

# FICHE RETOUR D'EXPÉRIENCE

DE L'AREC, DÉPARTEMENT ÉNERGIE-CLIMAT DE L'INSTITUT PARIS REGION



## ARCHITECTURE ZÉRO CARBONE

### GROUPE SCOLAIRE A. SAYAD

SEPTEMBRE 2019

41.17.15



[www.arec-idf.fr](http://www.arec-idf.fr)



**AREC**

AGENCE RÉGIONALE  
ÉNERGIE-CLIMAT

# UNE APPROCHE INTÉGRÉE ARCHITECTURE CARBONE

## La localisation

Nanterre, Île-de-France

## Le bâtiment

Groupe scolaire  
A. Sayad Nanterre,  
Île-de-France

## Programme

15 classes maternelles et  
élémentaires, centre de  
loisirs, restaurant scolaire,  
salle plurivalente,  
activités hors temps  
scolaires, bureaux,  
2 logements de gardien,  
parking public de 140  
places, espaces  
mutualisés.



## Coûts de Construction

13 817 500 €HT  
Coûts des études  
honoraires: 1 343 457 €HT

## Calendrier

Faisabilité-  
programmation : 2009  
Concours : octobre 2009  
à janvier 2010 APS-APD-  
DCE : mars 2010 à  
mai 2011  
Consultation des  
entreprises : mars à  
mai 2011  
Durée du chantier :  
septembre 2011 à  
juillet 2013 y compris  
préparation  
Livraison juillet 2013

## Maîtrise d'ouvrage

Ville de Nanterre  
Aménageur : SEMNA  
Assistance maîtrise  
d'ouvrage HQE : Les ENR  
Maîtrise d'œuvre :  
Nicolas FAVET,  
mandataire et ingénierie  
environnementale

## Distinctions

Lauréat BEPOS, appel à  
projets Ademe - Région  
Île-de-France, 2012  
1<sup>er</sup> prix Innovation  
durable de l'Association  
des maires  
d'Île-de-France  
2<sup>e</sup> prix Trophées de la  
construction bois  
d'Île-de-France  
(Francilbois et CNDB)

## LE PROJET

Le bâtiment scolaire Abdelmalek Sayad conjugue les dimensions énergétiques et durables avec les dimensions éducatives et d'insertion dans la vie urbaine. Il anticipe le concept de bâtiment zéro émission de carbone grâce à l'engagement environnemental et citoyen de la maîtrise d'ouvrage, la ville de Nanterre, et de la maîtrise d'œuvre. La réponse architecturale de l'agence Nicolas Favet fait écho à ce projet pédagogique et aux ambitions durables de la ville, s'adaptant au site et ses contraintes, et s'inspirant du concept éducatif d'Europe du Nord.

## Un programme et une conception intégrés

Le recyclage du site, l'ambition zéro énergie, bas carbone, le recours aux énergies renouvelables et de récupération, traduisent l'ambition de la ville, inscrite dans une charte environnementale. Le bâtiment est construit au sein du nouveau quartier Boule-Sainte Geneviève sur d'anciens terrains industriels, limitant l'artificialisation des sols. La première disposition a été le traitement exemplaire de la dépollution des sols au-delà des exigences réglementaires. Les immeubles de logements ont été soumis à un cahier des charges exigeant d'un point de vue environnemental et à l'obtention du label Bâtiment basse consommation (BBC). De nouvelles voies douces favorisent les piétons et les vélos et préservent des lieux calmes. Deux objectifs majeurs, les techniques bioclimatiques et la diminution des consommations en énergies fossiles ont été portés par l'aménageur. Les énergies renouvelables et de récupération couvrent avec un réseau de chaleur urbain plus de 50 % des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire de l'opération.

## Matériaux biosourcés et sains

Le groupe scolaire est construit avec des matériaux biosourcés et naturels. Environ 1 400 m<sup>3</sup> de bois sont utilisés au total. Cela concerne l'ossature en épicea, le bardage en mélèze, les panneaux de façade en fibre de bois haute densité, l'isolant en fibres de bois, les cloisons à ossature bois et panneaux de gypse cellulosique, les planchers en bois massif tourillonné, les revêtements de sol en linoléum, le mobilier en bois massif.



## UNE ÉCOLE OUVERTE SUR LE MONDE ET SOLIDAIRE

Le projet est conçu pour favoriser l'apprentissage et l'ouverture au monde, créer des proximités adaptées au développement cognitif et intellectuel. Le bâtiment concilie énergie positive, zéro carbone, et donne la priorité au confort et à la santé, tout en portant le projet éducatif et solidaire de la ville. La volonté de donner sa chance à chacun et de préparer les élèves aux challenges notamment climatiques, énergétiques et écologiques, est traduite dans le programme et dans la recherche d'une forme de travail différente pour l'encadrement, plus collaborative.

La parcelle exiguë et les données urbaines et environnementales contraignantes, l'histoire du site, ont inspiré la réponse, spécifique au lieu. Compact de l'extérieur mais généreux en espaces intérieurs, le bâtiment est ouvert vers la ville et l'espace public mais protège les accès aux différents espaces de l'école et des élèves. Le projet part de l'observation des besoins et des usages, croisant programme fonctionnel et projet éducatif. Les volumes, l'utilisation du bois et la lumière naturelle apportent leur contribution autant énergétique et bas carbone que pour créer du lien avec les habitants. L'attention est portée au confort d'ambiance des usagers, selon les besoins spécifiques des enfants et du personnel, enseignant ou non.

Une rue intérieure, crée cette porosité entre l'école et la ville, en distribuant les circulations et activités en séparant les flux et temps maternelle/élémentaire et scolaire/périscolaire. Sa configuration permet d'accueillir des activités hors temps scolaires. Les espaces mutualisés se trouvent à la charnière des pôles maternelle et élémentaire, au cœur du complexe scolaire : bibliothèque, ateliers, cuisine, salle plurivalente.

Le pôle maternel, réparti sur deux niveaux, économise les sols urbains. Les salles de classes élémentaires, à l'étage, sont éclairées par les fenêtres de toit. Elles offrent des espaces flexibles. Le restaurant comporte deux salles distinctes, l'une pour les maternelles et l'autre pour les élémentaires. Sa dimension n'empêche pas la création d'un cadre agréable, notamment grâce à la qualité du traitement acoustique.



### À SAVOIR

**Le site a été occupé par les usines Fulmen, et fermé en 2005, lieu de production de batteries et d'une des premières voitures électriques dans les années 1900. La toiture en forme de sheds servant de production électrique photovoltaïque est un clin d'œil à l'histoire.**

**Le nom du bâtiment du sociologue algérien Abdelmalek Sayad et la devise républicaine répétée dans quarante langues sur la façade, affirment le rôle de l'école publique dans la promotion des valeurs citoyennes.**

# ANTICIPER LE CONCEPT ZÉRO ÉMISSION DE CARBONE

## STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE

### Un réseau de chaleur renouvelable

À l'échelle du nouveau quartier, la ville et l'aménageur, ont installé un réseau de chaleur innovant alimenté à plus de 50 % par des énergies renouvelables, premier en France à être alimenté par la chaleur émanant des eaux usées (eau des cuisines, des salles de bains...) via le dispositif Degrés Bleus®. Le groupe scolaire y est raccordé. Des pompes à chaleur (800 kW au total) valorisent la chaleur des eaux usées du réseau d'assainissement du Conseil général des Hauts-de-Seine. La chaleur est récupérée sur 200 mètres linéaires d'échangeurs thermiques placés dans les canalisations de l'avenue proche. Le complément de chaleur est produit par une géothermie sur nappe à faible profondeur (70-90 m). Une centrale de production au gaz prévoit l'appoint et le secours. Ce réseau est alimenté à 53 % par des énergies renouvelables, dont 39 % par Degrés Bleus® et 14 % par la géothermie.

### Une énergie renouvelable produite sur site

Une centrale de production d'électricité composée de 348 panneaux photovoltaïques de type monocristallin sur 610 m<sup>2</sup> est installée sur les pentes des 14 sheds en toiture. Elle produit l'électricité nécessaire pour compenser les consommations en énergie primaire du bâtiment, soit une puissance crête de 112,5 kWc pour un rendement de 19,6 % (meilleur rendement disponible au moment de la construction). La production est principalement réinjectée dans le réseau (100 kWc). Le reliquat (12,5 kWc) est utilisé directement dans le bâtiment pour les usages constants (éclairage parking, auxiliaires de ventilation, éclairage de sécurité, etc.) avec un stockage tampon sur batteries. La production annuelle estimée est de 100.000 kWhep/an, en phase avec les études (99.000 kWhep/an).

### Une conception bioclimatique

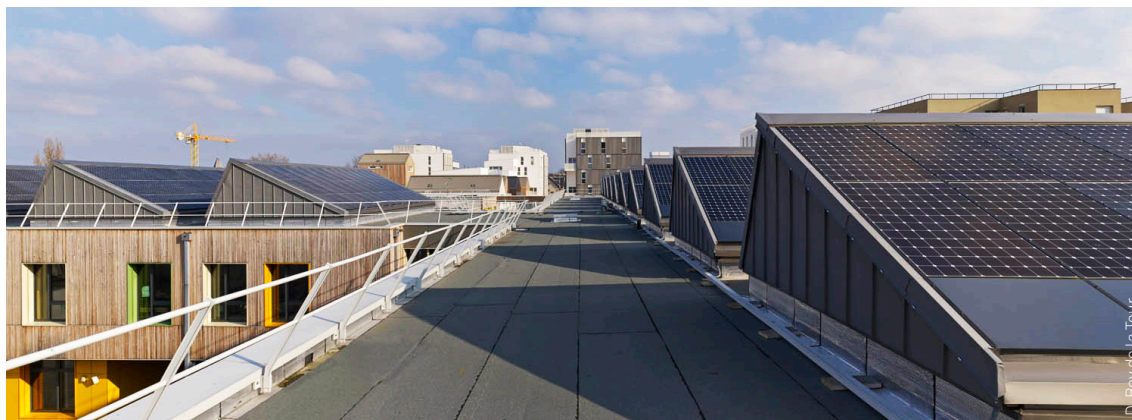
La conception bioclimatique permet de tendre vers le passif (sans label), grâce à une réduction de 80 % des besoins en énergie. Elle met en œuvre toutes les stratégies passives adaptées au site, son orientation, sa compacité, sa manière de profiter du soleil, de s'en protéger, son inertie, sa capacité à composer avec le vent, les masques.

Quatre principes permettent de gérer les énergies entrantes et sortantes selon les besoins, l'occupation et la saison. Implantation et orientation optimisent le chauffage passif. L'équilibre compacité et enveloppe performante vise la limitation maximale des déperditions. Les consommations liées à l'éclairage sont réduites par l'éclairage naturel ; la stratégie sur le confort hygrothermique permet confort d'hiver et d'été.

## NICOLAS FAVET, ARCHITECTE

### Qu'est-ce qui vous a poussé à développer très tôt une approche visant la neutralité carbone ?

Depuis 25 ans, je suis engagé dans la qualité environnementale et dans la réalisation de bâtiments à basse consommation et à énergie positive. Mais aussi vertueuses soient-elles, j'ai vite réalisé que ces approches ne traitaient que d'une partie de l'impact environnemental – la vie en œuvre du bâtiment – en faisant l'impasse sur celui de la construction elle-même et la fin de vie (qui semble plus accessoire car il est difficile d'élaborer des scénarios fiables à 50 ans sur le devenir d'un bâtiment). Or, c'est l'équivalent de la moitié de l'impact qui est oublié dans l'évaluation strictement énergétique d'un bâtiment performant. Ainsi, depuis plus de 10 ans, en anticipation de la démarche Bâtiment bas carbone (BBCA) ou du Label Énergie positive et réduction carbone (E+C-), j'ai développé une approche rigoureuse du bilan carbone global visant la neutralité carbone sur tout le cycle du bâtiment.



L'enveloppe, très compacte, constituée de parois à isolation renforcée et répartie, diminue l'impact des ponts thermiques et contribue à réguler l'hygrométrie. L'isolant en fibres de bois augmente l'inertie du bâtiment par sa densité et son épaisseur (30 à 35 centimètres pour les murs et 45 en toiture). Les fenêtres sont à double ou triple vitrage.

### Énergie positive et efficacité énergétique

L'ambition d'un bâtiment à énergie positive, BEPOS, était exposée par la ville lors du concours de maîtrise d'œuvre. Le BEPOS produit plus d'énergie qu'il n'en consomme, mais la plupart des réalisations sont basées sur les consommations liées au calcul réglementaire, soit sur 5 postes (chauffage, refroidissement, éclairage, eau chaude sanitaire, auxiliaires) n'intégrant pas toutes les consommations. Prenant en considération la forte dépendance aux comportements et usages que cela implique, et la question de l'autonomie qui n'est pas forcément assurée, notamment par rapport à la part d'énergie renouvelable, la maîtrise d'œuvre a proposé un bâtiment à très basse consommation, associé à la production d'énergie renouvelable sur site, et à une gestion performante. La réduction des besoins en énergie, l'efficacité et la gestion des systèmes, le recours aux énergies renouvelables et la production d'électricité photovoltaïque permettent d'atteindre un équilibre positif avec une production supérieure aux consommations du bâtiment. Outre la conception bioclimatique, des solutions énergétiques efficaces et sobres sont mises en œuvre. Le réseau à température régulée pour les planchers chauffants est conçu avec un seul départ pour alimenter l'ensemble du bâtiment constitué de plusieurs zones alimentées chacune par une nourrice d'alimentation des épingles chauffantes. Chaque zone est équipée d'une régulation pilotée par un automate via une sonde d'ambiance. De même, les centrales de traitement d'air (CTA) sont alimentées à température constante avec un seul départ pour alimenter l'ensemble. Elles sont équipées de batteries à eau

chaude, de régulations de température assurant le soufflage de l'air à température constante et de compteurs de calorie. Dans les salles de classe, les CTA sont à récupération de chaleur par échangeur rotatif ayant un rendement de récupération de 80 % sur la reprise de l'air. Automatismes et gestion intelligente concourent au confort d'usage et garantissent la maîtrise des consommations énergétiques. La ventilation est coupée dès que l'on ouvre une fenêtre. Les besoins en éclairage artificiel sont réduits grâce à l'optimisation des orientations, des dimensions et positions de baies et verrières, mais aussi par la gestion. Son pilotage assure le juste complément d'éclairage. Sur sonde horaire, détection de présence, il fonctionne sur gradateur sur les locaux principaux. Il n'y a pas d'éclairage extérieur, sauf au droit du parvis public pour des raisons de sécurité. L'objectif ambitieux d'étanchéité à l'air a été atteint, de 6 vol/h sous une pression de 50 Pa, correspondant à un bâtiment passif. Ce sont de grandes contraintes de mise en œuvre sur le chantier, tant dans la conception des détails, un carnet spécifique sur l'étanchéité à l'air a été réalisé, que dans l'exécution. Il faut assurer la continuité des performances lors de l'intégration des menuiseries extérieures et celle de la mise en œuvre de la membrane d'étanchéité à l'air, difficiles à maîtriser entre plusieurs lots techniques. Dans l'approche des calculs de consommation énergétique, la maîtrise d'œuvre a réalisé de front trois calculs selon des hypothèses visant l'équilibre énergétique souhaité :

- le bâtiment référent dans le cadre de la réglementation thermique
- le calcul selon la réglementation thermique, dans une approche « pessimiste »
- le calcul selon la réglementation thermique en tenant compte de la production réelle de la centrale photovoltaïque, la part d'énergies renouvelables du réseau de chaleur, la réalité des éclairages posés, l'étanchéité à l'air du bâtiment exigée aux marchés de travaux, etc.

	Référence selon calcul RT 2005	Projet selon calcul RT 2005	Estimatif projet selon données réelles
Cep* avec ENR	100,89	-5,74	-23,39
Cep hors ENR	100,89	43,18	28,96
Ubat	0,598	0,326	0,33
Chauffage	50,08	13,25	5,30
ECS	4,39	4,43	2,66
Ventilateurs	16,95	15,48	15,48
Éclairage	27,39	9	4,50
Auxiliaires	2,08	1,02	1,02
Photovoltaïque	0	-48,92	-52,34

\* Consommation d'énergie primaire



P. Leroy

## Évaluation Énergie positive et réduction carbone E+C-

Le projet a fait l'objet d'une évaluation dans le cadre du programme Obec - Expérimentation E+C- en 2018 restituée en 2019, il atteint le niveau E3C0. Sur le poste énergie, il atteint le plus haut niveau de performance du label (E3) en cohérence avec les calculs de la maîtrise d'œuvre, mais reste au plus bas sur le bilan carbone (C0). Pourquoi alors que d'un point de vue constructif, hors infrastructure, il est quasiment totalement biosourcé? L'ensemble des émissions du parking sous-terrain et des cours sont prises en compte, bien qu'exogènes. Elles représentent plus de 50 % des émissions du bâtiment sur son cycle de vie, ou les lots techniques qui représentent plus de 35 % (dont 6 % pour deux ascenseurs). Aussi, la plupart des données prises en compte le sont « par défaut », soit en absence de données précisées par les industriels, il est pris des données forfaitaires; ici 75 % des données sont forfaitaires. Des éléments comme les dalles en bois massif se retrouvent moins vertueux que des dalles en béton armé! Les cloisons ossature bois, isolant bois et parement gypse cellulosique sont à peine plus vertueux que des cloisons standard. L'évaluation E+C- semble ne pas favoriser le bois, la séquestration de carbone ne semble pas être prise en compte. Peu encourageant pour les maîtres d'ouvrage qui se lancent dans la démarche E+C-... dont les résultats interrogent l'opérabilité. L'évaluation indique que très peu de bâtiments dépassent le niveau zéro en matière de carbone, que les « niveaux fixés sont trop exigeants au regard des règles de modélisation de l'ACV » et que « l'analyse des résultats de l'expérimentation conduira donc probablement à des actions sur la réglementation ». Cette conclusion pose question pour une démarche E+C- rendue obligatoire pour les collectivités depuis l'arrêté Bâtiments Publics Exemplaires du 10 avril 2017.

Ainsi, selon l'approche réglementaire, le bâtiment était à énergie positive dans le cas le plus défavorable (-5,74 kWh/m<sup>2</sup>/an), et très largement positif dans le cas le plus favorable (-52,34 kWh/m<sup>2</sup>/an).

Pour évaluer le bâtiment du point de vue énergie et carbone, un protocole de calcul et d'évaluation a été mis en place, l'expérimentation E+C- n'existait pas alors. Il avait été considéré que ne seraient pas prises en compte :

- les consommations énergétiques de la cuisine collective, assimilé à un process et représentant autant que celles du reste du bâtiment
- les émissions de carbone du parking public souterrain, exogène au programme, et aux cours de récréation situées sur la dalle du parking, qui, ensemble, représentent l'essentiel des émissions de carbone du bâtiment.

## UN BÂTIMENT BIOSOURCE



Les matériaux biosourcés sont la clef de voûte pour atteindre les objectifs fixés en matière de bilan carbone, de nombreux développements et recherche sont en cours. Les produits et systèmes constructifs du bois disposent d'un retour d'expérience important et de définition des règles de l'art. De plus, la ville comme l'architecte, apprécient les qualités du bois dans les bâtiments.

Le choix du bois, dans la mesure du possible peu transformé, est privilégié pour son bilan carbone positif (stockage durant la croissance). Cela réduit significativement l'énergie grise et le bilan carbone. Il est utilisé pour la structure, la partition intérieure, l'isolation, le bardage, les finitions et le mobilier. Le principe constructif adopte le type plate-forme, les murs sont constitués de montants en bois massif de la hauteur d'un étage, espacés de 60 cm et contreventés par un panneau de grandes particules orientées (OSB, oriented strand board). L'ossature en bois des murs assure la fonction porteuse, le clos, l'étanchéité à l'eau et à l'air, l'isolation thermique, la stabilité au feu et le contreventement vertical. La préfabrication des panneaux en atelier a permis d'intégrer tous les composants, y compris techniques (le passage de câbles dans les murs par exemple).

Les planchers sont des dalles de bois massif tourilloné, BMT, complétés de panneaux OSB jouant le rôle de diaphragme contreventant. Les dalles, de 80 à 260 mm d'épaisseur et de portée jusqu'à 12,40 m, sont de qualité « vue » ou « non vue » selon leur situation dans le bâtiment, avec ou sans faux plafond. La toiture est construite selon le même principe et les sheds sont des caissons de bois préfabriqués portant de sablière à faîtière, dans lesquels les chevêtres des fenêtres de toit ont été percés. La partition intérieure est intégralement réalisée en ossature bois, porteuse longitudinalement, non

transversalement, pour une bonne évolution du bâtiment dans le temps et sa réorganisation éventuelle. Le bois utilisé est certifié issu de forêt durablement gérées et provient autant que possible de moins de 400 kilomètres, tel que demandé au dossier de consultation des entreprises, pour limiter le bilan carbone et contribuer à l'économie locale – même si les planchers BMT, qui n'existent pas en fabrication française, ont été importés de Suisse romande. Les essences utilisées sont le hêtre et l'épicéa pour les planchers BMT, le mélèze pour le bardage, le chêne pour les menuiseries extérieures, le robinier pour les terrasses. Aucune technique réellement innovante n'a été mise en œuvre ; cependant, l'utilisation du bois dans des emplois habituellement réservés à d'autres matériaux, en plancher, en cloison, comme isolant, demande une attention particulière et un mode de travail spécifique.

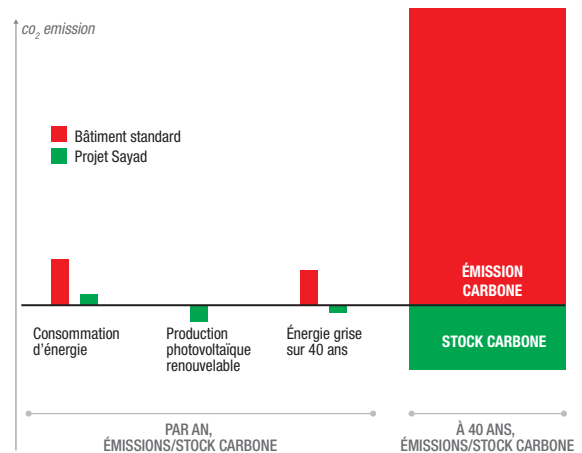
L'enveloppe extérieure du bâtiment est constituée d'un bardage de mélèze et de panneaux de bois reconstitué coloré. L'isolation thermique et acoustique est systématiquement en fibre de bois, choisie pour sa densité et sa performance en termes de bilan carbone et sa contribution au confort d'été grâce à une inertie renforcée. L'épaisseur d'isolant pour les parois extérieures est de 320 mm et de 420 mm minimum en toiture.

Les murs extérieurs livrés complets sur le chantier (caisson ossature bois, remplissage isolant fibre de bois, panneau gypse-cellulose sur deux faces pour assurer la stabilité au feu), sont complétés d'une contrecloison ossature bois, isolant fibre de bois et panneau gypse-cellulose permettant d'assurer le passage des câbles tout en garantissant une étanchéité à l'air irréprochable. Les menuiseries extérieures sont mixtes bois-aluminium pour le bilan environnemental, le confort, l'ambiance intérieure et l'absence d'entretien.

À l'intérieur, c'est la même exigence avec une utilisation du bois en structure de cloisons et contre-cloisons, en isolant et lambris acoustique en plafond et mur, en plafond de fibre bois-ciment. La substitution systématique de panneaux de gypse-cellulose en alternative aux panneaux de gypse usuels apporte une qualité et une robustesse constructive supplémentaire, mais également l'intégration de matériaux biosourcés comme pour les sols souples en linoléum naturel.

Le bilan carbone a été évalué avec le logiciel Cocon tout au long des études pour aider à la décision et favoriser le choix de matériaux biosourcés. À l'issue de l'avant-projet définitif, l'évaluation faisait apparaître un bilan carbone positif à la livraison du bâtiment. Les données d'entrée étaient celles de la base de donnée intégrée au logiciel, ou étaient l'objet d'une évaluation réelle (quantité par type de matériau, déplacements, etc...) lorsqu'elles n'étaient pas disponibles ou que les données semblaient manifestement inadéquates. Le bâtiment, testé dans le cadre de l'appel à projet Bepos, faisait apparaître des résultats similaires (une partie de résultats de Cocon ont été intégrés). Ainsi au démarrage des

## Comparaison entre un bâtiment standard et le projet - schéma puits de carbone



travaux, le bilan global du bâtiment confirmait les hypothèses initiales de la maîtrise d'œuvre soit un bilan carbone global négatif, séquestrant pour la construction, plus de carbone qu'il n'en émettait, puis, dans son exploitation, produisant plus d'énergie qu'il n'en consomme annulant ses émissions de carbone en phase d'exploitation.

## GAËLLE COLLIGNON, RESPONSABLE ÉNERGIE VILLE DE NANTERRE

### Quel retour d'expérience de cette démarche expérimentale pour la ville ?

La ville maître d'ouvrage s'est engagée dans une démarche expérimentale, développe une éthique pour l'environnement, l'usage et les ambiances au-delà de la seule esthétique. Sur chaque opération, la ville tient compte des enseignements des réalisations précédentes : avant Sayad, nous avons construit en bois et apprécié le résultat. Pour Sayad, nous avons donc incité fortement les équipes de maîtrise d'œuvre à proposer un bâtiment bois tout en allant plus loin sur l'énergie en visant le Bepos et le bilan carbone. Pour le projet suivant, nous mettons en œuvre des structures en terre crue. Nous nous sommes rendu compte de l'importance pour cette position expérimentale et exemplaire de l'apport de l'architecte Nicolas Favet qui met en pratique une conception intégrée entre architecture et ingénierie environnementale. Dans la raison du succès, il y a aussi son travail en amont et en symbiose avec un bureau d'études techniques très sensible à la question de l'exploitation. Il en résulte un équilibre efficient entre insertion urbaine, usage et ambiances et conception bioclimatique, systèmes techniques et exploitation.

### Quelles leçons pour d'autres projets ?

Ce bâtiment correspond au mieux aux hypothèses de calcul théorique sur le confort, l'énergie, ou le coût, ce qui est très rare. Grâce aux nombreuses simulations thermiques réalisées par la maîtrise d'œuvre, on a de très bonnes conditions de confort d'été, contrairement à d'autres établissements. Sur les consommations énergétiques, sans compter celles liées à la restauration, on est bien à énergie positive. Si en revanche, les conditions d'achat et vente des énergies et le coût d'exploitation de ce bâtiment volontairement sophistiqué aboutissent aujourd'hui à un équilibre économique tout juste favorable, même une très faible inflexion du coût de l'énergie fera pencher la balance en sa faveur. À moyen ou long terme cela lui donnera toute sa valeur durable. Pour les autres opérations, nous prêtons une attention particulière à la mise œuvre de systèmes de gestions un peu plus simples et à un commissionnement plus performant. Notre engagement n'est pas qu'économique, il s'agit d'investir dans un patrimoine durable, de réduire les charges économiques et environnementales pour la ville et les générations futures. Cela se traduit en particulier par l'objectif zéro carbone grâce aux matériaux biosourcés. À ce titre, nous sommes fiers d'avoir été précurseurs de la démarche E+C- qui n'est arrivée que plusieurs années après notre expérimentation.



# PRIORITÉ AU CONFORT ET À LA SANTÉ POUR LES ENFANTS

## CONFORT VISUEL

La maîtrise de la lumière naturelle du bâtiment est liée à la conception bioclimatique, l'associant aux vues, apports solaires et ventilation. Elle a influencé le parti architectural sur les positions et dimensions des baies, la hauteur du rez-de-chaussée (3,30 à 4,40 m) pour faire entrer la lumière naturelle en profondeur. Le toit est conçu comme une 5<sup>e</sup> façade avec des sheds équipés de fenêtres pour une bonne répartition lumineuse à l'étage. Ces dispositions ont été vérifiées par des simulations du facteur lumière jour (FLJ) dès le concours et affinées à chaque phase, visant au moins 2 % dans 80 % des locaux et au moins 1,5 % dans les autres. La « clarté » qui en résulte est d'ailleurs plébiscitée par les utilisateurs.

Les paramètres qualitatifs d'éblouissement, de variation de l'ambiance lumineuse pour utiliser les tableaux numériques ou des projecteurs, et les paramètres de confort d'été sont pris en compte et modulables par les usagers. Les façades sud, ouest et est sont équipées d'occultations solaires orientables, ainsi que les verrières. La qualité de la perception des couleurs tient compte des paramètres de contraste, de température de couleur et de l'indice de rendu des couleurs.

## CONFORT HYGROTHERMIQUE

### Confort d'hiver

La surisolation du bâtiment évite les effets de paroi froide et garantit l'homogénéité de leur température superficielle ; un plancher chauffant à basse température donne une sensation de confort. Le chauffage se fait d'abord par les apports solaires ; le plancher chauffant procure ensuite une base inertielle, que vient compléter la ventilation à double flux avec batterie d'eau chaude. Celle-ci apporte un préchauffage dynamique de l'air, relayé par les apports internes (chaleur dégagée par les occupants). Tout en assurant le confort à l'arrivée des enfants le matin, on évite l'inconfort qui suit généralement

dans la matinée, avec les apports internes. Chaque local a une sonde de température et une sonde de CO<sub>2</sub> qui permettent de moduler finement les conditions de confort selon les activités (dortoirs, salle de motricité ou de classe, sanitaires, etc.), les apports solaires et les besoins. L'étanchéité à l'air du bâtiment et la ventilation double flux évitent l'introduction directe d'air extérieur et les courants d'airs auxquels les enfants sont très sensibles.

### Confort d'été

L'organisation du bâtiment sur la parcelle, le choix constructif et de conception de l'enveloppe répondent à une stratégie pour garantir le confort d'été. La conception bioclimatique limite les apports solaires directs par l'orientation des baies, leurs dimensions, les types de vitrages (double ou triple selon les orientations et classe A4 pour l'étanchéité à l'air). Sur les façades est, ouest et sud, des brise-soleils à lames orientables laissent passer la lumière naturelle sans risque de surchauffe. La rue intérieure est naturellement ombragée l'essentiel de la journée et est équipée de protections solaires textiles extérieures. Les protections solaires sont contrôlables manuellement par les utilisateurs, mais sont, en régime de base, automatisées pour optimiser les apports énergétiques et le confort, en particulier éviter tout risque de surchauffe. La construction en bois est parfois critiquée pour sa faible inertie, là, le recours à la fibre de bois avec des épaisseurs importantes pour l'isolation et la partition des locaux, aux panneaux en gypse cellulose, de chapes à chaque niveau confèrent au bâtiment une inertie qui apporte un confort équivalent à une solution « en dur ». Le dispositif est complété par un principe de free cooling profitant de la fraîcheur nocturne pour sur-ventiler et rafraîchir. Le bâtiment assure une bonne ventilation naturelle, la vitesse de l'air étant une composante de la sensation de fraîcheur. Ainsi, les salles de classes à l'étage, les plus sensibles aux surchauffes, ont des ouvrants en toiture ainsi qu'en façade, sur des orientations opposées, pour un tirage naturel important. Enfin, en





particulier dans les locaux à forte densité d'occupation, un rafraîchissement passif a été mis en place en lien avec le réseau de chaleur. Ce dernier devant garder une circulation hydraulique même l'été, l'envoi d'eau fraîche ne consomme aucune énergie.

Au niveau des études, les hypothèses vont au-delà des calculs réglementaires, basés sur des données théoriques peu adaptées à la réalité des conditions estivales. Avec le réchauffement climatique, il devient indispensable d'en tenir compte. Ainsi, 2 °C sont ajoutés aux courbes météo conventionnelles et le bâtiment est « testé » par la modélisation pour un scénario canicule (été 2003 à plus de 30 °C jour et nuit). Plus de 120 scénarios ont été modélisés en simulations thermiques dynamiques pour trouver la bonne solution constructive et technique. L'objectif de confort recherché est de moins de 40 heures à + 27 °C sur le temps d'occupation annuel, y compris dans ces conditions extrêmes.

## QUALITÉ SANITAIRE DE L'AIR

La qualité de l'air, compte tenu de la sensibilité des enfants, est une priorité de la conception aux finitions. L'équipe projet s'est préoccupée de la ventilation, de la mise en œuvre des matériaux biosourcés et des possibilités de prolifération microbienne, de l'ensemble des produits utilisés, favorisant des matériaux assainissants, avec une réflexion sur l'entretien et la maintenance.

Les finitions brutes, peu consommatrices de matières et faciles d'entretien ont été recherchées.

Le choix du double flux pour la ventilation améliore la qualité de l'air intérieur. L'air entrant passe par des filtres gravimétriques et opacimétriques, utilisés habituellement en milieu hospitalier, retenant entre autres, pollens végétaux, poussières et germes. L'excellente étanchéité à l'air du bâtiment et des réseaux aérauliques (classe B) permet, outre les économies d'énergie, d'éviter les infiltrations d'air parasites et porteuses de polluants. Le débit est ajusté, en fonction de la qualité de l'air et de l'occupation, par sonde CO<sub>2</sub>, de 18 à 25 m<sup>3</sup>/h au-delà de la

norme française. Les bouches d'insufflation et d'extraction sont placées pour un balayage optimal de l'air intérieur.

La réduction des sources de pollutions intérieures a fait l'objet d'une attention particulière. Les produits utilisés bénéficient d'écolabels attestant de leurs très basses émissions polluantes, y compris pour l'entretien courant. Les panneaux en gypse cellulose, la laine de bois au lieu de laine minérale, les faux plafonds en bois, réduisent la production de fibres et particules. Les revêtements de sol en linoléum 100 % naturel avec un traitement de surface usine, posés avec une colle non émissive, les peintures non émissives en phase aqueuse, le bois massif utilisé sans colle, réduisent la formation des COV et formaldéhydes.

De façon générale, des matériaux assainissants sont mis en œuvre comme les peintures et revêtements de sol dur à effet photocatalytique désagrégeant les COV, les gaz, les odeurs, les moisissures, les champignons et même les bactéries et virus. Le procédé constructif impliquant essentiellement des matériaux biosourcés, un soin a été porté à éviter toute croissance fongique ou bactérienne. La migration de la vapeur dans les parois a été modélisée en s'assurant de leur perspiration.

## CONFORT ACOUSTIQUE

L'acoustique est pensée à tous les niveaux. La répartition des locaux permet un zonage éloignant les lieux dynamiques des lieux calmes, tout en favorisant la possibilité de ventilation naturelle l'été par ce positionnement. Le système constructif des parois externes et internes ainsi que des planchers, permet l'affaiblissement des bruits extérieurs en associant dans la composition de l'enveloppe les caractéristiques de masse et de ressort, ainsi que la réduction des bruits entre locaux. La correction acoustique, traitant les effets de réflexion dans les pièces, est adaptée aux différents usages. Les bruits d'équipements ont été pris en compte, comme pour la conception des gaines de ventilation et la disposition des pièges à sons.

## EXPLOITATION ET RETOUR D'EXPÉRIENCE

La mise en route d'un tel bâtiment nécessite la coordination de tous les acteurs. La mise en place d'une routine de fonctionnement, tant du bâtiment que de l'organisation des acteurs prend du temps, et, pour ce dernier point, reste très liée aux personnes. L'automatisation avec la gestion technique centralisée, GTC, et la mise au point des scénarios nécessite la coordination de tous, usagers, services techniques, exploitant externe. La maîtrise d'œuvre est restée impliquée dans le suivi du bâtiment après la réception.



Les besoins liés à l'exploitation et la maintenance ont été pensés dès le départ. Les locaux techniques sont au sous-sol pour ne pas perturber le fonctionnement de l'école, et largement dimensionnés pour les opérations de maintenance et d'éventuels besoins futurs. Les réseaux de distribution des fluides sont regroupés en plafond haut du rez-de-chaussée. La GTC, avec plusieurs centaines de points de contrôle et de mesure, assure la performance énergétique et le confort optimal du bâtiment.

Selon les conditions extérieures (température, ensoleillement, vent), l'occupation intérieure (horloges, détecteurs de mouvement, sondes de température, sondes CO<sub>2</sub> détectant la présence de personnes), l'usage (contacteurs d'ouverture de fenêtres), le fonctionnement du bâtiment est automatisé en fonction de scénarios prédéfinis (ouverture, fermeture, inclinaison des stores, ouverture des fenêtres, régulation du chauffage, de la ventilation, de l'éclairage, etc.). Les usagers peuvent prendre le contrôle de l'ambiance (occultation, ventilation, éclairage, etc.), et la GTC réagit en conséquence (ventilation coupée en cas d'ouverture des fenêtres, retour au scénario temporisé après un laps de temps, etc.).

Consommation et production énergétiques sont connues en temps réel et affichées à des fins pédagogiques. Pour la maintenance, un système d'alerte

permet de détecter les anomalies (dépassement de consommation cible, panne, etc.).

Le bilan brut des consommations énergétiques des premières années fait ressortir un certain nombre de différences avec les estimations théoriques.

La production photovoltaïque est conforme aux hypothèses théoriques. En revanche, il apparaît une consommation plus importante sur les postes chauffage et électricité tendant à conclure que l'équilibre Bepos n'est pas obtenu sur les premières années.

Sur le poste du chauffage, les consommations sont supérieures d'environ 15 % aux estimations en raison d'optimisations non encore mises en place sur la gestion thermique du hall, la régulation du chauffage et des centrales de traitement d'air. La mise en place de ces mesures permet d'arriver à une cible sensiblement identique à l'hypothèse théorique initiale.

Aussi, la non prise en compte du fait que le réseau de chaleur est renouvelable à 50 % joue une part importante dans le bilan.

Sur le poste électricité, les hypothèses de calcul excluaient le processus de cuisine collective qui lui seul représente 50 % de la surconsommation identifiée. Le reste des postes de surconsommation est réparti entre l'absence de gradateurs sur les éclairages (contentieux avec l'entreprise d'électricité), un réglage non optimisé de la centrale de traitement d'air (coupure de la ventilation lorsque le bâtiment est vide), et l'eau chaude sanitaire.

Les mesures correctives permettent d'arriver à un bilan plus favorable que l'hypothèse de calcul, le bâtiment est bien à énergie positive.

D'un point de vue économique, il est notable que le coût de l'énergie du réseau de chaleur est relativement élevé de même la GTC et les automatismes représentent un coût à prendre en compte. Par ailleurs, la production photovoltaïque subit un coût de gestion externalisée important peinant à compenser le surcoût d'exploitation. Cependant, le coût d'exploitation du bâtiment est inférieur à un bâtiment classique.

### **DIRECTEUR DE LA PUBLICATION**

Fouad Awada

### **COORDINATION**

Madeleine Noeuvéglise, Arec,  
département énergie climat

### **RÉDACTION**

Madeleine Noeuvéglise, Arec  
et Nicolas Favet, NFA

### **MAQUETTE**

Agnès Charles

### **FABRICATION**

Sylvie Coulomb



15, RUE FALGUIÈRE  
75740 PARIS CEDEX 15  
TÉL. : 01 77 49 79 89

contact.arec@institutparisregion.fr  
[www.arec-idf.fr](http://www.arec-idf.fr)



**L'AREC** EST UN DÉPARTEMENT DE **L'INSTITUT PARIS REGION**,  
ASSOCIATION LOI 1901

15, RUE FALGUIÈRE - 75740 PARIS CEDEX 15 - TÉL. : 01 77 49 77 49