménagement extérieur	396 740 €	78	91	
Mobilier sur mesure	Compris lot charpente - structure bois			
Mobilier	92 865 €	18	21	
Gestion technique du bâtiment	269 930 €	53	62	
<b>Coût total construction HT</b>	<b>13 712 175 €</b>	<b>2 708</b>	<b>3 131</b>	

Ex

5

## Bureaux Ywood Aix L'Ensoleillée, à Aix en Provence (13)

Ensemble de 5 bâtiments R+2 à énergie positive



### Le programme

Le Parc de l'Ensoleillée est le premier parc tertiaire de bâtiments à énergie positive réalisé en structure bois, selon un principe de construction en panneaux de bois massif contre-collés (CLT).

Pas moins de 6 650 m<sup>2</sup> de SHON se répartissent sur 5 bâtiments R+2 (3 de 1 200 m<sup>2</sup>, 1 de 2 160 m<sup>2</sup> et 1 de 890 m<sup>2</sup>) au sein d'un espace arboré et sécurisé, répondant aux préoccupations de confort de travail et de bien-être santé.

S'y ajoutent parkings couverts, éolienne et bornes de rechargement pour voitures électriques. 4 des bâtiments sont occupés par l'opérateur téléphonique Orange.

### Les intervenants

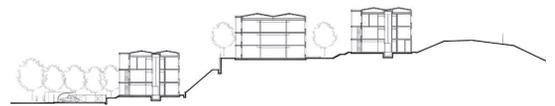
Maître d'ouvrage : Nexity, Ywood Business (13)  
Architecte : Tangram Architectes avec le concours de Samuel Poutoux (atelier WOA), (13)  
BE fluides et thermique : BG Ingénieurs Conseils (94)  
BE sismique : Bainier Études (84)  
BE d'exécution : AltiBois Construction, (74)  
Gros œuvre bois : AltiBois Construction, (74) ; Arbosphère, (74)  
Bureau de contrôle : Qualiconsult (78)

### Le choix constructif

Fondation et dalle béton sur radier.  
Façades en panneaux de bois massif contre-collés, ossature secondaire et bardage bois.  
Plancher en panneaux de bois massif contre-collés.  
Balcon en poteau-poutre bois lamellé-collé.  
Charpente bois support des panneaux solaires pour 4 bâtiments.

### Les caractéristiques générales

Livraison : Octobre 2013  
Surface de la SHON : 5 760m<sup>2</sup>  
Classement incendie : ERP  
Coût total des travaux non actualisé : 6 910 800 € H.T



2



3



En bref

Déperdition thermique Ubat : 0,424 W/m<sup>2</sup>.K  
1. Conso. en énergie primaire Cep : 74 kWh ep/m<sup>2</sup>.an  
2. Conso. forfaitaire électrodomestique : non prise en compte  
3. Production photovoltaïque : 89,8 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

**Bilan BEPOS (1+2)-3 = -15,8 kWh ep/m<sup>2</sup>.an**

Méthode de calcul (RT 2005).

## La consommation d'énergie



Tangram Architectes

### Comment avez-vous obtenu le niveau BEPOS ?

La puissance développée par les 1 145 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques installés en toiture coté Sud est de 111 kWc. Au résultat, nous avons des bâtiments auto-suffisants du point de vue énergétique qui consomment moins d'énergie qu'ils n'en produisent; ce qui nous permet d'afficher un niveau BEPOS (-15,8 kWh ep/m<sup>2</sup>/an). Grâce aux nombreux postes de comptage, la consommation effective du bâtiment sur les différents postes sera suivie pendant au moins 2 ans.



## Performances thermiques

U-Value : 0,43 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient de compacité du bâtiment : 0,48

DÉTAILS	U déperdition surfacique W/m <sup>2</sup> K	Résistance Thermique 1/U
Plancher bas sur terre-plein	0,24	4,2
Parois	0,225	4,4
Toiture	0,118	8,5
Menuiseries extérieures (Uw)	1,6	-

## Consommation par poste

Besoin en énergie primaire : 74 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

Besoin en énergie primaire bâtiment standard : 153 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

Méthode de calcul : RT 2005

DÉTAILS	BÂTIMENT (kWh ep/m <sup>2</sup> .an)
Chauffage bois	5,6
Refroidissement par plancher	24,3
ECS par chauffe-eau solaire	négligeable
Eclairage	24,1
Ventilation et auxiliaires	20,36

## Le confort d'été

Tangram Architectes

### Parlez-nous du confort d'été ?

L'avantage de ce système constructif en milieu méditerranéen, pour répondre aux problématiques de thermique (mais aussi d'acoustique), réside dans l'association de panneaux de bois massif avec de la fibre de bois permettant de créer une isolation particulièrement efficace, autant en été qu'en hiver.

Les chapes fluides en béton des planchers intermédiaires, coulées sur l'isolant phonique des dalles de bois massif, contribuent, par leur inertie, au confort d'été. Les bâtiments, terminés depuis novembre 2013, sont occupés et utilisés et les retours sont très positifs.

Il faut noter que le terrain présente une importante déclivité, qui, en plus d'offrir un belle vue sur la vallée d'Aix-en-Provence, offre une orientation avantageuse pour une réalisation BEPOS. Les bâtiments sont orientés Nord/Sud, ce qui facilite aussi la résolution des problèmes de thermique.

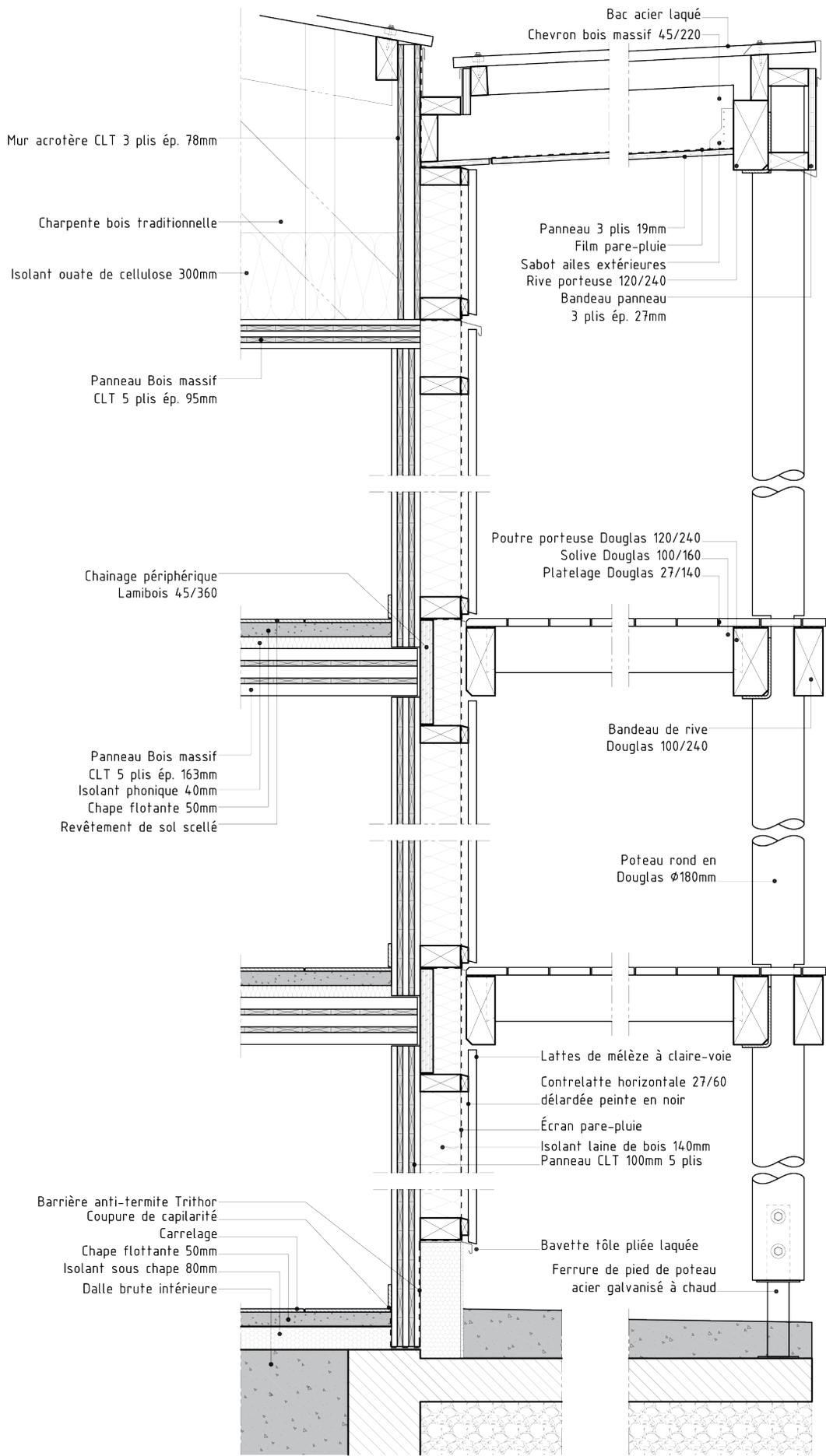
Les coursives, qui desservent des plateaux libres à double orientation, ont une double fonction : une fonction de circulation mais aussi, coté Sud, une fonction de brise-soleil.



4\_Vue des bâtiments 1 et 2 et leurs panneaux photovoltaïques depuis les coursives du bâtiment 3. 5\_Accès extérieur du bâtiment 3. 6\_Mise en place des murs préfabriqués.

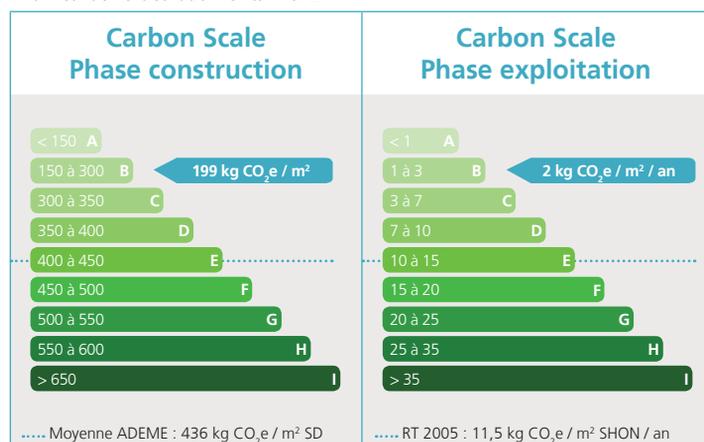
# Détails techniques

Coupe verticale et détails sur planchers, murs et coursives en façade sud.

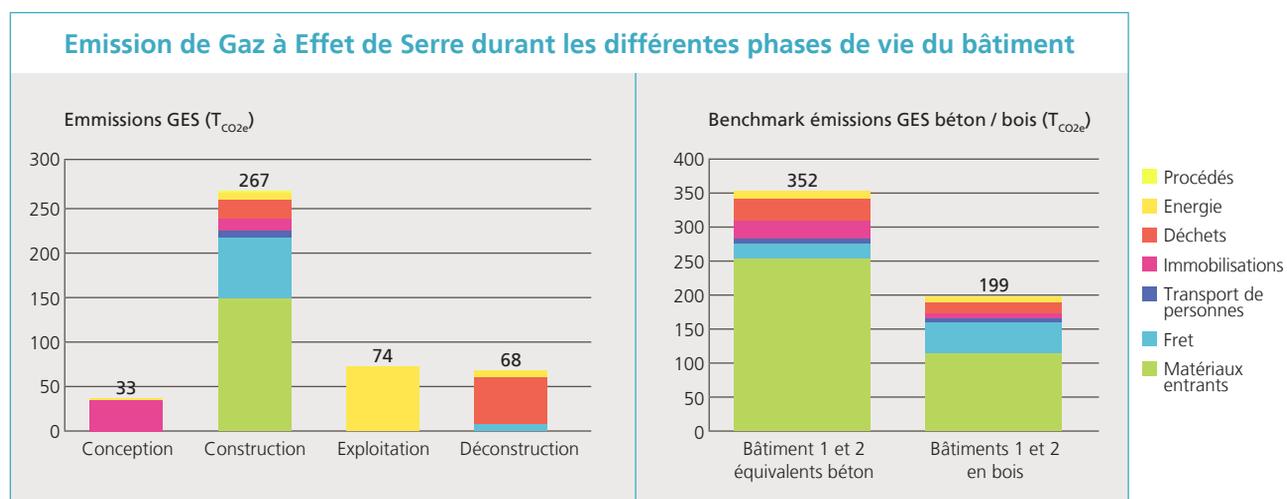




### Bilan carbone des bâtiments 1 & 2



Émissions de GES en phase Construction : 199 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, soit 267 t CO<sub>2</sub>e au total.  
Sur 30 ans, un an d'exploitation est 110 fois moins émissif que la Construction.



7\_Vue des coursives du bâtiment 3 avec leurs lames de terrasse en Douglas. 8\_Vue de l'intérieur de la structure en CLT (plancher, murs, plafond) et poteaux-poutres en bois lamellé-collés.

## L'énergie grise

Tangram Architectes

### Comment se place le projet sur le plan de l'énergie grise ?

Une architecture simple pour un programme relativement simple, dans un site emblématique. L'opération laisse une très grande place à l'usage du bois : murs en Epicéa PEFC, bardage en Mélèze non traité PEFC, poteaux extérieurs et coursives en Douglas local PEFC, isolation en fibre de bois.

Ce bâtiment a reçu le premier prix européen des Green Building Awards 2014, remis par Construction21 dans la catégorie bâtiments performants et primé Pyramide d'Or au niveau national Classé « Niveau Or » (stade conception et réalisation) dans le cadre de la démarche Bâtiments Durables Méditerranéens (BDM).

L'opération fait également partie de l'appel à projets lancé par l'ADEME et le Conseil Régional PACA : « 100 bâtiments exemplaires en Région PACA ».



11\_Détail en pied des poteaux ronds fraisés réalisés en Douglas et porteurs des coursives.

## Volume de bois mis en oeuvre dans le bâtiment

Localisation	Murs CLT	Plancher CLT	Bardage	Bois d'oeuvre	Isolation	Total
Cubage m <sup>3</sup>	550	1 450	60	200	60	2 320
Pourcentage	24%	63%	3%	9%	3%	100%

Nota : Le tableau ci-dessus ne tient pas compte des 30 cm d'ouate de cellulose isolant les 2 000 m<sup>2</sup> de toiture.

## Caractéristiques de l'opération

<b>Typologie</b>	Parc tertiaire.
<b>Construction</b>	6 650 m <sup>2</sup> SHON au total. 5 bâtiments de bureaux en R+2 à énergie positive, critères BBC.
<b>Structure</b>	Système constructif à base de panneaux de bois massif contre-collés. Coursives en Douglas (pièces équarris, poteaux ronds fraisés, platelage des circulations). Support de couverture : fermes en charpente traditionnelle clouées posées sur plancher en panneaux de bois massif contre-collés. Toiture en panneaux photovoltaïques et bac acier.
<b>Isolant</b>	Murs : Isolation par l'extérieur en fibre de bois 140 mm. Toiture : Ouate de cellulose sur 300 mm.
<b>Menuiserie extérieure</b>	Menuiseries aluminium à rupture de pont thermique. Accès PMR sur l'ensemble des bâtiments.
<b>Vêture</b>	Bardage à claire voie en tasseaux de Mélèze de 30/30, certifiés PEFC, avec un vide de 30 mm.
<b>Vitrage</b>	Double vitrage avec lame d'argon (Uw = 1,6 W/(m <sup>2</sup> K)).
<b>Occultation</b>	Système de brise-soleil orientable intégré aux châssis de menuiseries (façades Est et Ouest). Balcons en façade Sud assurant la fonction de brise soleil.
<b>Ventilation</b>	Surventilation nocturne. Free-cooling. Simple flux. Double flux avec échangeur thermique.
<b>Rafraîchissement</b>	Pompe à chaleur réversible Air/Eau. Ventilo-convecteur.
<b>Chauffage</b>	Pompe à chaleur. Ventilo-convecteur.
<b>Eau chaude sanitaire</b>	Chauffe-eau électrique individuel.
<b>Energie renouvelable</b>	Toiture en panneaux solaires photovoltaïques intégrés en toiture (non visibles). Production d'énergie renouvelable 120%.
<b>Bâtiment intelligent, GTC</b>	Comptage de tous les postes réglementaires et environ 100 capteurs de températures avec report vers un système Distrame et affichage pédagogique.

Ex 6

## Bureaux partagés MC2 à Nantes (44)

Deuxième vie du café-billard Montecristo, par une haute performance énergétique



### Le programme

Au cœur de l'Île-de-Nantes, les sociétés POUGET Consultants, Magnum Architectes et GestionBat, occupants des futurs bureaux, associent leurs convictions et savoir-faire pour réhabiliter le bâti existant et créer une surélévation en toiture terrasse.

### Les intervenants

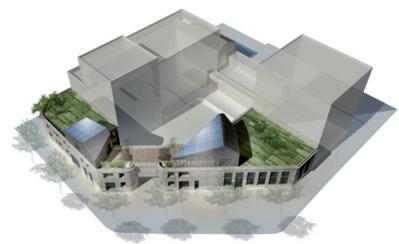
Maîtrise d'ouvrage : Magnum (44)  
Architecte : Magnum (44)  
BE thermique, fluide et génie climatique : POUGET Consultants (44)  
BE et économiste : GestionBat (44)  
BE contrôle : Socotec  
BE structure : PLBI  
Étanchéité : Wigwam (44)  
Acoustique : Gamba acoustique

### Le choix constructif

Bâtiment existant isolé par l'intérieur pour des raisons architecturales. Surélévation ossature et charpente bois.

### Les caractéristiques générales

Livraison : 2014  
Surface de la SHON : 877 m<sup>2</sup>  
Surface utile : 800 m<sup>2</sup>  
Classement incendie : ERT  
Coût total des travaux : non communiqué



En bref

Déperdition thermique Ubat : 0,38 W/m<sup>2</sup>.K

1. Cep BEPOS (hors Bois et EnR) : 43 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

Conso. en énergie primaire Cep : 51 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

2. Conso. forfaitaire électrodomestique : 100 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

3. Production photovoltaïque : 65 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

**Bilan BEPOS Effnergie (1+2)-3 = 78 KWh ep/m<sup>2</sup>.an**

Ecart autorisé: 79 KWh ep/m<sup>2</sup>.an

Méthode de calcul (RT 2012).

1\_Vue depuis la place sur le bâtiment à réhabiliter. 2\_L'ouvrage en cours de réhabilitation et d'extension. 3\_Axonométrie vue de dessus du projet de réhabilitation. Nous voyons en toiture les 2 édicules rapportés avec l'intégration du photovoltaïque et de la toiture photovoltaïque.

## Le projet de réhabilitation

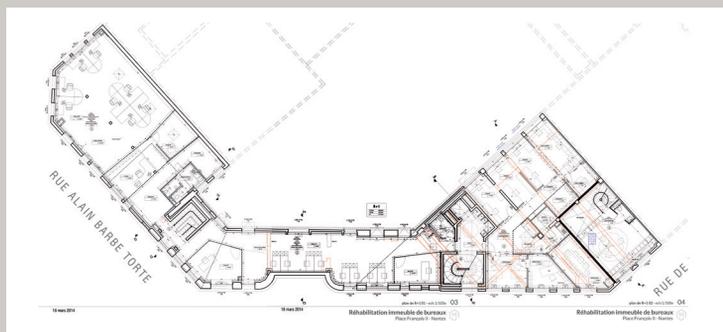


Vincent Braire  
POUGET Consultants  
expert thermicien

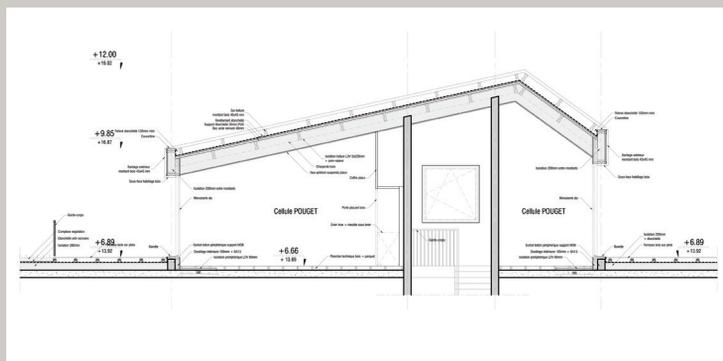
Ces bureaux, inaugurés le 3 juillet 2014, sont situés sur l'Île de Nantes. Etant donné qu'ils ne peuvent pas être isolés par l'extérieur et que l'ouvrage est en béton, nous sommes obligés de le traiter comme une « boîte dans la boîte » pour gérer les ponts thermiques. Sur le plan nous remarquons le grand développé de façade de l'ouvrage ; nous sommes sur un coefficient de forme de près du double de ce que l'on a habituellement sur un bâtiment neuf. Dans la réhabilitation, on ne peut que subir la forme et l'orientation du bâtiment existant.



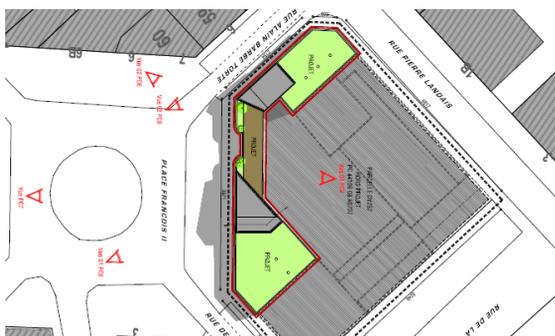
3



Plan du niveau 1.



Coupe sur l'édicule bois jouté en toiture.



Plan masse.

## Résultats des mesures d'infiltrométrie

Tests réalisés conformément aux normes NF EN 13829 et GA P50-784, selon les Arrêtés du 24 mai 2006 relatifs aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiment et du 13 juin 2008 relatif à la performance énergétique des bâtiments existants.

	Q4Pa-surf
BBC Effnergie	1
Valeur mesurée	0,57

## Garder de la surface : les isolants sous vide

Vincent Braire  
expert thermicien

Nous avons utilisé un isolant à base de silice pyrogénée qui a été mis dans une enveloppe dans laquelle nous avons réalisé le vide, puis nous avons soudé cette enveloppe. Cet isolant, Slimvac SINIAT est environ 4 fois plus performant qu'un isolant traditionnel. D'ailleurs ce type de produit est déjà utilisé, dans les portes de réfrigérateur par exemple. A résistance thermique équivalente, le prix de ces isolants est de 2 à 3 fois plus cher qu'un isolant traditionnel alors que c'est une solution très adaptée à certains contextes en réhabilitation.



4

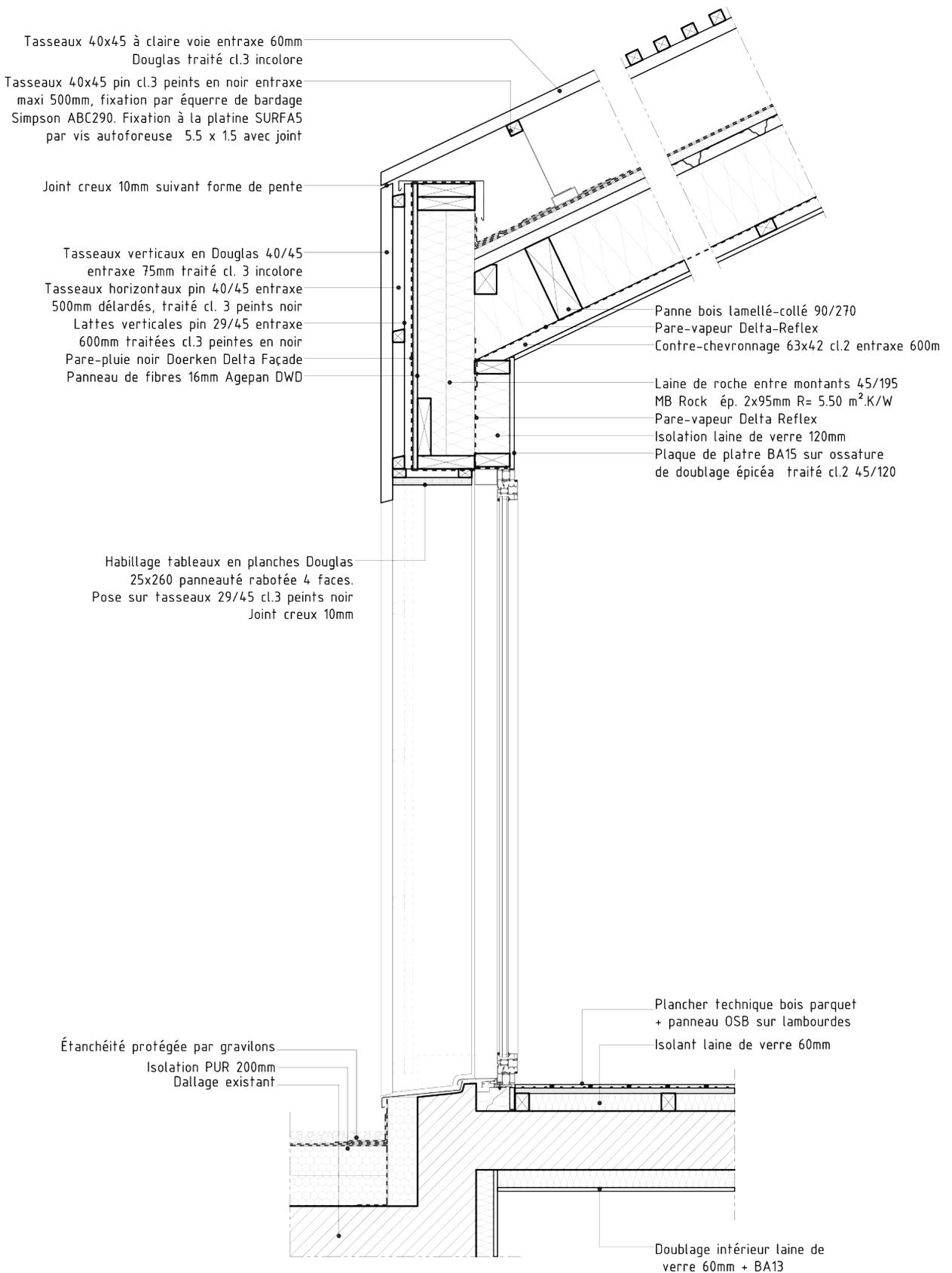


5

3\_Intérieur des locaux. 4\_Panneau d'isolant sous vide. 5\_L'isolant installé derrière les rails supports des plaques de plâtre.

## Détails techniques

Coupe verticale sur édicule bois au dernier étage.



## La consommation d'énergie

Vincent Braire  
expert thermicien

### Quelle réglementation avez-vous appliquée pour cette réhabilitation?

Cette opération fait moins de 1000 m<sup>2</sup>. La réglementation nous laissait donc la solution de faire un calcul thermique élément par élément. Nous avons préféré un calcul RT global, et là où le calcul élément par élément nous donnait un droit à consommer de 120, nous sommes arrivés à 40. Nous avons donc divisé par 4 l'exigence thermique d'aujourd'hui. La RT actuelle ne favorise pas les gains énergétiques que l'on pourrait obtenir dans la rénovation.

### Quel dispositif de chauffage avez-vous mis en place?

Sur l'air, la solution proposée fait appel à une installation double flux avec récupération sur air extrait à haut rendement 90% (échangeur à plaques nouvelle génération), via une centrale « au sommet » type Everest Aldes.

Le vecteur pour le chauffage est mixte via l'installation aéraulique citée, complétée par des radiateurs à eau basse température Acova. Nous nous sommes rendus compte que, sans la présence d'un émetteur, les sensations de chaud/froid peuvent être très différentes selon les personnes.

Toujours dans un souci de réduire encore les consommations d'énergie thermique, nous avons cherché à récupérer au maximum la chaleur sur tous les rejets : air extrait et eaux usées (douches).

### Quel est le poste de consommation d'énergie le plus important dans ces bureaux?

Les consommations spécifiques dues aux ordinateurs, photocopieurs, etc, sont de loin les plus importantes dans les bureaux. Un forfait impose de prendre 100 kWh ep/m<sup>2</sup> mais nous les avons estimées à 60 kWh ep/m<sup>2</sup> qui seront compensées par la production photovoltaïque. Il faudrait d'ailleurs les estimer plutôt par personne que par m<sup>2</sup>.

### Quelle source d'énergie avez-vous choisie?

Après analyse des potentialités du site, l'énergie a été choisie selon plusieurs critères technico-économiques et environnementaux (bas carbone). Le choix s'est naturellement dirigé vers le raccordement au réseau de chaleur local. Ce choix pour le chauffage n'aurait pas été possible sans le concours circonstancié d'Erena-Cofely GDF Suez qui a accepté de faire le raccordement pour 40 kW des besoins, bien en deçà des 100 kW usuellement requis.

Les installations d'éclairage artificiel font appel à des solutions innovantes via un industriel local Radian et ses luminaires à basse consommation (ou LED) sur mât intégrant un système de gestion avec détection et gradation (valorisation de l'éclairage naturel via les châssis de toit Vélux par exemple).



### Point de repères

#### Consommations du bâtiment après réhabilitation :

- consommations Cep Réf divisées par 4 (RT par éléments)
- consommations BBC divisées par 2 (BBC = moins 40% de Cep Réf)

#### Emissions de gaz à effet de serre (GES):

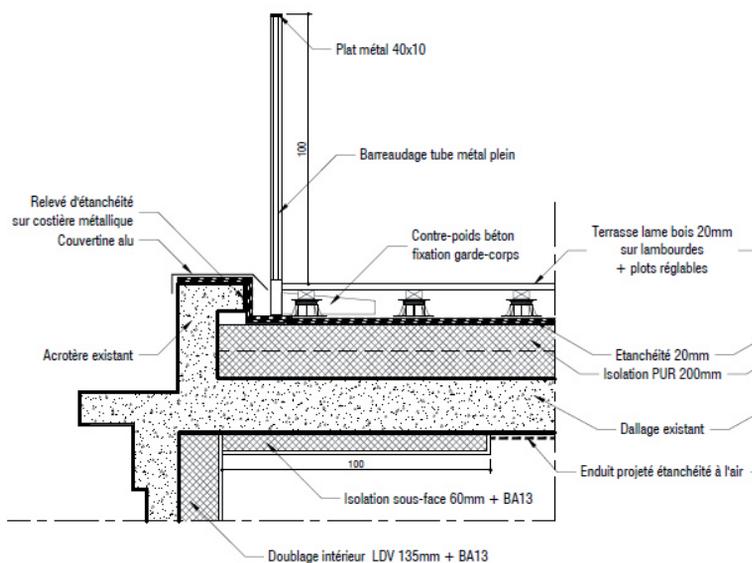
- 1 kg équivalent CO<sub>2</sub> (classe 1 du DPE < 5)

## Gérer les ponts thermiques par « manchonnage »

Vincent Braire  
expert thermicien

### Quel procédé avez-vous utilisé pour gérer le pont thermique pour la surélévation ?

Au dernier niveau, nous avons isolé la toiture terrasse par l'intérieur en plaçant 20 cm d'isolant, avant la pose de la terrasse bois. Cependant, un important pont thermique restait au droit de l'acrotère. Nous avons donc fait un « manchonnage », c'est à dire un retour d'isolant en sous face de la dalle, qui divise par 3 ou 4 le pont thermique. L'architecte a utilisé ce retour pour réaliser une petite corniche intérieure.



Coupe verticale sur le traitement du pont thermique au niveau de l'édicule, par manchonnage.

6\_Isolation du plancher bois. 7\_La future salle de réunion se situera dans un des édicules sur le toit et sera en structure bois. 8\_Le manchonnage en sous face de plafond apparaît le long des murs.

## Deux édicules pour recevoir les capteurs photovoltaïques

Vincent Braire  
expert thermicien

### Comment avez-vous trouvé deux surfaces complémentaires de bureaux ?

Sur ce projet, nous avons conçu des extensions sur le toit, constituant un foncier gratuit, et facilement réalisables avec le bois. Nous avons imaginé des extensions plus importantes mais le bâtiment ne pouvait pas reprendre des charges supplémentaires, sans travaux conséquents. Ces ouvrages, sur la canopée de l'île de Nantes, sont moins soumis aux effets d'ombres des autres bâtiments, et nous allons les équiper de capteurs solaires. Les 70 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques monocristallins installés par KDIsolar & Libre énergie (13,7 kWc) sont prévus pour compenser, au mieux, les consommations via le référentiel en cours d'Effinergie, objet de cette opération pilote, entre autre.

A noter que la production photovoltaïque sera en partie autoconsommée sur les équipements techniques du bâtiment et même une flotte de véhicule électrique à terme.



## Consommation par poste

DÉTAILS	BÂTIMENT (kWh ep/m <sup>2</sup> .an)
Réseau chauffage urbain	17
Éclairage	16
Auxiliaires	10
ECS	8
Électrodomestique forfaitaire	100



## Caractéristiques de l'opération

<b>Typologie</b>	Tertiaire bureaux.
<b>Construction</b>	Il s'agit d'une opération de reconstruction d'un bâtiment existant, accompagnée de 2 extensions sur le toit conduisant à 800 m <sup>2</sup> de bureaux.
<b>Structure (extension)</b>	Chaque mur est composé d'un panneau plein porteur en Épicéa, de 2 couches d'isolant en laine de roche (180 + 120 mm) Rockwool, d'un pare-pluie, de contrelattes noires et de lattes apparentes en Mélèze.
<b>Isolation</b>	Plancher bas 140 mm (Knauf Kfoam, R = 4,80) sous dalle + remontées périphériques. Plancher bas sur porche 40 mm d'isolant sous vide (R = 5,71) Murs extérieurs existants ITI 100 + 45 mm laine de verre (Isover, R = 4,50). Murs extérieurs existants ITI 40 mm (isolant sous vide (R = 5,71)) Extension ossature bois 300 mm laine de roche (Rockwool, R = 8,80). Extension béton ITE 140 mm laine de roche (Rockwool, R = 4,00). Toitures neuves 440 mm laine de verre (Isover, R = 12,50).
<b>Menuiserie extérieure</b>	Menuiserie aluminium, embrasure isolée 20 mm isolant sous vide (R = 2,85)
<b>Vêtire (extension)</b>	Bardage à claire-voie vertical en Douglas.
<b>Vitrage</b>	Double vitrage Uw = 1,4 W/m <sup>2</sup> .K, triple vitrage au Nord Uw = 1,1W/m <sup>2</sup> .K.
<b>Occultation</b>	Stores intérieurs ponctuels.
<b>Ventilation</b>	VMC double flux EVEREST Aldes.
<b>Chauffage</b>	Radiateurs sur réseau de chaleur avec préchauffage de l'air via la VMC double flux.
<b>Eau chaude sanitaire</b>	Electrique décentralisée.
<b>Label pilote</b>	BEPOS Effinergie 2013 et certification ADEME.

9 & 10\_Edicule bois sur la toiture, portant les capteurs solaires.

# 2<sup>ème</sup> PARTIE

## Synthèse

Les points clés du label «BEPOS Effinergie 2013 » page 38

Retour d'expériences : quelques points à retenir pour une opération BEPOS page 39

# BEPOS bâtiment à énergie positive



### Qu'est-ce qu'un **bâtiment à énergie positive (BEPOS)** ?

Actuellement, un certain nombre de projets sont qualifiés de bâtiments à énergie positive. Cependant, aujourd'hui, aucun décret ni arrêté ne précisent le champ opérationnel du BEPOS. L'association Effinergie est la seule en France à proposer un référentiel encadrant ce type de construction : le label « BEPOS Effinergie 2013 ». Celui-ci a été conçu pour valoriser les bâtiments qui consomment peu d'énergie non-renouvelable et produisent sur site beaucoup d'énergie renouvelable.

# Les points clés du label « BEPOS Effinergie 2013 »

## Quels sont les pré-requis au label « BEPOS » Effinergie 2013 ?

→ Le premier des pré-requis de ce label est **le respect du label Effinergie +** :

Quand la RT 2012 impose, pour les bâtiments d'habitation neufs, une consommation d'énergie primaire inférieure ou égale à 50 kWh ep/m<sup>2</sup>.an, le label Effinergie + exige une réduction de 20% des consommations conventionnelles\* d'énergie primaire (Cep), établissant ainsi son critère de consommation moyenne à 40 kWh ep/m<sup>2</sup>.an.

\* sur les 5 usages (chauffage, refroidissement, ECS, auxiliaires, éclairage).

Le Label Effinergie + requiert également un Bbio inférieur de 20% par rapport au Bbio imposé par la RT 2012, et ce pour tous les types de bâtiments.

Le renforcement de la perméabilité à l'air doit également être respecté :

- 0,4 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> pour une maison individuelle
- 0,8 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> pour un logement collectif

La mesure d'étanchéité à l'air du bâtiment est obligatoire pour tous les bâtiments tertiaires de moins de 3 000 m<sup>2</sup>.

→ Autre pré-requis, le bâtiment doit faire l'objet d'**une évaluation de la consommation d'énergie grise et du potentiel d'écomobilité**.

## Comment obtenir la certification ?

→ Pour être certifié « BEPOS Effinergie 2013 » le bâtiment doit répondre à un autre critère essentiel :

**Bilan<sub>epnr</sub> < Ecart<sub>autorisé</sub>**

Le Bilan en énergie primaire non renouvelable (Bilan<sub>epnr</sub>) est calculé selon 3 étapes :

- Collecte des consommations d'énergies finales entrantes et sortantes
- Passage en énergie primaire non renouvelable
- Bilan d'énergie primaire non renouvelable

Suivant la nature et l'environnement du bâtiment (type de bâtiment, zone climatique et densité), un écart à l'énergie positive (Ecart<sub>autorisé</sub>) est accepté pour obtenir ce label.

→ Voici **quelques autres points de vigilance** pour respecter le label « BEPOS Effinergie 2013 » :

- Prise en compte des tests d'étanchéité à l'air des réseaux de ventilation. Un des enjeux du BEPOS est d'améliorer l'étanchéité des réseaux VMC qui impacte fortement les consommations d'énergies et la qualité de l'air intérieur.
- Tenir compte des consommations électriques domestiques, des consommations liées au cycle de vie des matériaux de construction et des consommations liées aux déplacements des habitants.

Autant de points qui incitent à une prise en compte énergétique et environnementale globale du bâtiment.

## Quelles différences entre les labels BEPOS et Passiv'Haus ?

Le label BEPOS demande une performance modulable en fonction de plusieurs critères tels que la localisation, l'altitude ou la surface du projet ; l'objectif final admet un « écart autorisé » pour permettre à des bâtiments exemplaires d'obtenir le label dans toutes les régions et contextes urbains. Il fait également l'objet d'une évaluation de l'énergie grise et du potentiel d'écomobilité.

A l'inverse, le label Passiv'Haus est fondé sur un calcul de physique du bâtiment, avec une méthode de calcul uniforme qui vaut quel que soit l'ouvrage et sa localisation. Un objectif unique est visé : une consommation inférieure à 15 kWh/m<sup>2</sup>/an et une puissance de chauffage maximum de 10 W/m<sup>2</sup>.

Le tableau ci-contre permet de voir les principales différences entre les 2 labels.

	BEPOS Effinergie	Passiv'Haus
<b>Bilan énergétique</b>	Différence entre Energies primaire entrantes et Energies primaires sortantes ≤ 0 + Ecart autorisé	< 120 kWh ep/m <sup>2</sup> .an (chauffage, refroidissement, ECS, auxiliaires, éclairage et électro-domestique)
<b>Contrainte sur les consommations</b>	< 40 kWh/m <sup>2</sup> .an (chauffage, refroidissement, ECS, auxiliaires, éclairage)	≤ 15 kWh/m <sup>2</sup> .an (chauffage et/ou refroidissement)
<b>Test étanchéité à l'air final</b>	Obligatoire : Q4 < 0,4 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> pour une maison individuelle, ≤ 0,8 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> pour un logement collectif	Obligatoire : n50 < 0,6 soit environ 3 fois plus étanche que le niveau BEPOS
<b>Test étanchéité des réseaux de ventilation</b>	Minimum classe B	non obligatoire
<b>Puissance de chauffage maximum</b>	Non prise en compte	10 W/m <sup>2</sup>
<b>Potentiel éco-mobilité</b>	Pris en compte	Non pris en compte
<b>Energie grise</b>	Prise en compte	Non prise en compte

# Retour d'expériences : quelques points à retenir pour une opération BEPOS

## Diminuer les besoins et mutualiser les apports

Paradoxalement, le BEPOS amène parfois à des situations où l'énergie obtenue devient excédentaire. André Pouget alerte les concepteurs et les maîtres d'ouvrage à ce sujet :

André Pouget  
expert thermicien

Dans la logique du BEPOS, il faut d'abord veiller à diminuer les besoins. En effet, les énergies « gratuites » comme celles produites par les capteurs photovoltaïques coûtent cher. D'autre part elles sont souvent disponibles au moment où personne n'en a besoin. Il faut donc consommer au maximum cette énergie et voir, le cas échéant, comment la mutualiser autour du projet. Dans notre cas nous réfléchissons, avec la ville de Nantes, à utiliser cette énergie pour les postes d'alimentation des véhicules électriques. Nous invitons à ne pas aller systématiquement vers du BEPOS au risque de retrouver de l'électricité en été dont on n'a pas l'usage.

## Diminuer l'énergie grise

L'énergie grise était marginale dans les ouvrages avant la RT 2005. La diminution des consommations avec les réglementations thermiques de 2005 puis 2012 lui donne un impact de plus en plus fort.

Alors que l'impact (en %) de l'énergie grise associée à la construction devient prépondérant dans les ouvrages BEPOS, l'augmentation des niveaux d'isolation thermique et des équipements (ventilation, géothermie, photovoltaïque...) tendent à augmenter le bilan énergie grise du projet.

Le schéma ci-contre exprime l'importance croissante de la part de l'énergie grise, dans l'opération de Montreuil-Juigné.

Sur cette opération, l'équipe de maîtrise d'œuvre a réalisé une simulation sur l'ensemble du bâtiment pour connaître l'impact de l'énergie grise entre une solution bois et une solution béton. Il apparaît que le bois permet de diminuer l'impact d'une solution béton, ce qui se traduit sur l'ensemble du bâtiment par une diminution de 15% de l'énergie grise utilisée lors de la construction. Les ordres de grandeur de ce résultat ont également été constatés sur d'autres opérations de logements.

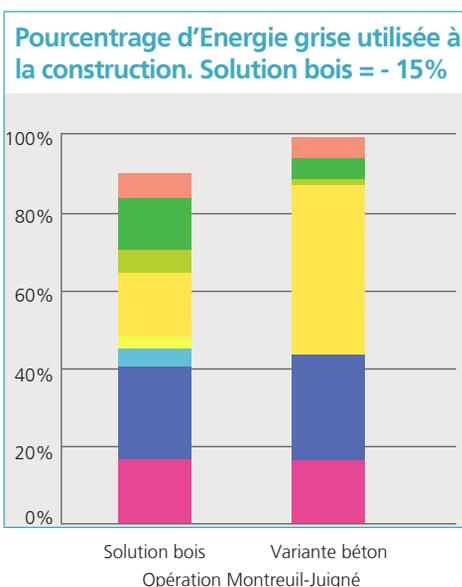
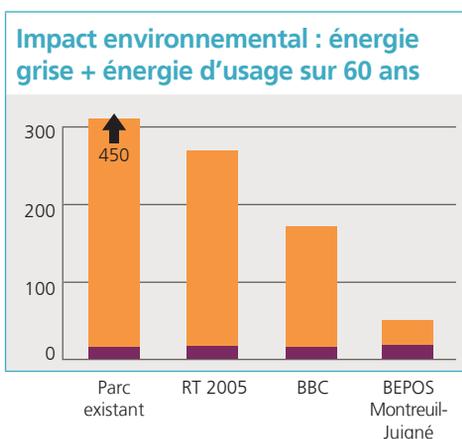
## Assurer le confort d'été

L'isolation poussée des ouvrages BEPOS demande d'être vigilant sur la thermique d'été, pour ne pas créer d'inconfort. Deux points ont été évoqués sur l'opération de Montbrison.

- Pour assurer un bon confort d'été, de la masse a été ajoutée à l'intérieur de l'ouvrage. Les parois verticales de l'enveloppe comportent coté intérieur une projection d'enduit de quelques cm sur un panneau de fibre de bois. Cette inertie intérieure améliore le confort thermique en permettant de stocker et déstocker les calories sur 24 heures.
- Le positionnement des gaines de chauffe-eau solaire doit être de préférence hors volume habitable, comme l'explique Franck Janin, sur l'opération de Montbrison.

Franck Janin  
expert thermicien

Sur une semaine très chaude, on voit que la température dans la gaine technique est montée jusqu'à 45°C, à cause du chauffe eau solaire. Comme il est non vidangeable, il fait tourner l'eau toute la journée pour ne pas la faire monter en ébullition et la refroidit pendant la nuit. Cette énergie finit par gagner le logement et peut provoquer un risque d'inconfort. Il paraît finalement préférable de perdre quelques calories en mettant la gaine à l'extérieur, plutôt que de pénaliser le confort d'été en laissant la gaine à l'intérieur.



### À retenir

Dans le cadre d'une opération de logements : une solution structurelle bois en remplacement d'une solution structurelle béton diminue le bilan énergie grise du bâtiment de l'ordre de 15%.



## Conclusion

Les opérations étudiées prouvent que l'objectif BEPOS est atteignable sans rupture technologique avec les systèmes constructifs bois. Mieux, certaines opérations présentées dépassent l'objectif BEPOS, avec un bilan énergétique positif, qui permettra d'alimenter d'autres fonctions liées à l'habitat, telles que l'alimentation d'un véhicule électrique, par exemple.

Cette performance fait naturellement monter au premier plan l'énergie grise nécessaire utilisée pour la construction d'un ouvrage. L'analyse des opérations de Nanterre et Montreuil-Juigné montre que le choix d'une solution bois en substitution d'une solution maçonnée permet de baisser significativement l'énergie grise de l'ouvrage. De fait, le matériau bois se positionne comme une solution de choix pour les maîtres d'ouvrage et concepteurs qui visent un objectif BEPOS.

## Remerciements

### Montbrison

**Dominique MOLARD**, architecte et maître d'ouvrage, Agence Archipente

**Edouard MOLARD**, architecte, Agence Archipente

**Franck JANIN**, expert thermicien, Héliasol

### Montreuil-Juigné

**Clément FAURE**, architecte, Agence Matières d'Espaces

**Nicolas DESVIGNES**, Expert thermicien, Agence Matières d'Espaces

### Pantin

**Emmanuelle PATTE**, architecte Agence Méandre-ETC

**Gilbert METAIS**, ingénieur principal, Ville de Pantin

### Nanterre

**Nicolas FAVET**, architecte, Agence NFA - Nicolas Favet Architectes

### Aix en Provence

**Agence Tangram Architectes**

### Nantes

**André POUGET**, expert thermicien, Pouget Consultants

**Vincent BRAIRE**, expert thermicien, Pouget Consultants

Détails techniques : Jérôme GRIVET, CNDB

Plus généralement, nous remercions toutes les personnes qui ont participé à la publication et à la relecture.

### Crédit photos :

Maison des Aînés, Montbrison : Archipente / Résidence l'Espéria, Montreuil-Juigné : Agence Matières d'Espaces / Groupe scolaire A. de Saint-Exupéry, Pantin : Agence Méandre / Groupe scolaire A. Sayad, Nanterre : Nicolas Favet Architectes ; Didier Boy de la Tour photographe ; Philippe Leroy photographe / Parce de l'Ensoleillé, Aix-en-Provence : Yann Bouvier photographe / Bureaux MC2, Nantes : Agence Magnum Architectes et Urbanistes ; POUGET Consultants ; Vincent Braire /



# BEPOS

bâtiment à  
énergie positive

# Solutions bois

Après les bâtiments BBC et la RT 2012, les bâtiments à énergie positive dits BEPOS sont l'avenir de la construction. Dans cette perspective, le bois doit tirer avantageusement son épingle du jeu. C'est en effet un matériau particulièrement bien adapté à ce type de réalisation.

Nous vous proposons de découvrir, dans cet ouvrage, six opérations exemplaires de bâtiments à énergie positive ayant fait le choix du matériau bois.

Pour chaque opération, les acteurs font part de leur retour d'expériences et le lecteur dispose des informations nécessaires pour les caractériser : descriptif, performances thermiques et acoustiques, énergie grise, détails techniques, volume de bois mis en œuvre, coûts de construction par lots ...

Cet ouvrage se conclut par les principaux points à retenir pour une opération BEPOS. Autant d'informations qui pourront être mises au bénéfice de futures réalisations.

#### Un site internet dédié au BEPOS Bois :

Grâce à son envergure nationale, le CNDB est toujours au cœur des préoccupations des acteurs utilisant le bois dans la construction. C'est pourquoi, nous avons lancé le site [www.bepos.fr](http://www.bepos.fr), premier site internet dédié au BEPOS. Vous y trouverez des informations génériques (définition, intérêts et principes, perspectives et développement durable), les atouts du matériau bois (pour la structure et l'enveloppe, le confort et la santé, l'énergie grise ou encore le bois-énergie) et enfin, un observatoire des réalisations BEPOS Bois.



Comité National pour le Développement du Bois  
10 rue Mercœur - 75011 PARIS

[www.cndb.org](http://www.cndb.org)



Édition CNDB 2014  
Prix : 25,00 € TTC  
ISBN : 978-2-919213-08-5  
EAN : 9782919213085

