
MONOGRAPHIES

LES GROUPES SCOLAIRES A ENERGIE POSITIVE
PROGRAMME BATEX



Réf : 2010.219-E07 B		08/11/2012
Rédigé par :	Julien LEMAIRE	
Vérifié par :	Axelle SZYMANSKI	

REVISIONS

Indice	Date	Modifié par	Modification
A	09/09/12	Julien LEMAIRE	Création du document
B	08/11/12	Julien LEMAIRE	Corrections

ACRONYMES

AMO	Assistant à Maitrise d'Ouvrage
APD	Avant Projet Définitif
APS	Avant Projet Sommaire
BATEX	BATiment EXemplaire
BEPOS	Bâtiment à Energie POSitive
BET	Bureau Etude Technique
CTA	Centrale de Traitement d'Air
DCE	Dossier de Consultation des Entreprises
DF	Double Flux
DN	Déchet Nucléaire
ECS	Eau Chaude Sanitaire
EF	Energie Finale
ENR	Energie Renouvelable
EP	Energie primaire
EU	Eaux usées
GES	Gaz à Effet de Serre
GTB	Gestion Technique du Bâtiment
HVP	Huile Végétale Pure
MOA	Maitrise d'OuvrAge
MOE	Maitrise d'OEuvre
PAC	Pompe à chaleur
PUCA	Plan Urbanisme Construction Architecture
PV	PhotoVoltaïque
RT	Réglementation Thermique
SDOT	Surface Dans Œuvre Thermique
SDO	Surface Dans Œuvre
SHAB	Surface Habitable
SHOB	Surface Hors Œuvre Brute
SHON	Surface Hors Œuvre Nette
ST	Solaire Thermique
STD	Simulation Thermique Dynamique
SU	Surface Utile
VMC	Ventilation Mécanique Contrôlée

Le but du programme BATEX est de constituer un corpus de références sur des bâtiments résidentiels ou tertiaires, permettant d'analyser les innovations mises en œuvre dans différents domaines relatifs à la qualité de la construction. Dans quelle mesure ces innovations donnent-elles un caractère d'exemplarité au bâtiment considéré, c'est la question qui est posée, à laquelle les observations, évaluations et analyses de différentes réalisations vont chercher à répondre.

Dans le cadre du BATEX, il s'agit d'analyser, en inscrivant la ou les opération(s) dans son (leur) contexte (réglementaire, urbain, social, économique), en quoi consistent les progrès observés et comment ces progrès ont été rendus possibles. Ainsi, le programme compte constituer des pistes méthodologiques d'analyse permettant d'interroger l'exemplarité des bâtiments.

L'observation et le suivi des bâtiments réalisés dans le cadre du programme doivent être l'occasion d'illustrer une thématique et de faire émerger des pratiques innovantes sur ce thème. Les thématiques explorées par les équipes retenues lors des deux appels à candidature en 2009 et 2010 couvrent un spectre très large qui va de l'exemplarité énergétique à celle économique, en passant par celle liée à l'environnement, l'accessibilité, la qualité d'usage, le montage d'opération, la technique...

Chaque étude du programme se décompose en deux parties qui correspondent à deux ouvrages distincts :

- Une analyse des conditions et facteurs de l'exemplarité sur la thématique explorée, nourrie par les observations sur la ou les opérations composant le panel de référence de l'étude et sur des entretiens avec des professionnels ;*
- Une ou plusieurs monographies portant les opérations analysées.*

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature
Plan Urbanisme Construction Architecte
Grande Arche de la Défense
92055 la Défense cedex

Directeur de la publication : Emmanuel Raoul, secrétaire permanent du PUCA

Coordination :

Olivier Gaudron, chargé de projet

Olivier.gaudron@developpement-durable.gouv.fr

Tél. 01 40 81 90 95

Image de couverture :

Site internet du PUCA : <http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/>

SOMMAIRE

1	LE GROUPE SCOLAIRE JEAN-LOUIS MARQUEZE A LIMEIL-BREVANNES	8
1.1	Fiche d'identité	9
1.2	Les principaux enjeux de l'opération	10
1.2.1	Contexte environnemental	10
1.2.2	Les ambitions du projet	11
1.3	Chronologie du projet.....	11
1.4	Architecture, bioclimatisme et description des systèmes.....	12
1.4.1	Architecture	12
1.4.2	Enveloppe et performance	16
1.4.3	Systèmes de production de chaleur	17
1.4.4	Systèmes de production d'Eau Chaude Sanitaire	18
1.4.5	Systèmes de ventilation.....	18
1.4.6	Production photovoltaïque.....	19
1.5	Données économiques	19
1.6	Consommations énergétiques prévisionnelles en phase de conception	20
1.7	Suivi des consommations réelles par EDF-R&D, Département Energie dans les Bâtiments et les Territoires.....	21
1.7.1	La réalisation du suivi.....	21
1.7.2	Analyse des résultats	22
1.7.3	Comparaison des consommations réelles et prévisionnelles.....	26
1.7.4	Retour économique	27
1.8	La sensibilisation des usagers	28
1.9	Interviews des acteurs du projet	29
1.9.1	Interview de M. Lipa Goldstein, cofondateur de l'agence Lipa & Serge Goldstein, architecte du groupe scolaire Jean Louis Marquèze	29
1.9.2	Interview de M. LHERITIER, chargé de mission Alter Développement à la Mairie de Limeil-Brévannes	32
1.9.3	Interview de M. Bornarel, Co-gérant de la société Tribu, AMO des groupes scolaires JL Marquèze, Saint Exupéry, Olympe de Gouges et Résistance	35
2	LE GROUPE SCOLAIRE « SAINT EXUPERY » A PANTIN	41
2.1	Fiche d'identité :	42
2.2	Les principaux enjeux de l'opération.....	43
2.2.1	Contexte environnemental et politique de développement durable.....	43
2.3	Chronologie du projet.....	43
2.4	Architecture, bioclimatisme et systèmes énergétiques	44
2.4.1	Implantation des bâtiments et bioclimatisme	44
2.4.2	Enveloppe et performance	47
2.4.3	Système de production de chaleur	49
2.4.4	Systèmes de production de l'ECS.....	49
2.4.5	Ventilation.....	50
2.4.6	Eclairage.....	51
2.4.7	Production photovoltaïque.....	52
2.4.8	Etanchéité à l'air :	53
2.4.9	Mission de suivi :	53
2.5	Données économiques	54
2.6	Analyse des études thermiques et bilan énergétique	54

2.6.1	Bilan énergétique du groupe scolaire	54
2.6.2	Synthèse des résultats de la Simulation Thermique Dynamique	57
2.6.3	Résultats principaux de l'étude thermique réglementaire RT 2005.....	58
2.7	Choix environnemental des matériaux.....	58
2.8	Interviews	59
2.8.1	Interview de M. Bornarel, Co-gérant de la société Tribu, AMO des groupes scolaires JL Marquèze, Saint Exupéry, Olympe de Gougues et Résistance	59
2.8.2	Interview de Mme PATTE, cofondatrice de l'Atelier Méandre en 1198 avec M. Christian HACKEL, cabinet d'architecte du groupe scolaire Saint Exupéry	59
2.8.3	Interview de M. Gilbert METAIS, Ingénieur bâtiment et responsable maîtrise d'ouvrage en exécution du groupe scolaire Saint Exupéry.....	64
3	LE GROUPE SCOLAIRE OLYMPE DE GOUGES A ARCEUIL.....	67
3.1	Fiche d'identité	68
3.2	Les principaux enjeux de l'opération.....	69
3.2.1	Contexte environnemental	69
3.3	Chronologie du projet.....	70
3.4	Architecture, bioclimatisme et description des systèmes.....	70
3.4.1	Architecture et bioclimatisme	70
3.4.2	Enveloppe et performance	70
3.4.3	Système de production de chaleur	70
3.4.4	Système de production d'ECS	71
3.4.5	Ventilation.....	72
3.4.6	Eclairage.....	72
3.4.7	Production photovoltaïque.....	72
3.5	Données économique.....	72
3.6	Analyse des études thermiques et bilan énergétique	72
3.7	Interviews	73
3.7.1	Interview de M. Bornarel, Co-gérant de la société Tribu, AMO des groupes scolaires JL Marquèze, Saint Exupéry, Olympe de Gougues et Résistance	73
3.7.2	Interview de Mme Chauchat, Agence TVK architecte	73
3.7.3	Interview de M. Franck Boutté, directeur de l'agence Franck Boutté Consultants.....	75
3.7.4	Interview de la ville d'Arcueil, exploitant du groupe scolaire Olympe de Gougues.....	77
4	LE GROUPE SCOLAIRE ABDELMALEK SAYAD A NANTERRE	80
4.1	Fiche d'identité	81
4.2	Les principaux enjeux de l'opération.....	82
4.2.1	Contexte environnemental :	82
4.2.2	Les ambitions du projet	82
4.3	Chronologie du projet.....	83
4.4	Architecture, bioclimatisme et description des systèmes.....	83
4.4.1	Architecture	83
4.4.2	Enveloppe et performance	85
4.4.3	Systèmes de production de chaleur et d'ECS : le réseau de chaleur.....	86
4.4.4	Systèmes de ventilation.....	89
4.4.5	Production d'énergie	89
4.4.6	Rafraîchissement passif ou « géocooling ».....	89
4.5	Données économiques	91
4.6	Analyse des études thermiques : Etude RT, bilans énergétiques et Simulation Thermique Dynamique.....	92
4.6.1	Etude thermique réglementaire RT 2005	92

4.6.2	Simulation Thermique Dynamique:	94
4.6.3	Bilan énergétique :	96
4.7	Interview des acteurs du projet.....	98
4.7.1	Interview de Nicolas FAVET, Directeur de l'agence Nicolas Favet Architectes	98
4.7.2	Interview de Mme. COLLIGNON, Service Energie, Direction de l'architecture de la mairie de Nanterre.....	102
4.7.3	Interview de Mme Cécile JUDEAUX, chef de projet chez LesEnR, AMO du groupe scolaire Abdelmalek Sayad.....	104
5	LE GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE A MONTREUIL	109
5.1	Fiche d'identité	110
5.2	Les principaux enjeux de l'opération.....	111
5.3	Chronologie du projet.....	112
5.4	Architecture, bioclimatisme et description des systèmes.....	112
5.4.1	Architecture	112
5.4.2	Enveloppe et performance	116
5.4.3	Systèmes de production de chaleur	117
5.4.4	Système de production d'Eau Chaude Sanitaire.....	118
5.4.5	Systèmes de ventilation.....	119
5.4.6	Production d'énergie	120
5.5	Analyse de l'étude RT	121
5.5.1	Spécifications du calcul réglementaire et problèmes rencontrés	121
5.5.2	Résultats des calculs	121
5.6	Analyse de la simulation thermique dynamique et respect du confort d'été.....	123
5.7	Présentation des bilans en phase PRO	125
5.7.1	Analyse des besoins	125
5.7.2	Analyse des consommations.....	125
5.7.3	Bilan des émissions de Gaz à Effet de Serre	129
5.7.4	Bilan de la production équivalente de déchets nucléaires :	130
5.8	Evolution des bilans énergétiques, GES et DN au DCE :	130
5.9	Interview des acteurs du projet.....	133
5.9.1	Interview de M. Bornarel, Co-gérant de la société Tribu, AMO des groupes scolaires JL Marquèze, Saint Exupéry, Olympe de Gouges et Résistance	133
5.9.2	Interview de M. Christian HACKEL, co-fondateur de l'Atelier Méandre, Architecte du groupe scolaire Résistance	133

1 LE GROUPE SCOLAIRE JEAN-LOUIS MARQUEZE A LIMEIL-BREVANNES



1.1 FICHE D'IDENTITE

Le tableau suivant résume les principaux acteurs du projet du groupe scolaire Jean-Louis Marquèze et ses principales caractéristiques :

Carte d'identité		
Groupe scolaire	« Jean-Louis Marquèze » - Limeil-Brévannes	
Date de livraison	nov-07	
Etat d'avancement	Livré	
Acteurs	MOA	Ville de Limeil-Brévannes
	AMO	Tribu
	MOE- architecte	Agence Lipa & Serge Goldstein
	BET Environnemental	Cabinet Hubert Pénicaud
	BET TCE	BERIM
Nombre de bâtiment	1	
Surface SHON (m ²)	2935	
Surface SDO (m ²)	2800	
Nombre d'occupant (max)	370	
Usage des bâtiments	5 classes de maternelle et 7 classes élémentaires + Restaurant scolaire	
Coûts en €HT	5 800 000	
Coûts en €HT/m ² SHON	1 976	
Objectifs consommation	53 kWhEP/m ² SHON/an	
Objectifs production	70 000 kWh/an soit 61,5 kWhEP/m ² SHON.an	
Consommation réelle (Juillet 2010- Juin 2011)	90 kWhEP/m ² SHON.an	
Production réelle (Juillet 2010 - Juin 2011)	45 000 kWh/an 40 kWhEP/m ² SHON.an	
Structure	Murs en Béton + 18cm Laine minérale en ITE	
Menuiseries	Bois + Triple Vitrage (Uw=1,2 à 1,6)	
Production calorifique	Pompe à chaleur puisant dans la nappe phréatique (70m de profondeur)	
Emetteurs	Radiateurs basses températures	
Production électrique	532 m ² de panneaux photovoltaïque	
ECS	30 m ² de capteurs solaires thermiques et appoint électrique	
Ventilation	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver, surventilation naturelle en été, et ventilation naturelle traversante	
Eclairage	Eclairage artificiel géré par GTC en fonction de l'occupation et de l'éclairage naturel	
Perméabilité à l'air	Pas de test	

TABEAU 1 : CARTE D'IDENTITE DU GROUPE SCOLAIRE "JEAN LOUIS MARQUEZE"

1.2 LES PRINCIPAUX ENJEUX DE L'OPERATION

1.2.1 Contexte environnemental

Depuis son adhésion à l'association Eco Maires en 2003, la ville de Limeil-Brevannes s'est engagée de manière active dans une démarche de développement durable et de respect de l'environnement. Les Eco Maires est l'association nationale des maires et des élus locaux pour l'environnement et le développement durable qui a pour rôle de fédérer et d'agir pour et avec près de 1900 communes ou EPCI dont les élus ont choisi d'inscrire dans leur politique l'approche environnementale et le développement durable comme prioritaire.

Après 23 ans d'activité, cette association est aujourd'hui le premier réseau national d'élus mobilisés sur les problématiques environnementales et est ainsi devenu un réel outil pour les acteurs du territoire à travers des échanges d'expériences, des mutualisations des compétences, et des projets de recherche et d'innovation.

Le projet de ce groupe scolaire s'inscrit d'autre part dans un autre projet qui est celui de l'écoquartier « Les Temps Durables ». Ce quartier répond à la combinaison d'un besoin de logements, d'une solution à apporter à des terrains pollués de la commune et de la mise en œuvre d'une politique de développement durable chère à la municipalité. Il s'étendra sur une superficie de 9,5 ha au Nord Ouest de la commune. Le groupe scolaire « Jean-Louis Marquèze » est prévu pour être l'école de ce futur quartier.

En 2005, l'engagement politique de la ville de Limeil-Brevannes s'est matérialisé par le projet et la construction du groupe scolaire « Jean-Louis Marquèze », permettant ainsi à la commune de dépasser largement les principales recommandations internationales en termes de développement durable.

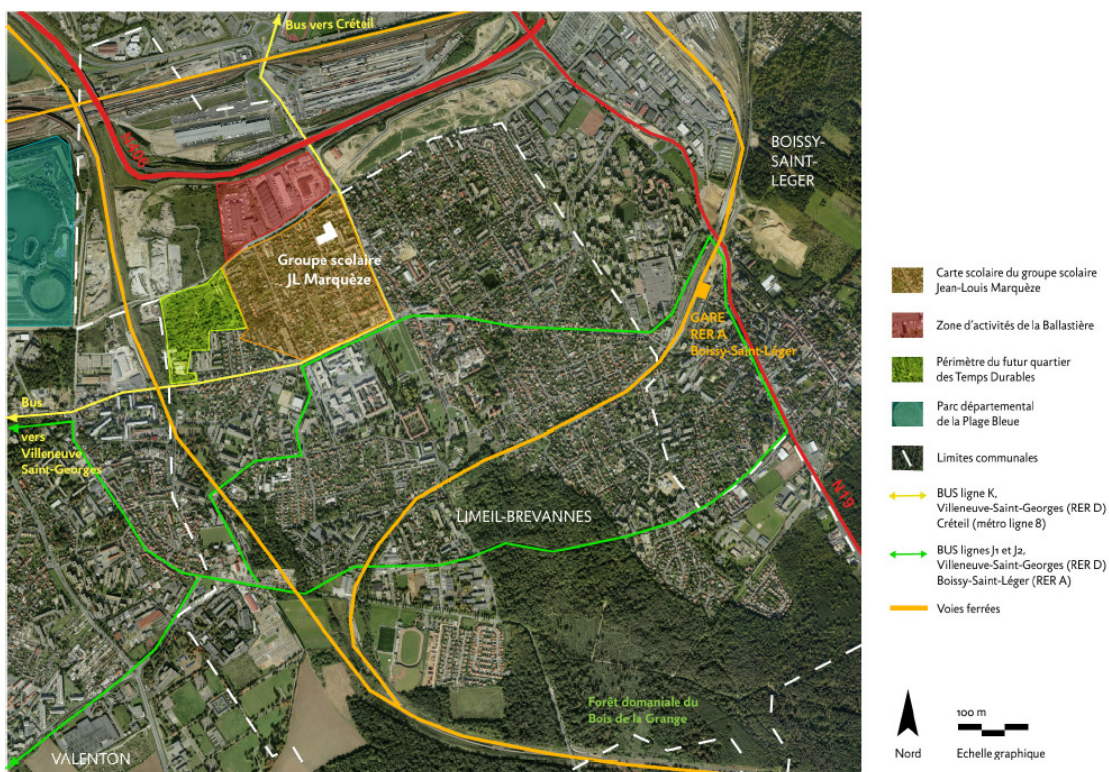


FIGURE 1 : SITUATION DU GROUPE SCOLAIRE JL MARQUEZE ET DU PERIMETRE DU QUARTIER DES TEMPS DURABLES

1.2.2 Les ambitions du projet

La décision de la construction de ce nouveau groupe scolaire dans la ville de Limeil-Brévannes répond, tout d'abord, à la nécessité de mettre à la disposition des brévannais une école supplémentaire pour répondre à la croissance démographique mais ce projet représentait également une occasion de concevoir un bâtiment dont la construction et le mode de fonctionnement allaient prendre en compte les enjeux environnementaux.

Pour ce faire, la Ville a tout d'abord fait appel à un programmiste afin de déterminer d'une part, la faisabilité de l'opération sur le site choisi et, d'autre part, d'intégrer la norme Haute Qualité Environnementale (HQE) dans la conception du projet. Le cabinet ADELANTE, qui avait été mandaté par la Ville pour définir un programme fonctionnel répondant aux exigences architecturales de la commune, s'est alors associé avec le bureau d'études environnementales TRIBU.

C'est de cette association et des différentes réunions de concertations organisées avec les fédérations de parents d'élèves qu'est apparue l'idée d'une construction à « énergie positive ». Le bureau d'études TRIBU a en effet élaboré sept scénarios qui proposaient de définir et d'atteindre, sur une échelle allant de un à sept, différentes priorités environnementales. C'est le plus ambitieux de ces scénarios, celui qui avait pour vocation d'être à énergie positive grâce à la mise en place d'une centrale photovoltaïque d'approximativement 700 m², qui a finalement été retenu.

La réglementation thermique en vigueur, au moment de la conception du bâtiment, étant la RT 2000, les objectifs énergétiques du groupe scolaire Jean-Louis Marquèze étaient bien plus ambitieux que tous les groupes scolaires existants en Ile-de-France ou en projet. Il s'agissait donc de construire un bâtiment exemplaire et tourné vers l'avenir.

1.3 CHRONOLOGIE DU PROJET

Les principales phases du projet sont décrites ci-dessous :

- **Janvier - Mars 2005** : Phase de programmation et concertation avec l'éducation nationale et des parents d'élèves
- **26 Mai 2005** : Validation de l'enveloppe budgétaire par le Conseil Municipal
- **Mai – Juillet 2005** : Désignation Mandataire Maître d'Ouvrage : AURIS
- **25 Juillet 2005** : Lancement du concours de maîtrise d'œuvre
- **Août 2005** : Choix des trois candidats
- **Novembre 2005** : Remis des projets
- **27 Novembre 2005** : Choix du Lauréat
- **1^{er} décembre 2005** : Validation du choix du Maître d'œuvre par le Conseil Municipal (équipe retenue : Goldstein, Berim et Pénicaud)
- **Janvier – Mai 2006** : Etudes de conception (APS, APD, DCE)
- **Avril 2006** : Démolition du Centre Technique Municipale sur le site de la future école
- **Avril – Septembre 2006** : Choix des entreprises (19 lots)
- **Novembre 2006** : Début des travaux
- **Novembre 2007** : Inauguration du groupe scolaire

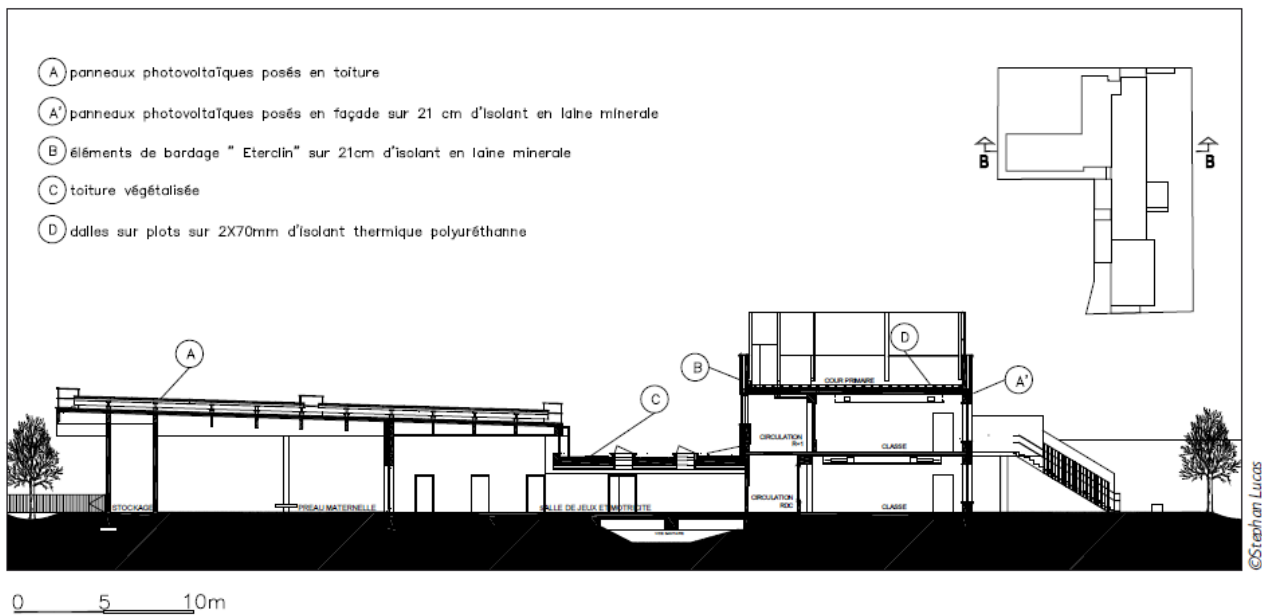
1.4 ARCHITECTURE, BIOCLIMATISME ET DESCRIPTION DES SYSTEMES

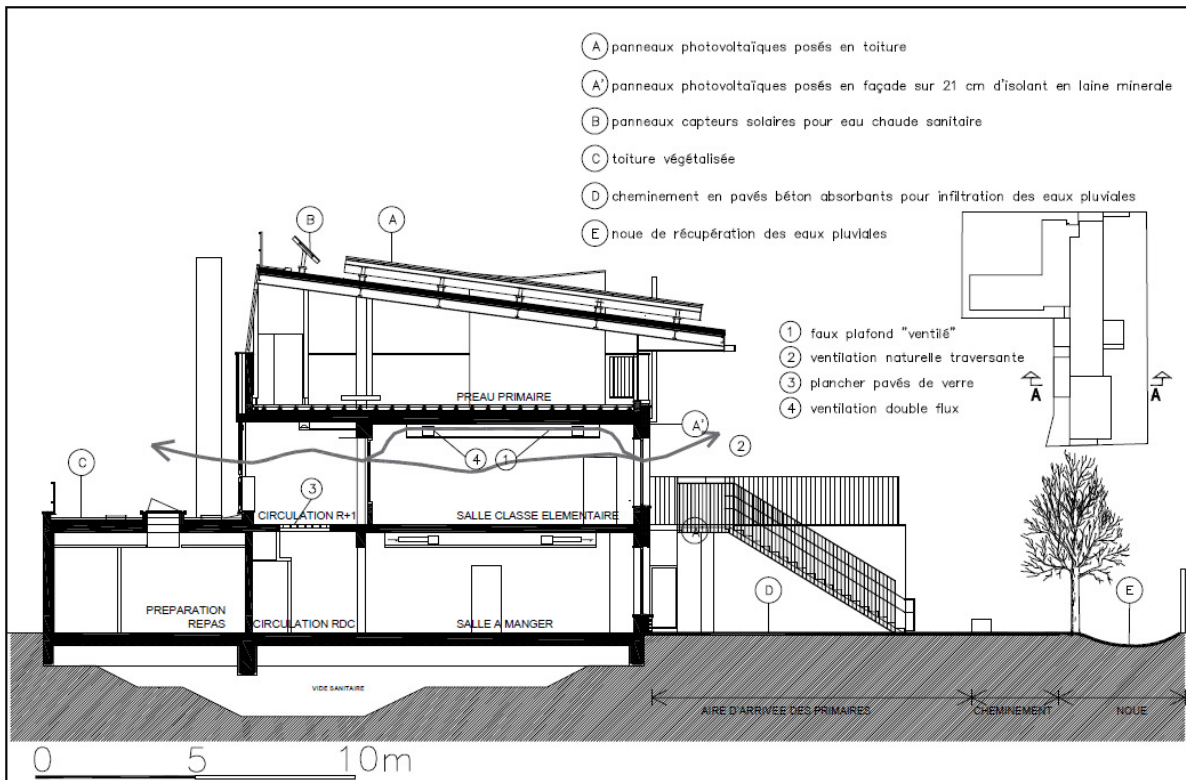
1.4.1 Architecture

1.4.1.1 Aménagements extérieurs :

Le groupe scolaire se compose d'un seul bâtiment sur deux étages où se situent les salles de classes et les espaces de vie commune (restauration...) et d'une cour extérieure sur le toit au niveau du troisième étage. Ce choix d'espace récréative en toiture a été guidé par l'obligation du programme de conserver 40% de la parcelle en pleine terre.

Les plans et les photographies ci-dessous permettent de visualiser rapidement la conception des espaces extérieurs et intérieurs du groupe scolaire.





©L+S Goldstein

FIGURE 3 : COUPE TRANSVERSALE AA DE LA SALLE A MANGER ET SALLE CLASSE ELEMENTAIRE



©Stephan Lucas

FIGURE 4 : VUE D'INTEGRATION DES PANNEAUX PHOTOVOLTAIQUES EN FACADE DEPUIS L'AIRES D'ARRIVEE DES PRIMAIRES



FIGURE 5 : COUR DE RECREATION DES CLASSES ELEMENTAIRES EN TOITURE

1.4.1.2 Aménagements intérieurs :

Le plan du bâtiment se développe longitudinalement du sud-est au nord-ouest, depuis la rue vers le cœur d'îlot : le rez-de-chaussée accueille, côté rue, les parties communes et en fond de parcelle la maternelle, tandis que les salles de classe élémentaires sont situées au premier étage. Les deux entités élémentaire et maternelle sont prévues pour pouvoir fonctionner de manière totalement indépendante et autonome (flux des enfants, personnel, salles de classes...).

Toutes les salles de classes sont orientées sud/sud-est et séparées du couloir de distribution longitudinal par des vitres pour permettre un éclairage naturel sur deux côtés. Bien que cette solution limite grandement la surface de parois disponibles pour l'affichage pédagogique, cela permet un accès à la lumière naturelle plus important et donc un meilleur confort intérieur. Cela permet d'autant plus de réduire les consommations énergétiques liées au poste de l'éclairage artificiel.



FIGURE 6 : COULOIRS DU REZ-DE-CHAUSSEE



FIGURE 7 : SALLES DE CLASSE ELEMENTAIRE AU PREMIER ETAGE



FIGURE 8 : COULOIR DU PREMIER ETAGE

Les professeurs se disent très satisfaits de la clarté des salles de classes et de l'ensemble des espaces communs au niveau de la qualité du confort intérieur.

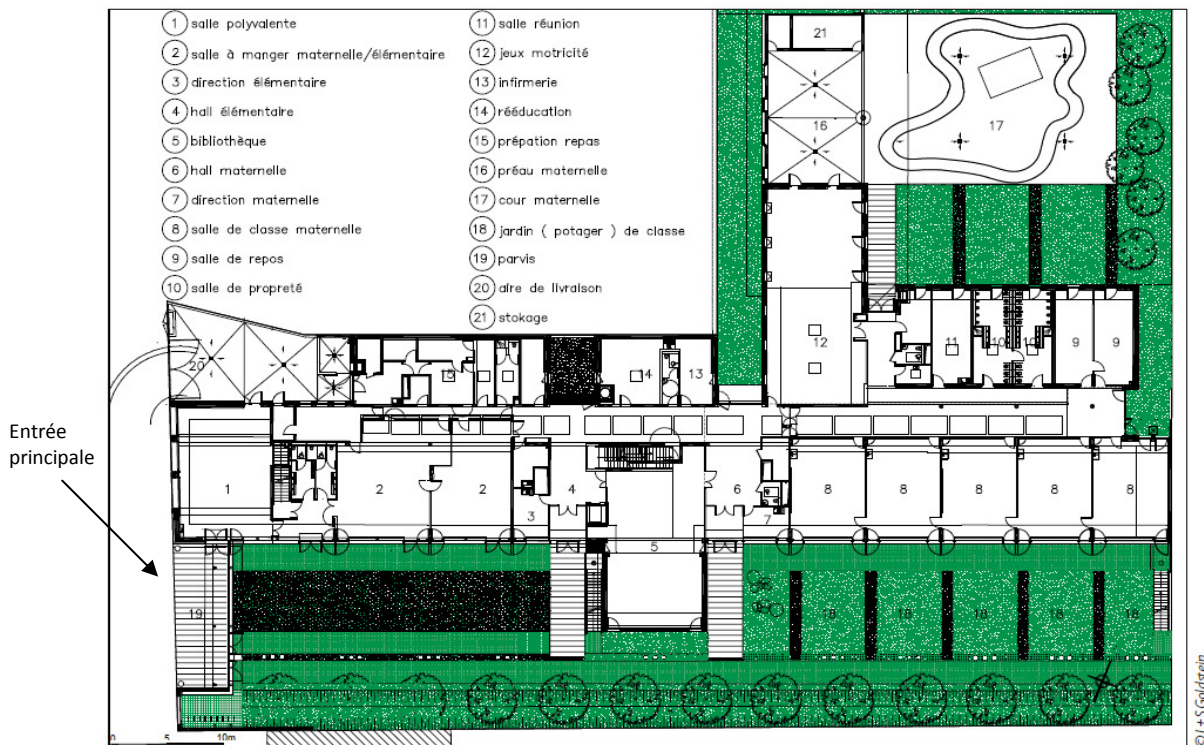


FIGURE 9 : PLAN DU REZ-DE-CHAUSSEE

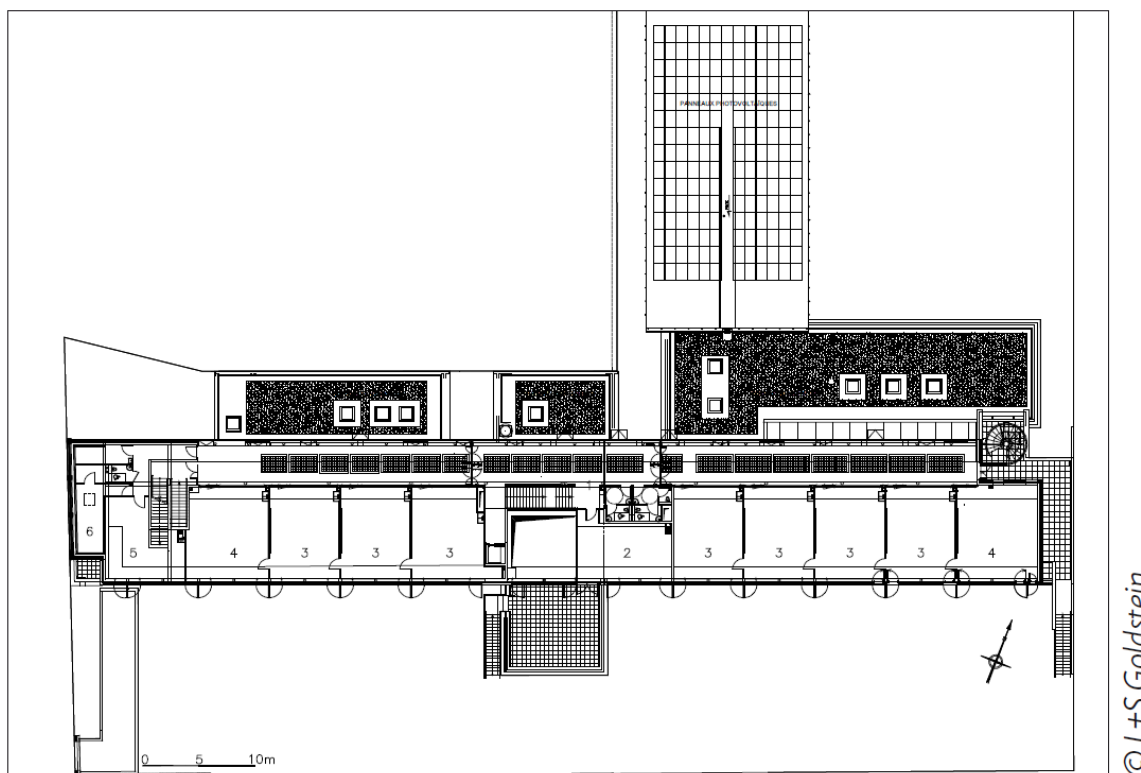


FIGURE 10 : PLAN DU PREMIER ETAGE

1.4.2 Enveloppe et performance

Dans le tableau ci-dessous sont résumées les caractéristiques des parois (opaques et menuiseries) :

Niveau d'isolation	Descriptif	U (W/m ² .K)	U _{max} RT2005 (W/m ² .K)	Gain
Murs	Laine minérale (18cm) + béton	0,19	0,45	58%
Toit terrasse végétalisé	Polyuréthane (15cm) sur dalle béton, étanchéité bitume, drainage, substrat	0,19	0,34	44%
Toit terrasse	Polyuréthane (15cm) sur dalle béton, étanchéité bitume, dalle béton sur plots	0,19	0,34	44%
Menuiseries extérieures (surface vitrée totale de 660 m ²)	Bois + Triple vitrage	1,2 à 1,6	2,60	38 à 54%
U_{bat}		0,39		

TABEAU 2 : ENVELOPPE DU GROUPE SCOLAIRE JEAN-LOUIS MARQUEZE

D'autre part, un soin très particulier a été porté au traitement des ponts thermiques afin de les réduire au maximum. Ainsi, un carnet de coupes de détails et d'axonométries a été réalisé pour chaque angle du bâtiment.

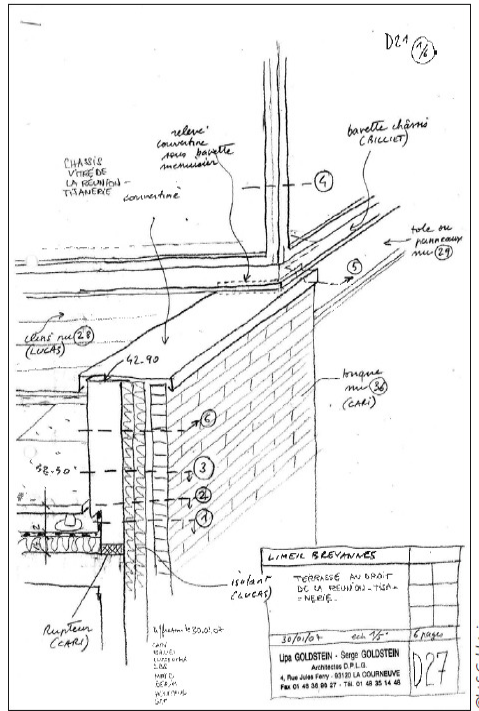


FIGURE 11 : DETAIL D'EXECUTION

1.4.3 Systèmes de production de chaleur

La production de chaleur est assurée par l'association de pompes à chaleur et d'un doublet de forage sur nappe d'une profondeur de 70 m avec un débit de 16 m³/h. Les données du programme prévoyaient initialement d'utiliser une nappe phréatique à 6 m de profondeur mais la productivité s'est révélée insuffisante et il a alors fallu forer à une profondeur de 70 m.

Deux pompes à chaleur Viessman VITOCAL 300 WW232 permettent ensuite de produire la chaleur nécessaire au chauffage du bâtiment qui est distribué à travers des radiateurs équipés de robinets thermostatiques. La puissance totale de ces deux PAC est de 2X24W, ce qui représente une puissance chaud installée de 30W/m².



FIGURE 12 : POMPES A CHALEURS VISSMAN VITOCAL 300

1.4.4 Systèmes de production d'Eau Chaude Sanitaire

La production d'ECS est couverte par 12 capteurs solaire thermiques de marque Viessman Vitosol 100 pour une surface totale de 30 m² reliés à un ballon solaire de 1500L avec un appoint électrique intégré au ballon. Les capteurs solaires thermiques ont été dimensionnés pour répondre à environ 60% des besoins de chaleur liés à la production d'ECS.

1.4.5 Systèmes de ventilation

La ventilation du groupe scolaire en hiver est assurée par quatre CTA Double Flux de marque SWEGON type GOLD 20 et GOLD 25 équipées de récupérateurs de chaleur rotatifs avec un rendement de 80%. La période de fonctionnement de ces appareils s'étale de septembre à mai et les débits d'air sont contrôlés par un asservissement à détecteur de présence pour les classes, et à détecteur de CO₂ pour les salles à nombre de personnes variable (salle de motricité, CDI, salle à manger) tandis que la ventilation durant la période estivale est assurée uniquement par ventilation naturelle dans le but de réduire au maximum les consommations énergétiques liées à la ventilation du bâtiment. Ce sont les enseignants qui la régulent en intervenant directement sur les ouvrants vitrés aménagés sur la circulation générale et sur les baies en façade selon leur convenance.

D'autre part, en période de forte chaleur, un dispositif d'ouïes en façades des classes permet d'introduire un air neuf rafraîchissant les structures durant la nuit (planchers et plafonds partiellement traités en faux-plafonds) pour retarder l'élévation des températures intérieures par rapport à l'extérieur. Des protections ont bien évidemment été installées au niveau des ouïes afin d'éviter les intrusions et de se protéger des intempéries.

Le schéma ci-dessus précise les débits ainsi que les zones desservies par chacune des quatre CTA :

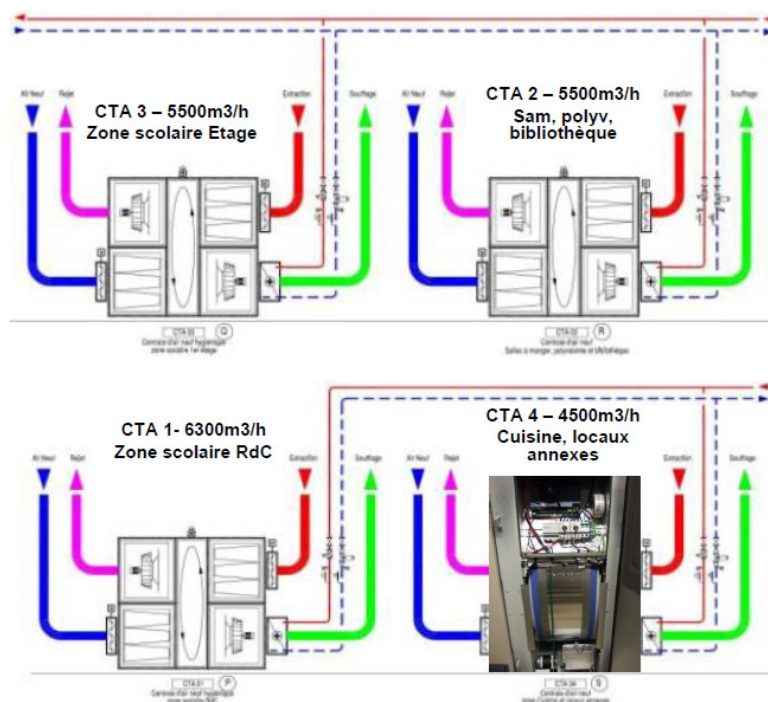


FIGURE 13 : SCHEMA DES INSTALLATIONS DES CTA (SOURCE : BILAN ÉNERGETIQUE RÉALISÉ PAR EDF - R&D)

1.4.6 Production photovoltaïque

La production d'électricité nécessaire à la compensation des consommations énergétiques est assurée par des panneaux photovoltaïques d'une surface totale de 532 m² (354 modules de 210Wc soit 74,3kWc) répartis de la manière suivante :

- 232 m² à l'horizontale, soit 44%,
- 207 m² à la verticale, soit 39%,
- 93 m² à l'oblique, soit 17%.

La figure 4 du paragraphe 1.4.1 illustre l'implantation des panneaux photovoltaïques en façade.

Ces panneaux sont connectés à 19 onduleurs et à des compteurs de production qui comptabilisent en direct la production énergétique qui est retransmise sur un écran dans le groupe scolaire dans le but de rappeler en permanence aux usagers l'ambition énergétique du bâtiment qu'ils occupent.

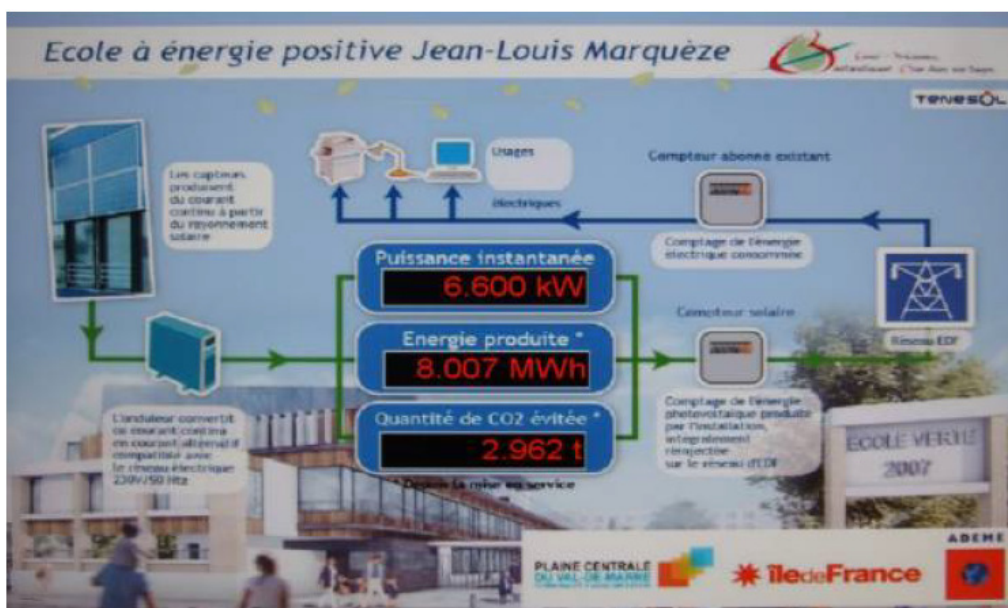


FIGURE 14 : ÉCRAN D’AFFICHAGE DE LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE EN TEMPS REEL

1.5 DONNEES ECONOMIQUES

Le coût final des travaux a été estimé à 5 800 000 €HT, soit 2 070 €HT/m² SDO tandis que le coût total comprenant les travaux et les études en amont représenté 8 500 000 € TTC. La partie étude et conception représente donc quasiment 20% des coûts totaux de l'opération.

Des aides financières ont également été obtenues pour le projet du groupe scolaire à travers :

- Le Conseil Régional d’Ile-de-France, qui a participé
 - o A hauteur de 30% sur l’installation des panneaux photovoltaïques
 - o A hauteur de 30% sur la pompe-à-chaleur
 - o A l’installation de la toiture végétalisée
 - o A l’installation des capteurs solaires
 - o A l’installation de la Gestion Technique du Bâtiment (GTB)
- L’ADEME qui a participé à hauteur de :
 - o 25 992,15 € pour le poste de pompe-à-chaleur
 - o 3 774,32€ pour l’installation des capteurs solaires
- La Communauté d’agglomération plaine centrale du Val-de-Marne à hauteur de 525 000 €

1.6 CONSOMMATIONS ENERGETIQUES PREVISIONNELLES EN PHASE DE CONCEPTION

Le bureau d'étude Tribu a estimé les consommations énergétiques du futur bâtiment à chaque étape de la conception du groupe scolaire. Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous sont ceux calculés pour la phase DCE (bilan RT et bilan toutes énergies).

Bilan des consommations électriques en phase DCE	kWh/an	kWh/m ² SDO.an	kWh/m ² SHON.an	Répartition par poste
Chauffage (PAC)	19 600	7,0	17,2	33%
Ventilation	9 300	3,3	8,2	16%
Eclairage	9 673	3,5	8,5	16%
ECS (restant après solaire)	3 200	1,1	2,8	5%
Cuisine	6 678	2,4	5,9	11%
TOTAL CONSOMMATION REGLEMENTAIRES (RT 2000)	48 451	17,3	42,6	81%
Autres (prises électriques)	11 526	4,1	10,1	19%
TOTAL CONSOMMATINS ENERGETIQUES	59 977	21,4	52,7	100%
Production photovoltaïque (selon calcul RT)	69 996	25,0	61,5	
BILAN ENERGETIQUE RT 2000	- 21 545	-7,7	-18,9	
BILAN ENERGETIQUE AVEC AUTRES USAGES ELEC	- 10 019	-3,6	-8,8	

TABLEAU 3 : BILAN DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES EN PHASE DCE (SOURCE : TRIBU)

Répartition des consommations énergétiques (RT 2000 + élec spécifique) Valeurs prévisionnelles

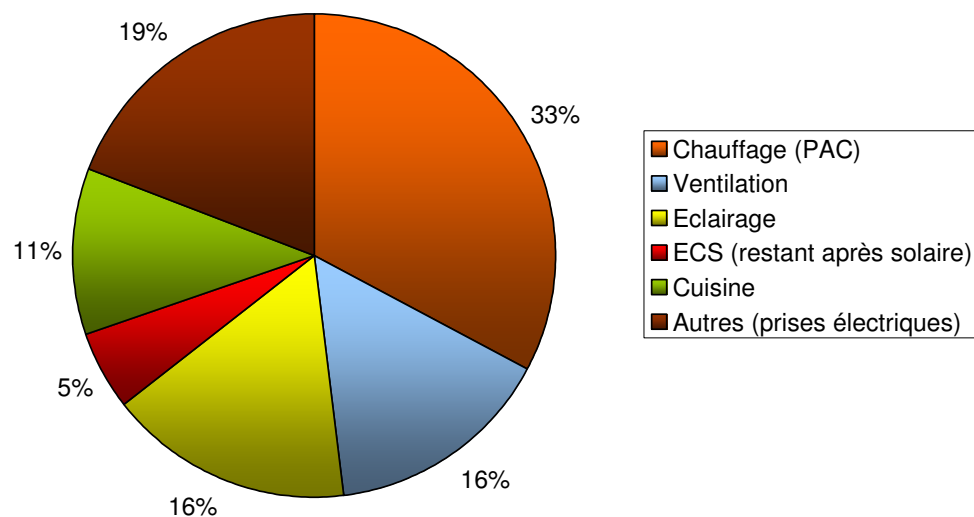


FIGURE 15 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES (RT 2000 + ELECTRICITE SPECIFIQUE) -CONSOMMATIONS PREVISIONNELLES

Le poste de consommations énergétiques liées au chauffage est le plus important et représente près d'un tiers des consommations totales. Ce poste correspond aux consommations électriques des pompes-à-chaaleur ainsi que des auxiliaires (pompes de circulations des puits géothermique et du réseau de distribution de l'eau chaude aux émetteurs du bâtiment)

Les consommations énergétiques « autres » ont été estimés sur la base des équipements nécessaire à la vie scolaire du bâtiment (bureautique, activités scolaires...). Ces consommations sont très dépendantes de l'usage des occupants et il donc très difficile de prévoir précisément quels seront ces consommations.

C'est également le cas pour les consommations de la cuisine où l'usage a un impact très fort sur ces dernières ainsi que sur le chauffage et la ventilation (ouverture des fenêtres en hivers par exemple),

La répartition des consommations énergétiques permet également de montrer que les besoins d'ECS ont été évalués comme une part très faible des besoins énergétiques. Ils ne représentent en effet qu'environ 5% des besoins globaux. Cette estimation tient compte du nombre de repas servis, des besoins des sanitaires, ainsi que de la production attendue des capteurs solaires thermiques.

Remarque : Pour rappel, toutes les consommations énergétiques du bâtiment sont de source électrique. La distribution par postes entre les consommations en énergie primaire et en énergie finale est donc identique.

1.7 SUIVI DES CONSOMMATIONS REELLES PAR EDF-R&D, DEPARTEMENT ENERGIE DANS LES BATIMENTS ET LES TERRITOIRES

Pour parvenir à l'objectif « zéro énergie », la maîtrise d'ouvrage a missionné Edf R&D pour réaliser un suivi instrumentalisé des consommations électriques. Les bilans réguliers qui ont été mis en place depuis la livraison du groupe scolaire ont permis de vérifier les hypothèses de conception, d'observer l'influence des usagers sur les consommations énergétiques, et a surtout permis un réglage plus fin des équipements dans le but de réduire les consommations énergétiques au maximum.

1.7.1 La réalisation du suivi

C'est M. Philippe Lebeau, ingénieur chercheur au sein du département Energie dans les Bâtiments et Territoires (EnerBaT) à EDF R&D qui est chargé de recueillir mensuellement les consommations énergétiques détaillées par poste et d'analyser ensuite ces données.

Les missions du département EnerBaT consistent à être moteur de l'innovation technologique pour le Groupe EDF dans le domaine de l'efficacité énergétiques des bâtiments et des énergies nouvelles réparties à travers des analyses sectorielles, réglementaires ou prospectives du domaine de l'énergie dans les bâtiments, des tests, expertises et évaluation technologique et la création d'outils ou méthodes finalisés pour les forces commerciales du Groupe EDF.

Des entretiens téléphoniques sont ensuite organisés régulièrement entre EnerBaT, la ville de Limeil-Brévannes et les personnes responsables de la gestion du bâtiment afin de présenter les résultats et d'envisager des corrections sur les réglages des équipements ou des réparations lorsque cela est nécessaire.

D'autre part, les feuillets de gestion du groupe scolaire présentant les coûts, les dépassements, et les tarifs de consommations énergétiques mensuels sont également analysés et les informations relevées sont croisées avec les relevés de consommations pour vérifier leurs cohérences et déterminer les gains économiques effectués chaque année.

Les données et chiffres présentés dans les paragraphes suivants sont issus des résultats présentés par EDF R&D ainsi que ceux repris par Ekopolis dans les synthèses de retours d'expérience du groupe scolaire.

1.7.2 Analyse des résultats

1.7.2.1 Présentation des résultats :

Le graphique ci-dessous présente la répartition des consommations électriques par l'usage sur l'année 2011.

Répartition des consommations énergétiques mesurée en 2011

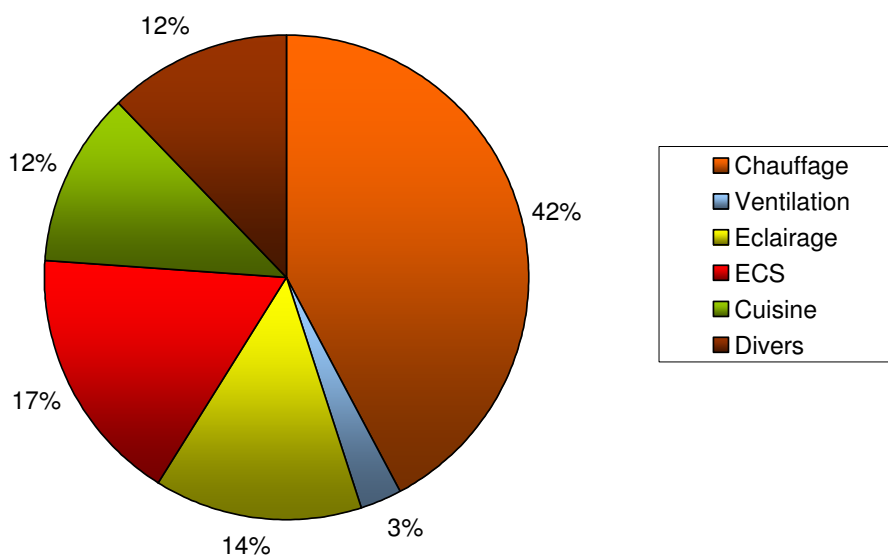


FIGURE 16 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES MEASUREES EN 2011

Consommations énergétiques réelles par poste	Mesuré en 2009 (kWh/an)	Mesuré en 2010 (kWh/an)	Mesuré en 2011 (kWh/an)
Chauffage	48 430	51 720	41 183
Ventilation	2 994	2 958	2 861
Eclairage	12 431	12 710	13 548
ECS	13 580	16 980	16 800
Cuisine	10 806	11 524	11 509
Divers	13 179	15 274	11 956
TOTAL	101 420	111 166	97 857

TABEAU 4 : CONSOMMATIONS ENERGETIQUES REELLES PAR POSTE (EN kWh/AN)

Consommations énergétiques réelles par poste	Mesuré en 2009 (kWhep/m ² SHON.an)	Mesuré en 2010 (kWhep/m ² SHON.an)	Mesuré en 2011 (kWhep/m ² SHON.an)
Chauffage	42,6	45,5	36,2
Ventilation	2,6	2,6	2,5
Eclairage	10,9	11,2	11,9
ECS	11,9	14,9	14,8
Cuisine	9,5	10,1	10,1
Divers	11,6	13,4	10,5
TOTAL	89,2	97,7	86,0

TABLEAU 5 : CONSOMMATIONS ENERGETIQUES REELLES PAR POSTE EN ENERGIE PRIMAIRE

1.7.2.2 Analyse :

Le poste le plus consommateur est celui du chauffage (PAC + auxiliaires) qui représente près de 42% des consommations totales du bâtiment. Viennent ensuite l'ECS et l'éclairage, puis les activités propres au fonctionnement du bâtiment (cuisine et activités scolaires, bureautique...), et enfin la ventilation.

Il est également intéressant d'observer l'évolution des résultats au cours des années :

Historique des consommations énergétiques par poste

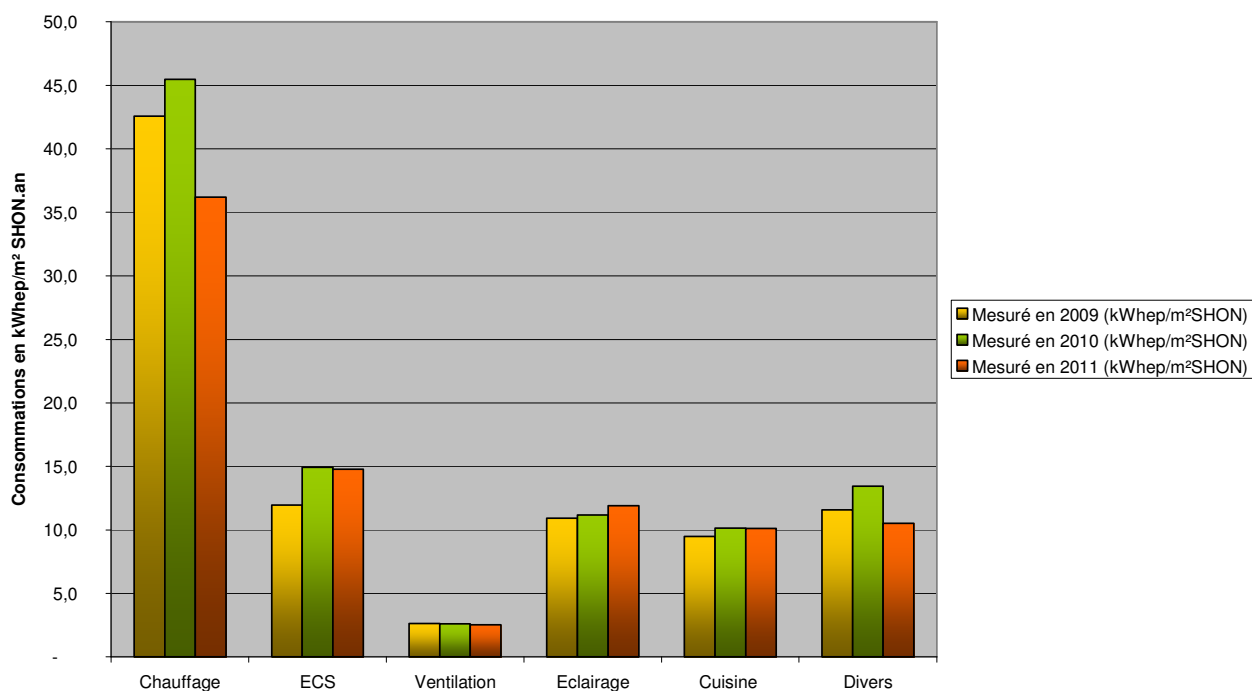


FIGURE 17 : HISTORIQUE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES PAR POSTE

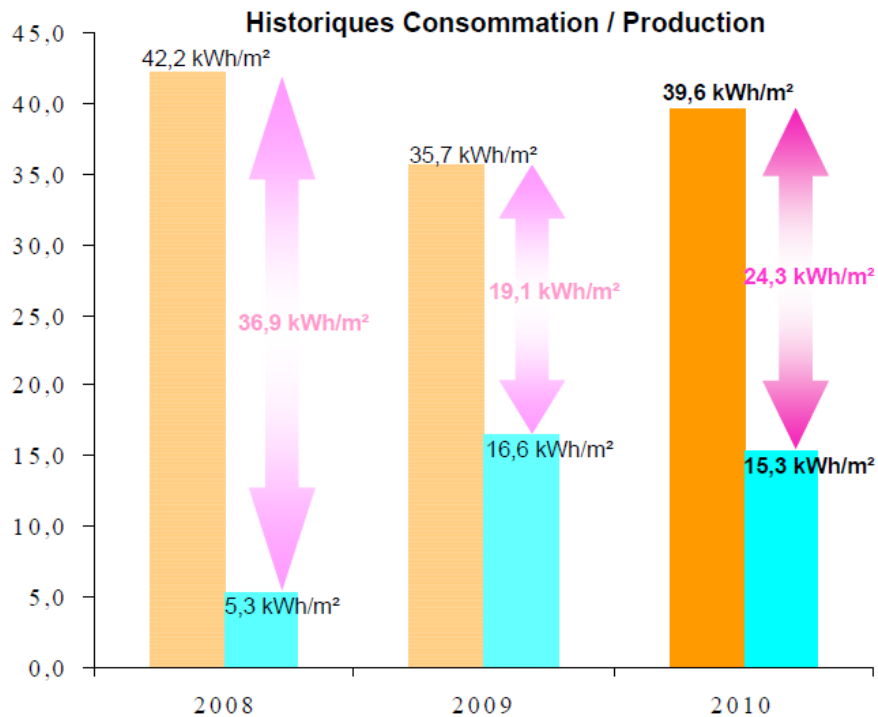


FIGURE 18 : HISTORIQUE CONSOMMATION/PRODUCTION (SOURCE: BILAN ENERGETIQUE 2010 REALISE PAR EDF R&D)

Les consommations énergétiques liées à l'éclairage augmentent sensiblement au fil des années. Cette anomalie peut possiblement s'expliquer par une dégradation de l'éclairage naturelle causée par un manque d'entretien des vitrages horizontaux difficiles d'accès. On remarque aussi lors de visites du bâtiment que de nombreux posters ou affiches ont été collés sur les parois vitrées des salles de classes (que cela soit les parois vitrés donnant sur le couloir ou directement sur l'extérieur. Cet affichage a pour conséquence une diminution de l'accès des salles de classes à la lumière naturelle et donc une augmentation des consommations électriques d'éclairage.

D'autres postes tels que la ventilation, la restauration ou les activités scolaires restent globalement constants au cours du temps, ce qui semble relativement normal puisque le nombre d'élèves et d'enseignant est resté sensiblement le même sur les trois dernières années.

En ce qui concerne les consommations de chauffage et d'ECS, on remarque des variations importantes sur les trois années de recueil des données. Cela s'explique notamment par des conditions climatiques différentes d'année en année qui ont un impact important sur les besoins de chauffage. Certaines années ont été particulièrement plus froides que d'autres (une analyse des DJU permet de démontrer ces informations). Les écarts des consommations d'ECS sont difficiles à expliquer : il peut notamment s'agir de problèmes techniques liés au fonctionnement des capteurs solaires thermiques, avec un ensoleillement moins favorable ou encore à une évolution des besoins (augmentation des nombres de repas à servir par exemple).

En ce qui concerne la production photovoltaïque, on peut également relever des disparités dues principalement à des dysfonctionnement des onduleurs ou à un encrassement des capteurs. La baisse de 8% de production PV entre 2009 et 2010 est ainsi principalement due à trois onduleurs qui étaient hors service cette année-là.

1.7.2.3 Performance énergétique du bâtiment :

Bien que la production photovoltaïque ne compense pas entièrement les consommations énergétiques du groupe scolaire, ce qui signifie que l'objectif « Zéro Energie » n'a pas été vraiment atteint, le bilan énergétique du groupe scolaire reste très bon.

La consommation énergétique totale est d'approximativement 39-40 kWh/m².an (sans déduire la production photovoltaïque), ce qui est quatre fois moins consommateur que la moyenne nationale. En effet, une enquête CEREN en 2007 montrait que le ratio moyen de consommation énergétique d'une école primaire était de l'ordre de 168 kWh/m².an.

En déduisant la production PV, la consommation totale du site en 2010 était de l'ordre de 71,3 MWh/an soit 24,3 kWh/m².an ce qui est bien inférieure aux seuils fixés par la réglementation thermique en vigueur au moment de la conception (RT 2000). D'autre part, les consommations énergétiques du poste de chauffage sont approximativement 8 fois moins importantes que la moyenne nationale tandis que les consommations d'éclairage sont réduites de moitié par rapport à la moyenne nationale.

Enfin, si on regarde la répartition mensuelle des consommations énergétiques et de la production photovoltaïque, on constate que les consommations sont plus importantes en hivers du fait des besoins de chauffage plus élevés. Durant la période estivale, les consommations énergétiques sont plus faibles tandis que la production photovoltaïque et le rendement des capteurs solaires thermiques sont meilleurs, ce qui permet au groupe scolaire d'être à « énergie positive » durant cette période.

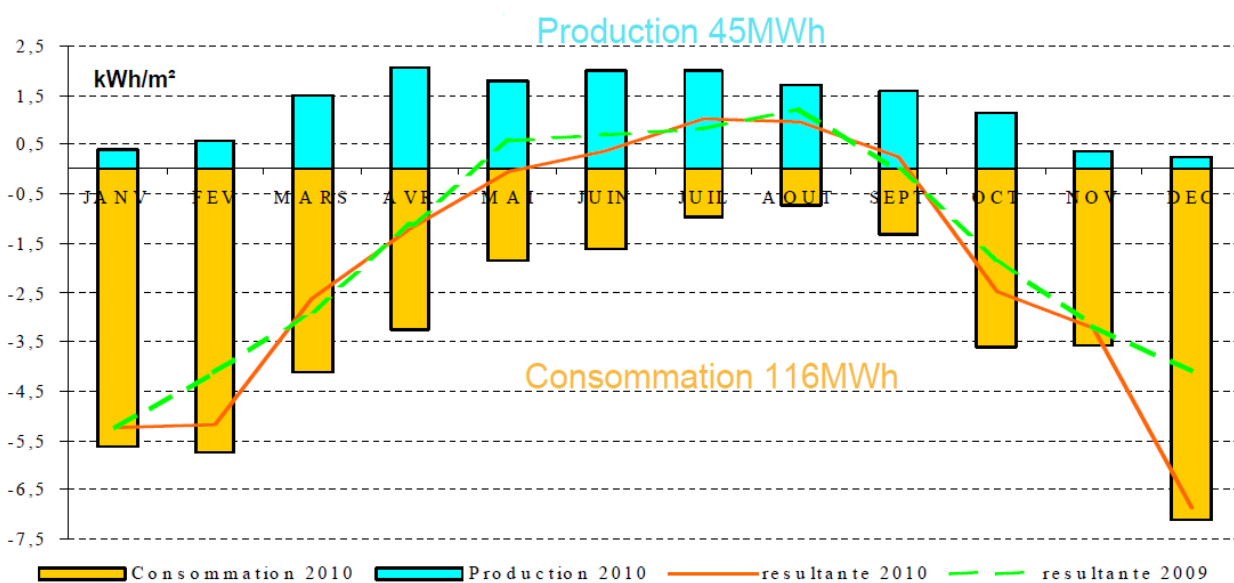


FIGURE 19 : REPARTITION MENSUELLE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES ET DE LA PRODUCTION PV SUR L'ANNEE 2010 (SOURCE : EDF R&D)

1.7.3 Comparaison des consommations réelles et prévisionnelles

Le tableau ci-dessous présente les consommations énergétiques prévisionnelles estimées par le bureau d'étude Tribu, les consommations réelles du bâtiment et l'écart relatif entre ces valeurs :

	Prévisions (en kWh)	Mesuré en 2009 (en kWh)	Ecart relatif pour 2009	Mesuré en 2010 (kWh)	Ecart relatif pour 2010	Mesuré en 2011 (kWh)	Ecart relatif pour 2011
Chauffage	27 360	48 430	77%	51 720	89%	41 183	51%
Ventilation	16 416	29 94	-82%	2 958	-82%	2 861	-83%
Eclairage	11 491	12 431	8%	12 710	11%	13 548	18%
ECS	4 104	13 580	231%	16 980	314%	16 800	309%
Cuisine	10 944	10 806	-1%	11 524	5%	11 509	5%
Divers	11 491	13 179	15%	15 274	33%	11 956	4%
Total	81 806	101 420	24%	111 166	36%	97 857	20%

TABLEAU 6 : COMPARAISON DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES PREVISIONNELLES ET REELLES

On remarque une sous estimation importante pour le poste de chauffage tandis que le poste de ventilation a été surestimé. Cette « anomalie » s'explique notamment par le fait que ces deux postes sont interdépendants puisque la ventilation double flux permet également le préchauffage de l'air ambiant. Il est donc plus intéressant de comparer les valeurs réelles et prévisionnelles cumulées pour ces deux postes.

	Prévisions (en kWh)	Mesuré en 2009 (en kWh)	Ecart relatif pour 2009	Mesuré en 2010 (kWh)	Ecart relatif pour 2010	Mesuré en 2011 (kWh)	Ecart relatif pour 2011
Chauffage + Ventilation	43 776	51 424	17%	54 678	25%	44 044	1%

TABLEAU 7 : COMPARAISON DES CONSOMMATIONS DE CHAUFFAGE+VENTILATION PREVISIONNELLES ET REELLES

L'écart est beaucoup moins important si les deux postes de consommations sont considérés comme un seul et même poste. Plusieurs explications peuvent être envisagées concernant les différences observées :

- Les températures de consignes réellement mises en place dans le groupe scolaires (21°C) sont différentes des températures de consignes utilisés pour les calculs énergétiques (19°C)
- Les affichages sur les parois vitrés donnant sur l'extérieur ont pour impact de diminuer sensiblement les apports solaires et donc d'augmenter les besoins de chaleur du bâtiment
- La gestion de la ventilation n'est pas toujours optimale du fait d'un usage inapproprié (gestion de la ventilation naturelle notamment)
- Variations annuelles des températures extérieures d'une année sur l'autre qui impacte directement sur les besoins de chaleur du groupe scolaire

Le poste de production d'eau chaude sanitaire est le poste de consommation énergétique le plus éloigné des prévisions effectuées en phase de conception. On observe ainsi un écart d'environ 300% par rapport aux prévisions. Rappelons cependant que le poste de production d'ECS avait été identifié comme le poste énergétique le moins important par rapport aux autres postes de consommation. Plusieurs facteurs permettent d'expliquer en partie ces écarts :

- Le dimensionnement des capteurs solaires thermiques a été sous-évalué. Le taux de couverture solaire avait été estimé à 60% lors de la conception alors que la réalité montre qu'il n'est en réalité que de 30%. Une surface beaucoup plus importante aurait donc pu être installée pour réduire les consommations énergétiques de ce poste. L'un des problèmes rencontrés lors du dimensionnement des capteurs solaires thermiques avait été le problème de surchauffe des capteurs pendant la période estivale. En effet, durant l'été, la production d'ECS solaire est à son maximum alors que les besoins sont quasiment nul du fait de la fermeture du groupe scolaire. Une

mutualisation de la production d'ECS solaire avec d'autres bâtiments aux alentours aurait alors été intéressante à étudier afin de pouvoir augmenter le nombre de capteurs installés.

- Il est également possible que les besoins d'ECS, notamment pour la partie restauration, aient également été sous-estimés. Il est en effet difficile de prévoir en amont quelle seront les besoins exact en ECS pour des usages de type restauration ce qui pourraient expliquer cette anomalie.
- Les pertes de distribution dans le bâtiment ont peut-être également été sous-estimées ou des défauts d'isolations sont apparus au niveau du circuit de distribution.

En ce qui concerne l'éclairage et les autres usages tels que les consommations d'électricité spécifique ou les consommations de la partie restauration, les écarts entre les consommations prévisionnelles et réelles sont relativement faibles ce qui permet de valider les hypothèses prises en considérant durant la phase de conception. On remarque cependant, comme expliqué précédemment, une augmentation des consommations d'éclairages sur les trois dernières années.

1.7.4 Retour économique

Le graphique ci-dessous présente le coût des énergies consommées pour tous les postes énergétiques et le gain économique réalisé du fait de la production photovoltaïque réalisée sur l'année 2010 :

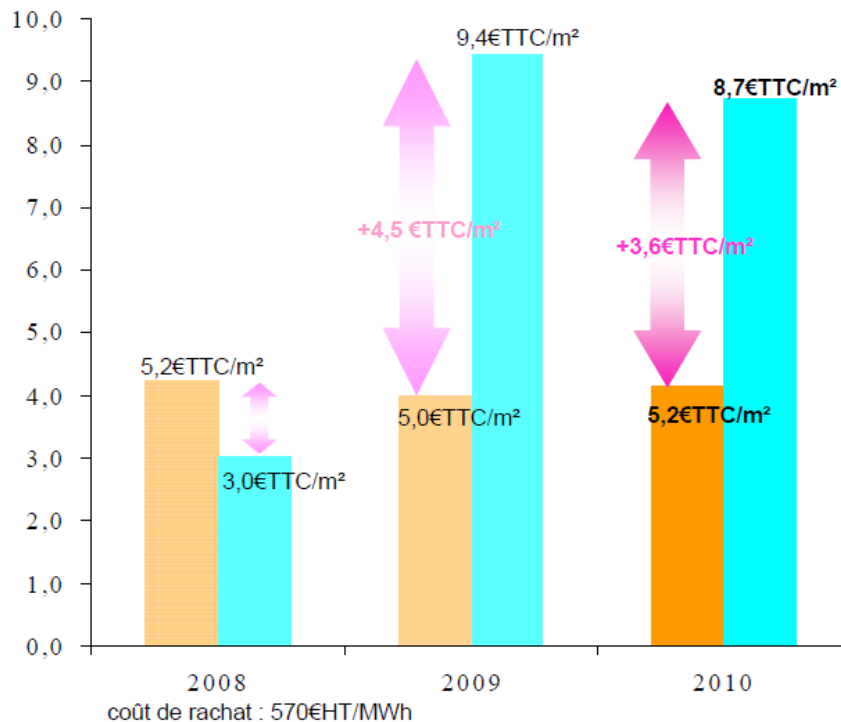


FIGURE 20 : COUT DES ENERGIES CONSOMMEES ET PRODUITES SUR L'ANNEE 2010 (SOURCE: BILAN ENERGETIQUE SUR L'ANNEE 2010 REALISE PAR EDF R&D)

On remarque ainsi que le coût annuel de l'énergie du groupe scolaire sur l'année 2010 s'élève à 15 100 €TTC soit 5,2€/TTC/m² tandis que la production annuelle du PV est estimée à 25 700 €HT. En déduisant la production PV, le coût total énergétique du site est positif avec 16 000 €HT/an de gain, soit 3,6 €/TTC/m².an.

Le surcoût d'investissement pour atteindre l'objectif BEPOS avait été estimé à approximativement 30% par rapport à un bâtiment classique à l'époque de la construction (en raison principalement de l'investissement dû aux panneaux photovoltaïque et aux menuiseries en triple vitrage).

D'après la ville de Limeil-Brévannes, le temps de retour sur investissement lié au surcoût d'investissement pour atteindre de tels objectifs énergétiques reste très intéressant. Les économies d'énergies permettent ainsi rapidement de rentabiliser le surinvestissement, d'autant plus que le coût des énergies ne cesse d'augmenter.

Il n'a cependant pas été possible de calculer précisément un temps de retour sur investissement ni même d'identifier avec précision le surcoût généré par l'objectif BEPOS. Ce calcul nécessite d'identifier d'une part précisément le surcoût généré par l'objectif BEPOS ce qui n'a pas été réalisé et d'évaluer le taux d'actualisation du coût de l'énergie dans l'avenir ce qui est relativement délicat et complexe.

1.8 LA SENSIBILISATION DES USAGERS

Les écarts entre les consommations énergétiques prévisionnelles et réelles du bâtiment montrent notamment l'importance de l'impact des usagers sur les consommations. Le comportement des usagers est d'autant plus important qu'il est difficile à prévoir lors de la conception et qu'il est donc essentiel de sensibiliser les occupants sur les bonnes et les mauvaises « pratiques » en ce qui concerne l'efficacité énergétique d'un bâtiment.

Le cabinet Pénicaud avait élaboré dans cet objectif un livret d'accueil destiné aux usagers de l'école. Ces conseils se portaient sur des gestes simples, parfois évidents pour certaines personnes mais qui ne sont pas encore des réflexes pour d'autres (ne pas ouvrir les fenêtres en hiver, ne pas laisser l'éclairage allumé inutilement) mais également sur des pratiques plus spécifiques au bâtiment lui-même tel que la gestion de la ventilation naturelle l'été en cohérence avec les brises soleils, le recours à la ventilation nocturne pour améliorer le confort thermique des usagers...

La principale difficulté liée à la sensibilisation des occupants s'est avérée être la transmission de l'information et des connaissances au fil des années. Aujourd'hui, quasiment tous les usagers qui étaient présents à l'inauguration du bâtiment et qui avaient ainsi eu accès à ce livret d'accueil ne sont plus présents désormais dans le groupe scolaire Jean-Louis Marquèze. Le personnel se renouvelle en effet très régulièrement. Il est donc essentiel de mettre en place une sensibilisation régulière, voire permanente, des usagers dans des bâtiments aussi performants énergétiquement à travers des livrets d'informations, des réunions de sensibilisations, des affichages dans l'établissement... Plus un bâtiment est performant, et plus l'impact des usagers sur les consommations énergétiques peut lui aussi être important.

Aujourd'hui, le personnel technique de la mairie reçoit encore régulièrement des consignes ou des recommandations techniques à travers le suivi d'EDF R&D.

1.9 INTERVIEWS DES ACTEURS DU PROJET

1.9.1 Interview de M. Lipa Goldstein, cofondateur de l'agence Lipa & Serge Goldstein, architecte du groupe scolaire Jean Louis Marquèze

- *Aviez-vous déjà réalisé des opérations BEPOS ou d'autres projets exemplaires sur un aspect énergétique et /ou environnemental ?*

L'agence Lipa & Serge Goldstein avait participé et gagné un concours d'idées sur 5000 maisons solaires en 1982 mais les maisons n'ont pas été construites finalement. L'agence a également déjà réalisé plusieurs collèges et participé à plusieurs concours sur des groupes scolaires mais ces derniers n'avaient pas d'ambitions énergétiques aussi élevées que dans le cas du groupe scolaire de Limeil-Brévannes.

- *Avez-vous intégré une MOE énergie/environnement dans l'équipe ou aviez-vous une compétence en interne ?*

Tribu a assisté le projet du groupe scolaire tout au long du projet en tant qu'AMO HQE. D'autre part, les BET Hubert Pénicaud et BERIM ont assisté la MOE par la suite.

- *La réalisation d'un BEPOS représentait-elle une motivation supplémentaire pour gagner ce concours ?*

D'après M. Goldstein, la motivation d'un tel projet vient du fait qu'il s'agit d'une nouvelle façon de voir l'architecture. Ce n'est plus la même échelle de travail, les architectes comme les ingénieurs doivent aller beaucoup plus loin, presque « au microscope ».

- *D'après vous, qu'est ce qui vous a permis de remporter le concours par rapport à vos concurrents ?*

D'après M. Goldstein, ce ne sont pas les aspects de haute qualité environnementale ou de haute performance énergétique qui leurs ont permis de remporter le concours mais plutôt l'image simple de l'école qu'ils ont proposée.

L'objectif de respecter une perméabilité à l'eau sur la parcelle de 40% représentait une grosse contrainte vis-à-vis de l'emprise au sol du bâtiment. La profondeur de la parcelle et sa position au milieu d'un quartier pavillonnaire rendait l'implantation du bâtiment très complexe, mais l'atelier Goldstein a su apporter une réponse simple et séduisante, en proposant une implantation en douceur mettant en valeur la profondeur de la parcelle en orientant toutes les classes au sud-est et les circulations au nord.

- *Est-ce que vous avez dû adopter une démarche de conception différente par rapport à un projet plus classique ?*

D'après M. Goldstein, les principales différences viennent de l'investissement des BET qui doit être beaucoup plus important que dans les projets « classiques ». Il y a également plus de calculs dès la phase esquisse ce qui nécessite plus de temps à la fois pour les BET et pour les équipes d'architectes.

- *Quelles ont-été les principales difficultés que vous avez rencontrées ?*

L'équipe de MOE a eu beaucoup de difficultés à trouver une entreprise capable de fournir des menuiseries triples vitrages pour un bâtiment de cette taille car l'offre n'existait pas en France en dehors du marché des particuliers. Le classement CEKAL a d'ailleurs été obtenu en cours de chantier. Certains vitrages étaient d'autre part refusés par le bureau de contrôle. Cette étape a donc été très complexe.

En ce qui concerne les autres technologies, elles étaient plutôt conventionnelles d'après M. Goldstein. Ce qui ne présentait donc pas de difficultés particulières. Ce qui était plus inhabituel, c'était de retrouver autant de technologies pointues dans un même bâtiment d'après lui.

L'équipe de MOE avait également demandé à l'AMO Auris de leur confier une mission d'exécution partielle pour la mise au point de détails et pour finaliser la synthèse.

Pendant la phase de réalisation, une des difficultés a été que les entreprises n'avaient pas encore le niveau d'exigence requis pour ce type de bâtiment comme par exemple au niveau des ponts thermiques.

- *La définition du BEPOS n'est pas encore très claire aujourd'hui, quelle était la définition qui a été retenue dans le cadre de votre projet ? Consommation énergétiques réglementaires uniquement ? Coefficient de conversion Energie Primaire / Energie finale ?*

M. Goldstein ne connaît pas la définition exacte qui avait été retenue pour ce projet. Il ne pourrait pas dire si l'objectif zéro énergie concernait seulement les usages réglementaires ou bien s'il concernait tous les usages.

- *S'agit-il d'une réussite à vos yeux ? Êtes-vous fier de ce projet ?*

Oui, c'est un projet dont nous sommes fiers.

- *Le fait d'avoir réalisé ce projet vous a-t-il particulièrement motivé à réaliser d'autres bâtiments de ce genre ? Avez-vous candidaté pour les autres groupes scolaires BEPOS ?*

L'agence Goldstein participe à la conception de deux opérations de logement BEPOS, une opération à Reims avec l'Effort Rémois pour laquelle c'est l'architecte qui a proposé de se fixer un objectif Zéro Energie et une autre à Brétigny-sur-Orge pour la construction de 54 logements avec Immobilière 3F.

M. Goldstein a aussi participé au concours pour le groupe scolaire BEPOS de PANTIN mais c'est l'Atelier Méandre qui a remporté ce dernier.

- *Y avait-il des contraintes techniques imposées ?*

M. Goldstein et la MOA voulaient faire une école avant tout. Il fallait donc concevoir un bâtiment avec de larges circulations, de grandes fenêtres pour avoir une lumière naturelle importante, des salles éclairées si possible des deux côtés, des pavés de verre entre les circulations du RDC et du R+1 et un éclairage zénithal au R+1 pour laisser passer un maximum de lumière.

Le principe de conception a été d'adopter une première approche bioclimatique en travaillant sur l'implantation et l'enveloppe, ensuite dans un deuxième temps l'effort a porté sur les systèmes avec la mise en place de la PAC sur eau de nappe, d'une ventilation double-flux et de sondes de détection de présence et enfin dans un troisième temps, le recours au photovoltaïque.

Le photovoltaïque était bien sur une obligation pour la production d'électricité et pour atteindre l'objectif d'un groupe scolaire BEPOS. Les panneaux photovoltaïques en façade ont été choisis plus dans un axe d'affichage et aspect architecturale autant que de production. Ces derniers sont en effet à l'ombre à un certain moment de la journée mais l'aspect de la composition architecturale prévalait sur les toutes les autres exigences de performance.

- *Quels moyens de production ont été proposés ? (uniquement photovoltaïque, cogénération ?)*

Seul le photovoltaïque a été étudié a priori puisque le choix du système de chauffage alimenté par la géothermie était imposé au programme.

Tribu avait demandé 900m² de panneaux, 500m² ont été installés et 200m² sont prévus ensuite en fonction de l'ouverture de nouvelles classes dans l'école.

- *Quelle influence l'objectif BEPOS a-t-il eu sur les autres exigences (gestion de l'eau, des déchets, choix des matériaux, des isolants, de l'architecture globale, forme du bâtiment, etc.)*

Une démarche HQE a été mise en place mais l'AMO Tribu et le BET Hubert Pénicaud ne désiraient pas faire de certification HQE pour le bâtiment.

- *Avez-vous réalisé une étude sur les énergies grises liées aux matériaux de construction du groupe scolaire ?*

Aucune étude sur les énergies grises n'a été effectuée pour le choix des matériaux de construction du groupe scolaire. La structure du bâtiment est donc du béton classique qui permet d'obtenir une inertie thermique importante et de participer au confort des occupants.

- *Un soin particulier a-t-il été porté pour l'étanchéité à l'air du bâtiment ?*

D'après M. Goldstein, aucun test d'étanchéité n'a été effectué dans le bâtiment. On retrouve cependant un fonctionnement en macro-lots pour la phase chantier qui est, d'après M. Goldstein, beaucoup plus facile à gérer et qui permet une communication plus aisée entre les entreprises.

- *Qui s'est occupé du suivi d'exploitation une fois le bâtiment livré ?*

Un suivi est réalisé par EDF. L'agence avait demandé une mission complémentaire pour s'occuper de la synthèse et des détails mais le BERIM n'a pas souhaité participer à la mission. C'est finalement la société Multisys qui a fait la synthèse.

Au début l'utilisation du bâtiment n'était pas optimale et tous les panneaux prévus n'étaient pas encore installés. Des potelets sont déjà en place pour accueillir des panneaux photovoltaïques supplémentaires en fonction du rythme d'ouverture de nouvelles classes.

- *Avez-vous estimé le surcoût du projet ?*

Le surcoût était estimé à 30% au début du projet par rapport à un bâtiment classique, mais il a été estimé de nouveau en fin de chantier à environ 20%. Au final, le surcoût n'a pas été pas si important que certaines personnes pourraient le croire d'après M. Goldstein. La MOA a même considéré que l'opération n'avait pas coûté tant au regard des exigences très élevées du programme.

- *Est-ce que vous avez des retours quand à l'utilisation, la vie du bâtiment ?*

Il n'y a pas eu de retours négatifs a priori en ce qui concerne les utilisateurs du groupe scolaire. D'après M. Goldstein, la directrice était très contente du bâtiment.

- *Plus un bâtiment est performant énergétiquement et consomme peu et plus le comportement des usagers a une influence importante. Savez vous si des formations sur l'éco comportement et le bon usage du bâtiment ont été effectués au sein du groupe scolaire ? Avez-vous participé à ceux-ci ?*

D'après M. Goldstein, le BET Pénicaud a peut-être fait de la formation/sensibilisation auprès des usagers et un écran dans l'école est censé afficher les consommations du bâtiment en direct (mais il semblerait que cet écran ai finalement une autre utilité que le suivi de consommation).

1.9.2 Interview de M. LHERITIER, chargé de mission Alter Développement à la Mairie de Limeil-Brévannes

- *Dans quel contexte la construction de ce groupe scolaire a-t-elle été décidée et comment l'objectif BEPOS s'est-il décidé?*

Le projet du groupe scolaire Jean Louis Marquèze s'inscrit dans le cadre d'un écoquartier (quartier des Temps Durables) mais surtout d'une augmentation attendue de la population. Il devenait nécessaire de construire un nouveau groupe scolaire pour accueillir les enfants de Limeil-Brévannes et il semblait important de se fixer des objectifs ambitieux de performance énergétique et environnementale du bâtiment dans un souci de cohérence avec le projet de l'écoquartier.

C'est donc la ville de Limeil-Brévannes qui a désiré concevoir un bâtiment très performant mais le bureau d'étude Tribu nous a accompagné dès le début du projet pour que cela soit possible. Ce dernier a ainsi réalisé en amont dès la définition du programme une étude de faisabilité technico-économique nous permettant de comparer plusieurs scénarios de performance énergétique en termes de consommations énergétiques, d'émissions de GES et de coûts d'investissement et d'exploitation. La combinaison de cette volonté municipale et de l'appui technique du bureau d'étude Tribu a finalement conduit naturellement à s'orienter vers un bâtiment exemplaire pour l'époque (la réglementation thermique en vigueur étant la RT 2000), avec un objectif de performance énergétique « Zéro Energie ».

D'autre part, bien que la certification HQE n'ait pas été désirée, la démarche a été suivie tout au long du projet. Une attention particulière a ainsi été portée à la récupération des eaux pluviales, au traitement des déchets ou encore au choix des matériaux de construction (Analyse de Cycle de Vie concernant les revêtements de sols, les menuiseries, la peinture...)

- *Cela a-t-il changé votre démarche par rapport à une opération « classique » ?*

La principale différence dans la démarche de conception par rapport à une opération « classique » est le niveau d'échange entre les différents acteurs du projet. Les discussions entre l'AMO HQE, le bureau Tribu, et le Bureau d'étude fluide/énergétique, Bérim, sont beaucoup plus riches et nombreuses. La conception d'un bâtiment aussi complexe techniquement nécessite un investissement de tous les acteurs beaucoup plus important ainsi qu'un fort esprit d'équipe et de cohésion.

La contrainte de temps était assez élevée du fait du calendrier scolaire ce qui n'a pas permis d'obtenir plus de temps pour la phase de conception) même du bâtiment (1 année d'étude mais le travail de chacun des acteurs a sûrement été plus important que dans le cas de projet plus conventionnels.

- *Des problèmes ont-ils été rencontrés lors de la conception ou du chantier qui ont eu un impact important sur le projet ?*

La livraison du groupe scolaire a finalement eu deux mois de retard par rapport au planning qui avait été prévu, mais les raisons de ce retard n'avaient aucun lien avec l'objectif « Zéro Energie » du bâtiment.

- *Quel a été le surcoût d'investissement lié à l'objectif de performance énergétique BEPOS ?*

Le surcoût a été estimé à approximativement + 30% par rapport à une opération classique et était essentiellement due aux menuiseries triple vitrage qui ont été très difficile à se procurer car très rare sur le marché français à cette époque et à la pose des panneaux photovoltaïques malgré les aides de l'ADEME et du Conseil Régional d'Ile-de-France.

- *Quels retours avez-vous du personnel du bâtiment aujourd'hui ?*

Les usagers du bâtiment sont très contents dans l'ensemble. Il y a eu quelques plaintes liées au confort thermique hivernal du bâtiment quand le système de pompe à chaleur géothermique est tombé en panne mais le problème a rapidement été résolu depuis. L'école Jean Louis Marquèze était pionnière pour son époque et beaucoup des installations techniques étaient alors à la fois innovante et expérimentale. Il est normal que quelques problèmes techniques soient apparus au début de l'utilisation du bâtiment. Ces technologies sont bien mieux gérés aujourd'hui qu'elles ne l'étaient il y a encore quelques années.

En ce qui concerne le confort d'été, il faut user d'un peu de pédagogies pour que les utilisateurs aient les bons réflexes en ouvrant les fenêtres suffisamment, en ayant recours à la surventilation nocturne. Cela peut être perçu comme un effort pour certains d'entre eux parce que ce n'est pas du tout un réflexe qu'ils ont appris dans leur anciens établissement.

En ce qui concerne la qualité de vie du bâtiment, l'accès à la lumière, les espaces, les usagers sont très contents. Les enfants sont également ravies. C'est une école vraiment agréable à vivre.

- *Un bâtiment aussi complexe techniquement n'est-il pas compliqué à exploiter ? Qu'en pensent les personnes responsables de la maintenance de l'école ?*

A la livraison du bâtiment, c'était les services techniques de la ville qui s'occupait de la maintenance du groupe scolaire mais ces derniers n'étaient pas correctement formés pour des équipements aussi « pointus » techniquement. Ils ont donc dû se former par la pratique au fur et à mesure des petites pannes. Aucun mode d'emploi des équipements n'avait été rédigé à la livraison du bâtiment, et c'est une requête qui devrait être de plus en plus présente pour les bâtiments aussi performants. C'est une idée qui serait intéressante de développer si d'autres groupes scolaires BEPOS étaient construits dans la ville de Limeil-Brévannes.

Au final, depuis un an, c'est un prestataire qui gère la maintenance en association avec les services techniques. La gestion du bâtiment est devenue beaucoup plus simple mais certaines limites peuvent tout de même être mises en lumière. Il faudrait que certaines clauses d'intéressement à la performance soient intégrées au contrat et que ce dernier prenne mieux en compte les spécificités du bâtiment.

- *Comment s'est mis en place le suivi des consommations énergétiques exercé par EDF R&D ?*

C'est EDF R&D qui a proposé de s'assurer du suivi des consommations énergétiques gratuitement pendant les trois premières années d'exploitation du bâtiment. L'intérêt était partagé puisque cela leur permettait de bénéficier du retour d'expérience d'un bâtiment exemplaire d'un point de vue énergétique tandis que nous pouvions bénéficier de leur expérience et connaissances pour améliorer le fonctionnement du groupe scolaire et affiner les réglages des équipements pour réduire davantage les consommations énergétiques. Tout le monde était gagnant dans ce partenariat. Une nouvelle convention a été signée pour poursuivre ce suivi pour une durée de deux ans supplémentaires à la demande de la ville. Ce suivi permettra de s'assurer du bon fonctionnement des derniers panneaux photovoltaïques ajoutés en toiture et cela permet surtout de profiter d'une réactivité accrue lorsqu'un problème technique apparaît sur le bâtiment et de conseils pertinents pour les régler.

- *Est-ce que la ville serait prête à recommencer ? A généraliser le BEPOS ?*

Le groupe scolaire Jean Louis Marquèze a été une très bonne expérience pour la ville de Limeil-Brévannes qui serait prête à se réengager dans un tel projet mais la principale contrainte reste l'aspect économique. Même si sur le long terme, la construction d'un bâtiment BEPOS est rentable, il reste nécessaire d'engager des investissements supplémentaires importants à la construction du bâtiment et ces fonds ne sont pas toujours faciles à débloquer même si les aides sont relativement nombreuses.

- *Si vous pouviez modifier ou corriger certains points négatifs du projet, quels seraient-ils ?*

La maintenance du groupe scolaire aurait dû être réfléchi plus en amont en engageant un prestataire externe dès la livraison du bâtiment, en rédigeant des carnets d'utilisation ou des modes d'emplois des systèmes techniques, ou par la mise en place de formations du personnel des services techniques de la ville en interne pour qu'ils soient plus aptes à gérer la maintenance des équipements complexes (GTB, remplacement des filtres de la CTA...).

Une autre difficulté liée à l'utilisation d'un bâtiment aussi performant est la transmission du savoir et des retours d'expérience au fil de la vie du bâtiment. La majeure partie du personnel du groupe scolaire et de la ville qui étaient présents à la livraison du bâtiment ou qui ont participé à la conception de celui-ci ne sont plus présents aujourd'hui (changement de service, mutation dans un autre établissement) et les conseils et bonnes pratiques qui leur avaient été recommandés à l'ouverture de l'école ont de ce fait été perdus. Il n'y a pas suffisamment de continuité dans le suivi et la gestion du groupe scolaire. La rédaction d'un carnet d'accueil mis à jour régulièrement en prenant compte du retour d'expérience accumulé au fil des années permettrait sûrement un meilleur suivi de l'école.

Enfin, la sensibilisation des usagers est également très importante lorsqu'il s'agit d'un bâtiment aussi performant. L'usage peut en effet avoir un impact très important sur les consommations énergétiques mais également sur le confort hygrothermique du bâtiment. Bien qu'une sensibilisation ait été réalisée à la livraison du bâtiment aux premiers occupants, il serait pertinent de réaliser de manière régulière de nouvelles réunions de sensibilisation afin de remémorer les bons usages/pratiques et d'impliquer davantage les usagers à la vie et à la performance du groupe scolaire.

- *Quels sont pour vous les trois points positifs les plus forts du bâtiment ?*

Le premier point dont la ville est le plus fière est évidemment le niveau très bas des consommations énergétiques du groupe scolaire Jean Louis Marquèze. Bien que l'exigence BEPOS n'ait pas été réellement atteinte, le bâtiment consomme en moyenne cinq fois que la moyenne nationale ce qui est exemplaire pour une école construite à l'époque de la réglementation thermique RT 2000. Les exigences et les objectifs ambitieux que la ville s'est fixés pour ce bâtiment vont bien plus loin que la réglementation thermique même actuelle et sont donc des preuves de la volonté de la ville de s'investir dans une réelle politique de développement durable.

Le travail architectural du groupe scolaire est également remarquable, les équipes qui ont participé à la conception du bâtiment ne se sont pas uniquement concentrés sur la performance énergétique du bâtiment et ont souhaité concevoir un bâtiment agréable à vivre. Les panneaux photovoltaïques en façade permettent non seulement de produire de l'électricité mais ont aussi un rôle important de communication. Ils permettent d'afficher et rappeler l'exemplarité énergétique du bâtiment et ainsi d'impliquer davantage les usagers. Lorsqu'on arrive devant l'école, on peut savoir en un coup d'œil qu'il ne s'agit pas d'un bâtiment classique.

Enfin, le confort de l'utilisateur est également un point très bien réussi du projet, qu'il s'agisse du confort thermique mais aussi du confort acoustique ou visuel. Les espaces et l'accès à la lumière naturelle ont été vraiment bien réfléchis, et le personnel de l'école est vraiment heureux de travailler dans un cadre aussi agréable.

1.9.3 Interview de M. Bornarel, Cogérant de la société Tribu, AMO des groupes scolaires JL Marquèze, Saint Exupéry, Olympe de Gouges et Résistance

1.9.3.1 Participants et présentation de l'entreprise :

Les participants sont :

- M. Alain BORNAREL, Cogérant de la société Tribu et vice président Stratégie et Développement de l'Institut pour la Conception Ecoresponsable du Bâti
- M. Julien LEMAIRE, Ingénieur d'étude LesEnR
- M. Axelle SZYMANSKI, Chef de projet LesEnR

Tribu a été l'Assistant à Maitrise d'Ouvrage de quatre des cinq groupes scolaires BEPOS étudiés :

- Le groupe scolaire Resistance à Montreuil,
- Le groupe scolaire Saint Exupéry à Pantin,
- Le groupe scolaire Jean Louis Marquèze à Limeil-Brévannes,
- Le groupe scolaire Olympe de Gouges à Arcueil.

1.9.3.2 Questions- Réponses

- *Comment a été introduit l'enjeu BEPOS pour les différents projets et comment avez-vous réussi à convaincre les porteurs du projet de s'engager à viser un tel objectif ?*

Tribu a une vision de l'AMO HQE «militante», elle doit tirer les maîtres d'ouvrage vers le haut et ce dès la phase de programmation. Mais il fallait répondre à la question de l'objectif : tirer les MOA jusqu'où ? C'est donc pour répondre à un choix stratégique que Tribu souhaitait expérimenter l'énergie positive et donc inciter les maîtres d'ouvrage à partager cette expérience.

L'étude de faisabilité dès l'étape de programmation a été déterminante. Elle a permis de définir avec le programmiste deux ou trois scénarios de volumétrie, d'occupation, de compacité, d'orientation et de réaliser un modèle simplifié de Simulation Thermique Dynamique afin de repérer les sensibilités par rapport à chacun de ces « leviers bioclimatiques » (masques, orientation, compacités). Un des critères principaux qui a permis de convaincre les équipes de concevoir un bâtiment à énergie positive a été le fait que Tribu connaissait déjà les équipes de programmation et avait l'habitude de travailler avec elles. Il était donc plus facile de partager et de travailler efficacement ensemble.

Cela a permis de pouvoir orienter les choix du maître d'ouvrage vers le BEPOS à travers la comparaison entre plusieurs indicateurs énergétiques, environnementaux et économiques : consommations énergétiques, émissions de CO2, production équivalente de déchets nucléaires, coûts d'investissement, coûts d'exploitation, confort acoustique et thermique, matériaux renouvelables (construction bois par exemple)... Au final, ce qui importe le plus aux villes est le retour économique et la baisse drastique des consommations qui permet un affichage politique. Il est plus difficile de motiver une MOA privée car les consommations ne les concernent pas.

En ce qui concerne le groupe scolaire de Limeil-Brévannes, c'est le comité de pilotage, composé entre autres d'enseignants et de parents d'élèves, ainsi que le maire, qui ont porté le projet. Une fois que la décision a été prise de s'engager dans la conception à énergie positive, le maire n'a jamais accepté de faire marche arrière malgré les nombreux problèmes rencontrés (perte des subventions ADEME pour le photovoltaïque, modification des tarifs d'achat de l'électricité photovoltaïque). Il a été nécessaire de simplifier le projet pour réduire certains coûts et tenir le budget sans dégrader les objectifs énergétiques et environnementaux du projet (supprimer le parking souterrain par exemple).

Le groupe scolaire de Pantin a également été porté par quelques éléments moteurs de la MOA de la ville, d'abord une personne des services techniques qui avait une grande sensibilité sur les questions écologiques puis cette personne a été remplacée par une autre qui après avoir bénéficié d'une formation longue à l'ingénierie et à l'architecture de haute qualité environnementale à l'école d'architecture de la Villette a pleinement adhéré au projet. Lorsque l'AMO tient un discours volontaire et orienté et qu'une ou deux personnes de la MOA sont suffisamment motivées par le projet et prêtes à le pousser, la décision de réaliser un groupe scolaire BEPOS est beaucoup plus simple à prendre.

- *Quelles ont été les principales difficultés rencontrées pour que l'objectif BEPOS soit acceptée et quelles étaient la ou les définition(s) retenue(s) pour le BEPOS ?*

Il n'y a pas eu de problèmes particuliers rencontrés pour que l'objectif BEPOS soit accepté. Une fois l'étude de faisabilité réalisée et la viabilité économique et technique démontrée, toutes les équipes se sont vraiment investis dans le projet y compris du côté de la MOA. Lorsque l'objectif est choisi, la motivation est forcément présente et il devient inconcevable de faire marche arrière.

D'autre part, lorsque l'objectif BEPOS était retenu, il s'agissait à chaque fois d'énergie « tout usages », y compris les consommations d'électricité spécifique et des consommations énergétiques liées à la restauration.

Cela demande du travail supplémentaire pour la restauration en particulier car il est nécessaire de porter une réflexion poussée sur la manière dont sera faite la cuisine, sur la manière de travailler (les fours sont souvent mis en route très tôt le matin dès l'arrivée des cuisiniers alors que cela n'est pas forcément nécessaire), et sur le matériel à choisir afin de réduire au maximum les consommations énergétiques. Dans le cas du groupe scolaire « Saint Exupéry » de Pantin, il a finalement fallu installer plus de panneaux photovoltaïques que prévu initialement en raison des consommations énergétiques de la partie restauration qui avait été sous-estimée dans l'étude de faisabilité.

L'objectif BEPOS a évolué au fur et à mesure des différents projets : l'objectif énergétique pour le groupe scolaire de Limeil-Brévannes était de couvrir les consommations énergétiques tout usages par des énergies renouvelables. A Pantin, il a été décidé de viser un triple objectif : zéro énergie (primaire), zéro émissions de CO2 et zéro « production de déchets nucléaires » (en incluant toutes les consommations électriques du bâtiment). Enfin, dans le cas du groupe scolaire de Montreuil, il a été décidé de ne plus utiliser les coefficients de conversion d'énergie primaire /énergie finale réglementaires mais d'utiliser les coefficients physiques (avec un coefficient de 0,2 / 0,3 pour la biomasse) afin d'inciter le choix des systèmes énergétiques et de se « rapprocher de la réalité ».

- *Quel était votre rôle dans le choix des solutions techniques (double flux, géothermie, biomasse, ventilation naturelle, etc....). Quel était la différence par rapport à une opération ? Quels sont les points techniques les plus contraignants ou les plus importants dans une conception de bâtiments aussi performants ?*

Pour les deux premiers groupes scolaires, le choix des systèmes de production énergétique a été laissé à la MOE et à la ville et c'est des systèmes de pompes à chaleur sur nappe (géothermie) qui ont été retenues. En ce qui concerne Montreuil, le discours a été plus directif et s'orientait clairement vers une chaudière biomasse utilisant de l'huile végétale pure avec un module de cogénération qui offrait l'avantage de limiter également la surface de panneaux photovoltaïques à installer en toiture. La géothermie sur nappe est de plus en plus controversée du fait de l'impact sur la nappe que provoque cette technologie. A Lyon, par exemple, l'installation de PAC sur nappe est maintenant interdite. La nappe s'est réchauffée de 7°C à certains endroits du fait d'un trop grand nombre d'installations de PAC ce qui a des conséquences écologiques mais également sur les performances énergétiques des systèmes dont le rendement diminue alors fortement.

D'autre part, l'utilisation des coefficients « physique » (au contraire des coefficients de la RT 2012) de conversion énergie primaire / énergie finale pour la biomasse permet d'obtenir des consommations en énergie primaire relativement faibles et donc plus faciles à compenser pour obtenir le niveau BEPOS. En effet, ce coefficient pour la biomasse varie entre 0,2 et 0,3 selon la nature du combustible (bois, huile végétale...) tandis qu'il est de 3,16 pour l'électricité nécessaire au fonctionnement d'une pompe à chaleur.

La ventilation naturelle est également un point très problématique dans la conception « basse consommation ». Si on considère qu'il faut maintenir en permanence un débit de 30 m³/h/pers y compris l'été, il est d'indispensable de faire fonctionner la ventilation double flux en permanence ce qui a un impact très important sur les consommations énergétiques. Il y a malheureusement une hégémonie du « mécanique » qui demeure et qui rend difficile l'installation de système de ventilation naturelle dans les bâtiments. La ventilation naturelle pose également le problème de l'équilibre entre confort thermique et confort acoustique (auquel peut également se rajouter la problématique de sécurité et d'intrusion). Tous ces éléments sont difficiles à prendre en compte et les résultats des consommations énergétiques des bâtiments montrent que la ventilation représente un poste très important de consommation. Il ne faut donc pas négliger cette problématique.

L'automatisation est également un point important. Les retours d'expérience montrent que les personnes responsables de la gestion de la GTB par exemple ne sont pas toujours suffisamment formées par rapport à la complexité des systèmes qu'ils rencontrent. Il arrive alors que ces derniers soient « by-passés » ou qu'un dysfonctionnement ne soit pas repéré (problème du remplacement des filtres par exemple) ce qui aura pour conséquence une augmentation importante des consommations ou une mauvaise qualité de l'air. On peut alors se demander si la GTB est bien nécessaire et si on ne va pas trop loin dans nos efforts d'économies d'énergie ? Les systèmes deviennent tellement complexes dans leur utilisation que cela en devient contre-productif dans la recherche d'économie d'énergie.

Enfin, la température de consigne est également un des critères contraignants dans la conception qui peut avoir un impact important sur les consommations réelles du bâtiment. Les calculs lors de la conception des groupes scolaires ont été réalisés pour une température de 20°C (choix de la MOE) mais il est impossible d'avoir une maîtrise sur ce que sera réellement la température de consigne à la livraison du bâtiment. Le même problème peut être rencontré pour la ventilation si les usagers n'ouvrent pas « correctement » les fenêtres pour la ventilation naturelle. Il reste encore beaucoup de progrès à réaliser sur la problématique de l'usage.

- *Avez-vous changé votre manière de travailler, les solutions envisagées et mises en place ?*

Il est important de travailler plus en amont du projet que pour des bâtiments classiques. La phase de programmation est la clé de la réussite d'un projet. Il faut faire une étude de faisabilité complète et donner des limites dans le programme. La priorité doit être portée sur les questions bioclimatiques dans un premier temps pour estimer ce qu'il est possible de faire. Il faut avoir une idée des consommations prévisionnelles, du confort d'été même si ce ne sont que des calculs très simplifiés. Il faut également cadrer et fixer dès le programme les surfaces vitrées, la répartition entre l'apport des systèmes et l'apport de l'enveloppe... Le but de ces opérations n'est pas de réaliser un bâtiment sur-isolé avec des systèmes de production de chaleur peu efficaces, ni de réaliser des « passoires thermiques » auxquelles on ajoute des systèmes énergétiques très performants et des panneaux photovoltaïques pour compenser les consommations. Il s'agit de trouver le bon équilibre.

Le choix des systèmes énergétiques est réalisé principalement en APD tandis que le travail sur l'enveloppe est réalisé dès l'esquisse.

La mission de l'AMO demande plus de travail que pour une opération classique principalement durant les premières phases du projet. Le temps de travail dépend également beaucoup des autres équipes qui travaillent sur le projet. Dans le cas du groupe scolaire « Saint-Exupéry » à Pantin, Tribu avait déjà l'habitude de travailler avec l'Atelier Méandre ce qui a permis de gagner beaucoup de temps. D'autre part, ce n'était pas le premier groupe scolaire comme c'était le cas pour celui de Limeil-Brévannes ce qui permettait également de profiter de quelques retours d'expérience et d'avancer plus rapidement sur le projet.

Il est cependant nécessaire de « rééquilibrer » le travail des architectes et du bureau d'étude technique par rapport à ce qui peut se faire habituellement. Il serait en effet préférable que le bureau d'étude thermique intervienne dans le projet autant en amont que possible et qu'il accompagne également d'avantage lors de la phase chantier. Ce rééquilibrage sera malheureusement difficile à mettre en place et prendra du temps.

- *Quelle influence l'objectif BEPOS a-t-il eu sur les autres exigences ? (gestion de l'eau, des déchets, choix des matériaux, des isolants, de l'architecture globale, forme du bâtiment, etc...)*

Certains efforts ont été réalisés particulièrement sur la gestion des eaux pluviales (noues, récupération d'eau de pluie pour les toilettes) et sur le choix des matériaux mais la majorité des investissements était avant tout destinée aux problèmes énergétiques (systèmes, panneaux photovoltaïques, isolation, bioclimatisme..) plus qu'environnementales. Une attention particulière a toujours été portée à l'éclairage naturel et au confort d'été. C'était un choix dès le programme.

- *Pour quels bâtiments avez-vous effectué des suivis des consommations ? Qu'en est-il ? Quels bâtiments sont vraiment BEPOS ?*

Il est très difficile d'avoir suffisamment de recul aujourd'hui pour avoir une opinion précise de la conception des quatre groupes scolaires dont s'est occupé le bureau d'étude Tribu. En effet, seul le groupe scolaire de Limeil-Brévannes dont les consommations et l'exploitation ont été suivis par EDF permet d'avoir un réel retour d'expérience. Le groupe scolaire de Pantin n'a qu'une seule année de retour d'expérience et il est donc difficile de juger aujourd'hui même si le bilan économique et énergétique de cette première est très bon. Selon M. Bornarel, il est nécessaire d'attendre plusieurs années pour observer les réels dysfonctionnements qui pourraient apparaître.

NB : Les consommations énergétiques de la deuxième année de fonctionnement du groupe scolaire « Saint-Exupéry » à Pantin n'ont pas encore été analysées mais il semble que le bilan soit également positif malgré quelques dysfonctionnements.

L'une des principales difficultés que ces groupes scolaires vont rencontrer avec le temps est la « passation » du savoir-faire et des bonnes pratiques à respecter pour que le bâtiment atteigne ses objectifs de

performance énergétique. Le bon usage du groupe scolaire de Pantin repose beaucoup sur M. METAIS de la ville qui a passé beaucoup de temps à suivre son utilisation depuis l'inauguration de celui-ci. A Limeil-Brévannes, la « mémoire » du bâtiment s'est perdue petit à petit à chaque fois qu'une nouvelle personne a pris en charge la gestion du bâtiment. La passation est quelque chose de très difficile à gérer.

- *Avez-vous estimé le surcoût du projet ? Les temps de retours sur investissements observés sont-ils les mêmes que ceux qui avaient été estimés ?*

Les surcoûts des projets liés au caractère BEPOS des groupes scolaires ont été évalués entre 20 et 30%. Ils étaient de 30% environ pour la conception du groupe scolaire de Limeil-Brévannes qui était le premier groupe scolaire BEPOS alors qu'aujourd'hui dans le cadre de la construction du groupe scolaire de Pantin, ils ne sont plus que de 20%. Les technologies sont plus matures et leurs coûts ont donc forcément diminué. Le triple vitrage avait coûté très cher pour Limeil-Brévannes et il avait été très difficile de se le procurer alors que cette technologie est plus accessible aujourd'hui. Le surcoût par rapport à un bâtiment classique reste cependant majoritairement dû aux panneaux photovoltaïques qui permettent d'atteindre le niveau BEPOS en compensant les consommations énergétiques du bâtiment.

- *Que pensez-vous des livrets d'accueil ou de sensibilisation des occupants et avez-vous participé à la rédaction de certains ?*

Pour M. Bornarel, c'est la MOE qui devrait être chargée de cette mission car elle connaît beaucoup mieux les systèmes et serait donc plus compétente pour réaliser les carnets d'utilisations qui seraient destinés aux futurs utilisateurs et remis à la réception du bâtiment. C'est Tribu qui avait réalisé le livret d'accueil pour le groupe scolaire de Limeil-Brévannes alors que le cabinet Hubert Pénicaud aurait dû le faire.

Les livrets d'accueil ou les réunions d'informations sont très importants à la fois pour la bonne utilisation du bâtiment mais aussi pour sensibiliser les occupants. Il est cependant difficile de sensibiliser les occupants sur le long-terme à cause du « turn-over » dans ce genre de groupe scolaire que ce soit les enseignants ou le personnel de maintenance du bâtiment. Il est donc important de simplifier toujours au maximum les systèmes pour éviter qu'ils soient mal utilisés par la suite (problème de la GTB par exemple).

- *Quels sont les points dont vous êtes le plus fier dans les groupes scolaires ?*

Pour M. Bornarel, la mise en place de la ventilation naturelle pour l'ensemble des groupes scolaires est une véritable réussite. Il aurait cependant été possible d'aller encore plus loin mais quelques systèmes originaux ont pu être expérimentés (cheminée solaire dans le centre de loisir de Pantin, brasseurs d'air pour le groupe scolaire de Montreuil) ce qui permet d'avoir un retour d'expérience intéressant.

Les espaces du groupe scolaire de Limeil-Brévannes ont également été très bien réussis et sont en cohérence avec les objectifs environnementaux du projet. Les grands couloirs permettent d'améliorer la qualité de vie et d'avoir une lumière naturelle importante.

- *Si vous pouviez corriger certains « défauts » des bâtiments ou revenir sur certains points au niveau de la démarche, quels seraient-ils ?*

Dans le cas de Limeil-Brévannes, les besoins d'eau chaude sanitaire n'ont pas suffisamment bien été pris en compte ce qui provoque une surconsommation importante de ce poste par rapport à ce qui avait été initialement prévu. La cour sur le toit aurait également pu être mieux conçue ou de manière plus esthétique. La sur-isolation du bâtiment avait également provoqué un phénomène de dalles verglacées sur le toit qui a imposé un changement de revêtement. Le choix du bardage enfin n'est pas réellement satisfaisant du point de vue environnemental et architectural car c'est un faux-bois reconstitué qui a été imposé par le bureau de contrôle.

Il aurait sûrement été possible d'aller plus loin sur la question de la ventilation naturelle des locaux non-traversants à pantin notamment en travaillant encore sur le tirage thermique.

Le groupe scolaire « Olympe de Gouges » à Arcueil a rencontré de nombreux problèmes à la fin du chantier (pose des menuiseries, étanchéité à l'air, obtention du consuel pour les panneaux photovoltaïques...). L'une des raisons principales des résultats moins bon de ce groupe scolaire est due au fait que ce dernier doit être raccordé au réseau de chaleur pour atteindre et respecter le niveau de performance BEPOS et que ce raccordement n'est pas possible avant plusieurs années. La motivation des équipes qui ont travaillé sur ce projet était en conséquence moins forte que pour les autres projets BEPOS ce qui a malheureusement impacté sur la finition du bâtiment.

De plus l'implication d'une Maitrise d'Ouvrage Déléguée n'a pas facilité le projet car ils n'étaient pas assez présents sur les problèmes de qualité et il n'avait pas la même motivation politique que peuvent avoir des services municipaux.

L'année de parfait achèvement est un point très important pendant laquelle il est possible de corriger certains défauts et surtout de régler les systèmes pour que les consommations énergétiques soit aussi basse que possible. Les équipes ont tendance à disparaître très vite dès la livraison du bâtiment alors qu'il serait au contraire préférable de rallonger cette période de parfait achèvement à deux ans lorsqu'il s'agit de bâtiments aussi complexes et performants énergétiquement. Le suivi des consommations est également très important car il permet de détecter les défaillances et de les corriger rapidement et efficacement. Cela permet également de bénéficier d'un retour d'expérience qui est encore pauvre pour ce type de bâtiment.

- *Quel est le secret pour réussir un groupe scolaire BEPOS (s'il en existe un ou plusieurs) ?*

La communication entre les équipes est un élément essentiel à la bonne réalisation des projets. Les équipes du cabinet Hubert Pénicaud et le bureau d'étude Bérin ont très bien travaillé ensemble avec l'agence Goldstein lors de la conception du groupe scolaire de Limeil-Brévannes. Le « duo » Alto Ingénierie – Atelier Méandre qui a travaillé sur les groupes scolaires « Saint Exupéry » à Pantin et « Résistance » à Montreuil a l'habitude de travailler ensemble ce qui avait facilité le dialogue et les échanges lors du projet.

Le suivi du chantier est également un point important car la qualité de la mise en œuvre va impacter directement la performance du bâtiment. Tribu a fait évoluer ses méthodologies de suivi de chantier pour contrôler aujourd'hui une trentaine de points spécifiques comme la pose de l'isolation par exemple, les produits mis en œuvre, le bon dimensionnement des gaines de ventilation...

2 LE GROUPE SCOLAIRE « SAINT EXUPERY » A PANTIN



2.1 FICHE D'IDENTITE :

Carte d'identité		
Groupe scolaire	"Saint Exupéry" Pantin (93)	
Date de livraison	sept-10	
Etat d'avancement	Livré	
Acteurs	MOA	Ville de Pantin
	AMO	Tribu
	MOE- architecte	Atelier Méandre
	BET thermique et fluide	Alto Ingénierie
	BET Structure béton et métal	EVP Ingénierie
	BET Structure bois	Anglade Structure Bois
Nombre de bâtiment	3	
Surface SHON (m ²)	3534,7	
Nombre d'occupant (max)	450	
Usage des bâtiments	Ecole élémentaire + école maternelle + centre de loisirs + restauration	
Coûts en €HT	14 000 000	
Coûts en €HT/m ² SHON	3 960	
Objectifs consommation	27 kWhEP/m ² SHON/an	
Objectifs production	110 MWhep/an soit 80 kWhep/m ² SHON.an	
Structure	Ossature bois aux étages supérieurs et béton pour les RDC	
Menuiseries	Mixte bois/alu et Mélange double et triple vitrage	
Production calorifique	Pompe à chaleur sur champ de sonde (15 sondes de 100 m de profondeur)	
Emetteurs	Plancher chauffant	
Production électrique	1168 m ² de panneaux photovoltaïque	
ECS	12 m ² de capteurs solaire thermiques et appoint électrique+PAC	
Ventilation	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver, surventilation nocturne en été, et ventilation naturelle traversante	
Eclairage	Luminaires et stores extérieurs en tissu pilotés automatiquement grâce à un appareil de mesure de la luminosité	
Perméabilité à l'air	0,3 pour le bâtiment A, 0,26 pour le bâtiment B et 0,12 pour le bâtiment C	

TABLEAU 8 : CARTE D'IDENTITE DU GROUPE SCOLAIRE SAINT EXUPERY A PANTIN

2.2 LES PRINCIPAUX ENJEUX DE L'OPERATION

2.2.1 Contexte environnemental et politique de développement durable

Depuis plusieurs années, la ville de Pantin s'attache à mettre en œuvre des politiques locales contribuant à l'ancrage du développement durable sur son territoire. Grâce à une politique volontariste en matière d'environnement, de nombreuses actions de sensibilisation ont été menées et des mesures incitatives ont également été prises. La ville avait ainsi fait le choix de s'engager dans une démarche Agenda 21 dès 2005 afin de consolider et de mettre en cohérence sa politique de développement durable. Ce projet vise notamment à améliorer la qualité de vie des habitants, à économiser les ressources ou encore à renforcer l'attractivité du territoire. Le programme d'actions se compose de 21 mesures qui se déclinent en 33 actions concrètes parmi lesquelles l'engagement que tout nouveau projet de bâtiment municipal soit mené selon la démarche HQE, démarche sur laquelle s'appuie notamment le projet de l'école Saint Exupéry.

Par ailleurs, le pôle sensibilisation du service environnement et développement durable de la ville élabore chaque année depuis 2003 un plan d'éducation à l'environnement, devenu plan d'éducation au développement durable en 2008. Ce plan permet de toucher tous les habitants de la ville de Pantin à l'aide de supports pédagogiques variés sur de multiples thématiques environnementales. En moyenne, 80 animations scolaires ont lieu chaque année et permettent de sensibiliser environ 2 500 enfants.

De même, la ville de Pantin a mis en place une subvention citoyenne qui s'adresse aux particuliers pantinois propriétaires privés lorsqu'ils entreprennent certains travaux : installation de système à énergie solaire thermique, à énergie solaire photovoltaïque, chauffage au bois, mise en place de récupérateurs d'eau de pluie, etc.

La construction d'une école exemplaire s'inscrit donc une politique continue de développement durable qui perdure depuis plusieurs années et a été couronnée régulièrement de prix nationaux : en 2007, obtention du 11^{ème} Grand Prix de l'Environnement et récompense dans le cadre des Rubans du développement durable puis en 2008, obtention du 2^{ème} prix du concours des Echos Trophées dans la catégorie Pépinières pour le projet de l'école Saint-Exupéry ainsi que du 2^{ème} prix du Grand Prix de l'Environnement dans la catégorie Energie-Qualité environnementale des constructions.

2.3 CHRONOLOGIE DU PROJET

Les principales étapes de la conception et de la construction du groupe scolaire Saint-Exupéry sont les suivantes :

- **Avril 2007** : Concertation, le projet est présenté en conseil de quartier Mairie Ourcq
- **Juin 2007 à Aout 2008** : Etudes
- **Mars 2009 à Aout 2010** : Phase de travaux et livraison du bâtiment

2.4 ARCHITECTURE, BIOCLIMATISME ET SYSTEMES ENERGETIQUES

2.4.1 Implantation des bâtiments et bioclimatisme

Le projet se décompose en trois bâtiments disposés parallèlement au canal et perpendiculairement à la rue Delizy délimitant des jardins thématiques.

Le premier bâtiment (bâtiment A), situé sur la limite nord du terrain le long du canal est à R+3 et contient :

- Le hall d'entrée
- Les locaux communs du groupe scolaire : salle polyvalente, salle des enseignants et bureau du directeur, infirmerie, bibliothèque, salle informatique
- Les huit classes élémentaires

L'entrée des élèves et des parents se fait par ce bâtiment.

Le second bâtiment (bâtiment B) est à R+1 et est implanté perpendiculairement à la rue Delizy qui est en surplomb de cet endroit.

Il abrite :

- Au rez-de-cours le centre de loisirs
- A l'étage l'école maternelle.

Le troisième bâtiment (bâtiment C), situé le plus au sud du terrain est construit de simple plain pied. Il abrite la

- La restauration scolaire
- La cour de récréation des maternelles, implantée sur sa toiture
- Les préaux

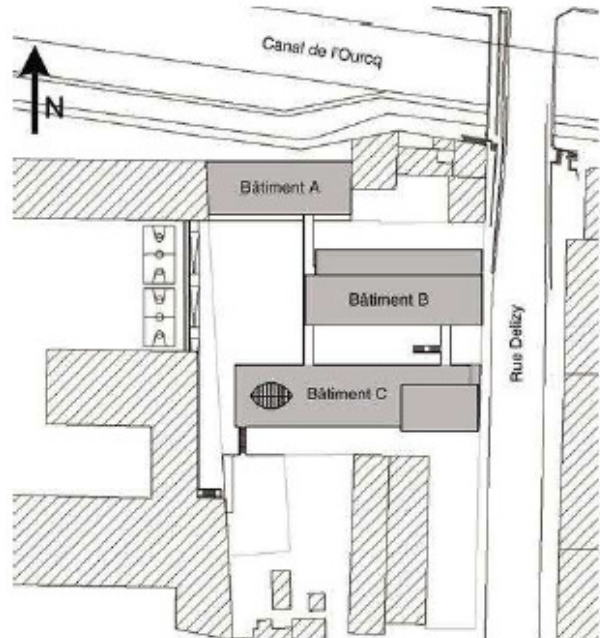


FIGURE 21 : IMPLANTATION DES BATIMENTS

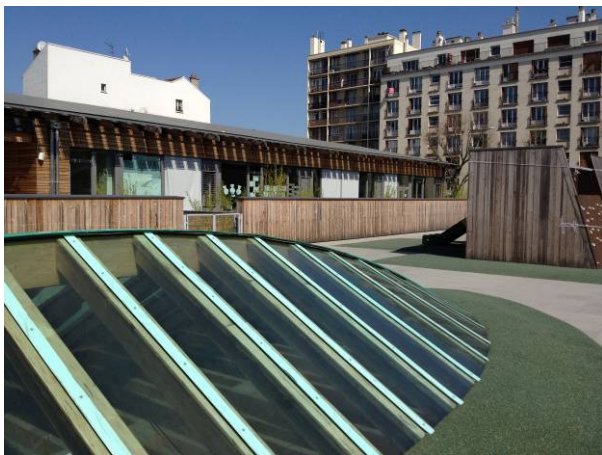


FIGURE 22 : COUR DE RECREATION DES MATERNELLES IMPLANTEE SUR LA TOITURE

L'implantation et la volumétrie des bâtiments ont été déterminées en phase concours pour concilier les exigences de fonctionnement et de confort d'une école et d'un centre de loisirs avec l'objectif zéro énergie. L'étagement des bâtiments résulte d'abord d'une volonté bioclimatique dans le but d'optimiser les apports solaires et de s'affranchir de l'effet de masque des bâtiments les uns par rapport aux autres. Les trois bâtiments sont donc graduellement plus bas en allant du nord au sud.

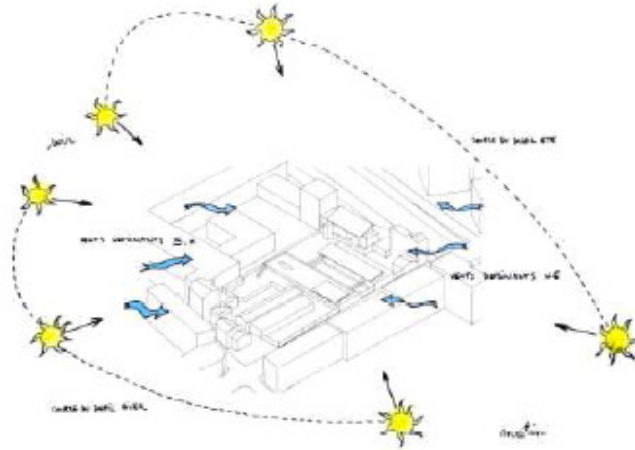


FIGURE 23 : SCHEMA D'ENSOLEILLEMENT ET DES VENTS EN PHASE CONCOURS

Lors du concours, l'Atelier Méandre a utilisé le logiciel SketchUp pour vérifier les ombres portées sur les bâtiments riverains et l'enseillement des cours de récréation au fur et à mesure de la conception. Une attention particulière a également été portée vis à vis de l'exposition aux vents dominants sur le site.

Pour l'APS, le bureau d'étude Alto Ingénierie a réalisé une étude plus poussée avec le logiciel SOLENE, qui met en évidence le nombre d'heures d'enseillement des façades pour les études d'implantation de capteurs solaires, de protections solaires et de risques de surchauffes.

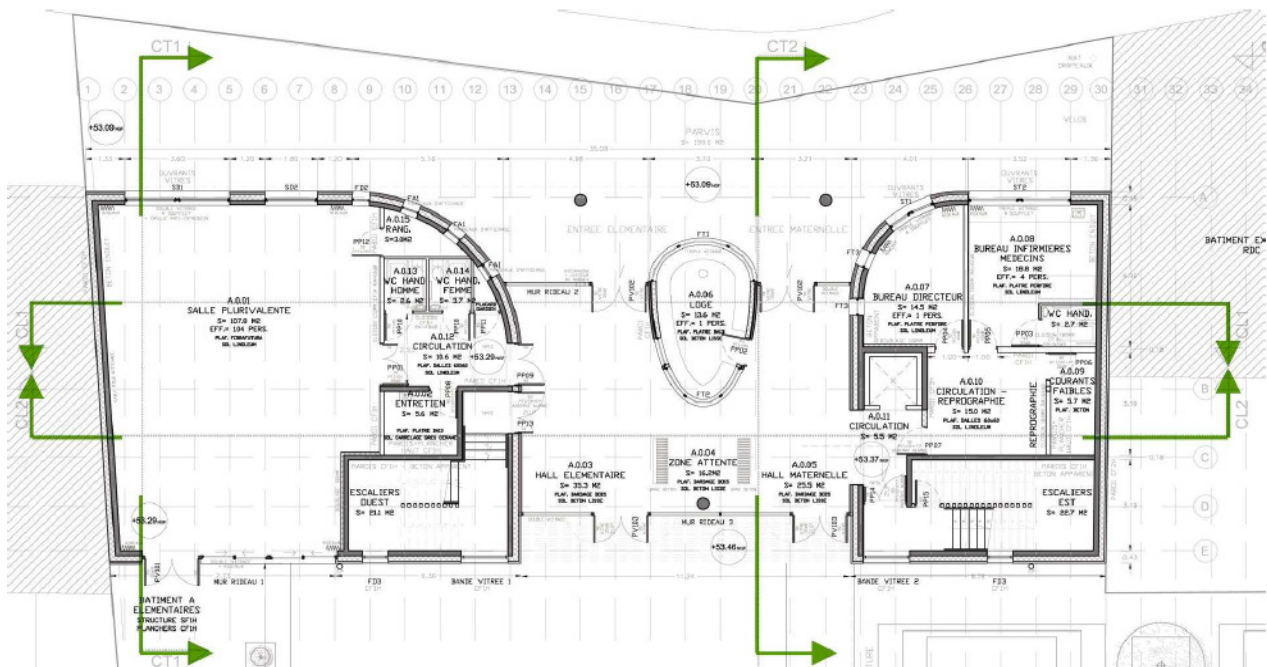


FIGURE 24 : PLAN DU RDC DU BATIMENT A (HALL D'ACCUEIL ET SALLE PLURIVALENTE)

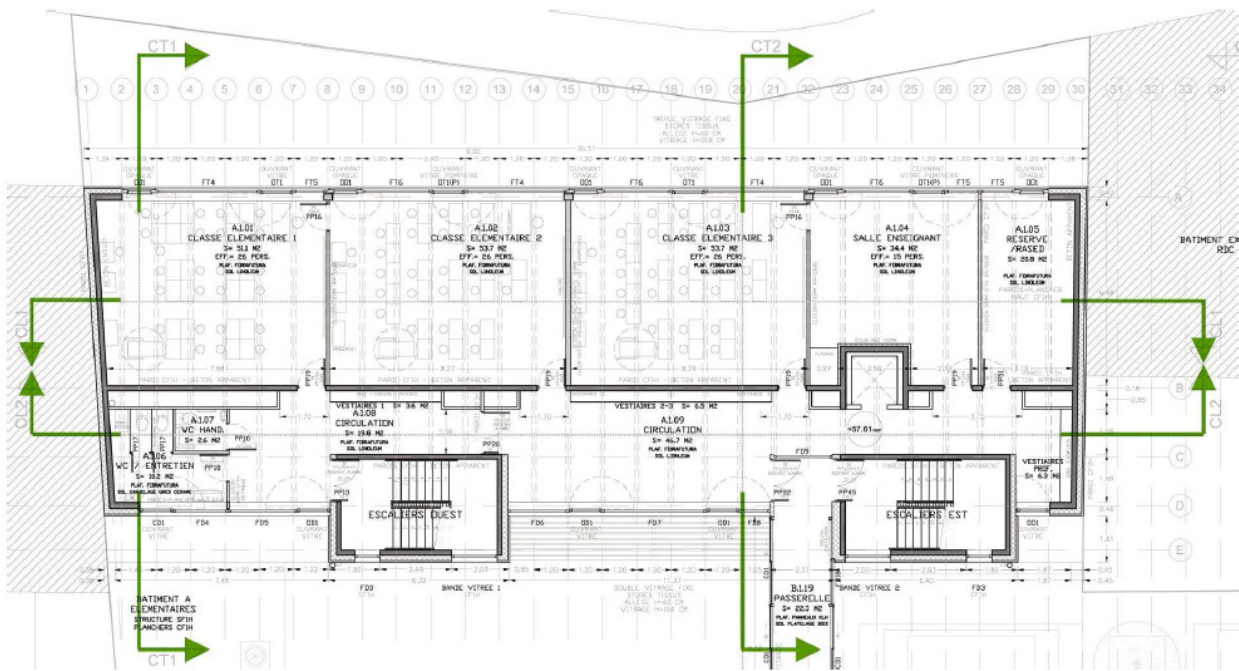


FIGURE 25 : PLAN DU 1ER ETAGE DU BATIMENT A (CLASSE SELEMENTAIRES)

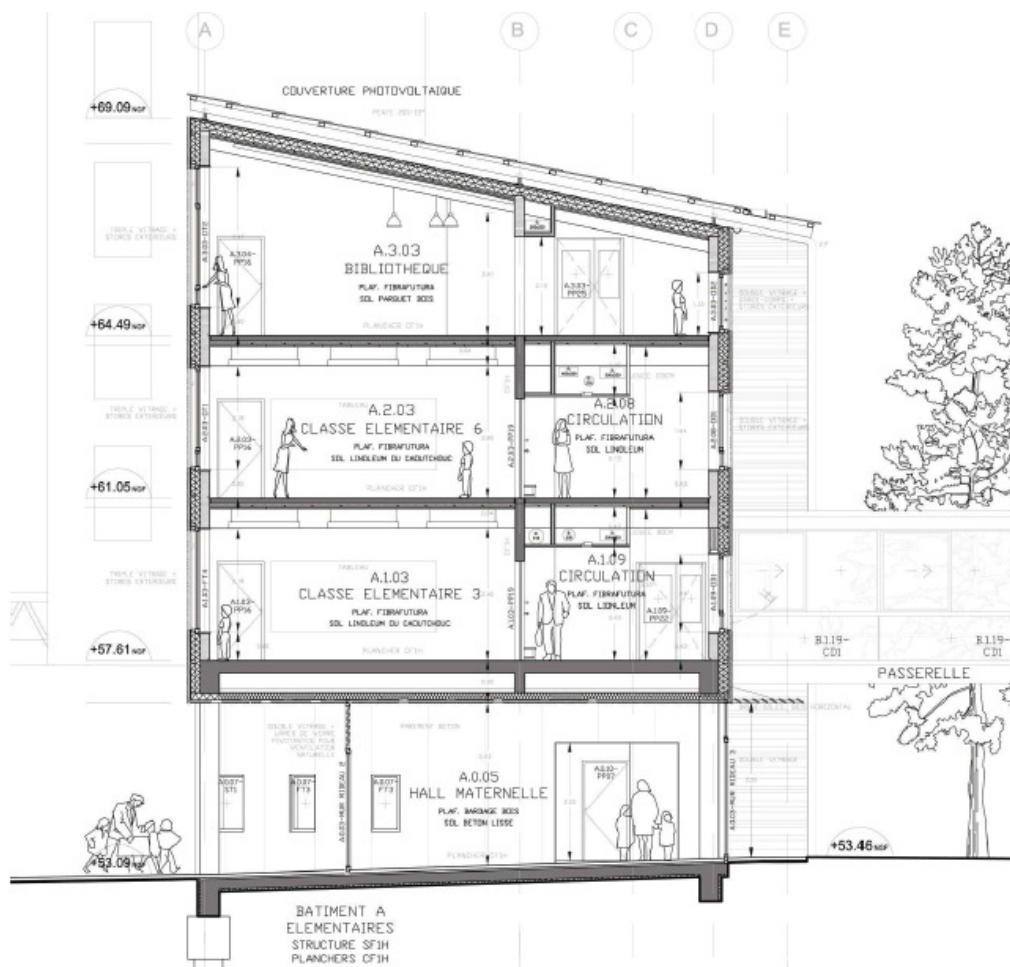


FIGURE 26 : COUPE DU BATIMENT A

Les liaisons fonctionnelles entre les bâtiments A, B et le toit terrasse du bâtiment C sont assurées, horizontalement, par une galerie prolongée par une passerelle et, verticalement, par deux escaliers situés en façade Sud du bâtiment A. La galerie de liaison située au 1er étage constitue un espace de distribution commun aux deux entités, maternelle et élémentaire, assurant à la fois l'accessibilité (liaison maternelle/bibliothèque par exemple) et les dispositions d'évacuation au regard de la sécurité incendie (deuxième dégagement pour la partie élémentaire).



FIGURE 27 : PASSERELLE ENTRE LES BATIMENT A ET B

L'ensemble des trois bâtiments compte au total 4 classes maternelles, 8 classes élémentaires, un centre de loisirs et un restaurant scolaire pour accueillir au maximum 450 élèves.

Les surfaces des trois bâtiments sont précisées ci-dessous :

Bâtiment	Surface (en m ² SHON)
Bâtiment A	1532.7
Bâtiment B	1379
Bâtiment C	623
Total	3534.7

TABEAU 9 : SURFACES SHON DES BATIMENTS DU GROUPE SCOLAIRE SAINT EXUPERY

2.4.2 Enveloppe et performance

Le choix du système constructif pour l'école Saint Exupéry a été guidé par le souci du meilleur compromis entre plusieurs exigences :

- Pérennité de la structure
- Efficacité thermique (confort été/hiver, réduction des consommations d'énergie)
- Evolutivité et adaptabilité de l'équipement
- Mode opératoire chantier
- Impact environnemental

Ainsi le projet présente une solution combinant deux systèmes structurels :

- Une structure béton en rez-de-chaussée des trois bâtiments (à l'exception de la partie préau élémentaire) et pour les gaines de circulation verticale (gaines techniques, ascenseur et escaliers). Cette structure béton isolée par l'extérieur apporte l'inertie thermique nécessaire pour assurer le confort d'été des locaux fonctionnant en période estivale, tous situés au rez-de-chaussée.
- Une structure à ossature bois dans les étages permet d'intégrer une isolation répartie très performante dans une épaisseur réduite. De plus, les ponts thermiques sont évités. L'inertie moyenne apportée par les chapes de bétons contenant les planchers chauffants/rafraichissants est en adéquation avec le type d'occupation des locaux (occupations diurne uniquement, intermittence hebdomadaire et inoccupation l'été) et le choix d'orientation des locaux (prioritairement Nord pour les salles de classe).

Les caractéristiques thermiques des parois opaques et vitrées sont décrites ci dessous :

Bâtiment A	Caractéristiques principales des parois opaques	Epaisseur isolant	Résistance thermique isolant	U paroi	Répartition structure mur sur extérieur	
		cm	m ² .K/W	W/m ² .K		
	Mur extérieur ossature bois	20,00	5,90	0,17	24 %	
	Mur extérieur béton	10,00	5,90	0,16	76 %	
	Planchers haut sous rampants	25,00	6,60	0,15		
	Plancher bas sur extérieur	15,00	3,90	0,24		
	Plancher bas sur terre plein	6,00	2,00	0,22		
	Caractéristiques principales des parois vitrées	Surface (m ²)	Répartition (%)	Type de menuiserie	Uw (W/m ² .K)	
	Fenêtre triple vitrage	203,20	0,54	bois	0,80	
Fenêtre double vitrage	170,50	0,46	bois	1,60		
TOTAL	373,70	1,00				

TABLEAU 10 : CARACTERISTIQUES DES PAROIS OPAQUES ET DES MENUISERIES

Bâtiment B	Caractéristiques principales des parois opaques	Epaisseur isolant	Résistance thermique isolant	U paroi	Répartition structure mur sur extérieur	
		cm	m ² .K/W	W/m ² .K		
	Mur extérieur ossature bois 1	20	5,9	0,165	10%	
	Mur extérieur ossature bois 2	34	8,9	0,111	8%	
	Mur extérieur béton	20	5,9	0,162	82%	
	Planchers haut sous rampants	25	6,6	0,148		
	Plancher bas sur extérieur	15	3,9	0,236		
	Plancher bas sur terre plein	6	2	0,222		
	Caractéristiques principales des parois vitrées	Surface (m ²)	Répartition (%)	Type de menuiserie	Uw (W/m ² .K)	
Fenêtre triple vitrage	314,6	87%	bois	0,8		
Fenêtre double vitrage	45,5	13%	bois	1,6		
TOTAL	360,1	100%				

TABLEAU 11 : CARACTERISTIQUES DES PAROIS OPAQUES ET DES MENUISERIES DU BATIMENT B

Bâtiment C	Caractéristiques principales des parois opaques	Epaisseur isolant	Résistance thermique isolant	U paroi	Répartition structure mur sur extérieur	
		cm	m ² .K/W	W/m ² .K		
		Mur extérieur béton	20	5,9	0,162	
		Plancher sur toiture terrasse	25	6,6	0,146	
		Planchers haut sous rampants	25	6,6	0,148	
		Plancher bas sur extérieur	15	3,9	0,236	
		Plancher bas sur terre plein	6	2	0,222	
	Caractéristiques principales des parois vitrées	Surface (m ²)	Répartition (%)	Type de menuiserie	Uw (W/m ² .K)	
		Fenêtre triple vitrage	115,6	94%	bois	0,8
	Fenêtre double vitrage	6,8	6%	bois	1,6	
	TOTAL	122,4	100%			

TABLEAU 12 : CARACTERISTIQUES DES PAROIS OPAQUES ET DES MENUISERIES DU BATIMENT C

Suites aux études d'Alto Ingénierie, des occultations mobiles sur façades ont été mises en place. Ces occultations sont motorisées et commandées par une horloge pour se fermer en début et fin de journée entre avril-mai et septembre. Les classes sont encore inoccupées à ces heures mais le rayonnement solaire peut provoquer des surchauffes qu'il est nécessaire d'éviter. Ainsi, durant les heures de présences, les occultations peuvent rester ouvertes afin de profiter au maximum des apports de lumière naturelle.

Les simulations thermiques ont mis en évidence la nécessité de mettre en place les protections suivantes :

- Bâtiment A :
 - o Façade Nord : stores en tissus extérieurs (FS = 0,3) sauf devant ouvrants opaques
 - o Façade Sud : stores en tissus extérieurs et bardage bois devant vitrages des escaliers
- Bâtiment B :
 - o Façade Nord : aucune protection solaire,
 - o Façade Sud : stores en tissus extérieures (FS = 0,25).
- Bâtiment C :
 - o Pas de protection solaire

2.4.3 Système de production de chaleur

Une gradation du confort a été mise en place suivant l'usage des locaux. Les circulations entre bâtiments sont juste abritées du vent et de la pluie, les circulations à l'intérieur du bâtiment sont isolées mais pas chauffées (hall, couloirs, escalier), les locaux de travail offrent des conditions de confort stables.

Les températures de consignes des salles de classe et autres salles d'activités sont de 19°C tandis que les circulations et locaux d'entretien ou de stockage sont maintenus à 15°C.

Afin d'assurer la production de chaleur, 15 sondes géothermiques de 100 mètres de profondeur ont été mises en place ainsi qu'une pompe chaleur avec un coefficient de performance (COP) de 3,6 et un régime de température de 40-45°C. La chaleur est ensuite distribuée à travers des radiateurs basse température.

2.4.4 Systèmes de production de l'ECS

Afin de répondre partiellement aux besoins d'ECS et de réduire les consommations énergétiques du bâtiment, 12 m² de capteurs solaires thermiques ont été installés en toiture du local de traitement d'air du bâtiment C permettant ainsi de satisfaire 50% des besoins d'ECS du restaurant et de l'office. L'appoint est

assuré par la pompe à chaleur durant la nuit en changeant le régime de température (COP=2,8 et régime de température de 50-55°C). Une résistance électrique permet l'élévation finale de la température à 60°C

La production d'eau chaude sanitaire pour les sanitaires est décentralisée et assurée par des résistances électriques intégrées aux ballons.

La consommation énergétique liée à la production d'ECS pour l'ensemble du groupe scolaire est estimée à approximativement 4,2 MWh.an (cf analyse des bilans énergétiques).

2.4.5 Ventilation

En saison de chauffe, la ventilation est assurée par une CTA double flux avec récupération de chaleur performante (supérieure à 75%) pour tous les locaux pour lesquels un renouvellement d'air hygiénique d'au moins 2 volumes/heure est requis en période d'occupation. A la phase APS, un débit de 18 m³/h/pers avait été préconisé en vue de diminuer les consommations énergétiques tout en respectant la réglementation, mais un débit de 25 m³/h/pers a finalement été retenue par la suite afin d'améliorer le confort hygrothermique des usagers. En période d'inoccupation, une surventilation nocturne naturelle et traversante a été prévue afin de réduire les consommations énergétiques mais il reste possible de fonctionner également en ventilation mécanique tout en conservant un bilan énergétique positif.

En dehors de la saison de chauffe, pour éviter les consommations des ventilateurs, une ventilation naturelle est privilégiée. Les ouvertures en façades ont été conçues pour permettre une ventilation naturelle permanente sans risque de pluie ou d'intrusion.

Dans le but de réduire au maximum les consommations énergétiques, les échangeurs des CTA sont arrêtés en mi-saison lorsque la récupération de chaleur n'est plus intéressante.

D'autre part, une cheminée solaire expérimentale a été mise en place dans l'une des grandes salles d'activité du bâtiment B afin d'améliorer le confort estival. La toiture solaire du bâtiment permet de créer un effet venturi qui permet d'augmenter le tirage de la cheminée solaire et ainsi d'aspirer l'air vicié du centre de loisir. Les usagers du bâtiment nous ont par la suite confirmé le très bon fonctionnement de ce dispositif depuis la livraison du bâtiment.

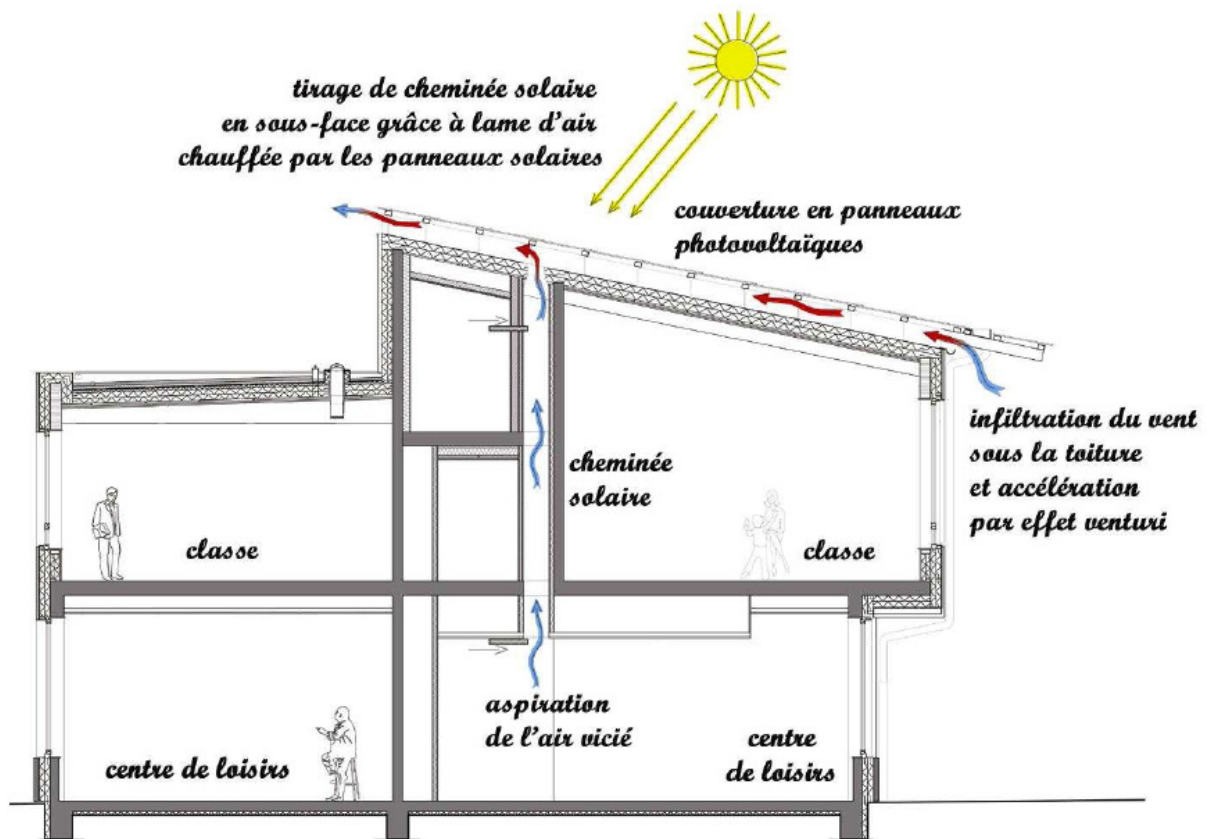


FIGURE 28 : SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE LA CHEMINÉE SOLAIRE

2.4.6 Eclairage

L'optimisation des baies a été réalisée dès l'APD par simulation avec le logiciel RADIANCE afin d'optimiser au maximum le FLJ de certaines pièces. Des tubes solaires ont ainsi été mis en place dans les salles Nord du R+1 du bâtiment B et pour la partie restauration du bâtiment C et des seconds jours ont été prévus pour les salles au Sud grâce à des vitrages situés en partie haute des circulations.



FIGURE 29 : TUBES SOLAIRES



FIGURE 30 : SECOND JOUR EN PARTIE
HAUTE DES CIRCULATIONS

L'éclairage artificiel est d'autre part réalisé par des appareils performants privilégiant l'emploi de sources économes en énergie (lampes fluocompactes et tubes fluorescents alimentés par ballast électronique). Un système de variation automatique de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairage naturel permet de diminuer encore d'avantage les consommations d'énergies.

2.4.7 Production photovoltaïque

Les surfaces de capteurs photovoltaïques prévues à l'APS permettaient de produire 72 800 kWh/an (toiture des bâtiments A et B couvertes de 732 m² de capteurs). Cependant, les consommations ont été réévalués vis-à-vis des équipements informatiques et des équipements de l'office plus consommateurs qu'initialement prévue. Le dimensionnement des capteurs photovoltaïques a donc été réévalué pour une surface finale de 1168 m² pour une production estimée à 120,6 MWh/an (selon le calcul RT).



FIGURE 31 : PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES EN TOITURE

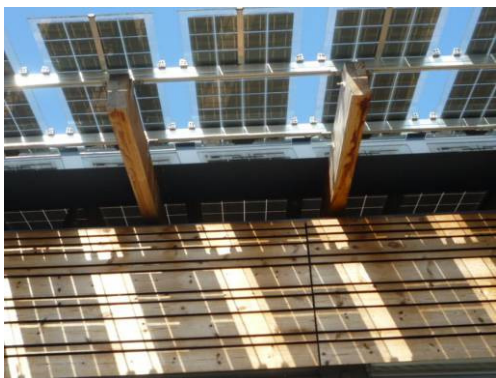


FIGURE 32 : PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES EN TOITURE

2.4.8 Etanchéité à l'air :

Une attention particulière a été portée à l'étanchéité à l'air des trois bâtiments, l'objectif étant d'aller au-delà des $0,6\text{m}^3/\text{h.m}^2$ du label PassivHaus. Une formation aux entreprises et plusieurs tests d'étanchéité à l'air ont ainsi été prévus en cours de chantier et pas uniquement en fin de chantier comme c'est le cas pour certains projets où les menuisiers, plaquistes et entreprises d'isolations travaillent de manière indépendante et ne sont que peu impliqués dans l'effort d'étanchéité à l'air du bâtiment. Les tests d'étanchéité à l'air ont donc été prescrits dans le même macro-lot charpente/enveloppe pour que les entreprises soient réellement solidaires et impliquées dans la performance et la qualité de l'isolation.

La « formation/sensibilisation » qui a été dispensé à toutes les entreprises du chantier incluait une partie théorique et une partie pratique informant sur les bonnes et mauvaises pratiques liées aux problèmes d'étanchéité à l'air des bâtiments. Cette formation a été fédératrice entre les corps de métier, selon Madame Patte, architecte associée de l'Atelier Méandre, et les a poussé à s'impliquer encore d'avantage dans la construction.

Au final, les résultats des mesures étaient inférieurs à $0,3\text{m}^3/\text{h.m}^2$ soit bien en dessous des exigences. ($1,2\text{m}^3/\text{h.m}^2$). Les quelques anomalies proviennent de légères infiltration autour des menuiseries bois/alu en triple vitrage à la jonction entre le dormant et le mur béton.

2.4.9 Mission de suivi :

Afin de vérifier et d'optimiser le comportement du bâtiment, une GTB a été préconisée et installée dans le but de recueillir toutes les informations nécessaires sur les différentes consommations d'énergie, aux différents postes. Alto Ingénierie s'était proposé pour la mission de suivi de la GTB mais le bureau d'étude n'a finalement pas été retenu et c'est la ville de Pantin qui se charge aujourd'hui du suivi des consommations énergétiques du groupe scolaire.



FIGURE 33 : ECRANS D'AFFICHAGE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES EN TEMPS REEL DANS LE HALL D'ACCUEIL DU BATIMENT A

2.5 DONNEES ECONOMIQUES

Le coût total du groupe scolaire (travaux+exploitation) est d'approximativement 14 millions d'euros, soit 3960 euros/m²SHON tandis que le coût des travaux s'élève à 8,5 millions d'euros. Le surcoût par rapport à une construction conventionnelle a été estimé entre 20 et 25% de l'investissement total (le surcoût étant en grande partie lié à l'achat et l'installation des capteurs photovoltaïques).

A titre d'informations, les coûts liés au suivi de la performance énergétique sont :

- coût de l'instrumentation : GTB (60 k€),
- compteurs thermiques (5 k€),
- compteurs électriques hors éclairage (3,5 k€),
- compteurs éclairage (3,5 k€),
- sondes cheminées pour le suivi du confort d'été (2 k€).

2.6 ANALYSE DES ETUDES THERMIQUES ET BILAN ENERGETIQUE

2.6.1 Bilan énergétique du groupe scolaire

2.6.1.1 Respect de l'exigence « Zéro Energie » :

Les consommations électriques prévisionnelles du groupe scolaire en phase de conception sont décrites ci-dessus par poste et par bâtiments :

Consommations (Kwhelec/an)	Chauffage	Ventilation	Eclairage	ECS	Equipements	Pompes	Total
Bât A	4 667	7 833	7 034	943	3 346	1 589	25 412
Bât B niveau 1 (maternelle)	4 120	4 941	2 462	504	816	1 403	14 246
Bât B RDC (CDL)	4 145	3 733	281	504	447	1 411	10 521
Restauration	679	2 200	703	233	0	430	4 245
Office	823	2 808	336	2 098	30 777	2 066	38 908
Local tech + local déchets	0	2 031	0	0	0	0	2 031
Eclairage extérieur	0	0	1 150	0	0	0	1 150
Projet	14 434	23 546	11 966	4 282	35 386	6 899	96 513
kWhelec/m²SHON/an	4	6,6	3,4	1,2	9,9	1,9	27
Répartition par poste	15%	24%	13%	4%	37%	7%	100%

TABEAU 13: CONSOMMATIONS ELECTRIQUES PAR POSTE ET PAR BATIMENT (BILAN STD)

	kWhef/an	Kwhef/m ² SHON/an
Production photovoltaïque	110 000	29

TABEAU 14 PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE DU GROUPE SCOLAIRE SAINT EXUPERY

Le groupe scolaire consomme au total approximativement 96 500 kWh/an, ce qui correspond à 27 kWhep/m² SHON.an, soit 4 fois moins qu'un bâtiment respectant la réglementation thermique en vigueur. D'autre part, la production photovoltaïque a été estimée à 110 000 kWh/an soit 29 kWhep/m²SHON.an. En considérant la production d'électricité photovoltaïque, le bilan énergétique global est donc de -2 kWhep/m²SHON.an d'où le respect de l'exigence « zéro énergie » du groupe scolaire fixé dans le programme.

2.6.1.2 Analyse des consommations énergétiques :

Les graphiques ci-dessous permettent de mettre en lumière les postes les plus importants de consommations énergétiques du groupe scolaire. On peut ainsi observer que les consommations énergétiques liées au poste « chauffage+ventilation » représentent logiquement un poste très important (près de 40% des consommations totales). Ces deux postes de consommations restent corrélés et difficilement différenciables puisqu'une partie des besoins de chauffage sont couverts par le préchauffage des CTA et sont donc comptabilisés au niveau du poste de ventilation. L'éclairage représente également un poste important dans les bâtiments A et B.

Les postes ventilation, chauffage et éclairage représentent donc les postes les plus importants pour les bâtiments A et B.

Cependant, d'un point de vue global, le poste le plus important de consommations électriques est celui des équipements qui représente près de 37% de la consommation électrique totale du groupe scolaire. Cette importante consommation est en fait essentiellement due aux équipements de l'office dans la zone restauration du groupe scolaire. En effet, l'office représente à lui seul plus de 40% des consommations électriques du groupe scolaire et 90% de ces consommations sont uniquement dû aux équipements (chaud, froid, et équipements de lavage).

Ces observations permettent de mettre en valeur l'importance de la définition du « Zéro énergie » ou « énergie positive » qui est retenue pour un tel projet. En effet, si seuls les postes réglementaires sont retenus ou si la partie restauration n'est pas prise en compte dans le bilan énergétique global, il devient moins difficile d'atteindre le niveau BEPOS. Les consommations électriques des équipements restent relativement faibles pour les zones à usage scolaire (cours, salle d'activités) et sont essentiellement dues aux équipements informatiques mais elles sont très importantes dans le cas d'un service de restauration de même que les besoins d'ECS. Le détail de ces dernières est présenté dans le paragraphe suivant.

Bilan des consommations électriques

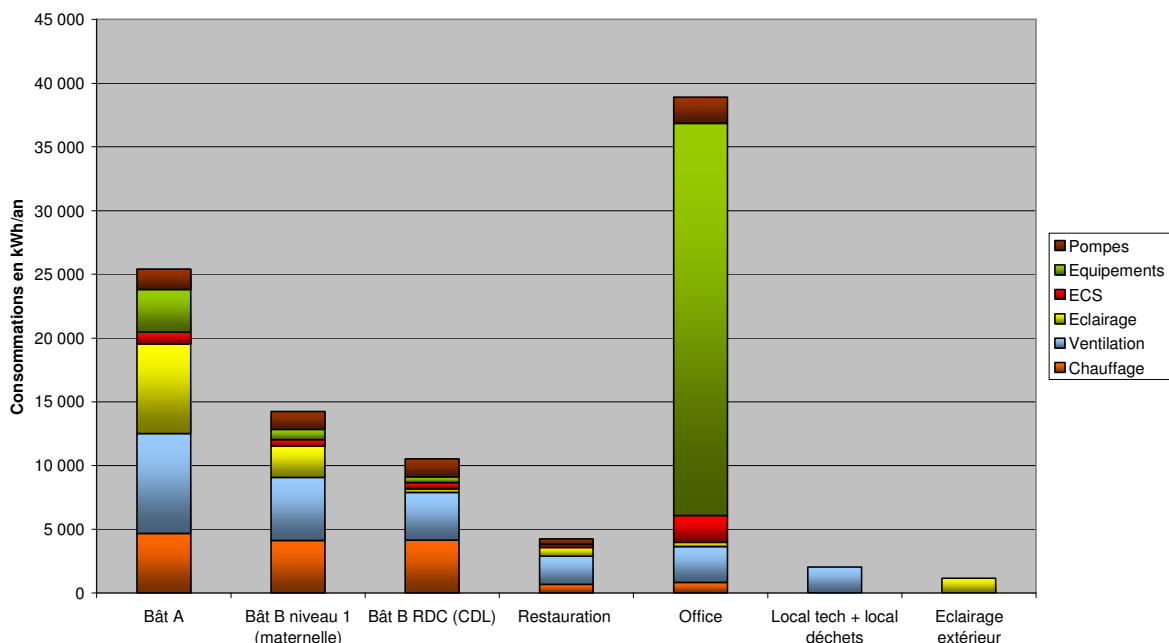


FIGURE 34 : BILAN DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES

Répartition des consommations électriques du groupe scolaire Saint Exupéry

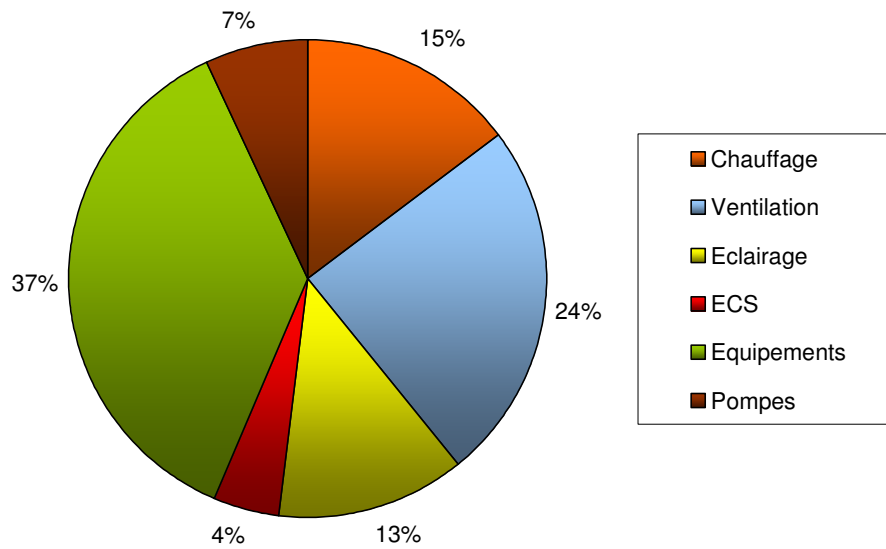


FIGURE 35 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES PAR POSTE

Répartition des consommations électriques par bâtiments

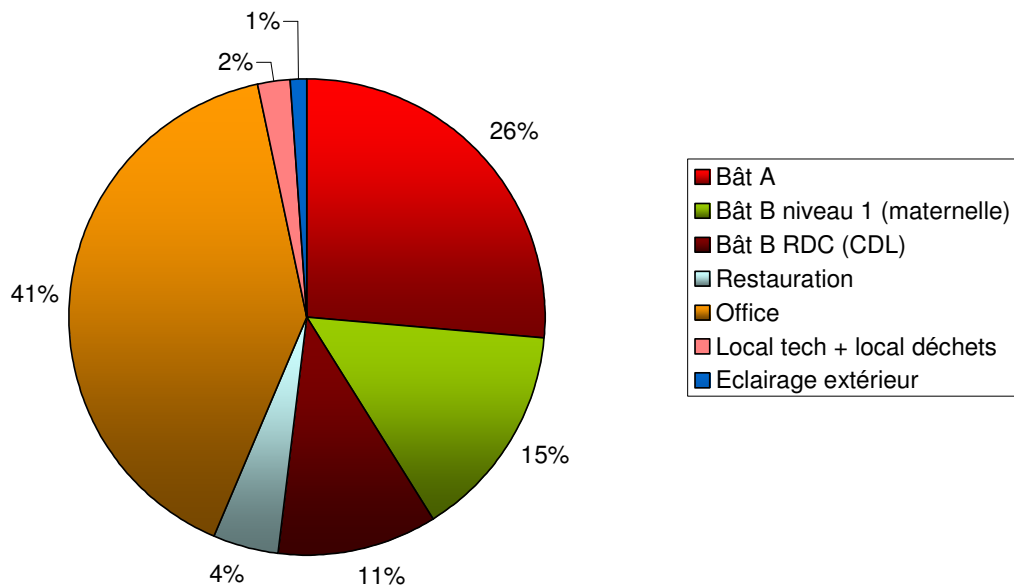


FIGURE 36 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES PAR BATIMENT

2.6.1.3 Consommations électriques des équipements de l'office :

Au vue des résultats précédents, on peut observer que les consommations électriques liées à l'utilisation de l'office sont très importantes vis-à-vis des consommations électriques totales du groupe scolaire. Ces consommations énergétiques des équipements de l'office représentent ainsi approximativement 30 800 kWh.

Il est important de préciser que les besoins énergétiques estimés étaient beaucoup plus faibles aux premières phases du projet en préconisant des équipements très performants d'un point de vue énergétique mais la maîtrise d'ouvrage a finalement privilégié la simplicité d'usage et l'homogénéisation des équipements de cuisine de tous les équipements scolaires de la ville. Cette modification a donc conduit à l'installation d'équipements moins performants énergétiquement qu'initialement prévu d'où une augmentation significative des consommations énergétiques de l'office qu'il a donc fallu compenser par une augmentation de la surface photovoltaïque (couverture de la toiture du bâtiment C qui n'était initialement pas prévue dans le projet).

Les principaux équipements de l'office sont :

- Pour le chauffage :
 - o Deux fours de remise en température
 - o Un four de 8 niveaux et un four de 10 niveaux
 - o Un stérilisateur
 - o Un meuble enfant chaud vitro
 - o Un chariot chauffe assiette
- Pour le froid :
 - o Quatre fontaines réfrigérées
 - o Trois meubles enfants réfrigérés
 - o Une armoire froide dans la salle à manger
 - o Deux armoires froides pour stockage denrée
- Pour le lavage
 - o Un lave vaisselle casiers + séchage



FIGURE 37 : ARMOIRE FROIDE DE L'OFFICE

Postes	Consommations par poste (kWh/an)
Chaud	10886
Froid	9698
Lavage	10193
Total	30777

TABLEAU 15 : CONSOMMATIONS ELECTRIQUES DES EQUIPEMENTS DE L'OFFICE

FIGURE 38 : CONSOMMATIONS ENERGETIQUES PAR POSTE DES EQUIPEMENTS DE L'OFFICE

Les consommations électriques des équipements de l'office sont équitablement réparties entre les postes de chaud, froid et de lavage.

2.6.2 Synthèse des résultats de la Simulation Thermique Dynamique

Les simulations thermiques dynamiques ont permis de s'assurer du confort d'été et d'hivers des bâtiments du groupe scolaire. Elles ont ainsi permis d'optimiser les façades et les protections solaires afin d'éviter les

surchauffes pendant la période estivale tout en minimisant autant que possible les déperditions des parois pendant la période hivernale.

Seules la salle plurivalente et les grandes salles du rez-de-chaussée du bâtiment B présentaient un risque de surchauffe. Une cheminée solaire a donc été installée dans le bâtiment B pour améliorer le confort thermique des usagers ainsi que dans un objectif d'expérimentation. En revanche, pour le bâtiment A, l'ouverture des fenêtres semblait plus pertinente que l'installation d'une cheminée solaire et a donc été privilégié.

2.6.3 Résultats principaux de l'étude thermique réglementaire RT 2005

Les principaux résultats de l'étude thermique réglementaire RT 2005 sont présentés dans le tableau suivant :

Résumé Etude RT 2005	Unités	Bâtiment A	Bâtiment B	Bâtiment C	Total
SHON	m ²	1 533	1 404	623	3 615
Cep projet	kWh/m ² shon	- 25,5	- 39,6	120,6	- 5,4
Cep projet sans PV	kWh/m ² shon	53,1	52,6	204,5	78,2
Cep ref	kWh/m ² shon	126,2	120,8	261,0	145,4
Cep BBC	kWh/m ² shon	63,1	60,4	130,5	72,7
Production photovoltaïque	kWh/m ² shon	78,7	92,2	83,9	83,6
Besoins chaud	kWh	11 828	9 169	14 000	34 997
Besoins ECS	kWh	-	-	16 108	16 108
Tic	°C	30,47	30,65	30,43	-
Consommations chauffage électrique	kWh	2 866	2 183	3 350	8 399
Consommations ECS	kWh	-	-	12 797	12 797
Consommations auxiliaires ventilation	kWh	18 870	17 020	9 370	45 260
Consommations auxiliaires génération chaud	kWh	1 300	1 070	1 313	3 682
Consommations auxiliaires distribution chaud	kWh	244	117	19 371	19 732
Consommations éclairage	kWh	8 278	8 251	3 175	19 704
Consommation totale électrique	kWh	31 558	28 641	49 376	109 575
Taux de couverture solaire des consommations ECS		0%	0%	33%	33%
Production photovoltaïque	kWh	46 725	50 190	20 265	117 180
COP		3,12	3,12	3,12	3,12
Coefficient de perméabilité à l'air (mesurée)	m ³ /h.m ²	0,3	0,26	0,12	

TABLEAU 16 : RESULTATS DE L'ETUDE RT 2005

2.7 CHOIX ENVIRONNEMENTAL DES MATERIAUX

L'Atelier Méandre a réalisé des simulations des bâtiments sur le logiciel Econsten (développée par Energie Demain) qui met en évidence l'impact du projet sur toute sa durée de vie (de la construction à la déconstruction) en termes d'effet de serre (CO₂/an), d'énergies primaires (MJ/an), de consommation d'eau (l/an), de déchets (kg/an), de déchets radioactifs (cm³/an).

Les résultats par rapport à ces 5 indicateurs montrent que, le projet du groupe scolaire Saint Exupéry tel qu'il a été optimisé par tout l'équipe de maîtrise d'œuvre, est bien meilleur qu'une variante du bâtiment

qui serait tout en béton ou ayant une épaisseur d'isolant répondant uniquement aux normes actuelles de la RT 2005.

Sur l'ensemble du cycle de vie, la récupération permet d'économiser un tiers de la consommation totale d'eau. Et si l'on considère une durée de vie de 80 ans, tous les surcoûts environnementaux dus à la construction et à la fin de vie seront compensés en cinq ans et demi d'utilisation.

2.8 INTERVIEWS

2.8.1 Interview de M. Bornarel, Cogérant de la société Tribu, AMO des groupes scolaires JL Marquèze, Saint Exupéry, Olympe de Gouges et Résistance

Voir la monographie du groupe scolaire Jean-Louis Marquèze de Limeil-Brévannes

2.8.2 Interview de Mme PATTE, cofondatrice de l'Atelier Méandre en 1198 avec M. Christian HACKEL, cabinet d'architecte du groupe scolaire Saint Exupéry

- *Aviez-vous des références de bâtiments aussi exemplaires que celui de Pantin auparavant ?*

Depuis sa création, l'Atelier Méandre a montré une véritable conviction pour l'environnement ainsi qu'une forte volonté de s'investir dans des projets présentant des objectifs environnementaux très élevés.

Parmi les réalisations exemplaires réalisées par le cabinet d'architectes, on trouve :

- Le foyer de vie pour adulte autiste à Bullion (78), qui a été sélectionné par l'ADEME et le CSTB pour la mise au point de la certification « Démarche HQE – bâtiments tertiaires ». L'équipe de MOE a donc dû porter une attention particulière à toutes les phases de l'opération sur la rétention des eaux pluviales, la préservation de la biodiversité, l'efficacité énergétique des enveloppes et l'utilisation d'énergie solaire, le contrôle des ambiances du point de vue hygrothermique et acoustique, etc.
- La participation au concours de la première école « zéro énergie » à Limeil-Brévannes qui fut finalement remporté par une autre équipe de MOE mais qui a permis à l'Atelier Méandre de perfectionner ses acquis dans le domaine de la très haute performance énergétique et environnementale.
- La transformation d'un bâtiment du 19^{ème} siècle en Maison des Associations à Châlons-en-Champagne avec une démarche HQE volontaire soutenue par l'ADEME et la région Champagne-Ardenne avec notamment une isolation intérieure constitué de chanvre et de chaux

- *Aviez-vous des compétences en interne pour la réalisation de ce projet ou avez-vous fait appel à des compétences externes pour l'ensemble des études thermique/énergétique ?*

Dès sa création, l'atelier Méandre affichait un profil « Architecture + Urbanisme + Environnement » et maîtrisait les études techniques environnementales.

L'atelier Méandre est membre de l'ICEB (Institut pour la Conception Eco responsable du Bâti) et participe donc régulièrement à des réflexions sur les thèmes de l'environnement et de l'énergie liés au bâtiment. A travers ces conférences et les projets précédemment cités, les architectes du cabinet qui ont participé à la conception du groupe scolaire de Pantin avaient déjà des compétences et des connaissances fortes dans le domaine (principes bioclimatiques, études FLJ, Simulation Thermique Dynamique).

De plus, le BET Alto Ingénierie a accompagné l'Atelier Méandre tout au long de la conception du bâtiment. Le fait que les architectes du cabinet possèdent de fortes connaissances dans la qualité environnementale et la performance énergétique permet une communication et une interaction beaucoup plus forte et productive entre les architectes et les ingénieurs du BET Thermique. Un réel échange a pu alors avoir lieu.

D'autre part, l'AMO de l'équipe était le BE Tribu qui occupait déjà le même rôle dans les projets des groupes scolaires BEPOS de Limeil-Brévannes et d'Arcueil (Olympe de Gouges). Entre Alto ingénierie, Tribu et l'atelier Méandre, il y a eu un vrai travail d'équipe et la mise en commun des retours d'expériences de chacun.

- *La réalisation d'un bâtiment BEPOS représentait-elle une motivation supplémentaire par rapport à la réalisation d'un bâtiment plus classique ?*

L'exemplarité de ce bâtiment représentait un véritable défi technologique et s'inscrivait parfaitement dans les convictions environnementales du cabinet d'architecte. Pour ce type de projet, il est nécessaire d'aller beaucoup plus loin dans les études avec une itération entre tous les bureaux d'étude, le MOA et l'AM. La création d'une école Zéro énergie est une « aventure pionnière exceptionnelle » dans laquelle l'atelier Méandre voulait vraiment s'investir.

- *Avez-vous rencontré des difficultés liées à l'enveloppe budgétaire du projet ?*

TRIBU avait proposé au début du projet plusieurs scénarios de performance énergétique à la ville de Pantin et à son maire avait pris la décision de choisir le scénario Zéro Energie en sachant que ce dernier était le scénario le plus ambitieux et le plus coûteux. Le budget qui a été accordé a donc été calculé en conséquence et il n'y a pas eu de problème particulier lié à celui-ci par la suite.

Ce sont plutôt les autres élus et les services municipaux qui trouvaient toujours le projet trop cher.

- *Quelle définition du BEPOS avait été choisie pour le projet ?*

Dans le cadre de l'objectif zéro énergie, toutes les consommations énergétiques ont été prises en compte y compris les consommations énergétiques non réglementaires. Les toits des trois bâtiments ont été équipés totalement de panneaux photovoltaïques alors qu'il n'était pas nécessaire de tout recouvrir selon les premières estimations de consommations réalisées.

Au final, les besoins énergétiques des équipements de cuisines se sont révélés plus importants que prévus. Il n'était pas possible de choisir des équipements très performants énergétiquement car tous les établissements de la ville utilisent les mêmes équipements.

En ce qui concerne les coefficients de conversion énergie primaire/énergie finale, Tribu avait décidé d'adopter un coefficient de 1 pour l'électricité produite et consommée. Tribu sera plus apte à expliquer directement le choix de ces coefficients.

Ce coefficient vient du fait que même si l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques est réinjectée sur le réseau, cette électricité ne repart pas à la centrale mais est réutilisée directement sur le site. Il n'y a donc pas de coefficient de conversion correcteur lié au mode de production et aux pertes de transport à prendre en compte pour l'électricité.

- *Quel est le secret ou l'élément essentiel à la réussite d'un tel projet ?*

Il n'existe pas de secret permettant de réussir un tel projet mais une combinaison d'éléments indispensables à cette réussite.

Le premier élément est une communication très forte entre les équipes du MOE mais aussi avec l'équipe de MOA et d'AMO. Dans le cadre du projet du groupe scolaire Saint-Exupéry, les échanges entre le BET Thermique (Alto Ingénierie) et l'architecte ont été beaucoup plus fréquents que d'habitude, avec de nombreux allers-retours et concertations téléphoniques ou via email pour améliorer toujours plus la performance énergétique du bâtiment. Cependant, ces échanges plus importants imposent également une gestion efficace des flux d'informations et de communication. Il ne s'agit pas uniquement d'échanger mais aussi de tirer profit au maximum de ces échanges et surtout d'éviter que certaines informations ne se perdent dans la masse.

Le deuxième élément indispensable est le temps. Un projet aussi poussé nécessite plus de temps de travail qu'un projet classique. En phase concours par exemple, trois esquisses différentes avaient été proposées aux BET (thermique, acoustique, structure...) pour que ces derniers donnent leur avis à propos des contraintes et des avantages de chacune de ces esquisses. Il est donc primordial que plus de temps soit accordé aux équipes et ce le plus en amont possible car c'est à ce stade que les décisions les plus importantes sont prises (principalement en matière de conception bioclimatique).

Un autre élément essentiel aux yeux de l'architecte est que chaque acteur du projet comprenne bien les enjeux et les solutions utilisées pour y répondre. Il n'est pas possible de laisser le BET Thermique s'occuper seul des solutions d'isolation thermique, production énergétique, de protections solaires ou de bioclimatisme. Il faut que les autres BET et les architectes possèdent également des connaissances fortes dans ce domaine pour pouvoir créer un débat et des échanges réellement constructifs. Certaines personnes du cabinet d'architecte de l'Atelier Méandre ont été formées à la Simulation Thermique Dynamique, ce qui leur a permis de comprendre, de réagir et d'engager un dialogue autour des simulations qui étaient réalisés par Alto Ingénierie.

- *La certification HQE était-elle un objectif dès le début du projet ?*

M. Bornarel, du bureau d'étude AMO TRIBU, était opposé à une certification HQE dès le début du projet. Certaines exigences du référentiel HQE sont un frein et empêchent d'atteindre l'objectif zéro énergie. Une démarche HQE a bien été suivie tout au long du projet du groupe scolaire en réfléchissant sur l'ensemble des aspects environnementaux du bâtiment mais sans se soucier de « remplir les cases » du référentiel. Finalement, la MOA a décidé qu'une certification HQE aurait lieu pour des raisons d'affichage politique.

- *Quel impact a eu la réalisation de ce groupe scolaire sur votre motivation à réaliser d'autres bâtiments aussi exemplaire (passif, zéro énergie, BEPOS...)?*

D'après Mme PATTE, la réalisation de ce groupe scolaire n'a fait que conforter la conviction de l'ensemble de l'Atelier Méandre à s'impliquer dans des projets à forts enjeux environnementaux. Ce projet est l'un des projets emblématiques du cabinet d'architecte qui s'est lancé depuis dans la conception d'un autre groupe scolaire BEPOS à Montreuil (cf. interview de M.HACKEL) et qui aimerait aujourd'hui « aller encore plus loin » selon Mme PATTE, comme par exemple la réalisation d'un bâtiment sans système de chauffage. Cependant, une telle conception nécessite d'une part une implication encore plus importante de toutes les équipes (MOE, MOA, AMO) mais aussi des usagers/utilisateurs finaux. Le comportement de ces derniers a un impact très important sur les consommations réelles du bâtiment et il est très difficile de le prendre en compte dans la conception en amont du projet.

- *Quels moyens ont été mis en œuvre pour assurer le suivi d'exploitation du groupe scolaire ?*

Alto ingénierie avait proposé de se charger du suivi d'exploitation mais cette option n'avait pas été prévue à l'origine dans le contrat, il fallait organiser une mise en concurrence. Ce qui n'a finalement pas été fait. Du

coup, il n'y a eu ni sensibilisation des usagers, ni suivi de la GTB par la maîtrise d'œuvre. Tribu a toutefois une mission de suivi sur 3 ans.

- *Aujourd'hui, le groupe scolaire fonctionne depuis environ un an et demi, quels sont les retours que vous avez eu et quels sont les problèmes détectés ?*

Certaines portes en bois ont « travaillé » ce qui diminue l'étanchéité à l'air sur lequel les équipes de MOE avaient porté beaucoup de soin avec plusieurs mesures d'étanchéité lors de la réalisation. Ces portes doivent être prochainement changées pour régler ce problème. On remarque qu'il est également très difficile d'obtenir une étanchéité satisfaisante pour les portes doubles.

Le gardien fait beaucoup d'aller-retour entre sa loge et le reste du bâtiment et la porte de celle-ci reste en permanence ouverte ce qui n'avait posé un problème lors des grands froids d'hiver. Il y a vraiment une question culturelle d'utilisation du bâtiment suivant les saisons. Les scénarios d'usage que nous utilisons pour optimiser les consommations tout en atteignant un bon confort thermique supposent une intervention des usagers (ouverture des fenêtres l'été, fermeture des sas thermiques l'hiver, ...). Les maîtres d'ouvrages ne souhaitent pas vraiment que les futurs usagers participent à la conception.

Il est primordial que les utilisateurs soient parties prenantes de manière volontaire pour atteindre des consommations énergétiques minimales. Un affichage des consommations dans le hall, des agendas 21 scolaires, des visites des locaux et une sensibilisation aux aspects énergétiques pour les premiers arrivants ont été mis en place afin d'influencer le comportement des usagers mais les habitudes ont « la vie dure ».

Des formations techniques plus poussées seraient également utiles pour le personnel de maintenance du groupe scolaire qui n'est pas forcément habitué à utiliser des systèmes aussi performants et complexes. La gestion de la GTB par exemple est très complexe et elle n'est donc pas forcément utilisée à son plein potentiel. Les filtres de la ventilation double flux étaient encrassés cet hiver mais le prestataire chargé de la maintenance ne les a pas changés et la ventilation double-flux ne fonctionnait plus. Le personnel responsable de la maintenance des équipements n'est pas familier des systèmes double flux, géothermie, ... qui n'existent pas dans les autres bâtiments de la commune. .

Les consommations énergétiques correspondent assez bien aux prévisions à priori, et l'excès de consommations observé est dû en partie aux consommations des cuisines qui sont plus élevées que prévues du fait des comportements principalement comme par exemple l'allumage des fours dès l'arrivée des cuisiniers à 7h30. Là aussi, il faut prévoir une sensibilisation à l'exploitation économe des appareils.

Le suivi d'exploitation n'a pas été suffisamment poussé et permettra aux architectes et autres équipes de MOE d'avoir un véritable retour d'expérience qui leur serait très utile pour la réalisation d'autres bâtiments de ce type. Il serait l'occasion de détecter les anomalies et d'affiner les réglages du bâtiment afin de rendre ce dernier encore plus performant énergétiquement.

- *Si certains éléments pouvaient être modifiés dans la conception du groupe scolaire Saint Exupéry, quels seraient-ils ? (hormis les points précédemment cités)*

Quelques détails techniques ont été mal anticipés ou ont posés des problèmes de mise en œuvre, mais rien de bien différent d'un chantier habituel :

Il faut ajouter un ventilateur dans la fosse de récupération d'eau de pluie pour éviter la condensation.

Les grilles anti-intrusion des ouvrants pour la ventilation doivent être améliorées pour empêcher la pénétration de la pluie en cas de vent du nord.

L'accès aux panneaux photovoltaïques de la toiture de l'école élémentaire n'a pas été prévu car le fournisseur indiquait qu'aucune maintenance n'était nécessaire, mais cela a compliqué l'intervention pour corriger certains défauts.

Le raccordement des panneaux photovoltaïques au réseau EDF a été très long et l'énergie produite n'a pas été exploitée pendant presque un an alors qu'on aurait pu l'utiliser dès la phase chantier.

Dans ce type de projet pionnier, il serait bon de prévoir des campagnes d'améliorations avec un budget attribué. La réalisation de bâtiments aussi « exemplaires » d'un point de vue énergétique et environnemental est encore à un stade expérimental et les concepteurs de ces derniers des pionniers dans le domaine ; il paraît donc logique que certains détails ou réglages ne soient pas justes dès la livraison du bâtiment et qu'il faille donc apporter certaines corrections (fenêtres pour la surventilation nocturne, porte bois qui perdent leur étanchéité, etc.).

- *Des mesures particulières ont-elles été prises lors de la construction proprement dite du groupe scolaire ?*

L'étanchéité à l'air du bâtiment est un facteur très important pour les consommations énergétiques du bâtiment et a donc bénéficié d'un soin très particulier. Le chantier était traité en macro-lots et l'étanchéité à l'air avait été incluse dans le lot « enveloppe du bâtiment ».

D'autre part, le CCTP imposait une formation à l'étanchéité à l'air pour toutes les entreprises du chantier incluant une partie théorique et une partie pratique. Cette formation avait pour objectif de sensibiliser directement les ouvriers et de les informer sur les bonnes et mauvaises pratiques liées au respect de l'étanchéité à l'air. Les ouvriers et les conducteurs de travaux ont participé à une journée de formation théorique et pratique commune, ce qui a été fédérateur entre les corps de métiers. Ils ont eu le sentiment d'être pris au sérieux et se sont impliqués encore davantage dans la construction et dans l'image que représentait ce bâtiment.

Enfin, un photographe avait été engagé pour saisir les gestes et les étapes de la construction de ce bâtiment exemplaire. Les ouvriers se sont sentis valorisés et ont pris conscience de l'ampleur du projet pour lequel ils travaillaient. Chacun s'est senti acteur à sa propre échelle.

2.8.3 Interview de M. Gilbert METAIS, Ingénieur bâtiment et responsable maîtrise d'ouvrage en exécution du groupe scolaire Saint Exupéry

- *Quelles solutions techniques énergétiques ont été retenues ? (isolation particulière, apports solaires, systèmes de production...)*

Le chauffage est assuré par l'intermédiaire de deux PAC eau-eau utilisant la chaleur géothermique (une PAC principale et une PAC de secours) tandis qu'une épingle électrique a été installée pour assurer l'appoint de la production d'ECS. Les panneaux de solaire thermique ont été dimensionnés pour assurer la moitié des besoins d'ECS (20 m²).

La ventilation des locaux est assurée par une ventilation double flux avec roue, mais aucun dispositifs de préchauffage n'a été prévu dans la CTA (de type batterie électrique par exemple).

En ce qui concerne la gestion de l'éclairage, une sonde crépusculaire analyse la luminosité et agit ensuite sur toutes les sources de lumières en fonctions de leur localisation et donc des zones de faible luminosité au sein des locaux.

- *Est-ce que vous avez mis en place un suivi des consommations ? Sur quels postes ?*

Jusqu'à maintenant, c'est M. METAIS qui suivait les consommations mais une autre personne de la ville de Pantin vient d'être embauchée dans le but de s'occuper du suivi des consommations du groupe scolaire (chauffage, ECS, ventilation, éclairage...).

D'autre part, la société Dalkia est en charge de l'exploitation du groupe scolaire et doit vérifier les alarmes des systèmes de manière régulière et vérifier le bon fonctionnement global du bâtiment via la GTB.

- *Est-ce que ce retour correspond bien à vos attentes et à ce qui était annoncé en conception ? Si non, quels sont les raisons de ces écarts ? Disfonctionnement des systèmes de production, sous-estimations des besoins énergétiques, comportement des usagers ?*

Les premiers retours de consommations montrent que le bâtiment fonctionne globalement comme prévu et que la production photovoltaïque est bien supérieure aux consommations énergétiques du bâtiment.

- *Le calendrier de la conception et des travaux a-t-il été impacté par le BEPOS ? (retards)*

Les autres groupes scolaires de la ville étant de plus en plus saturés, cela fixait des très grosses contraintes sur le planning et la date de livraison du groupe scolaire St Exupéry. Il fallait absolument que l'école soit prête pour la rentrée scolaire, et ce fut le cas. D'après M. METAIS, il n'y a pas eu de retards spécifiques liés au caractère BEPOS du groupe scolaire.

- *Y avait-il des contraintes particulières sur le chantier liées au BEPOS ?*

Un soin très important a été mis en place par rapport à l'étanchéité à l'air du bâtiment avec des formations des équipes intervenant sur le lot « enveloppe du bâtiment » en particulier. Une formation au sujet de l'étanchéité à l'air a également été dispensée aux équipes responsables de la maintenance du bâtiment. D'autre part, des tests par pièce puis au niveau du bâtiment dans son ensemble ont été réalisés. Ces tests étaient particulièrement compliqués à réaliser au niveau des ascenseurs notamment, ce qui a donc nécessité une attention particulière lors du chantier.

L'isolation autour des poutres était une étape délicate du chantier car les ouvriers n'avaient pas l'habitude de réaliser des isolations aussi complexes et précises.

- *Existe-t-il des problèmes techniques particuliers au niveau du bâtiment (bâti et systèmes énergétiques) qui n'ont pas été résolus et qui sont en attente de résolution ?*

Certaines portes ont des problèmes d'étanchéité à l'air du fait de leur structure en bois.

La zone de jeux des enfants (mur d'escalade) a dû être fermée momentanément car le bois des structures de jeux commence à se décoller et certaines visseront ressortir légèrement ce qui pose des problèmes de sécurité pour les enfants.

La gestion des éclairages demande encore quelques réglages (détecteurs de présence, temps d'éclairage avant extinction). L'éclairage des toilettes handicapées devraient par exemple être réglé sur un temps d'éclairage plus long que pour les autres toilettes « classiques ».

D'après M. METAIS et les retours des professeurs, il est dommage qu'une batterie électrique n'ait pas été installée au sein de la CTA car l'air soufflé est parfois trop froid ce qui peut créer un sentiment d'inconfort pour les personnes situés sous les bouches de soufflage.

Les toitures terrasses donnant sur les passerelles (au-dessus de la partie restauration par exemple) sont très bien isolées et les déperditions au travers de ces plafonds sont donc très faibles. Cependant, cela a l'inconvénient durant la période hivernale de créer une fine couche de gel au niveau du sol des passerelles ce qui peut être parfois dangereux.

Les revêtements de sols ont été choisis en matériaux naturels non polluant mais ces derniers ont tendance de ce fait à s'abîmer et à vieillir plus vite (besoin de décapage des sols pour leur entretien).

Certains stores ne fonctionnaient pas également lors de notre visite. .

- *Quels sont les deux aspects les moins aboutis du projet selon vous ?*

Pour M. METAIS, les deux points les moins « réussis » du groupe scolaire sont le vieillissement du bois (détérioration de l'étanchéité à l'air du bâtiment, de l'aspect visuel du groupe scolaire, et de la zone de jeux des enfants qui nécessite des réparations) ainsi que le poids des portes sur l'extérieur qui est très important. En effet, ces dernières sont très bien isolées pour assurer des déperditions très faibles à travers elle, mais cela a pour conséquence directe des portes sur l'extérieur très lourdes que les enfants ne sont pas capables d'ouvrir eux-mêmes.

- *Parmi les différents aspects du projet, quels sont ceux dont vous êtes le plus fier ou que vous appréciez particulièrement ?*

L'éclairage et l'acoustique du bâtiment sont les deux aspects les mieux réussis du bâtiment d'après M. METAIS.

La cheminée solaire installée dans l'un des bâtiments est une véritable réussite et il est dommage que ce type de système ne soit pas utilisé plus régulièrement dans les bâtiments. Le puits de lumière intégré dans les jeux est également très bien réussi d'un point de vue architectural.

- *Y a-t-il eu de grosses différences entre le budget estimé et le coût final ?*

Il y a en effet eu quelques différences de budget entre celui qui était estimé et la réalité mais ces différences ne sont en aucun cas liées au caractère BEPOS du groupe scolaire selon M. METAIS

- *Les retours économiques observés convergent-ils avec ceux établis dans le programme ?*

La production photovoltaïque et la revente de l'électricité produite sont conformes à ce qui avait été estimé selon M. METAIS

- *Quels retours avez-vous du personnel du bâtiment aujourd'hui ?*

Les professeurs sont très satisfaits du groupe scolaire St Exupéry et ont en outre remarqué qu'ils avaient beaucoup moins de maux de tête que dans les autres groupes scolaires où ils ont pu enseigner du fait de la très bonne qualité de l'air de l'école et de l'importance de la lumière naturelle au sein des salles de classe. D'autre part, il est important de noter que tous les professeurs présents aujourd'hui étaient volontaires pour être transférés dans le groupe scolaire lors de son inauguration.

- *Quels ont été les formations dispensées pour les enseignants/personnels du groupe scolaire sur le comportement éco-comportemental et les « bonnes manières » à suivre vis-à-vis de ce bâtiment afin de réduire les consommations énergétiques ? Réunion, sensibilisation, « notice d'utilisation » du bâtiment, « manuel », notes d'informations... ?*

Alto ingénierie et l'Atelier Méandre désiraient se charger du suivi d'exploitation et de la sensibilisation des occupants mais cette option n'avait pas été prévue à l'origine dans le contrat et il fallait organiser une mise en concurrence. Cette dernière n'a pas été réalisée pour des questions budgétaires principalement et il n'y a donc pas eu de sensibilisation des usagers, de guide d'exploitation, de livret d'accueil ni de suivi de la GTB par la maîtrise d'œuvre.

Néanmoins, le service environnement de la ville a participé à la sensibilisation des occupants dans une certaine mesure et on peut voir sur les murs des couloirs du groupe scolaire des affichages liés à l'environnement. D'autre part, les nombreuses visites qui ont eu lieu au sein du groupe scolaire ainsi que la médiatisation importante lors de l'inauguration ont sensibilisé d'autant plus les occupants sur l'exemplarité du bâtiment qu'ils occupaient.

3 LE GROUPE SCOLAIRE OLYMPE DE GOUGES A ARCUEIL



3.1 FICHE D'IDENTITE

Carte d'identité		
Groupe scolaire	"Olympe de Gouges" Arcueil (94)	
Date de livraison	févr-10	
Etat d'avancement	Livré	
Acteurs	MOA	Ville d'Arcueil (MOA délégué SADEV94)
	AMO	Tribu
	MOE- architecte	Trévelo & Viger architectes
	BET thermique et fluide	Inex fluides
	BET environnement	Franck Boutté HQE
	Autres bureaux d'études	EVP Ingenierie, MDETC économie
Nombre de bâtiment	1	
Surface SHON (m ²)	4 700	
Surface SDO (m ²)	4 279	
Nombre d'occupant (max)	450	
Usage des bâtiments	Ecole maternelle et primaire + centre de loisirs + restaurant scolaire	
Coûts en €HT	11 200 000	
Coûts en €HT/m ² SHON	2 383	
Coûts en €HT/m ² SDO	2 617	
Objectifs consommation	51 kWh _{ep} /m ² SHON.an	
Structure	Structure béton avec 24 cm d'isolation par l'extérieur	
Menuiseries	Triple vitrage à lame d'argon	
Production calorifique	Raccordement au réseau de chaleur (entre 60 et 70% couvert par la géothermie sur Dogger) prévu en 2013	
Emetteurs	Radiateurs basse température	
Production électrique	620 m ² de panneaux photovoltaïques	
ECS	15 m ² de capteurs solaires thermiques	
Ventilation	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur	
Eclairage	Système d'éclairage à multiples capteurs (détecteur de présence et de luminosité) + rangées de luminaires indépendantes dans les salles de classes	

TABLEAU 17 : CARTE D'IDENTITE DU GROUPE SCOLAIRE OLYMPE DE GOUGES A ARCUEIL

3.2 LES PRINCIPAUX ENJEUX DE L'OPERATION

3.2.1 Contexte environnemental

La construction du groupe scolaire Olympe de Gouges s'inscrivait dans l'aménagement du quartier du Chaperon Vert à Arcueil et visait à accueillir les élèves de l'ancien établissement Joliot-Curie et des quartiers alentours.

Au stade de la programmation, plusieurs objectifs énergétiques ont été envisagés : le niveau RT 2005 correspondant aux exigences réglementaires thermiques ; le niveau RT 2012 ; le niveau passif ; et enfin le niveau « énergie zéro » qui consistait à produire autant d'énergie propre que le bâtiment en consomme.

Niveaux de performance énergétique	RT 2005	RT 2010/ RT 2012	Passif	Energie Zéro
Consommations chauffage en kWh/an	284 894	215 381	135 006	26 102
Gains chauffage en kWh/an		69 513	149 888	270 495
Autres consommations du bâtiment en kWh/an	110 131	110 131	101 001	76 978
Gains autres consommations en kWh/an			9 130	33 153
Gain photovoltaïque en kWh/an				103 080
Total gains en kWh/an		69 513	159 019	435 946
Gains en %		18%	40%	100%
Estimation du surcoût / RT 2005 en %		4%	8%	20%

TABLEAU 18 : COMPARAISON DES NIVEAUX DE PERFORMANCES ENERGETIQUES EN PHASE DE PROGRAMMATION

La municipalité a finalement opté en mars 2007 en faveur de l'objectif le plus ambitieux, celui de « l'énergie zéro ». Daniel Breuiller, maire d'Arcueil a alors souhaité construire un bâtiment innovant et exemplaire d'un point de vue expérimental, fonctionnant grâce à sa propre production d'énergie (bien qu'il ne s'agit pas de concevoir un bâtiment autonome et que la production électrique photovoltaïque est réinjectée sur le réseau électrique et non consommée sur place). Une démarche HQE a également été suivie tout au long du projet en répondant aux différentes cibles du référentiel tels que la qualité de vie et de travail, l'économie d'énergie et la sensibilisation à l'environnement, la pérennité des performances et la durabilité du bâtiment, le confort acoustique et la maîtrise des déplacements, l'aménagement des espaces extérieurs, le choix environnemental des matériaux et la gestion du chantier et de ses nuisances.

Le projet de reconstruction du groupe scolaire a de plus fait l'objet d'une démarche spécifique de concertation avec les utilisateurs pour recenser et qualifier les besoins au travers d'ateliers et d'un comité de pilotage regroupant les parents, les enseignants et les personnels intéressés à la vie de l'école.

Au moment du concours sur esquisse, et à la demande de la Ville, les parents et l'Education nationale ont désigné leurs représentants respectifs comme membres délibérants du jury. Durant la phase étude, les participants au programme étaient sollicités autant de fois que de besoin. Par exemple, le traitement de la cour dans sa globalité a fait l'objet de séances de travail pluridisciplinaires pour sensibiliser les usagers sur des dimensions qu'ils ne maîtrisaient pas forcément et pour traiter de façon imbriquée et cohérente l'aspect récréatif, sportif, l'entretien, la nuisance sonore potentielle, la rétention des eaux pluviales, etc.

Lors de la phase de finalisation, le projet retenu a été présenté, débattu et amélioré lors de différentes rencontres avec les enseignants du groupe scolaire, la communauté éducative du quartier, les riverains et l'Assemblée de quartier.

3.3 CHRONOLOGIE DU PROJET

La chronologie des différentes étapes du projet du groupe scolaire Olympe de Gouges est décrite ci-dessous :

- **Mars 2007** : Lancement du concours
- **Décembre 2007** : Dépôt du permis de construire
- **Septembre 2008** : Démarrage des travaux
- **Mars 2010** : Fin des travaux et livraison du bâtiment

3.4 ARCHITECTURE, BIOCLIMATISME ET DESCRIPTION DES SYSTEMES

3.4.1 Architecture et bioclimatisme

L'implantation du bâtiment ainsi que la disposition des salles a requis une attention particulière et a été principalement orientée par les facteurs bioclimatiques du site : l'exposition au vent, l'accès à la lumière naturelle ainsi que l'exposition au bruit. Les salles de cours sont ainsi localisées au sud pour bénéficier des apports solaires et de l'accès à la lumière naturelle tandis que les dortoirs sont situés au nord et loin du bruit.

La compacité du bâtiment a également été réfléchi dans le but de permettre non seulement de limiter les déperditions par l'enveloppe, mais également de libérer de la place pour les espaces extérieurs.

3.4.2 Enveloppe et performance

Le choix de l'enveloppe du bâtiment s'est porté sur une structure béton avec isolation extérieure qui bénéficie d'une inertie forte permettant ainsi d'absorber une grande partie des pics de températures estivales. Les différentes simulations thermiques dynamiques et étude thermique ont permis de fixer l'épaisseur d'isolation des parois à 24 cm afin de concilier au mieux la réduction des besoins de chaleur et le confort d'été des utilisateurs.

Les vitres, posées sur des châssis bois/aluminium en triple vitrage à lames d'argon afin de réduire au maximum les déperditions thermiques de l'enveloppe. Des stores ont également été mis en place pour la protection solaire. Ces derniers sont activables indépendamment les uns des autres et descendent automatiquement lorsque la température dépasse les 24°C dans n'importe quel local disposant d'une fenêtre donnant sur l'extérieur.

3.4.3 Système de production de chaleur

Un projet de géothermie urbaine a été mis en place à Arcueil pour alimenter le quartier du Chaperon vert. Ce réseau de chaleur alimentera à terme approximativement 6 000 logements ainsi que plusieurs équipements publics. Il est ainsi prévu que l'école soit branchée courant 2013 à cette source d'énergie propre, économique et renouvelable. Les calculs thermiques et les bilans énergétiques justifiant l'atteinte de l'objectif « Zéro Energie » ont donc été réalisés en considérant un raccordement à ce réseau de chaleur géothermique.

Le réseau de chaleur s'étendra sur presque 11 000 mètres et desservira les villes d'Arcueil et de Gentilly en assurant un taux de couverture des besoins annuels du réseau par la géothermie entre 60 à 70% selon les débits exploitables. La construction du réseau de chaleur commencera au dernier trimestre 2013 et s'étendra jusqu'à la fin 2015 pour les quartiers les plus éloignés de la centrale de géothermie.

Emplacement
du groupe
scolaire



FIGURE 39 : LOCALISATION DE LA CENTRALE DE GEOTHERMIE EN CONSTRUCTION

Du fait du raccordement en 2013 uniquement, il a fallu concevoir une solution technique transitoire d'approvisionnement en chaleur. La géothermie par sonde de 100 mètres sur le terrain de l'école a été étudiée, mais les investissements induits ne pouvaient être amortis sur une période aussi courte. La solution d'un chauffage performant via des chaudières gaz à condensation est naturellement venue en alternative, mais la logique du projet dissuadait de retenir une énergie fossile. Le choix retenu a donc été celui d'une solution de pompes à chaleur air/eau performantes, soutenues par des chaudières gaz à condensation lorsque la température extérieure descend sous les 3°C.

Il est prévu que ces installations soient récupérées (et donc amorties) lors du raccordement du groupe scolaire Olympe de Gouges au réseau de chaleur géothermique pour être réinstallées dans d'autres équipements municipaux en remplacement de chaudière à gaz usagées et moins performantes.

3.4.4 Système de production d'ECS

En ce qui concerne la production d'eau chaude sanitaire du groupe scolaire Olympe de Gouges, 15 m² de capteurs solaire thermiques ont été installés en toiture du bâtiment et permettent de couvrir théoriquement approximativement 20% des besoins d'ECS. L'appoint est pour l'instant réalisé par les chaudières gaz à condensation, mais il sera par la suite couvert par le réseau de chaleur une fois le groupe scolaire raccordé à ce dernier.



FIGURE 40 : CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES EN TOITURE

3.4.5 Ventilation

La ventilation est assurée par six appareils double flux avec récupérateur de chaleur par échange rotatif (70% de récupération de chaleur). Ces systèmes fonctionnent hiver comme été afin de réguler efficacement la qualité de l'air insufflé.

Le débit de renouvellement d'air intérieur a été fixé à $25\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (contre les $15\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ réglementaire) afin de garantir une qualité de l'air optimale au sein des locaux du groupe scolaire même si cela s'accompagne d'une augmentation conséquente des consommations énergétiques liées au poste de ventilation.

3.4.6 Eclairage

Le système d'éclairage des couloirs est commandé par des capteurs multiples (détection de présence et déclenchement par seuil de luminosité) et ce système est sectorisé de manière à n'éclairer que ce qui mérite de l'être. Ainsi, les rangées de luminaires en fond de classe sont dissociées des luminaires les plus proches des baies vitrés. Ce dispositif permet de n'allumer qu'une seule rangée de luminaire, là où le local est le plus sombre.

3.4.7 Production photovoltaïque

Une surface de panneaux photovoltaïque de 620 m^2 a été prévue pour compenser les consommations énergétiques du bâtiment et ainsi respecté l'exigence de performance énergétique « Zéro énergie » ou BEPOS.

3.5 DONNEES ECONOMIQUE

Le coût prévisionnel de la construction a été estimé à 11,2 millions d'euros soit approximativement $2\,320\text{ €/m}^2\text{SHON}$; avec un surcoût par rapport à une construction conventionnelle (respectant la réglementation thermique RT 2005) estimé par Tribu à approximativement + 20% au stade de la programmation. Cependant, ce surcoût de construction devrait être amorti en une vingtaine d'année selon les calculs économiques réalisés également par le bureau d'étude Tribu grâce à la production photovoltaïque et aux économies d'énergie réalisées du fait de l'enveloppe et des systèmes performants du groupe scolaire.

3.6 ANALYSE DES ETUDES THERMIQUES ET BILAN ENERGETIQUE

Données non-disponibles

3.7 INTERVIEWS

3.7.1 Interview de M. Bornarel, Cogérant de la société Tribu, AMO des groupes scolaires JL Marquèze, Saint Exupéry, Olympe de Gouges et Résistance

Voir la monographie du groupe scolaire Jean-Louis Marquèze de Limeil-Brévannes

3.7.2 Interview de Mme Chauchat, Agence TVK architecte

- *Aviez-vous déjà réalisé des opérations BEPOS ?*

C'était la première fois que l'agence TVK travaillait sur un bâtiment à « Energie Zéro » mais l'agence a participé à des concours pour de nouvelles réalisation BEPOS ou « Zéro Energie » depuis.

- *La réalisation d'un BEPOS représentait-elle une motivation supplémentaire pour gagner ce concours ?*

C'était le premier groupe scolaire sur lequel travaillait l'agence TVK et l'objectif ambitieux Zéro Energie représentait évidemment à la fois un défi et une motivation supplémentaire.

- *Quels sont les éléments qui, d'après vous, vous ont permis de remporter le concours ?*

L'implantation du projet était très complexe puisque le terrain où se situe le groupe scolaire donne sur trois flux de circulation et la surface disponible est relativement réduite. L'implantation du projet proposée par l'agence TVK est un des principaux critères qui a permis de remporter le concours. Trois accès ont été prévus pour gérer les flux de personnes, et une réflexion importante a portée sur la compacité du bâtiment afin de libérer de la place pour que la cour de récréation soit exposée au Sud. La configuration générale du bâtiment a également plu au jury.

- *Est-ce que vous avez du adopter une démarche de conception différente ?*

Tout ce qui concerne les études thermiques et les systèmes énergétiques ont été entièrement géré par l'agence Franck Boutté Consultants et le bureau d'étude fluide INEX puisque l'agence TVK ne dispose pas de compétence en interne sur l'ingénierie environnementale ou la simulation thermique dynamique. Le caractère BEPOS n'a donc pas eu d'impact important sur la manière de travailler des membres de l'équipe d'architectes. Cependant, d'après M. Chauchat, les échanges entre les deux bureaux d'étude (Franck Boutté Consultants et INEX) étaient beaucoup plus nombreux que pour un projet plus « conventionnel ». Le nombre d'étude thermique a été beaucoup plus important et la principale difficulté résultait du fait que la moindre modification du projet entraînait des répercussions sur l'ensemble du projet (consommations énergétiques, dimensionnement des systèmes, etc.).

Un projet aussi ambitieux est très complexe techniquement et c'était la première fois pour la majeure partie des acteurs du projet qu'ils avaient affaire à ce type d'opération. Par exemple, l'entreprise responsable du lot électricité et plus spécifiquement de la pose et du raccordement des panneaux photovoltaïques n'avait jamais travaillé sur une surface importante de capteurs. Ils ont rencontré de ce fait de nombreuses difficultés qui n'étaient pas prévues.

Enfin, la complexité la plus importante était due aux délais autant pour la phase étude que la phase de travaux et qui étaient vraiment trop courts pour un projet de cette complexité selon l'agence TVK.

D'autre part, le fait que la maîtrise d'ouvrage ne soit pas directement la ville (la SADEV 94 était la maîtrise d'ouvrage déléguée pour le projet) a rendu plus compliqué les échanges.

- *Avez-vous rencontré des difficultés d'ordre budgétaire ou technique : budget pas assez important vis-à-vis des objectifs, nombre d'études et de justificatifs très lourds,... ?*

D'après l'agence TVK, le budget était un peu trop limité pour un projet aussi ambitieux d'un point de vue énergétique et environnemental.

- *Quelles ont été les solutions techniques envisagées pour assurer la ventilation du bâtiment ?*

La ventilation du bâtiment est assurée par des centrales de traitement d'air double flux qui fonctionnent toute l'année. Il n'était en effet pas possible de les arrêter pendant la saison estivale et de mettre en place un système de ventilation naturelle pour des raisons de réglementation acoustique.

- *Quels moyens de production énergétique ont été proposés ?*

Deux scénarios d'approvisionnement énergétiques avaient été étudiés : les PAC air/eau et les PAC eau/eau ayant recours à la géothermie. Malheureusement, les rapports de sol se sont révélés peu favorables à la géothermie et c'est donc les PAC air/eau qui ont été retenues.

En ce qui concerne le raccordement au réseau de chaleur géothermique prévu en 2013, cette solution n'est apparu que tardivement dans la conception du bâtiment du fait des incohérences de phasage des deux projets.

- *Avez-vous réalisé une estimation des surcoûts liés au BEPOS ?*

Aucune estimation des surcoûts liés au caractère BEPOS spécifiquement n'a été réalisée à la connaissance de l'agence TVK.

- *Est-ce que ce projet est une référence pour vous ? Une fierté ?*

Le projet du groupe scolaire est une véritable référence pour l'agence TVK et a surtout été selon eux très formateur et leur permet de bénéficier d'un retour d'expérience très utile. L'agence se dit prête à recommencer si un autre projet similaire se présentait malgré la difficulté d'une telle opération.

- *Est-ce que vous avez des retours quand à l'utilisation, la vie du bâtiment ?*

Nous n'avons pas eu de retours spécifiques des utilisateurs mais il y avait eu une forte participation des futurs écoliers et parents d'élèves lors de la conception et de la construction du groupe scolaire afin que ce dernier soit adapté au mieux à leur besoins.

- *Quels sont les trois points du projet dont vous êtes le plus fier ?*

L'enveloppe du bâtiment a été très bien réussie en ce qui concerne la volumétrie et l'aspect visuel des façades.

Les espaces intérieurs ont également été très bien réussis avec des grandes baies dans les salles de classe, des espaces importants, des accès à la lumière naturelle qui rendent très agréable la vie à l'intérieur du bâtiment.

L'insertion du bâtiment dans le paysage urbain est également un point dont l'agence TVK est très fière car celle-ci représentait un véritable défi et a finalement été très bien réussi.

- *Si certains aspects/points pouvaient être corrigés ou si vous pouviez revenir en arrière, que feriez-vous ?*

En ce qui concerne le chantier, un redécoupage des lots a eu lieu ce qui a posé des problèmes vis-à-vis de l'étanchéité à l'air des portes du bâtiment. En effet, les portes sur extérieur n'étaient plus gérées par le façadier comme prévu initialement mais par l'entreprise responsable de la serrurerie. Au final, la personne en charge n'avait pas les compétences nécessaires et les portes ont été mal posées ce qui a des conséquences sur les infiltrations d'air et donc les consommations énergétiques du groupe scolaire.

3.7.3 Interview de M. Franck Boutté, directeur de l'agence Franck Boutté Consultants

- *Avez-vous changé votre manière de travailler ? Avez-vous observé des particularités dans la conception liés au statut BEPOS ?*

Le travail sur un bâtiment est BEPOS nécessite d'être beaucoup plus poussé du point de vue des calculs thermiques que dans le cas d'un bâtiment classique aussi il a été nécessaire d'effectuer beaucoup de calculs en phase conception ce qui a consommé une très grande part du budget dès le début du projet.

Bien que la SADEV ait prévue une enveloppe budgétaire pour la construction plus importante au départ, elle n'a pas considéré qu'il soit nécessaire d'augmenter le budget pour les études (étant donné que la maîtrise d'œuvre se rémunère au pourcentage, elle considérait que l'enveloppe était plus importante de toute façon). En réalité, ce pourcentage, une fois divisé entre les différents acteurs de la maîtrise d'œuvre était très peu important et largement insuffisant pour couvrir les frais d'études nécessaires à l'atteinte de l'objectif BEPOS.

L'une des difficultés dans cette opération a également été au sein de la maîtrise d'œuvre. Etant donné que l'agence était chargée de réaliser les calculs thermiques, le bureau d'études fluides s'est largement déchargé de ses responsabilités. L'agence a du faire beaucoup plus de tâches que prévues comme le dimensionnement des gaines, les calculs de pertes de charges alors que c'est normalement le rôle du BE fluides. Toutes les responsabilités ont du être portées par l'agence alors que ce n'était pas prévu au départ. Il aurait été plus facile de travailler si les responsabilités et les limites de prestation de chacun avaient été mieux définies dès le départ.

- *Sur quelles bases avez-vous évalué les besoins du bâtiment ? (STD, RT)*

Un calcul RT2005 conventionnel qui ne présente pas le caractère BEPOS du projet a été produit pour le permis de construire et de nombreux scénarii ont également été testés en simulation thermique dynamique pour arriver à un bilan positif.

Pour valider le statut BEPOS, il a fallu mettre en œuvre un calcul plus complexe sur la base d'un calcul RT avec des éléments tirés de la simulation thermique dynamique qui paraissaient plus cohérent avec la réalité du projet (recours au réseau de chaleur) et des adaptations de la RT car le moteur de calcul n'était pas toujours capable de prendre en compte tous les dispositifs prévus.

- *Est-ce qu'il y a des problèmes qui sont apparus liés au BEPOS ?*

De nombreuses difficultés de mises en œuvre sont apparues en cours de chantier ce qui a été une réelle source de problème. En effet, pour atteindre un bilan énergétique positif, le calcul se joue à quelques kWh près et quand l'entreprise annonce qu'elle ne pourra pas mettre en œuvre l'isolant prévu et qu'elle va devoir utiliser un isolant légèrement moins performant, cela se répercute sur le bilan BEPOS. Il faut pouvoir compenser les pertes ailleurs.

Il a fallu mettre à jour de nombreuses fois les calculs en cours de chantier (une quinzaine de fois) et par exemple trouver des panneaux solaires photovoltaïques plus performants (meilleurs rendements) mais qui représentaient par conséquent un surcoût.

Cela a nécessité un très gros effort de la part de l'agence qui n'a pas forcément été reconnu par le Maître d'Ouvrage. En effet, l'agence avait un budget peu conséquent pour le suivi de chantier et le travail a encore une fois été plus important que prévu.

Le poids dans la sélection des entreprises était également très faible.

De plus le chef de projet a changé en cours d'opération à la SADEV94 et la personne en charge du suivi de chantier était plutôt expérimenté dans les études urbaines ce qui a créé des difficultés. L'agence a

beaucoup alerté la SADEV94 sur des dysfonctionnements ou des risques en cours de chantier dont la mesure n'a pas forcément été prise. La SADEV94 a fait porter toutes les responsabilités à la maîtrise d'œuvre.

Enfin, les problèmes sont également dus à l'absence de définition officielle du statut BEPOS. Pour la SADEV et la ville d'Arcueil BEPOS signifie un bilan égal à zéro. Hors les consommations sont estimées par le calcul et les prix d'achats et de revente ne permettent pas forcément d'obtenir un bilan financier nul. D'autant plus dans le cadre de cette opération où le statut BEPOS a été calculé en prenant en compte l'éventuel raccordement au réseau de chaleur ENR du quartier. Du coup la ville a eu du mal à s'approprier le projet.

- *Quels retours avez-vous du bâtiment aujourd'hui ? Satisfaction ou pas ?*

Globalement M. Boutté trouve que ce groupe scolaire est plutôt une réussite. C'est un bâtiment intéressant qui s'insère bien dans un contexte très contraint.

C'était l'un des premiers bâtiments BEPOS réalisé à l'époque et c'était une opération vraiment intéressante dans laquelle l'agence s'est beaucoup investie. Il a fallu se donner les moyens de réussir.

- *Est-ce que ce projet a inspiré d'autres projets ? Est-ce que vous êtes prêt(e) à recommencer ?*

L'agence a effectivement travaillé sur de nouveaux projets BEPOS à la suite de ce projet.

3.7.4 Interview de la ville d'Arcueil, exploitant du groupe scolaire Olympe de Gouges

3.7.4.1 Participants :

- Madame Camille Lairez du service Bâtiment
- Mme Sylvie Buchet du service Bâtiment – Secteur Energie
- M. Sébastien Ménagé, Responsable des contrats d'entretien P2 et P3 pour l'ensemble des chaufferies des écoles d'Arcueil
- M. Julien Lemaire : ingénieur Les ENR
- Mme Szymanski Axelle : Chef de projet les EnR

3.7.4.2 Questions-réponse :

- *Quel est la production énergétique liée aux panneaux de solaire thermique ?*

Il semble y avoir une fuite au niveau des panneaux solaires thermiques mais il n'y a aucune alarme ou comptage pour déterminer si la fuite vient bien des panneaux et si les panneaux fonctionnent bien. Il n'y a pas de comptage spécifique pour le solaire thermique.

- *Quel est la production énergétique liée aux panneaux photovoltaïques ?*

Le système PV n'est toujours pas en service en absence du consuel.

- *Quels sont les consommations énergétiques relevées sur l'ensemble du groupe scolaire ?*

Cf. tableau en fin de document

- *L'installation de géothermie était prévue à l'horizon 2012-2013, qu'en est-il aujourd'hui ?*

Effectivement les attentes sont prévues. La ville souhaite mettre en place une chaufferie et un réseau de chaleur géothermique et l'école devrait s'y raccorder à termes. Les PAC déjà installées resteront en place en appoint.

- *Quels sont les problèmes techniques rencontrés ?*

Au début, il y avait pas mal de problèmes de réglages que l'entreprise prestataire des travaux n'a pas aidé à régler. Le responsable de la maintenance a finalement réussi à tout régler.

Toutefois, cette année, malgré un climat très froid, il n'y a pas eu besoin de faire des ajustements au niveau de la chaufferie.

En toiture, il y a un problème d'évacuation de l'eau au niveau de la zone des panneaux solaires thermiques. Du coup, les services d'entretien ont posé un « chemin » en dalles béton pour éviter de marcher dans l'eau. Comme la chaufferie est placée en hauteur, il y a des problèmes de pression d'eau. Il est nécessaire d'ajouter de l'eau régulièrement car lorsque la pression tombe en-dessous de 1.3 bars (1.5 bars en fonctionnement normal), toute la chaufferie s'arrête par sécurité.

Il va être nécessaire de faire installer un système de maintien de pression.

Les moteurs des CTA sont situés en toiture, au milieu du champ de panneaux photovoltaïques. Cela pose des problèmes d'accessibilité car faut enjamber les gaines de ventilation et s'introduire entre les panneaux pour les atteindre. Ils se déclenchent parfois dans la nuit, en marche forcée, ce qui est très bruyant et demande une intervention immédiate, particulièrement dangereuse.

Des malfaçons ont aussi été observées dans la chaufferie comme par exemple l'absence d'étanchéité autour de la cheminée d'évacuation de la chaudière gaz. L'eau tombe directement sur le tuyau et sur le sol de la chaufferie.

- *Les retours économiques observés convergent-ils avec ceux établis dans le programme ?*

L'école regroupe les élèves d'une ancienne école maternelle et d'une ancienne école primaire et héberge également un centre de loisir pour les primaires.

Aujourd'hui, selon Mme Buchet, cette école n'est pas du tout BEPOS car le photovoltaïque n'est pas en fonctionnement et les consommations sont du même ordre que celles des 2 anciennes écoles réunies.

Le système photovoltaïque n'est toujours pas opérationnel car la mairie est toujours en attente du « consuel » qui devrait leur être fourni par le MO, la SADEV94.

- *Quels retours avez-vous du personnel du bâtiment aujourd'hui ? Satisfaction ou pas ?*

Il y a beaucoup de plaintes concernant ce bâtiment en grande majorité dues aux malfaçons. Par exemple, il y a des courants d'air important en raison des infiltrations d'air sous les portes. Du coup, les émetteurs de chaleur sont sous-dimensionnés face aux déperditions et il faut recourir à un chauffage d'appoint électrique en attendant.

La température de consigne est fixée à 21°C car en-dessous, il y avait trop de plainte.

Il y a une école dans Arcueil, où une opération pilote est menée pour ne chauffer qu'à 19°C et mieux adapter les comportements à la température car Mme Buchet a pu observer que souvent les tenues des enfants n'étaient pas adaptées (tee-shirts ou pulls trop léger en hiver). Mais cette démarche n'est possible que si les intervenants (directrice et/ou professeurs) sont vraiment impliqués et motivés.

En été, il n'y a aucun problème particulier mais c'est le cas dans beaucoup d'écoles.

Selon le personnel d'entretien, ce bâtiment est très pratique, en grande partie parce qu'il n'y a plus besoin de décaper les sols une fois par an comme dans les anciennes écoles. C'est un réel gain de temps. Ils se nettoient de manière classique.

L'entretien des vitrages est réalisé par une société privée. Il faut une nacelle pour l'entretien des vitrages par l'extérieur.

Pour le tri des déchets, le personnel d'entretien ne semble pas vraiment au courant. Le tri est effectué dans le restaurant et le personnel d'entretien sait qu'il y a une poubelle spéciale pour le carton.

- *Avez-vous observés des particularités dans la conception liés au statut BEPOS ?*

Dans cette école, les plafonds sont assez bas ce qui permet de diminuer les volumes à chauffer.

Les salles de classes sont très lumineuses, équipées de grandes baies et de protections solaires mobiles électrifiées. L'éclairage est géré par bande avec des gradateurs. Il semblait bien fonctionner dans la classe que nous avons visitée.

Les couloirs ne sont pas si lumineux car ils sont courbes et la lumière naturelle ne se diffuse pas très bien. La lumière artificielle y est allumée en continue. Elle devrait être gérée par des lumandars (interrupteur crépusculaire) mais il semble qu'ils soient en panne. Rien n'est prévu dans ce cas là (nombreux autres problèmes à gérer avant).

Dans la salle polyvalente, nous avons pu sentir une odeur importante issue des revêtements et les radiateurs étaient quasiment froids. Il doit y avoir un système de gestion qui éteint le chauffage et la ventilation le mercredi à l'étage des maternelles qui n'est jamais utilisé.

- *Etes-vous satisfaites du bâtiment ?*

En comparaison avec l'école Aimé Césaire, une autre école également construite en 2010 sur le territoire d'Arcueil, elle est moins bien conçue.

Par exemple, il y a beaucoup de locaux techniques et il est difficile de s'y retrouver alors qu'à Aimé Césaire, ils sont tous réunis dans une grande chaufferie.

Une partie des locaux techniques est située au dernier étage du bâtiment, ce qui ne rend pas leur accès très pratique. Il y a « beaucoup de portes ».

Selon M. Ménagé, la multiplicité des locaux n'est pas vraiment un problème une fois qu'on les connaît. Il dispose également d'un accès direct par le sous-sol qu'il trouve pratique.

Le réel problème réside dans la conception et surtout dans la mise en œuvre. Il y a beaucoup trop de problèmes pour un bâtiment ayant seulement 2 ans. Toutes les réserves n'ont pas été levées. Les entreprises refusent de venir corriger les erreurs. La Sadev94 ne leur transmet aucune information.

Par exemple, les portes d'entrée ont mal été posées et il y a un jour d'un centimètre qui laisse passer l'air sous les portes. L'escalier a été mal conçu, des marches sont plus larges que d'autres, pas assez larges à certains endroits, elles ne sont pas régulières. La mairie a dû faire peindre un trait noir sur le nez de chaque marche pour faciliter leur repérage. Par conséquent, cet escalier n'est que très peu utilisé, on lui préfère l'escalier central, mieux adapté.

Les siphons pour l'évacuation d'eau sont incrustés dans la dalle, inamovibles, impossibles à nettoyer.

Il y a aussi des problèmes de conception du système de chauffage (perte de pression) et d'accessibilité pour la maintenance qui sont développés plus loin.

Pourtant le chantier avait pris 3 mois de retard, la rentrée des élèves dans l'école a donc été décalée. La livraison n'a pas été réalisée dans l'urgence.

- *Quels ont été les formations dispensées pour les enseignants/personnels du groupe scolaire sur le comportement éco-comportemental et les « bonnes manières » à suivre vis-à-vis de ce bâtiment afin de réduire les consommations énergétiques ? Réunion, sensibilisation, « notice d'utilisation » du bâtiment, « manuel », notes d'informations... ?*

Aucune formation spécifique ou information sur les particularités de l'école n'a été diffusée. Le gardien, le personnel ou les exploitants n'ont pas reçu de « formation » ou de « sensibilisation » ou de guide d'utilisation écrit.

- *Est-ce qu'il y a des problèmes qui sont apparus liés au BEPOS ? (coût de maintenance, dysfonctionnement, confort thermique) ?*

En général, l'entreprise titulaire du contrat de maintenance P2+P3 estimait à une demi-journée de maintenance par école.

Pour les deux nouveaux groupes scolaires, elle a chiffré 2 jours de travail supplémentaire soit le double.

Selon M. Ménagé, responsable de la maintenance, le caractère BEPOS de l'école ne rend pas la maintenance plus lourde ou plus longue. C'est surtout l'entretien des CTA et des filtres (entrée et sortie car double-Flux) qui prennent plus de temps. En particulier les premières années de fonctionnement où les filtres s'encrassent plus vite.

- *Est-ce que ce projet a inspiré d'autres projets ? Est-ce que vous êtes prêt(e) à recommencer ? A généraliser le BEPOS ?*

La ville est impliquée dans une politique de Qualité Environnementale et vise à produire des bâtiments performants, sans passer forcément par une certification. C'est le niveau BBC qui est généralement visé et l'objectif est d'obtenir la meilleure performance possible dans l'enveloppe budgétaire prévue plutôt que de faire du BEPOS à tout prix.

4 LE GROUPE SCOLAIRE ABDELMALEK SAYAD A NANTERRE



4.1 FICHE D'IDENTITE

Carte d'identité		
Groupe scolaire	"Abdelmalek Sayad" Nanterre (92)	
Date de livraison	juin-13	
Etat d'avancement	Phase Chantier	
Acteurs	MOA	Ville de Nanterre
	AMO	LesEnR
	MOE- architecte	Nicolas Favet Architecture
	BET thermique et fluide	CORETUDE
	Autres	BIIC, Pascal Loison, Perichimie, Gamba Acoustique
Nombre de bâtiment	1	
Surface SHON (m ²)	5063	
Nombre d'occupant (max)	425	
Usage des bâtiments	Ecole élémentaire + école maternelle + centre de loisirs + restauration	
Coûts en €HT	14 500 000	
Coûts en €HT/m ² SHON	2 381	
Objectifs consommation	48 kWhEP/m ² SHON/an	
Objectifs production	96 000 kWh/an soit 49 kWhEP/m ² SHON.an	
Structure	Ossature bois (30cm de fibre de bois) et béton + 20cm fibre bois	
Menuiseries	Mixte bois/alu + Double Vitrage argon (Uw=1,13)	
Production calorifique	Raccordement à un réseau de chaleur géothermie + récupération de chaleur sur eaux usées (EnR>60%) + géocooling sur champs de sonde	
Emetteurs	Plancher chauffant	
Production électrique	750 m ² de panneaux photovoltaïque	
ECS	Production d'ECS via le réseau de chaleur	
Ventilation	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver, surventilation naturelle en été, et ventilation naturelle traversante	
Eclairage	Eclairage artificiel géré par GTC en fonction de l'occupation et de l'éclairage naturel	

TABEAU 19 : CARTE D'IDENTITE DU GROUPE SCOLAIRE ABDELMALEK SAYAD

4.2 LES PRINCIPAUX ENJEUX DE L'OPERATION

4.2.1 Contexte environnemental :

Le projet du groupe scolaire « Abdelmalek Sayad » s'inscrit dans la construction de l'écoquartier Sainte-Geneviève à Nanterre qui reflète l'engagement de la ville en faveur du développement durable. L'écoquartier sera en effet le premier écoquartier à être chauffé en grande partie grâce à la récupération de chaleur sur eaux usées (EU).

Grâce à la pose d'échangeurs thermiques sur le réseau d'assainissement, la chaleur des EU est récupérée et valorisée pour permettre de couvrir plus de 50% des besoins de chaleur des 650 logements de l'écoquartier (via le réseau de chauffage mais également le réseau d'eau chaude sanitaire). L'ensemble des bâtiments a été conçu avec l'ambition d'être très performant d'un point de vue énergétique : les deux premiers lots satisfont ainsi à la certification THPE (Très Haute Performance Energétique) tandis que les lots suivant satisferont à minima au label BBC (Bâtiment Basse Consommation). Enfin, le groupe scolaire (lot A1) se veut être un bâtiment à énergie zéro avec structure bois.

4.2.2 Les ambitions du projet



FIGURE 41 : REPRESENTATION 3D DU FUTUR GROUPE SCOLAIRE ABDELMALEK SAYAD

Le programme du groupe scolaire « Abdelmalek Sayad » affichait deux grands objectifs à la fois énergétiques et environnementaux. Le premier de ces objectifs était de réaliser « un bâtiment à haute performance énergétique atteignant un niveau de performance Zéro énergie » qui devrait être validé par le rendu d'une étude thermique sous logiciel reconnu par le CSTB et obligatoirement réalisée par l'équipe de maîtrise d'œuvre.

En ce qui concerne les moyens, le programme spécifiait également qu'une simulation thermique devrait être réalisée pour mettre en évidence les choix techniques et architecturaux ayant permis d'être le plus performant et qu'une attention particulière devra être portée sur le confort d'été.

D'autre part, le deuxième objectif était d'atteindre un bilan écologique global (dans l'architecture, le mode constructif, les matériaux et le chantier) « le plus neutre possible ». Le programme incitait donc à l'utilisation de matériaux écologiques et dont l'impact sur l'environnement est faible et imposait le bois comme mode constructif. De plus, une analyse environnementale détaillée de l'ensemble des matériaux

utilisés devait être fournie à l'APS pour permettre de comparer différentes solutions afin de ne retenir que la plus pertinente.

4.3 CHRONOLOGIE DU PROJET

La chronologie des différentes étapes du projet du groupe scolaire Abdelmalek Sayad est décrite ci-dessous :

- **Janvier -Mai 2009** : Elaboration du programme et du dossier concours
- **Juin 2009– Février 2010** : Concours et désignation du lauréat
- **Mars – Mai 2010** : APS
- **Juillet – Octobre 2010** : APD
- **Novembre 2010 – Février 2011** : PRO – DCE
- **Mars 2011 – Juin 2011** : Appel d'offres
- **Septembre 2011- Février 2013** : Chantier
- **Juin 2013** : Livraison du bâtiment

4.4 ARCHITECTURE, BIOCLIMATISME ET DESCRIPTION DES SYSTEMES

Les caractéristiques du groupe scolaire proposé par les lauréats du concours (Nicolas Favet Architecture, CORETUDE, LesEnR, BIIC, Pascal Loison, Perichimie, Gamba Acoustique) sont détaillées dans les paragraphes suivants.

4.4.1 Architecture

Le groupe scolaire se divise en quatre parties différentes :

- Une partie maternelle,
- Une partie Primaire,
- Une partie Cuisine et salles à manger (primaire et maternelle)
- Une partie Locaux annexes

Le centre de loisirs est réparti sur deux niveaux du bâtiment (Rez-de-chaussée et 1^{er} étage) et comporte différentes salles de vie et des ateliers.

Le bâtiment se compose de 2 niveaux d'élévations et inclut également deux logements de fonction à l'étage qui n'ont pas été traités séparément du groupe scolaire ainsi qu'un sous-sol accueillant un parking public pour la ZAC.

Le détail et l'affectation des différents locaux sont précisés dans le tableau suivant :

Volume	Nature/fonction des locaux
Sous-sol en parking	Parkings public et locaux techniques
Rez de chaussée	Restauration, salles de classes maternelles, bloc sanitaire, direction, préau primaire, salles du centre de loisirs...
1er étage	Salle de classes primaire et maternelle, bloc sanitaire, salles du centre de loisirs, logement de fonction...
Terrasse	Toit shed

TABLEAU 20 : DETAIL ET AFFECTATION DES DIFFERENTS LOCAUX



Rez de chaussée

FIGURE 42 : PLAN DU REZ-DE-CHAUSSEE



Etage

FIGURE 43 : PLAN DU PREMIER ETAGE

4.4.2 Enveloppe et performance

L'une des contraintes imposée par la maîtrise d'ouvrage était de concevoir le bâtiment avec une structure en ossature bois. Les principales caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment et les performances globales et spécifiques de chaque paroi sont détaillées dans le tableau suivant :

Parois		Isolant	Epaisseur (mm)	Conductivité (W/(m.K))	Résistance thermique (m ² K/W)	
Murs extérieur ossature bois ITE	Structure du mur extérieur (24%)	bois léger	20	0,15	3,96	6,24
		fibres de bois	10	0,04		
	Isolation du mur extérieur (76%)	fibres de bois	20	0,04	7,63	
		fibres de bois	10	0,04		
Mur béton ITE		béton plein	20	1,75	4,43	
		Fibres de bois	20	0,04		
Cloison		Bois léger	2	0,15	2,76	
		Fibres de bois	10	0,04		
		Bois léger	2	0,15		
Plancher bas		Béton lourd	35	1,75	3,25	
		Europlus Lambda	10	0,033		
		Chape liquide	6	2,5		
Plancher intermédiaire		Bois lourd	28	0,23	2,61	
		Polystyrène expansé	5	0,13		
		Chape liquide	8	0,039		
Toit shed		Toiture photovoltaïque	2,5	0,05	11,63	
		Polystyrène extrudé	10	0,035		
		Laine de bois	30	0,038		
Toiture terrasse		Polystyrène extrudé	10	0,035	11,63	
		Laine de bois	1,5	0,33		

TABLEAU 21 : CARACTERISTIQUES DES PAROIS OPAQUES DU GROUPE SCOLAIRE ABDELMALEK SAYAD

Isolation du bâti			
Ubât (W/m ² .K)	Ubâtref (W/m ² .K)	Gain (%)	Ubâtmax (W/m ² .K)
0,327	0,598	45,32%	0,900

TABLEAU 22 : ENVELOPPE ET PERFORMANCE, RESULTATS DE LA RT

Des carnets de détails de chaque angle du bâtiment ont également été réalisés par l'agence d'architectes dans l'objectif de réduire autant que possible les ponts thermiques.

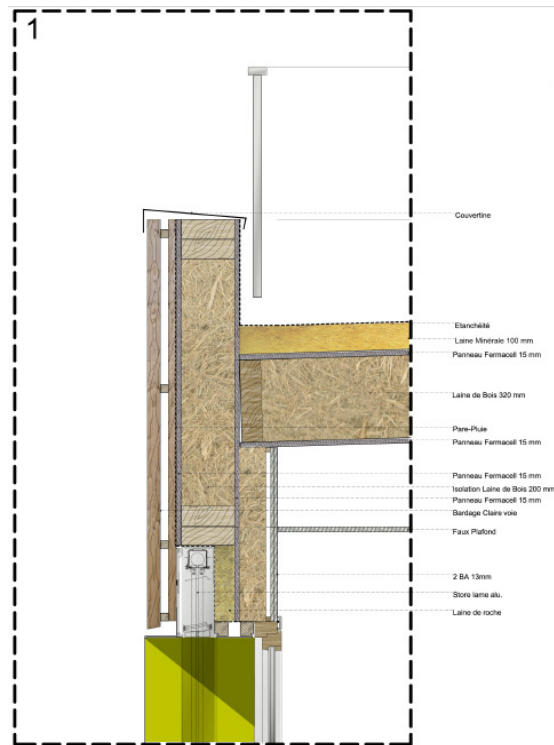


FIGURE 44 : DETAIL D'UN ANGLE DU GROUPE SCOLAIRE

Enfin, plusieurs tests d'étanchéité à l'air seront mis en place dans le but de contrôler que celle-ci ne dépasse pas le seuil de $0,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ fixé par le cahier des charges. Des tests d'étanchéité seront ainsi réalisés en cours de chantier et en fin de chantier jusqu'à ce que l'étanchéité désirée soit respectée. Les tests supplémentaires nécessaires ainsi que les corrections des problèmes d'étanchéité seront à la charge des entreprises responsables.

4.4.3 Systèmes de production de chaleur et d'ECS : le réseau de chaleur

C'est le groupement Cofely – Lyonnaise des Eaux, filiales de GDF Suez, qui a remporté le contrat de concession de 25 ans pour concevoir, réaliser et exploiter le réseau de chaleur de la ZAC Saint Geneviève qui alimente entre autre le groupe scolaire Abdelmalek Sayad.

Ce réseau de chaleur est alimenté à 53% par des énergies renouvelables, dont la répartition initiale prévue était de 39% par le procédé Degrés Bleus® qui récupère la chaleur des eaux usées (eau des cuisines, des salles de bains...) et 14% par la géothermie. Récemment, le potentiel de chaleur récupérable sur eaux usées s'est révélée moins important que les premières estimations et de la géothermie sur sondes a donc été envisagé en complément pour respecter un taux d'EnR de plus de 50% du réseau de chaleur. Par rapport à une solution aux énergies fossiles, ce réseau de chaleur permettra d'éviter l'émission de 13 500 tonnes de CO₂/an au total et permettra également aux abonnés de bénéficier d'une TVA à taux réduit (5,5%).

Mémo chiffres-clés	
Surface du quartier	5 ha
Nombre de logements	650
Longueur du réseau de chaleur	800m, avec 14 sous-stations ou « postes de livraisons »
Puissance des pompes à chaleur	800 kW
Taux d'énergie renouvelables	53 %
Emissions de CO2 évitées/an	13 500 tonnes

TABLEAU 23 : CHIFFRES CLES DU RESEAU DE CHALEUR DE NANTERRE

Degrés Bleus

Le dispositif Degrés bleus proposé par la Lyonnaise des eaux s'adresse aux communes, aux copropriétés et aux gestionnaires de bâtiments collectifs (HLM, maisons de retraite, hôpitaux...). Le principe de ce dispositif est de récupérer les calories des eaux usées via un échangeur qui est placé au fond des canalisations d'eaux usées et les transférer à un fluide caloporteur. Ce fluide alimente ensuite une pompe à chaleur qui assure le chauffage du bâtiment.

Ce dispositif avait déjà été installé à plusieurs reprises (pour la piscine de Levallois-Perret, à l'hôtel de ville de Valenciennes, à l'hôtel de communauté à Bordeaux pour le chauffage et le rafraîchissement...) mais celui-ci n'avait jamais été installé à une échelle aussi importante que pour le réseau de chaleur de l'écoquartier de Saint Geneviève à Nanterre. En effet, le système a nécessité le déploiement de plus de 200 mètres d'échangeur dans les canalisations d'eaux usées sous l'avenue George Clemenceau et l'installation de pompes-à-chaleur d'une puissance totale cumulée de 800 kW

4.4.3.1 La géothermie :

La géothermie utilisée pour alimenter le réseau de chaleur de Nanterre est appelé géothermie « très basse énergie » du fait de la faible profondeur de forage (environ 80m). La technologie consiste à remonter l'eau d'une des nappes superficielles, de récupérer ses calories grâce aux pompes à chaleur, puis de réinjecter cette eau directement dans la nappe. A titre d'information, la température de l'eau au niveau du forage est de 14°C pour Nanterre.

La composition du sol francilien est très favorable à la géothermie basse énergie avec des installations facilement intégrable avec le paysage urbain. Ainsi, à la fin 2010, près d'une centaine d'opération de géothermie « très basse énergie » était recensée en Ile-de-France ainsi qu'une trentaine d'opération de géothermie plus profonde (sur le Dogger) qui alimentaient des réseaux de chaleur de grande taille.

Le schéma ci-dessous illustre le fonctionnement général du réseau de chaleur, de la récupération de chaleur sur eaux usées et de la géothermie.

4.4.3.2 Sous-stations :

La sous-station du groupe scolaire Abdelmalek Sayad se composera de deux échangeurs :

- Un échangeur permettra l'alimentation du réseau de plancher chauffant basse température et des batteries à eau chaude des CTA, et aura une puissance de 185 kW avec un régime de température au seconde de 50°C/30°C.
- Un deuxième échangeur permettra l'alimentation du réseau d'ECS et aura une puissance de 20 kW avec un régime de température au secondaire de 60°C/40°C.

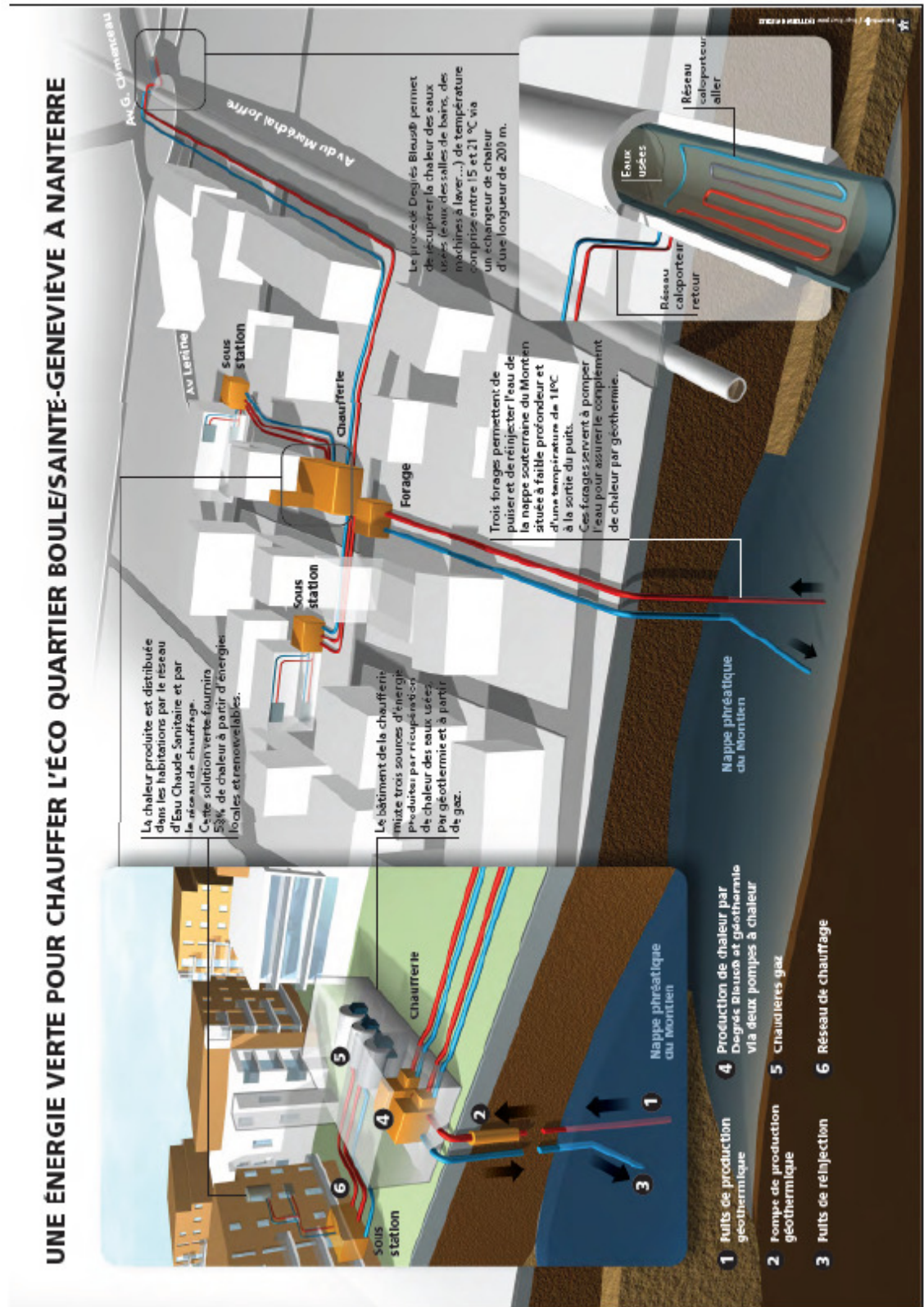


FIGURE 45 : FONCTIONNEMENT DU RESEAU DE CHALEUR DE L'ÉCO QUARTIER BOULE/ SAINTE GENEVIEVE DE NANTERRE (SOURCE: DOSSIER DE PRESSE DU 18 MARS 2011)

4.4.4 Systèmes de ventilation

Les principes de ventilation par locaux sont les suivants :

- Les locaux du groupe scolaire (salles de classe, bureaux...) et du centre de loisirs (salles de vie, ateliers...) seront ventilés par un système de type double flux avec grilles d'amenée et de reprise d'air murales ou en plafonnier
- Les sanitaires, réserves et vestiaires seront ventilés par un système simple flux permanent avec bouches d'extraction des locaux concernés,
- Les salles de restauration maternelles et primaires seront ventilées par un système double flux avec bouche d'amenée et de reprise d'air en plafonnier
- Les locaux de préparation du restaurant seront ventilés par des hottes d'extraction pour extraire l'air viciée et une CTA apportera l'air neuf nécessaire,
- Les locaux techniques au sous sol seront ventilés par un système simple flux permanent
- Les deux logements seront ventilés par un système simple flux avec bouches d'extraction hygrorégulables placées dans les cuisines et sanitaires et amené d'air neuf par les huisseries

La liste des CTA installées au sein du groupe scolaire Abdelmalek Sayad est détaillée dans le tableau ci-dessous ainsi que leurs débits respectifs :

CTA	Débit soufflage (m ³ /h)	Débit reprise (m ³ /h)	Batterie à eau chaude sur CTA (50/30°C)
CTA SWEGON GOLD RX70	18 730	18460	Puissance chaud de 63kW
CTA SWEGON GOLD RX25	6 860	6860	Puissance chaud de 23kW
CTA SWEGON GOLD RX25	6750	6750	Puissance chaud de 23kW
CTA SWEGON GOLD SD20	15300	9700	Puissance chaud de 20KW

TABEAU 24 : LISTE DES CTA PRESENTES ET DEBITS ASSOCIES

D'autre part, afin de garantir la qualité sanitaire de l'air et diminuer les consommations énergétiques liées au poste de ventilation, toutes les salles de vie ont été conçues pour disposer d'un système de ventilation naturelle transversale. Une surventilation nocturne est également prévue.

4.4.5 Production d'énergie

La production d'électricité pour compenser les consommations énergétiques du groupe scolaire Abdelmalek Sayad doit être assurée par approximativement 750 m² de panneaux photovoltaïques qui permettront de produire approximativement 96 000 kWh soit une production de 49 kWh/m²SHON/an.

4.4.6 Rafraîchissement passif ou « géocooling »

On désigne sous le terme de géocooling, l'utilisation directe de la température du sous-sol (avec interposition d'un échangeur) sans utilisation de la pompe à chaleur. Lorsque les locaux nécessitent un rafraîchissement pour des questions de confort d'été, les bâtiments équipés de plancher chauffant, plafond chauffant ou de ventilo-convecteur peuvent alors faire circuler de l'eau « froide », à une température inférieure à celle du bâtiment, dans les circuits de chauffage/rafraîchissement et ainsi améliorer le confort d'été.

Le rafraîchissement ainsi produit ne consomme que très peu d'énergie. La seule énergie consommée est en effet l'électricité nécessaire au fonctionnement des pompes de circulation. Cette technologie permet de traiter la majorité des besoins de rafraîchissement des bâtiments public ou tertiaires et se prête tout à fait à un groupe scolaire où les besoins de froid sont très faibles.

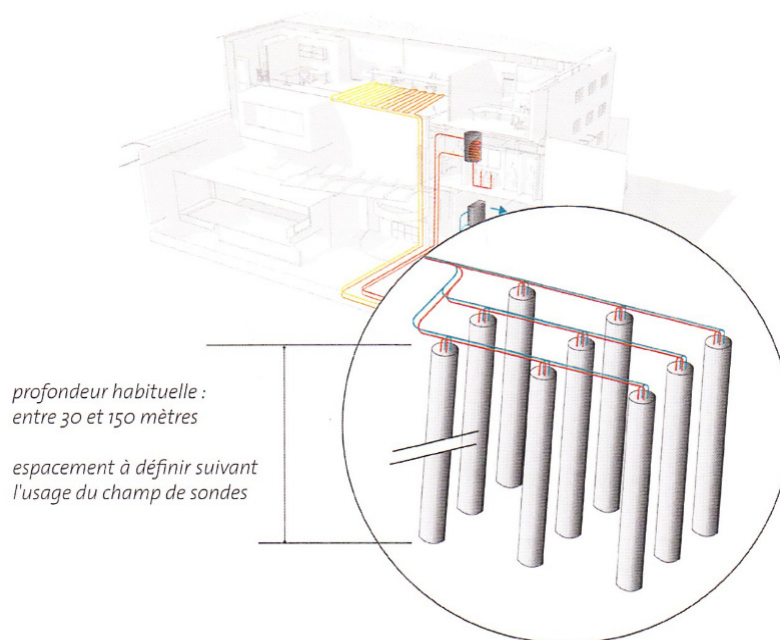


FIGURE 46 : SCHEMA CONCEPTUEL SIMPLIFIE DU CHAMP DE SONDES PERMETTANT LE GEOCOOLING (SOURCE: BRGM)

Il avait initialement été prévu en option que huit sondes géothermiques verticales sous le parking soient mises en place. Les sondes devaient servir au rafraîchissement de certaines pièces du bâtiment, en particulier lors des pics de chaleur, en faisant circuler de l'eau froide dans le plancher chauffant et les batteries des CTA. Ces pièces sont les locaux du centre de loisir (salle plurivalente, salles de vie du R+1), les salles de classes élémentaires du R+1.

Finalement, le réseau de chaleur urbain géré par Cofely n'ayant pas suffisamment d'énergies renouvelables dans son mix de chaleur a dû intégrer des sondes géothermiques pour atteindre un taux d'EnR supérieur à 50%. Un « partenariat » a donc été mis en place entre Cofely et le groupe scolaire pour qu'une puissance froide soit fournie à ce dernier en cas de besoin de rafraîchissement de ce dernier pendant les jours exceptionnellement chauds. Le reste de l'année, les sondes géothermiques serviront à produire de la chaleur fournie par le réseau de chaleur urbain.

4.5 DONNEES ECONOMIQUES

Le détail de la décomposition du prix global et forfaitaire est présenté ci-dessous :

Lots	Chiffrage HT
Lot 1 : Installation de chantier	170 000 €
Lot 3 : Fondations Gros Œuvre	956 880 €
Lot 4 : Charpente - Structure Bois	1 612 226 €
Lot 5 et 6 : Etanchéité et couverture	688 860 €
Lot 7 bardage	530 640 €
Lot 8 : Menuiseries extérieures - Verrières - Occultations	1 334 710 €
Lot 9 : Serrureries	359 795 €
Lot 10 : Menuiseries intérieures	278 840 €
Lot 11 : Cloisons sèches - doublages - faux plafonds	1 096 658 €
Lot 12 : Peinture	337 103 €
Lot 13 : Carrelages - Sols minces - Chapes	550 958 €
Lot 14 : Chauffage - Ventilation	950 180 €
Lot 15 : Plomberies - Sanitaires	275 872 €
Lot 16 : Electricité - Courants forts - Courants faibles	724 043 €
Lot 17 : Ascenseur	39 000 €
Lot 18 : Panneaux photovoltaïques	876 584 €
Lot 19 : Mobilier	380 156 €
Lot 20 : Espaces verts	318 484 €
TOTAL HORS PARKING	11 480 988 €
TOTAL PARKING	1 260 307 €
TOTAL COMPRIS PARKING	12 741 294 €
Lot 2 : Dépollution	
mini	1 303 132,00 €
maxi	1 836 824,00 €
TOTAL COMPRIS PARKING + DEPOLLUTION	14 044 427,00 €
TOTAL GROUPE SCOLAIRE + PARKING	14 578 119,00 €

TABLEAU 25 : CHIFFRAGE ECONOMIQUE DU GROUPE SCOLAIRE ABDELMALEK SAYAD

4.6 ANALYSE DES ETUDES THERMIQUES : ETUDE RT, BILANS ENERGETIQUES ET SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

4.6.1 Etude thermique réglementaire RT 2005

Les tableaux suivants présentent les principaux résultats de l'étude thermique réglementaire RT 2005 effectué pour le groupe scolaire Abdelmalek Sayad :

Isolation du bâti			
Ubât (W/m ² .K)	Ubâtréf (W/m ² .K)	Gain (%)	Ubâtmax (W/m ² .K)
0,327	0,598	45,32%	0,900

TABLEAU 26 : ENVELOPPE ET PERFORMANCE (ETUDE RT)

Température intérieure conventionnelle		
Usage	Tic (°C)	Ticréf (°C)
Restauration	29,59	32,16
Enseignement	30,06	33,26
Bureaux	30,66	33,07

TABLEAU 27 : TEMPERATURE INTERIEURE CONVENTIONNELLE (ETUDE RT)

Consommation en énergie primaire				
Poste de consommation	Energie primaire (kWhep/m ² SHON)		Gain	Energie finale (Kwhef/m ² SHON)
	projet	référence (RT)		
Chauffage	13,45	50,08	73%	13,45
Climatisation	0	0	0%	0
Production d'ECS	4,42	4,39	-1%	4,42
Ventilation	15,48	16,95	9%	6
Eclairage	9	27,39	67%	3,49
Auxiliaires	1,03	2,08	50%	0,4
Cep total	43,38	100,89	57%	27,76
Production photovoltaïque	48,96	0		18,96
BILAN	-5,58			8,8

TABLEAU 28 : CONSOMMATIONS EN ENERGIE PRIMAIRE (ETUDE RT)

Répartition des consommations énergétiques prévisionnelles en énergie primaire (RT 2005)

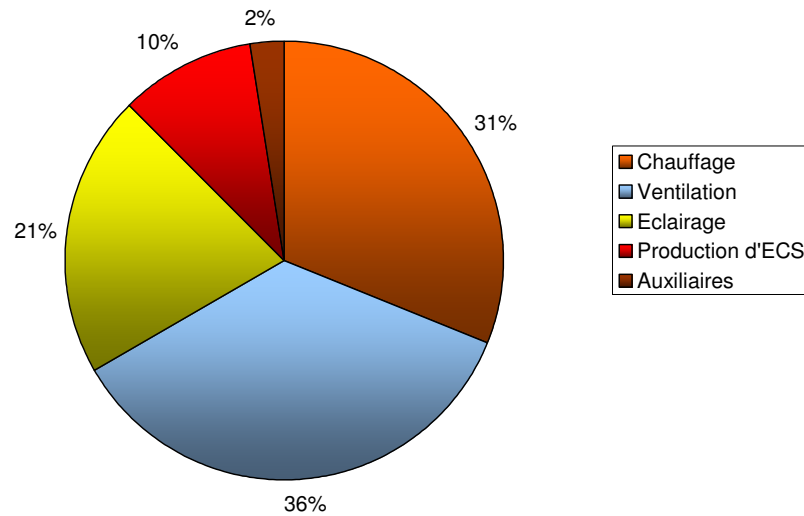


FIGURE 47 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES EN ENERGIE PRIMAIRE (ETUDE RT)

Au vu des résultats précédents, les postes de ventilations et chauffage représentent les postes les plus énergivores (respectivement 36% et 31%). Il reste cependant important de rappeler que ces deux postes sont corrélés d'une certaine manière puisqu'un préchauffage de l'air est assuré par les CTA. Les consommations énergétiques liées à ce préchauffage sont de ce fait comptabilisées pour le poste de ventilation alors qu'il s'agit pourtant d'un besoin de chaleur.

L'éclairage représente également un poste important avec près de 21% des consommations totales d'énergie du bâtiment. Les consommations d'ECS restent quand à elles relativement faible, ce qui paraît relativement classique pour un groupe scolaire.

4.6.2 Simulation Thermique Dynamique:

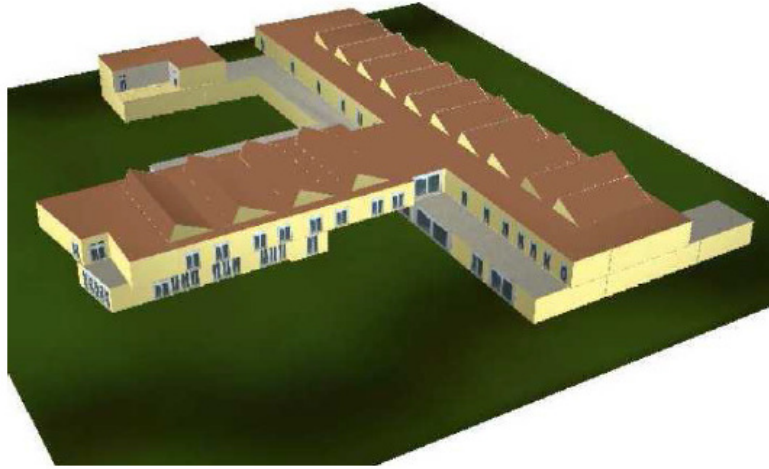


FIGURE 48 : MODEL 3D DU GROUPE SCOLAIRE ABDELMALEK SAYAD POUR LA STD

L'analyse de la simulation thermique dynamique a permis d'identifier les puissances nécessaires de chauffage pour le groupe scolaire :

- Déperdition du bâtiment : 111kW,
- Surpuissance : 74kW,
- Production d'ECS cuisine : 20kW,

D'où une puissance totale nécessaire en sous-station de 205 kW.

Le bilan énergétique global est représenté ci-dessous :

Zones	Besoins de chauffage (kWh)	Besoins de chauffage (kWh/m ²)	Puissance chauffage (kW)
Salle de vie RDC	6 722	27	24 674
Salle de vie R+1	7 815	21	28 271
Circulation RDC	15 355	27	55 941
Documentation	4 315	23	12 610
Circulation R+1	6 810	11	25 269
Salles M1 à M3	2 723	13	20 511
Salles M4 à M6	2 092	11	17 277
Salle plurivalente	4 209	29	12 246
Atelier bricolage	1 886	39	3 936
Psychomotricité	4 480	30	15 028
Hall principal	0	0	0
Salle de repos	4 087	31	12 839
Bureaux R+1	2 547	22	12 060
Salles maître R+1	635	21	2 511
Salle E5 à E9	4 534	15	24 631
Salles E1 à E4	3 841	14	23 723
Cantine préparation	5 947	24	23 832
Cantine élémentaire	3 571	18	19 524
Locaux non chauffés	0	0	0
Bureaux RDC	2 274	50	4 510
Cantine maternelle	2 470	24	10 364
TOTAL	86 313	21	349 757

TABLEAU 29 : BILAN ENERGETIQUE GLOBAL

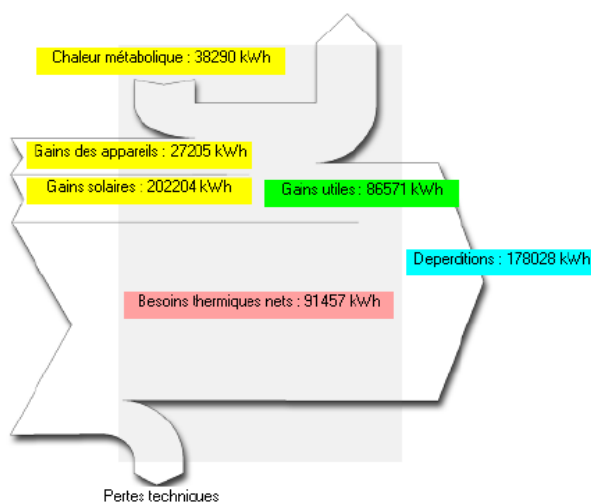


FIGURE 49 : BILAN ENERGETIQUE

On remarque une différence conséquente entre les besoins de chauffage estimé par la STD et par la RT (20,7kWh/m² pour la STD et 10,1 kWh/m² pour la RT concernant le chauffage). Ces différences peuvent être expliquées par des différences de scénarios de chauffage et de prise en compte des apports.

La STD prend en compte une base de température de 20°C quand le bâtiment est occupé alors que la RT fixe une valeur réglementaire de 19°C. Cette différence de 1°C provoque une différence de besoins de chaleur de près de 10 000 kWh sur l'ensemble du bâtiment. Ainsi, pour une température de consigne de 19°C, les résultats des besoins de chaleur de la STD seraient de 17,9 kWh/m².

D'autres facteurs peuvent également être pris en compte et expliquer la différence restante :

- La prise en charge dans la RT du réchauffement de l'entrée d'air au niveau des CTA grâce aux ventilateurs, avant même l'échange par le récupérateur
- Les apports par éclairages et appareils

Au final, les besoins réels de chauffage retenus pour le bilan thermique décrits dans le prochain paragraphe sont les besoins de chauffage calculé sur la base du calcul RT. La STD a principalement servi à vérifier le confort des occupants l'été et a simulé plusieurs scénarios de composition des parois, vitrages afin de trouver le meilleur compromis.

4.6.3 Bilan énergétique :

Le bilan énergétique global du groupe scolaire Abdelmalek Sayad est présenté ci-dessous :

SYNTHESE DU BILAN ENERGETIQUE		Consommations en kWhep/an	Consommations en kWhep/m ² /an
Chauffage		50 984	10,07
Production ECS		22 480	4,44
Ventilation		63 591	12,56
Eclairage		77 363	15,28
Auxiliaires		3 747	0,74
TOTAL CONSOMMATIONS RT 2005 ENERGIE PRIMAIRE		218 165	43,09
Informatique	PC	10 836	2,14
	Serveur	1 032	0,20
Bureautique	Copieurs	5 571	1,10
	Imprimantes	1 109	0,22
	Divers appareils en charge	516	0,10
Cuisine personnel	Micro-onde	2	0,00
	Machine à café	413	0,08
	Bouilloire	217	0,04
	Réfrigérateur	1 496	0,30
	Aspirateur	3 612	0,71
Monte personnes		671	0,13
Projecteur vidéo		535	0,11
TOTAL CONSOMMATIONS FONCTIONNEMENT ENERGIE PRIMAIRE		26 009	5,14
CONSOMMATION TOTALE ENERGIE PRIMAIRE		244 174	48,23
PRODUCTION PHOTOVOLTAIQUE		-247 682	-48,92
BILAN ENERGETIQUE		-3 507	-0,69

TABLEAU 30 : SYNTHESE DU BILAN ENERGETIQUE

Remarque : les consommations de la partie restauration ne sont pas prises en compte. Ces dernières ont été évaluées à approximativement 37 000 kWh_{ef}, soit près de 95 000 kWh_{ep}/an en considérant un coefficient de conversion énergie primaire/énergie finale de 2,58.

D'autre part, rappelons que les besoins de chaleurs utilisés dans le bilan énergétique sont ceux estimés via l'étude thermique réglementaire.

Au final, la consommation énergétique théorique en énergie primaire du groupe scolaire est de -0,7 kWh_{ep}/m² SHON/an. Le projet étant encore en phase de construction, il n'est pas encore possible de disposer d'un retour d'expérience des consommations énergétiques réelles du groupe scolaire mais des campagnes de mesures et de contrôle ont été prévues.

4.7 INTERVIEW DES ACTEURS DU PROJET

4.7.1 Interview de Nicolas FAVET, Directeur de l'agence Nicolas Favet Architectes

- *Aviez-vous déjà réalisé des opérations BEPOS ?*

Oui, le cabinet d'architecte avait déjà réalisé un bâtiment dont l'objectif de performance énergétique était le BEPOS. Il ne s'agissait cependant pas d'un groupe scolaire mais du siège du Syndicat Départemental de l'Energie de Saône-et-Loire à Mâcon. Les objectifs de ce bâtiment étaient également très ambitieux puisqu'il était prévu dans le programme de construire un bâtiment remarquable en matière de qualité environnementale, performant énergétiquement, respectant les principes de la démarche HQE ainsi que le principe de Zéro Carbone (carbone stocké supérieur au carbone émis pour la construction et l'exploitation).

- *La réalisation d'un BEPOS représentait-elle une motivation supplémentaire pour gagner ce concours ?*

Le fait de travailler à la conception et réalisation d'un bâtiment aussi innovant d'un point de vue environnemental représentait évidemment une source de motivation supplémentaire pour M. FAVET et son équipe. D'autre part, d'après lui, le budget permettait d'innover, d'être pionnier sur de nouvelles technologies et d'aller beaucoup plus loin dans la performance énergétique et environnementale que pour le SYDESL (Syndicat de l'énergie de Saône-et-Loire) à Mâcon.

- *Quels sont les éléments qui, d'après vous, vous ont permis de remporter le concours ?*

Le fait d'avoir déjà réalisé le siège du SYDESL qui est un bâtiment BEPOS a évidemment renforcé notre candidature et a certainement joué un rôle important dans notre victoire même s'il ne s'agit pas d'un groupe scolaire.

- *Les échanges avec les BE, et particulièrement le BE Thermique et Fluide, ont-ils été plus fréquents que pour un projet classique ? Sont-ils intervenus plus en amont ?*

Le cabinet d'architecte Nicolas Favet a des compétences internes importantes en ingénierie environnementale ce qui a permis de simplifier nettement les échanges techniques entre les acteurs du projet. En effet, approximativement 90% des calculs thermiques (simulation thermique dynamique, conception bioclimatique, etc..) ont été réalisés en interne du cabinet d'architecture tandis que les 10% restants étaient à la charge du bureau d'étude thermique Coretude.

D'autre part, une grande partie sur la performance énergétique avait déjà été réalisée dès la phase concours ainsi que les études liées à la production photovoltaïque en toiture. Plusieurs scénarios avaient ainsi déjà été étudiés à la phase concours à travers des simulations thermiques dynamiques : scénarios de compacité, implantation du bâtiment, conception bioclimatique, effet de masque. Le terrain destiné au groupe scolaire est très exigu ce qui rendait l'implantation du bâtiment très complexe. De plus, le cabinet d'architecture dispose également d'un outils développé en interne qui permet d'évaluer la performance énergétique du bâtiment dès l'esquisse à partir des caractéristiques principales du bâtiment. Il s'agit donc d'un travail très en amont.

En phase APS et APD, plus d'une centaine de scénarios constructifs ont également été testés par simulation thermique dynamique afin d'observer l'incidence sur le coût, sur le bilan carbone, sur la performance énergétique en fonction de l'épaisseur d'isolation et du type d'isolant, sur le confort d'été des occupants... Une grande partie du travail concernait le bilan carbone de la construction du bâtiment et sur l'énergie grise des matériaux. Le bois permettait d'améliorer nettement le bilan carbone « construction » par rapport à une structure béton sans toutefois nuire à la performance énergétique du bâtiment (du fait de la

plus faible inertie thermique des parois). Une fois la phase concours validé, il s'agissait principalement d'« optimisation ».

- *Quelles ont-été les principales difficultés que vous avez rencontrées ?*

La difficulté principale, selon M. FAVET ne concerne pas l'atteinte du niveau de performance énergétique BEPOS puisqu'il s'agit en fait simplement d'une production photovoltaïque. Tout bâtiment, même une « passoire énergétique », est capable d'être BEPOS s'il dispose de suffisamment de place en toiture pour y installer des panneaux photovoltaïque. La vraie difficulté est donc de concevoir un bâtiment peu consommateur en énergie, du niveau d'un bâtiment « passif » avec une enveloppe performante, une implantation bioclimatique réfléchie, des systèmes de production énergétique performant. Une fois, le bâtiment passif conçu, il ne reste plus qu'à s'assurer que la surface photovoltaïque installée permettra de compenser les consommations énergétiques du groupe scolaire.

- *Avez-vous rencontré des difficultés d'ordre budgétaire ou technique : budget pas assez important vis-à-vis des objectifs, nombre d'études et de justificatifs très lourds ?*

Non, le budget avait été calculé en prenant bien en compte l'exemplarité du groupe scolaire que la ville voulait construire. Au final, même si le budget s'est révélé juste à la fin, il était suffisamment conséquent pour réaliser un très bon bâtiment.

- *Une option de refroidissement par PAC sur champs de sondes avait été proposée, quels étaient les raisons de cette proposition et a-t-elle été retenue ?*

Les simulations thermiques dynamiques permettent d'évaluer le confort d'été des occupants mais il s'agit de simulations basées sur des moyennes de températures extérieures. Ces scénarios ne prennent rarement en compte les scénarios critiques de canicules et de fortes chaleurs. Les STD réalisées concernant le groupe scolaire de Nanterre montraient que le confort d'été était bon sur l'ensemble de l'année mais que dans le cas de très fortes chaleurs (scénarios critiques), les températures intérieures du bâtiment pouvaient devenir inconfortables. Par expérience, le cabinet d'architecture Nicolas Favet incite donc souvent les maîtres d'ouvrages à investir dans une solution de rafraîchissement passif. Le budget final du groupe scolaire permettait d'investir dans une telle solution puisqu'il restait approximativement 25 000 – 30 000 € non utilisés par rapport au budget initial.

Finalement, Cofely, qui gère le réseau de chaleur urbain a investi dans un champ de sondes géothermiques pour respecter l'objectif d'un taux d'EnR de plus de 50% sur le réseau de chaleur et pourra ainsi vendre au groupe scolaire une puissance froid lors des pics de chaleur. Le reste du temps, le champ de sonde permettra de produire de la chaleur via une pompe-à-chaleur qui sera ensuite distribuée sur le réseau urbain.

- *Quelles précautions/actions ont été mises en œuvre en ce qui concerne l'étanchéité à l'air ?*

L'étanchéité à l'air a une importance cruciale pour la conception d'une enveloppe performante. Une mauvaise étanchéité à l'air du bâtiment peut totalement fausser les consommations énergétiques estimées en phase de conception et le respect de l'objectif BEPOS est alors remis en question.

Afin de s'assurer de la bonne étanchéité à l'air du bâtiment, plus de 600 plans de détails ont été réalisés concernant la membrane d'étanchéité et les entreprises responsables du chantier avaient une obligation de résultats. D'autre part, les études thermiques ont été réalisées en prenant en considération une valeur d'étanchéité à l'air « pessimiste », c'est-à-dire inférieure à la valeur recherchée, pour qu'en cas d'anomalie, cela ne remette pas en cause l'atteinte de l'objectif BEPOS.

Plusieurs tests d'étanchéités seront également réalisés pour vérifier la conformité du bâtiment avec le cahier des charges, à la fois en cours de chantier et au moment de la livraison. Si la valeur mesurée n'est pas conforme aux exigences du CdC, les entreprises devront mettre en place des actions correctives ou payer le surplus de consommations énergétiques du bâtiment liés à la mauvaise étanchéité à l'air.

- *Avez-vous réalisé une estimation des surcoûts liés au BEPOS ou avez-vous juste intégré les différentes solutions dans l'estimation globale ?*

D'après M. Favet, il est très difficile d'estimer un surcoût lié au caractère BEPOS ou passif du bâtiment. D'une part, chaque bâtiment est unique et a ses propres caractéristiques et problématiques auquel il doit répondre. Il est donc difficile de dresser un comparatif sur la base de quelques groupes scolaire BEPOS et d'extraire de cette analyse un surcoût moyen du BEPOS par rapport à un bâtiment conventionnel. Dans le cas du groupe scolaire Abdelmalek Sayad à Nanterre, il est important de prendre en compte notamment la présence du parking souterrain qui représente une part du budget important. D'autre part, la présence d'une pollution au cyanure du terrain où se trouve le futur groupe scolaire a également nécessité des investissements importants. Il est donc délicat d'intégrer tous ces éléments qui ne sont pas présent dans les autres groupes scolaires BEPOS en Ile-de-France.

Ce qui représente le « surcoût » le plus important d'après M. Favet, ce n'est pas les dispositions prises pour respecter l'objectif BEPOS mais celle prise pour atteindre un bilan carbone construction+exploitation nul car ce deuxième objectif a conduit au choix d'une structure bois avec de la fibre de bois. Or la fibre de bois est approximativement six fois plus onéreuse qu'une laine de verre classique ayant les mêmes caractéristiques thermiques.

De plus, les panneaux photovoltaïques n'ont pas représenté un surcoût très important grâce aux aides de l'ADEME et du Conseil Régional d'Ile-de-France ainsi qu'aux économies engendrées vis-à-vis de l'étanchéité de la toiture et du prix d'une toiture zinc. Et même si un surcoût existe, il peut être rapidement rentabilisé grâce à la revente de l'électricité produite.

Les autres produits très onéreux présents dans le groupe scolaires sont les menuiseries en bois/aluminium (qui sont en moyenne deux fois plus chères que les menuiseries classiques) et les stores orientables mécaniques.

En conclusion, il n'est pas possible pour M. Favet d'estimer un surcoût spécifique à l'atteinte de l'objectif BEPOS du groupe scolaire Abdelmalek Sayad mais celui-ci n'est d'après lui pas aussi important que certaines personnes le pensent.

- *Quel est pour vous le secret pour réussir un bâtiment BEPOS ?*

Les compétences en ingénierie environnementale en interne sont un véritable atout pour réussir un projet aussi complexe selon M. Favet. Le thermicien et l'architecte n'ont pas le même regard sur le bâtiment : le thermicien se concentre essentiellement sur les données thermiques du bâtiment tandis que l'architecte a une vision plus globale. Lorsque le cabinet d'architecture a également un niveau d'expertise en thermique du bâtiment / conception bioclimatique, cela permet de considérer plus facilement le bâtiment dans sa globalité et permet de gagner en fluidité dans la conception surtout en phase esquisse/concours. Cela permet donc de gagner beaucoup de temps.

L'un des autres éléments important qui nous a permis de réussir ce projet est la présence en interne de compétences concernant la construction bois. En effet, un des directeurs techniques avait déjà beaucoup travaillé sur des chantiers en structure bois, ce qui nous a vraiment aidés lors de la conception et aujourd'hui pour le suivi de chantier.

- *Quels sont les points du projet dont vous êtes le plus fier aujourd'hui ?*

Le plus important avant tout est de concevoir un bâtiment où les utilisateurs se sentent bien au final. Au-delà de l'exemplarité énergétique et environnementale du bâtiment, le cabinet d'architecture Nicolas Favet s'est vraiment concentré sur la qualité intérieure des espaces, l'accès à la lumière naturelle dans les salles, sur les vues extérieures... et c'est l'un des points du projet dont le cabinet est le plus fier.

Le deuxième point dont M. Favet est vraiment fier concernant le groupe scolaire Abdelmalek Sayad est le travail réalisé concernant la prise en compte du bilan carbone global (construction+utilisation). Sur ce point, il y a un réel progrès par rapport aux constructions conventionnelles. Très peu de projets vont aussi loin sur cet aspect. Toutes les réflexions qui ont été menées ont permis au cabinet de vraiment progresser dans ce domaine et le retour d'expérience devrait également être instructif à tous les acteurs du secteur du bâtiment. Pour rappel, le bilan carbone sera négatif dès la livraison du bâtiment et il continuera à stocker du carbone tout au long de son utilisation.

4.7.2 Interview de Mme. COLLIGNON, Service Energie, Direction de l'architecture de la mairie de Nanterre

- *Quels étaient vos objectifs pour définir une telle exigence énergétique ? (économique, communication, volonté politique...)*

Nanterre est engagé dans une politique environnementale forte depuis un certain temps déjà, et ce projet s'inscrit donc parfaitement dans le cadre de cette dernière. Parmi les réalisations exemplaires récentes, on retrouve bien évidemment l'Institut Médical Educatif de Nanterre qui a été lauréat de l'appel à projet BBC lancé par l'ADEME et qui a reçu le 2^{ème} prix de l'édition 2010 du Grand Prix de l'Environnement. Le bâtiment avait également été sélectionné dans l'édition 2011 des Trophées Idées 92. Le choix d'une structure en ossature bois était une première à Nanterre et a été apprécié par les différents acteurs du projet.

La performance énergétique, BEPOS ou Zéro Energie, avait été proposé au bureau municipal très tôt dans le projet qui a très facilement accepté le défi. La réglementation thermique est devenue plus exigeante avec la RT 2012 et le niveau de performance BBC est devenu réglementaire. La politique environnementale de ville et la volonté de toujours faire mieux que la réglementation a immédiatement orienté le projet vers l'objectif de Bâtiment à Energie Positive.

- *Quels autres objectifs environnementaux ont été associés à ce projet ? (HQE, autres certifications, gestion de l'eau, gestion des déchets, choix des matériaux, programmation particulière)*

Une démarche HQE a été suivie tout au long du projet mais il n'y a pas à ce jour d'objectif de certification. D'après Mme COLLIGNON, la certification est utile exclusivement pour l'affichage politique ou la médiatisation qui n'était pas désiré par la ville de Nanterre. D'autre part, la certification HQE exige beaucoup de démarches administratives (audits, contrôles) qui sont souvent très longues.

- *Cela a-t-il changé votre démarche par rapport à une opération « classique » ?*

Bien que la démarche peut sembler différente par rapport à des bâtiments plus « classique », cela n'a pas été radicalement différent d'après Mme COLLIGNON car cette démarche de toujours aller « plus loin que la réglementation » et de construire des bâtiments exemplaires et performant est déjà intégré dans les équipes de la ville de Nanterre depuis 4 ou 5 ans.

Les principales différences restent le temps d'étude qui est plus long, surtout en phase esquisse où il est indispensable de prévoir les consommations énergétiques de manière précise le plus tôt possible et en phase APS où les premières études thermiques (STD et RT) sont déjà réalisés afin de confirmer les premiers résultats, et le rôle du BET Fluide qui est beaucoup plus important tout au long du projet.

- *Aviez-vous intégré cet objectif dans le budget ?*

D'après Mme COLLIGNON, il est évident que la construction d'un bâtiment BEPOS présente un surcoût non négligeable par rapport à la construction d'un bâtiment classique. Ce surcoût avait été estimé à 15-20% au lancement du projet mais celui-ci s'est révélé être plus faible. Des études économiques ont montré que le surcoût d'un bâtiment zéro énergie par rapport à un bâtiment BBC est de l'ordre de 6%. Le prix du groupe scolaire de Nanterre a été estimé à 2870€/m².

Les coûts d'exploitation du bâtiment sont également à prendre en compte car ils sont souvent plus importants pour ce type de bâtiment très performant car les systèmes sont plus complexes. La gestion de la GTC coûte relativement cher par exemple mais la réduction de la facture énergétique permet de rentabiliser largement ce surcoût d'exploitation.

- *Une organisation particulière a-t-elle été mise en place pour le concours et/ou pour la sélection des candidatures et du projet ?*

En ce qui concerne la sélection de l'équipe, le choix s'est porté sur le projet du bâtiment le plus simple et cohérent dans son ensemble. D'après Mme COLLIGNON, certains projets avaient par exemple inclus des « arbres photovoltaïques » dans l'aménagement paysager tandis que d'autres avaient des façades vitrées au Nord beaucoup trop importantes pour pouvoir respecter les objectifs de performance énergétique.

L'équipe d'architecte retenue avait déjà des compétences internes fortes dans le domaine de la qualité environnementale du bâtiment et de la performance énergétique et a donc présenté un projet cohérent dans son ensemble, à la fois simple et très performant d'un point de vue énergétique comme environnementale (ossature bois exigée)

- *Quels types de problèmes avez-vous rencontrés dans le suivi de la conception ?*

Le choix de la structure en ossature bois (composé d'un mix laine de bois/fibre de bois) a compliqué la tâche d'après Mme COLLIGNON car il est beaucoup plus compliqué de faire passer les câbles dans de telles structures. Pour résoudre ce problème, il a fallu préfabriquer la fibre de bois en atelier en prévoyant les passages des câbles. Il était également impossible de prévoir des faux plafonds pour passer les câbles car il fallait absolument garder l'inertie du plafond pour atteindre les objectifs de performance énergétique visés.

L'autre difficulté rencontrée avec des projets innovants est que beaucoup des technologies/techniques utilisées sont des premières ou des cas particuliers par rapport aux avis technique du CSTB. La communication avec ce dernier a donc du être assez importante pour résoudre de nombreux petits problèmes.

- *Quels postes de consommations ont été pris en compte vis-à-vis de l'objectif « Zéro Energie » ?*

Tous les usages ont été pris en compte à l'exception de l'espace cuisine.

- *Y avait-il des contraintes techniques imposées ?*

Le groupe scolaire avait comme principale contrainte de se raccorder au réseau de chaleur présent au sein de la ZAC dans lequel il s'intègre car ce dernier est à plus de 50% alimenté par des énergies renouvelables. Le réseau de chaleur est d'ailleurs une réalisation exemplaire en France et une première car celui-ci est alimenté en grande majorité par un système de pompes à chaleur qui récupère la chaleur des eaux usées et qui est complété par la géothermie.

- *Quelles technologies performantes ont-été retenues ou imposées du point de vue énergétique (isolation particulière, apports solaires, systèmes de production...)?*

La structure en ossature bois était en quelque sorte imposé par la maîtrise d'ouvrage tellement la volonté d'utiliser cette structure était forte depuis le projet de l'IME. Le bois apporte une dimension architecturale totalement différente du béton, et s'inscrit parfaitement dans une démarche de Haute Qualité Environnementale du bâtiment et d'analyse de cycle de vie. Même le plancher intermédiaire du groupe scolaire est en bois (avec une chape flottante pour le plancher chauffant), ce qui est très rare dans ce type de bâtiment. D'un point de vue énergétique, l'avantage de la structure en ossature bois est de réduire de manière notable les ponts thermiques.

Le choix d'une ventilation double flux était assez évident pour respecter les objectifs de consommations. Cette dernière est régulée grâce à des sondes qui vérifient la teneur en CO₂ des pièces. En ce qui concerne les débits de ventilations, ce sont les débits réglementaires qui ont été retenues.

Certaines fenêtres seront en triples vitrages mais le double vitrage devrait être conservé pour la plupart des menuiseries. Le BET communique encore avec les entreprises afin d'affiner le choix des menuiseries en doubles vitrages ou en triple vitrages.

En ce qui concerne le solaire thermique, la solution n'a pas semblé intéressante car le groupe scolaire est fermé l'été lorsque les apports solaires sont les plus importants et donc lorsque le rendement du système est le plus élevé. D'autre part, les besoins en ECS sont très faibles pour ce type de bâtiment ce qui diminue encore l'utilité d'un tel système.

Un système de Gestion Technique Centralisée (GTC) est également prévue au sein du bâtiment afin de suivre les consommations énergétiques et de gérer la ventilation, les éclairages, le chauffage... C'est la société COFELY qui sera exploitant à temps plein et qui s'occupera du contrôle de la GTC.

Un rafraîchissement passif par le plancher chauffant grâce à la sonde géothermique a également été prévu

- *Quels sont les dispositions qui ont été mises et qui seront mises en place concernant l'étanchéité à l'air du bâtiment ?*

Un test d'étanchéité à l'air sera réalisé en phase intermédiaire de chantier avant que le doublage intérieur soit mis en place et un autre sera réalisé en fin de chantier. Si les valeurs d'étanchéité à l'air ne sont pas respectées, des travaux de corrections devront être réalisés à la charge de l'entreprise concernée jusqu'à ce que les valeurs attendues soient atteintes. D'autre part, le chantier est géré en « lots séparés » ce qui permet en général d'obtenir des meilleurs résultats en ce qui concerne l'étanchéité à l'air du bâtiment.

- *Est-ce que vous êtes prêt(e) à recommencer ? A généraliser le BEPOS ?*

D'après Mme COLLIGNON, il est évident que toutes les équipes qui ont participé à ce projet aimeraient que les bâtiments BEPOS se généralisent de plus mais la conjoncture économique ne rend pas toujours possible la réalisation de bâtiments aussi performants du fait de la lourdeur de l'investissement. Cependant, le maire de Nanterre, Patrick JARRY, est très impliqué dans la démarche environnementale de la ville et très motivé par les défis énergétiques, et les probabilités que les prochains groupes scolaires de la ville soit aussi performant énergétiquement sont assez fortes d'après Mme COLLIGNON.

- *Des formations ou sensibilisations des équipes enseignantes vis-à-vis du bâtiment sont-ils prévus à la livraison du bâtiment ?*

Un guide d'exploitation du bâtiment avait été rédigé pour l'IME de Nanterre, et des actions de sensibilisation seront probablement mises en œuvre pour le groupe scolaire (Atelier pédagogique, sensibilisation des équipes enseignantes sur les ouvertures des fenêtres, formation des gardiens et du personnel d'entretien/maintenance du bâtiment...).

4.7.3 Interview de Mme Cécile JUDEAUX, chef de projet chez LesEnR, AMO du groupe scolaire Abdelmalek Sayad

- *Comment a été introduit l'enjeu BEPOS pour le projet ? Une étude de pré-faisabilité a-t-elle été réalisée ? Quels sont les critères qui ont permis de décider la maîtrise d'ouvrage à s'engager dans un bâtiment à énergie zéro ? (économique, environnemental, présence du réseau de chaleur, bioclimatique ...)*

L'entreprise LesEnR a rejoint le projet du groupe scolaire « Abdelmalek Sayad » de Nanterre au cours de l'analyse de concours et a poursuivi sa mission jusqu'à la phase de PRO/DCE et le choix des entreprises. A notre arrivée, l'objectif BEPOS avait déjà été intégré dès la programmation et les équipes participantes au

concours avaient toutes répondues en accord avec le programme en proposant des bâtiments à énergie positive avec une structure bois. Nous n'avons donc joué aucun rôle dans l'orientation du choix de la performance énergétique du bâtiment.

La ville de Nanterre est engagée dans une politique environnementale forte renforcée par l'adoption de son plan climat en 2007. Le projet du quartier « Boule/ Sainte Geneviève » s'inscrivait parfaitement dans cette démarche de développement durable avec un réseau de chaleur innovant alimenté à plus de 50% par des énergies renouvelables. Le choix de la réalisation d'un groupe scolaire BEPOS a par conséquent été effectué assez facilement en interne par la ville de Nanterre et avant que l'AMO n'arrive dans le projet.

- *Quel a été votre rôle dans l'accompagnement des bureaux d'études (fluide, énergie, structure bois...)? Avez-vous apporté des remarques par rapport aux études thermiques réglementaires ou aux Simulation Thermique Dynamique notamment ?*

Le rôle des simulations thermiques dynamiques et des bilans thermiques pour ce type d'opération est encore plus important puisqu'on vise une efficacité énergétique du bâti très élevé. Il faut donc envisager plus de scénarios énergétiques et analyser chacun d'eux dans l'objectif de trouver l'optimum. Ces analyses demandent alors beaucoup d'échanges entre les différentes équipes.

D'autre part, en plus des nombreux scénarios étudiés pour éviter la surchauffe estivale et pour analyser l'impact du choix des matériaux sur les besoins de chauffage et le confort thermique, deux logiciels de STD ont été utilisés afin de confronter les résultats. Une simulation avait ainsi été réalisée à partir du logiciel Pléiade Comfie par le bureau d'étude fluide Coretude tandis qu'une autre simulation a été réalisée à partir du logiciel Design Builder par l'agence d'architecture Nicolas Favet. La deuxième simulation a notamment permis de prendre en compte de manière plus précise les flux d'air et plus particulièrement la ventilation naturelle.

- *Y a-t-il une personne moteur qui a particulièrement porté le projet et qui a ainsi facilité la réalisation du projet ? (le maire, une personne de la MOA)*

L'équipe de MOE du projet était très motivée par l'ambition BEPOS du groupe scolaire et a donc vraiment porté le projet. La deuxième simulation thermique dynamique réalisée par l'agence d'architectes est un exemple de l'engagement et de la motivation de la MOE puisque la première simulation aurait pu suffire.

D'autre part, M.COLLIGNON de la Direction de l'architecture de la ville de Nanterre a également joué un rôle très important dans le bon déroulement du projet en apportant beaucoup de remarques et de propositions. Lorsque la MOE et la MOA sont aussi impliquées dans un projet et soucieuses des enjeux énergétiques et environnementaux de celui-ci, les différents problèmes rencontrés sont rapidement résolus.

- *Comment définissez-vous le rôle de l'AMO dans des opérations aussi ambitieuses ?*

Le rôle de l'AMO est de suivre la conception technique du bâtiment dès la phase amont et d'analyser les études thermiques (STD, RT) mais il est surtout de rappeler aux équipes que l'objectif BEPOS ne doit pas être atteint au détriment de la qualité de l'air, du confort thermique, du confort visuel, etc. Le programme du groupe scolaire spécifiait deux grands objectifs environnementaux : la réalisation d'un bâtiment à haute performance énergétique atteignant un niveau de performance Zéro énergie et dont le bilan écologique global soit le plus neutre possible en imposant la construction bois. Il était important de se rappeler à chaque étape du projet que d'autres critères étaient également indispensables à la conception d'un bâtiment réussi et qu'il ne fallait pas rester trop focalisé sur l'objectif « zéro énergie ».

- *Quels sont les principales différences dans la démarche par rapport à une opération classique ?*

La conception d'un groupe scolaire BEPOS ou Zéro énergie demande plus de travail en phase amont. Pour le projet du groupe scolaire « Abdelmalek Sayad », les premières simulations thermiques dynamiques ainsi que les études réglementaires thermiques ont ainsi été réalisées dès la phase d'APS ce qui n'est généralement pas le cas pour un bâtiment « classique ». Les simulations étaient ensuite précisées à chaque phase avec une analyse de multiples scénarios pour atteindre la meilleure performance énergétique tout en portant une attention particulière au confort d'été. Cela demande donc beaucoup plus de travail en amont mais ensuite il n'y a pas une grande différence par rapport à un autre projet de groupe scolaire.

- *Y avait-il des contraintes techniques imposées ? (Raccordement au réseau de chaleur EnR ...)*

La principale contrainte technique du point de vue de l'énergie était le raccordement au réseau de chaleur de la ZAC Sainte Geneviève mais il s'agissait en réalité plutôt d'une opportunité puisque ce dernier est alimenté à plus de 50% par des énergies renouvelables ce qui facilitait l'atteinte de l'objectif Zéro énergie pour le groupe scolaire.

Des problèmes de pollutions des sols nous ont également contraints dans le choix des systèmes de ventilation puisqu'un système de puits canadien n'était par exemple pas possible du fait de la présence de géomembranes.

Enfin, la dernière contrainte a été la construction bois qui posait des contraintes au niveau du respect des normes incendies. Il a ainsi fallu beaucoup partagé avec le bureau de contrôle afin de choisir l'isolant (laine de bois ou fibre de bois) représentant le meilleur compromis entre caractéristiques thermiques, acoustiques et résistance au feu.

- *Avez-vous joué un rôle dans le choix des solutions techniques (double flux, sur ventilation nocturne, ventilation naturelle) ?*

Le rôle de l'AMO dans ce projet était d'analyser avec les bureaux d'étude les simulations thermiques dynamiques pour guider les choix des solutions technologiques. Nous avons également proposé certains scénarios de STD qu'il paraissait judicieux d'intégrer à l'étude. C'est un dialogue et un partage d'idées qui doit se mettre en place entre l'AMO et la MOE afin d'envisager un maximum de choix techniques possibles et de choisir le ou les meilleurs.

- *Avez-vous rencontré des difficultés particulières au cours de la conception ? (difficulté à compenser la consommation énergétique ?)*

La principale difficulté rencontrée était liée au confort d'été. Il a fallu réaliser de nombreux scénarios de simulation thermique dynamique pour atteindre un taux d'inconfort raisonnable et une solution de rafraîchissement passif par pompe à chaleur sur sonde a été également choisie en complément.

Un débat avait également eu lieu à propos de la température limite de confort thermique. En effet, cette température est définie à 28°C dans le cas d'un bâtiment HQE mais la typologie du bâtiment n'est pas forcément bien prise en compte. Dans le cas du centre de loisir du groupe scolaire par exemple, une température de 28°C paraît acceptable du fait que les enfants passent beaucoup de temps à l'extérieur de la salle. Toute une réflexion a donc été portée sur cette problématique de confort d'été.

D'autre part, la ventilation naturelle a également joué un rôle important pour le confort d'été car celle-ci était impossible à simuler avec certains logiciels de STD et il a donc fallu avoir recours à d'autres outils plus perfectionnés pour valider les consommations énergétiques et les températures intérieures simulées.

- *S'agit-il d'une compensation des consommations d'énergie primaire ou d'énergie finale ? De tout les postes de consommations ou seulement des postes de consommations réglementaires ?*

L'objectif énergétique du projet est de compenser les consommations énergétiques des postes réglementaires en énergie primaire. La définition choisie du BEPOS est donc similaire à celle définie dans le cadre de l'appel à projet BEPOS de l'ADEME, il ne s'agit pas de compenser toutes les consommations énergétiques du fait que les consommations d'électricités spécifiques ne sont pas à compenser. Ces dernières ont cependant été prise en compte et estimées afin d'être réduites au maximum. Un travail a donc été effectué sur l'ensemble des consommations énergétiques.

En ce qui concerne les coefficients de conversion énergie primaire/ énergie finale, ce sont ceux de la réglementation thermique RT 2005 qui ont été choisis soit un coefficient de 2,58 pour l'électricité.

- *Des soins particuliers ont-ils été portés à l'étanchéité à l'air ?*

Il a été en effet prévu de réaliser au minimum deux tests d'étanchéité durant la construction du bâtiment (un avant la mise en œuvre des finitions et le second à la livraison du bâtiment) afin que celle-ci respecte bien la valeur de 0,6 m³/h/m² d'enveloppe sous 4 Pa prescrite dans les bilans thermiques. Les tests devront ensuite renouvelés jusqu'à élimination complète de tout défaut d'étanchéité.

- *Un suivi des consommations a-t-il été prévu afin d'évaluer la cohérence entre les résultats des études thermiques/simulations et les consommations réelles ?*

Un suivi des consommations aura effectivement lieu à la réception du chantier. Ce suivi était déjà prévu initialement et est maintenant obligatoire du fait de l'appel à projet BEPOS de l'ADEME auquel le groupe scolaire a répondu. Il est en effet prescrit dans le cahier des charges qu'un « échantillon de projets lauréats fera l'objet d'un suivi instrumenté sur une durée prévisionnelle de trois ans dans le but de vérifier la réalité des performances annoncées ». Le suivi s'appuiera sur les équipements de comptage, de suivi, de métrologie et GTB/GTC mis en place sur le projet. D'autre part, tous les lauréats de l'appel à projet BEPOS se sont engagés à fournir les données énergétiques relatives au fonctionnement des bâtiments pendant 5 ans pour les postes énergétiques suivant : chauffage, ECS, refroidissement, pompes de circulation et autre auxiliaires, système de ventilation, éclairage et autres usages.

- *Avez-vous estimé le surcoût du projet ? Des temps de retour sur investissement ont-ils été calculés (pour convaincre le promoteur par exemple) ?*

Le surcoût du projet a en effet dû être estimé lors de l'élaboration du programme et le choix de l'objectif BEPOS du groupe scolaire mais cette étape ayant été réalisée avant l'arrivée de la société LesEnR, les données économiques ne nous ont pas été transmises.

- *Des livrets d'accueil ou des sessions de sensibilisation des occupants ont-ils été prévu à la livraison des bâtiments ?*

La sensibilisation des occupants avait bien été abordée lors de la conception du bâtiment, toutes les équipes étant conscientes de l'importance et de l'impact du comportement des usagers sur les consommations énergétiques mais notre mission ne prenait pas en compte la rédaction de livrets d'accueil ou de sensibilisation. Il y a de forte probabilités que ce soit la ville de Nanterre qui s'occupe de cet aspect directement en interne une fois le groupe scolaire livré.

- *Quels sont les points dont vous êtes le plus fier dans les groupes scolaires ?*

Le premier point est la motivation commune de tous les acteurs du projet, qu'il s'agisse de la MOE ou de la MOA. Cela a permis au projet d'être réellement porté vers l'avant. L'échange entre les équipes a été beaucoup plus simple de ce fait avec des remarques et des propositions constructives ce qui a permis de créer une véritable émulation intellectuelle autour du projet.

Les deux autres points très positifs du projet sont les objectifs énergétiques et environnementaux qui ont été atteints : d'une part les besoins énergétiques, et principalement de chauffage, ont été réduits autant que possible et d'autre part les matériaux de construction auquel une véritable attention a été portée. La construction bois, même si elle représentait une contrainte importante pour certains aspects réglementaires, permet d'améliorer nettement le bilan environnemental du bâtiment. Il aurait été dommage de concevoir un bâtiment très performant d'un point de vue énergétique alors que son bilan environnemental aurait été médiocre puisque la corrélation entre les aspects énergétique et environnemental est très forte.

- *Quelles ont été les principales difficultés rencontrées et à quelles étapes ? Conception, démarche ?*

Les difficultés principales rencontrées ont été le confort d'été (cf questions précédentes) et le calcul de l'énergie grise des matériaux de construction pour atteindre un bilan environnemental neutre. Pour le dernier point, il existe en effet de nombreuses bases de données de matériaux pour lesquelles les valeurs d'énergie grise diffèrent parfois beaucoup. L'objectif initial était de compenser l'énergie grise des matériaux de construction par la production photovoltaïque mais l'objectif a peu à peu évolué en se dégradant. Finalement, la démarche adoptée a été une comparaison de plusieurs matériaux afin d'atteindre le meilleur bilan environnemental possible en respectant les budgets et les autres contraintes du cahier des charges. Un effort très important a tout de même été mis en place même si l'objectif initial a été un peu dégradé.

Une autre difficulté rencontrée a été liée au caractère BEPOS du groupe scolaire. Il existe aujourd'hui très peu de retours d'expérience sur ces bâtiments du fait de leur faible nombre, et particulièrement sur les différences entre les consommations estimées et les consommations réelles. Concevoir un bâtiment à énergie positive ou énergie zéro n'est pas très compliqué en soit lorsqu'on ne s'intéresse qu'aux résultats théoriques mais beaucoup de problèmes peuvent apparaître lors de l'utilisation du bâtiment qui dégraderont la performance énergétique du bâtiment. L'utilisation du bâtiment et le comportement des usagers est également un aspect qu'il est très difficile de maîtriser et qui a d'autant plus d'importance que le bâtiment est performant. Le suivi des consommations du groupe scolaire et des autres bâtiments ayant répondu à l'appel à projet BEPOS de l'ADEME permettra d'obtenir plus de retour d'expérience qui seront sans aucun doute profitables aux futurs projets à énergie positive. La définition du bâtiment à énergie positive est également un aspect complexe car il n'existait pas réellement de définition officielle au moment de la conception du groupe scolaire « Abdelmalek Sayad », mais l'ADEME et Effinergie ont maintenant une définition plus claire.

- *Quel est le secret pour réussir un groupe scolaire BEPOS (s'il en existe un ou plusieurs) ?*

D'après l'expérience du groupe scolaire « Abdelmalek Sayad » de Nanterre, l'un des éléments essentiels au bon déroulement de la conception d'un groupe scolaire BEPOS est la motivation des équipes et leur implication dans le projet. Lorsque tous les acteurs du projet marchent dans la même direction et sans « trainer les pieds », les problèmes de conception rencontrés sont résolus beaucoup plus rapidement. L'échange entre les équipes est également plus constructeur et plus efficient.

L'autre point important est ne pas oublier les problématiques annexes en se focalisant uniquement sur l'objectif de performance énergétique BEPOS du groupe scolaire. La qualité de l'air, le confort hygrothermique, la qualité visuelle, les espaces sont des éléments tout aussi importants.

5 LE GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE A MONTREUIL



5.1 FICHE D'IDENTITE

Carte d'identité		
Groupe scolaire	« Résistance » Montreuil	
Date de livraison	juil-13	
Etat d'avancement	En chantier	
Acteurs	MOA	Ville de Montreuil
	AMO	Tribu
	MOE- architecte	Agence Atelier Méandre
	BET Thermique	Alto ingénierie
Nombre de bâtiment	1	
Surface SHON (m ²)	6 209,20	
Surface SDO (m ²)	5 433,80	
Nombre d'occupant (max)	600	
Usage des bâtiments	1 école maternelle + 1 école élémentaire + 2 centres de loisirs + restauration	
Coûts en €HT	11 200 000	
Coûts en €/m ² SHON	2 150	
Objectifs consommation	90 kWhEP/m ² SHON/an	
Objectifs production	170 MWh/an soit 100 kWhEP/m ² SHON.an	
Structure	Ossature bois et béton	
Menuiseries	Double vitrage (Uw= 1,4 ou 1,5 W/m ² .K)	
Production calorifique	Chaudière à huile végétale pure	
Emetteurs	Planchers chauffants et radiateurs basses température	
Production électrique	502 m ² de panneaux photovoltaïque + cogénération à l'huile végétale pure	
ECS	Couverture de 30% des besoins journaliers par les panneaux solaires thermiques et appoint réalisé par la cogénération (18,56 m ² de capteurs solaire thermiques)	
Ventilation	CTA double flux avec échangeur à roue d'une efficacité d'environ 70% + sondes CO2 dans certaines zones	
Eclairage	Détecteur de présence, Gradation, Mesure de seuil de luminosité	
Perméabilité à l'air	1 m ³ /h.m ² (test à livraison du chantier pour vérifier la conformité)	

TABLEAU 31 : CARTE D'IDENTITE DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE

5.2 LES PRINCIPAUX ENJEUX DE L'OPERATION

Le projet du groupe scolaire Résistance se veut être un projet exemplaire en termes de développement durable, sans pour autant recourir à une quelconque certification (démarche HQE, notamment). Il vise une performance très ambitieuse, en réponse à plusieurs enjeux environnementaux, comme la réduction des émissions de gaz à effet de serre pendant la vie du bâtiment mais aussi pour sa construction, ou la maîtrise des ressources épuisables.

La Ville de Montreuil vise clairement un double objectif sur l'opération du groupe scolaire Résistance.

Le premier objectif est de réaliser un bâtiment à très hautes performances environnementales et énergétiques. C'est ainsi que, en matière énergétique a été choisi le concept de Bâtiment ZEN (Zéro Energie). Il s'agit en réalité d'un bâtiment qui vise le triple objectif zéro énergie, zéro carbone et zéro déchet nucléaire

- Le « zéro énergie » est définie en énergie primaire avec des conventions physiques (coefficients de conversion énergie primaire/énergie finale différents de ceux de la réglementation thermique RT 2005) pour passer de l'énergie finale (au compteur) à l'énergie primaire.
- Le zéro carbone porte sur les émissions de gaz à effet de serre. Il est mesuré en kg d'équivalent CO2 émis par le fonctionnement du bâtiment
- Le zéro déchets nucléaires se mesure en grammes de déchets nucléaires et vise les déchets nucléaires induits par les énergies nécessaires au fonctionnement du bâtiment.

Ces 3 objectifs s'entendent en bilan annuel (il ne s'agit donc pas d'un bâtiment autonome) et ne porte que sur le bâtiment en phase d'utilisation. Par contre, il couvre tous les usages énergétiques du bâtiment et pas seulement les 5 usages habituellement couverts par la RT 2005

D'autre part, le programme exige qu'une attention particulière soit accordée à l'énergie « grise » consommé pour l'extraction, la fabrication, le transport et l'élimination en fin de vie des matériaux et composants utilisés pour la construction du bâtiment. Un usage important de matériaux renouvelables et notamment du matériau bois est donc fortement incité.

Le deuxième objectif est de démontrer que de tels objectifs ambitieux peuvent être réalisés dans un budget raisonnable et donc reproductible. Les objectifs très ambitieux de « zéro énergie, zéro carbone et zéro déchets nucléaires » entraîneront nécessairement des surcoûts sur le prix de la construction qui doivent être compensés par des économies substantielles dans les modes constructifs (mise en œuvre de systèmes constructifs modulaires principalement).

D'autre part, l'opération s'inscrit dans le cadre du projet « MUSIC » (« Mitigation in Urban areas and Solutions for Innovative Cities », soit « Atténuation de l'impact sur le climat en milieu urbain : des solutions pour des villes innovantes ») qui, retenu par le programme européen INTERREG, regroupe plusieurs villes européennes sur la problématique de l'efficacité des mesures d'énergie en ville. Le programme européen MUSIC contribue à mettre en place une réelle transition énergétique sur les territoires et soutient l'innovation dans son approche de construction en prévoyant par exemple d'associer les élèves, les parents, les professeurs et les riverains à la démarche de conception du bâtiment. Il finance cet investissement à hauteur de 312 000 euros. D'autre part, les villes sélectionnées comme Montreuil sont accompagnées dans leur démarche écologique par deux centres de recherche (Henri Tudor au Luxembourg et DRIFT aux Pays Bas) et pour la mise en œuvre de méthodes de maîtrise de l'énergie (Cf. financement ci-dessus).

5.3 CHRONOLOGIE DU PROJET

La durée prévisionnelle du projet du groupe scolaire Résistance à Montreuil est de 31 mois et se décompose de la manière suivante :

- Janvier 2011 : Concours
- Mars-Avril 2011 : APS
- Mai – Juillet 2011 : APD
- Aout – Septembre 2011 : PRO
- Septembre – Novembre 2011 : DCE
- Février 2012 : ACT
- Avril 2012 – Juillet 2013 : Chantier

5.4 ARCHITECTURE, BIOCLIMATISME ET DESCRIPTION DES SYSTEMES

5.4.1 Architecture

Le groupe scolaire regroupera une école maternelle, une école élémentaire et deux centres de loisirs qui développeront des activités bien distinctes de celles des écoles pour un total de près de 600 élèves. Selon le programme :

- La future école maternelle doit apporter une réponse adaptée aux besoins des plus petits et accueillera 243 enfants sur la base de 9 classes d'un effectif moyen de 27 enfants par classe. L'accueil des enfants âgé de 2,5 à 6 ans sera divisé entre les très petites sections (TPS), les petites sections (PS), moyenne section (MS) et grandes section (GS)
- La future école élémentaire doit conforter le rôle actif de l'école élémentaire dans l'apprentissage et l'acquisition des éléments fondamentaux de la connaissance (lire, écrire et compter notamment) en accordant une large place aux nouveaux média. Elle accueillera 350 enfants sur la base de 14 classes d'un effectif moyen de 25 enfants par classes avec un maximum de 30 enfants.
- Les centres de loisir prendront uniquement en charge les enfants du groupe scolaire Résistance avec des quotas de 61 enfants de maternelle et 88 enfants d'élémentaire soit 149 enfants au total.

Enfin, des repas seront produits par une société spécialisée et livrées sur site en liaison froide. 90% des enfants (soit près de 530 enfants) devront pouvoir se restaurer sur place, avec un service à table pour les maternels et un self linéaire pour les élémentaires. Une rotation sera mise en place afin de limiter le taux d'occupation à 70% du nombre total de rationnaires.

La salle polyvalente du groupe scolaire accueillera d'autre part des activités extrascolaires tels que des réunions et des activités associatives et pourra également servir de bureau de vote

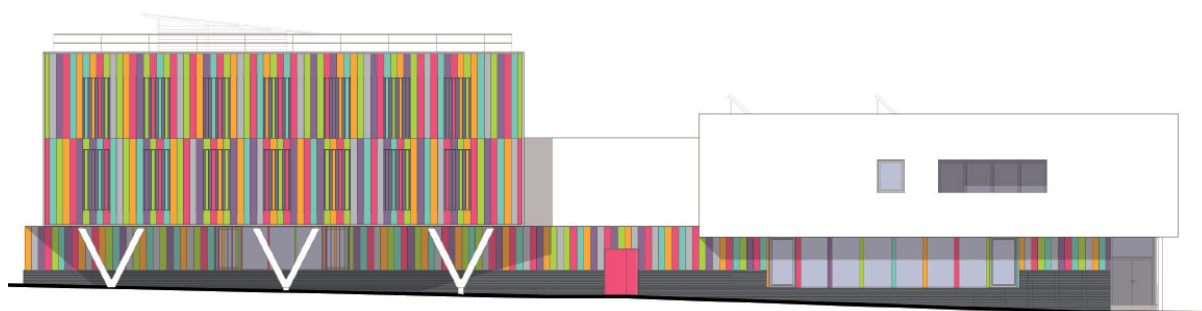


FIGURE 50 : FACADE SUR L'AVENUE DE LA RESISTANC

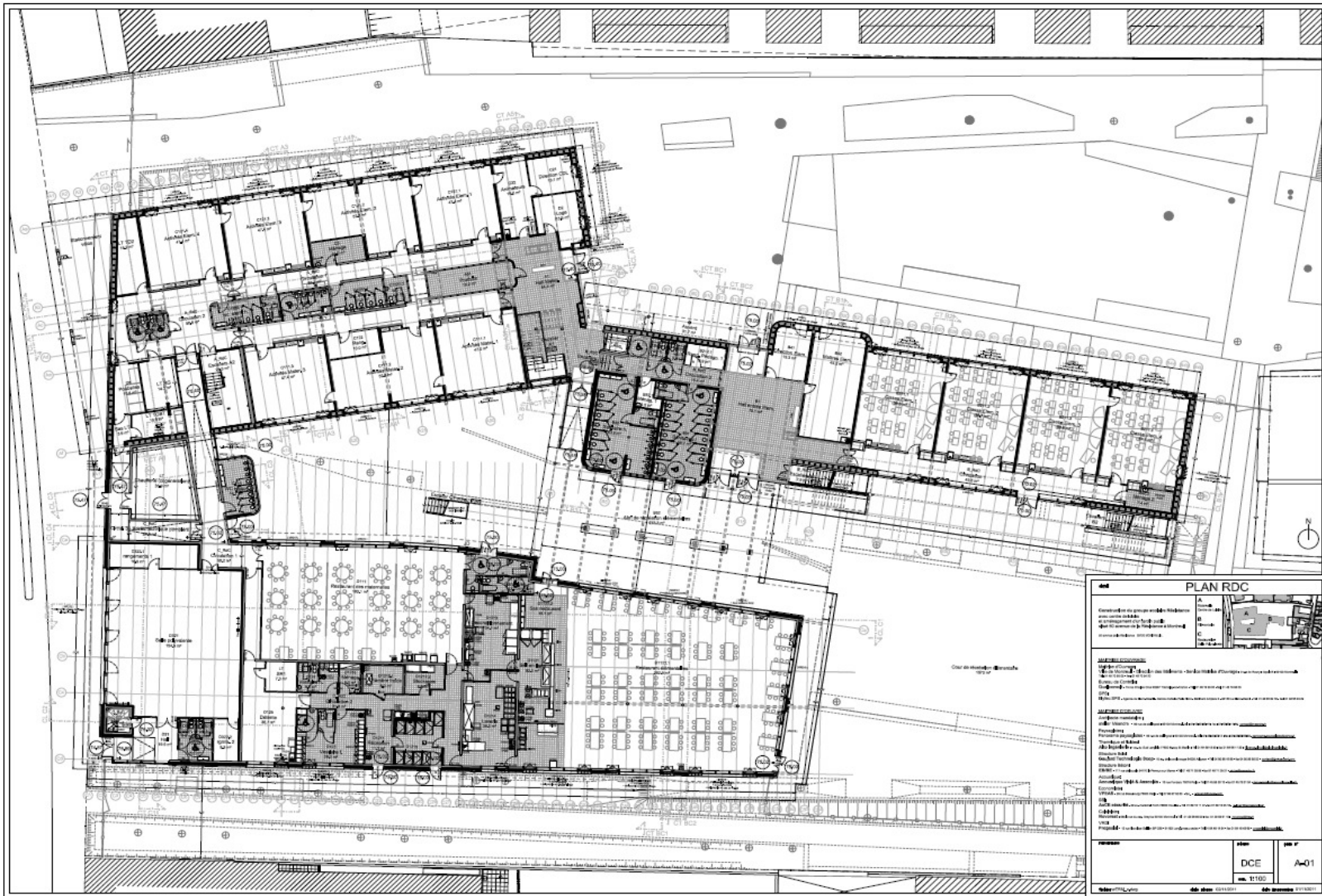


FIGURE 51 : PLAN DU RDC DU GROUPE SCOLAIRE "RESISTANCE" A MONTREUIL

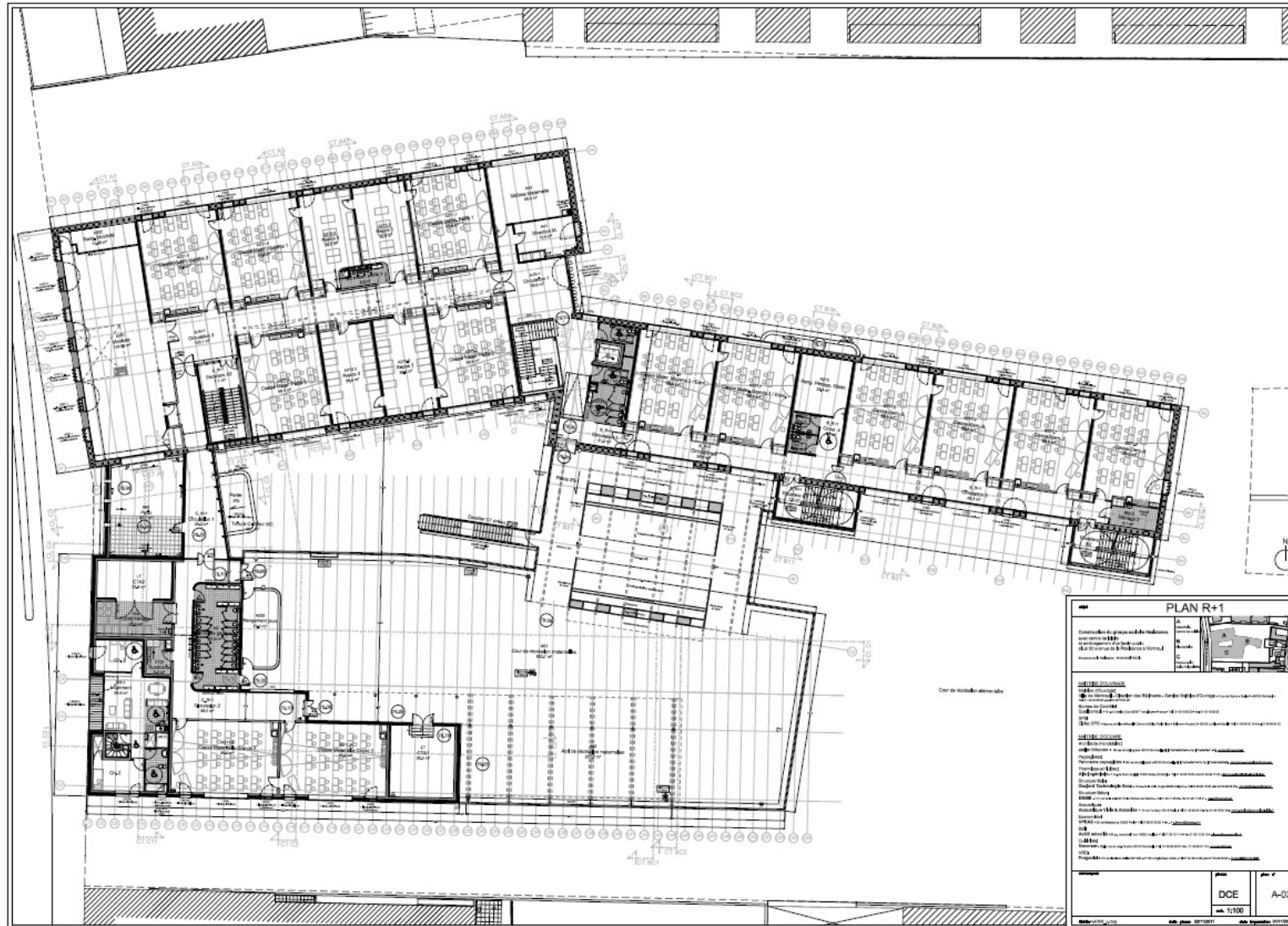


FIGURE 52 : PLAN DU R+1 DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE A MONTREUIL

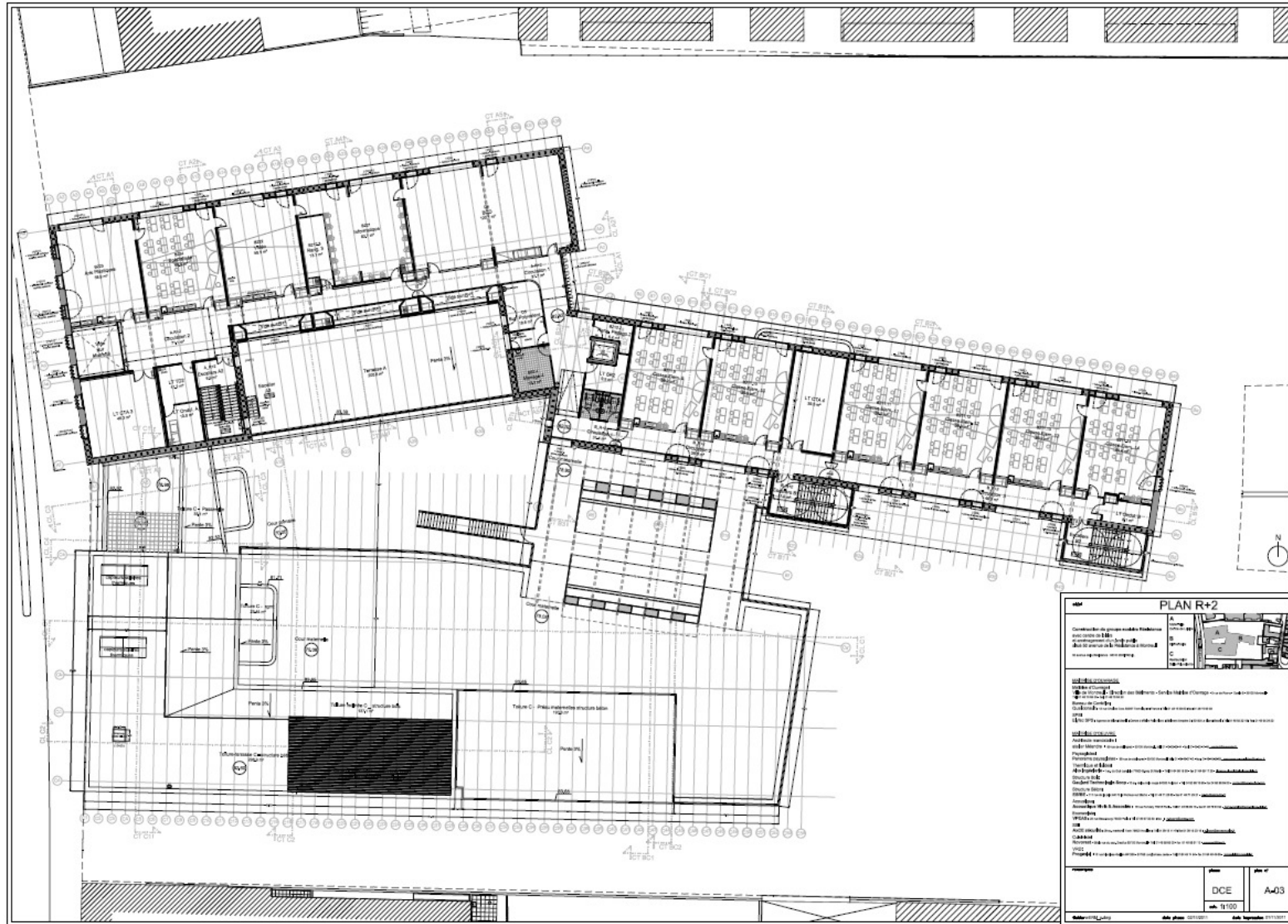


FIGURE 53 : PLAN DU R+2 DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE A MONTREUIL

5.4.2 Enveloppe et performance

Désignation de la paroi	Composition Int-> Ext	Epaisseur (mm)	U (W/m ² .K)
Mur Extérieur Ossature bois	Bottes de paille ($\lambda=0,052$ W/m.K)	360	0,11
	Laine minérale ($\lambda=0,032$ W/m.K)	60	
	Lame d'air et bardage	50	
Murs extérieurs Structure béton	Voile béton	200	0,15
	Polyuréthane ($\lambda=0,024$ W/m.K)	150	
	Lame d'air et bardage	50	
Toiture Ossature bois	Bottes de paille ($\lambda=0,052$ W/m.K)	360	0,1
	Laine minérale ($\lambda=0,032$ W/m.K)	10	
	Lame d'air et bardage	50	
Toiture Structure béton	Voile béton	325	0,12
	Polyuréthane ($\lambda=0,024$ W/m.K)	20	
	Lame d'air et bardage	50	
Plancher Bas sur terre plein	Chappe	40	0,2
	Plaques à plots (plancher chauffant)	60	
	Voile béton	250	
	Polyuréthane ($\lambda=0,024$ W/m.K)	60	
Plancher intermédiaire sur LNC Ossature bois	Chappe	40	0,17
	Plaques à plots (plancher chauffant)	50	
	Plancher bois	200	
	Laine minérale ($\lambda=0,032$ W/m.K)	100	
Plancher intermédiaire sur LNC Structure béton	Chappe	40	0,2
	Plaques à plots (plancher chauffant)	50	
	Dalle béton	320	
	Laine minérale ($\lambda=0,032$ W/m.K)	100	

TABEAU 32 : CARACTERISTIQUES DES PAROIS OPAQUES PRINCIPALES DU GROUPE SCOLAIRE

Menuiseries	Structure	Uw (W/m ² .K)	FS	TL
Double vitrage performant RDC Sud Est sans protection solaire	Bois	1,4	0,28	60%
Double vitrage Est/Ouest	Bois	1,5	0,41 + Brise-soleil verticaux (FS des BS = 0,25)	67%
Double vitrage Nord avec protection solaire intérieure	Bois	1,5	0,63 + stores intérieurs	80%
Double vitrage sud avec protection solaire extérieure	Bois	1,5	0,41 + protections solaires extérieures (FS protection =0,15)	67%
Double vitrage Nord sans protection solaire	Bois	1,5	0,63	80%
Simple vitrage intérieur	Bois	3,6	0,78	85%

TABEAU 33 : CARACTERISTIQUES DES MENUISERIES DU GROUPE SCOLAIRE

Dans le tableau ci-dessus les protections solaires sont différenciées suivant l'exposition et la position des salles. Pour des contraintes de sécurité, les salles du RDC n'ont pas été équipées de protections solaires. Les

salles de classes des étages exposées nord sont équipées de rideaux à anneaux uniquement tandis que les salles en étages exposées sud sont équipées de protections solaires extérieures (à lames amovibles). Elles sont motorisées et reliées à la GTB.

D'autre part, un travail pointu a été effectué en cours d'étude, puis en suivi de réalisation pour réduire le plus possible les défauts d'étanchéité du bâtiment. Un carnet de détails d'étanchéité permet de visualiser les dispositions à mettre en œuvre.

La valeur prise en compte pour les calculs thermiques de l'étanchéité à l'air est de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ tandis que la valeur par défaut RT2005 est de $1,7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. Une mesure de la perméabilité à l'air est d'autre part obligatoire pour valider cette valeur. Deux tests à minima seront réalisés : une mesure intermédiaire ainsi qu'une mesure à la fin des travaux. Des corrections devront bien entendu être mises en œuvre en cas de non-conformité.

5.4.3 Systèmes de production de chaleur

Les besoins thermiques du bâtiment ont été évalués à 200 kW.

Bilan thermique Chaud	Puissance nécessaire
Déperditions par renouvellement d'air	112 kW
Déperditions par parois	88 kW
TOTAL	200 kW

TABEAU 34 : BILAN THERMIQUE DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE

Le chauffage et l'appoint de la production d'ECS (en hiver principalement) sont assurés pour l'ensemble des locaux par une cogénération à l'huile végétale pure qui permettra de produire à la fois de la chaleur et de l'électricité. Cette production autonome d'électricité permet de diminuer les surfaces de panneaux photovoltaïques nécessaires pour équilibrer le bilan énergétique du projet.

Les caractéristiques du cogénérateur sont détaillées ci-dessous :

- Groupe électrogène « cogénérateur » alimenté par l'huile de colza et dans lequel on récupère toute la chaleur dégagée (refroidissement du moteur, échangeur sur les gaz d'échappement et même sur l'huile), exploitée sous forme de chauffage
- Puissance électrique de 75kW
- Puissance thermique de 98KW
- Rendement électrique 36,5%
- Rendement global de 89%
- Modulation : de 50 à 100% de la charge nominale
- Marque : unité EcoGen-75SH de COGENRENN

D'autre part, un ballon de stockage de 6 m^3 sera installé dans le bâtiment. Ce ballon permettra à la fois d'assurer les talons de puissance (puissance appelée inférieure à 50% de la puissance nominale du cogénérateur), d'assurer une partie de la relance, et de permettre au cogénérateur de fonctionner le plus longtemps possible. Le temps de fonctionnement estimé du cogénérateur est d'environ 1455h afin d'assurer la relance du bâtiment et d'éviter les cycles de cogénération trop courts. La cogénération couvre en direct 50% des consommations de chaleur des bâtiments tandis que les 50% restants seront assurés par le ballon.

L'alimentation en huile végétale se fera à partir d'une cuve enterrée dans la cour disposant d'un volume de stockage de 10 m^3 . La consommation annuelle de l'huile est estimée à environ 22 m^3 par an d'où la nécessité de procéder à 3 ravitaillements par an (en début de saison et deux en milieu de saison).

La production d'électricité annuelle issue de la cogénération est estimée à 71,1 MWh.

Le chauffage sera réalisé par planchers chauffants dans :

- Les salles de classe et les salles spécialisées
- Les salles de maîtres et animateurs
- Le centre de loisirs,
- Les bureaux individuels et le bureau polyvalent,
- La loge
- La salle polyvalente,
- Les restaurants
- Le logement

Le chauffage par planchers chauffants permet de bénéficier d'une inertie plus importante.

Les locaux à usage très intermittent seront quant à eux traités par radiateurs basse température. Les locaux concernés sont :

- Les circulations ainsi que les Halls d'entrées à 16°C
- La cuisine à 19°C les vestiaires et la salle de détente,
- La buanderie, les sanitaires à l'intérieur du bâtiment à 19°C
- Les trois sanitaires généraux qui ont un accès direct sur les cours de récréation et qui seront chauffés à 19°C

5.4.4 Système de production d'Eau Chaude Sanitaire

Les blocs sanitaires, les salles de ménage et les salles de maîtres/animateurs seront équipés de ballons électriques de volume de 10 à 50L.

Les besoins en ECS pour l'ensemble de restauration du bâtiment C sont évalués à 970L/j (office+lavage du restaurant+vestiaires+salle de détente+salle de ménage+poubelles). La production d'ECS sera centralisée et produite par 19 m² de panneaux solaires thermiques installés en toiture qui couvriront 30% des besoins tandis que l'appoint sera réalisé par la cogénération en hiver et par un appoint électrique en été (ce qui permettra de ne pas mettre en route la cogénération en été).

Le stockage solaire comprend un ballon solaire de 1000 litres raccordé aux capteurs solaires, au cogénérateur et contenant un appoint électrique.

Les besoins en ECS du logement sont estimés à 130L/j. Ils seront couverts par un ballon solaire indépendant d'un volume de 200 L et installé en parallèle sur l'échangeur solaire. L'appoint sera réalisé comme précédemment soit par la cogénération, soit par un appoint électrique selon les saisons.

5.4.5 Systèmes de ventilation

Ventilation Double flux :

La ventilation hygiénique des locaux est assurée par des CTA double flux, des extracteurs sanitaires et des extracteurs spécifiques pour la cuisine. Les CTA double flux sont équipées de récupérateurs énergétiques à roue d'un rendement nominal minimum de 80 % à l'exception de la CTA n°C3 qui sera équipé d'un récupérateur énergétique avec un rendement nominal minimal de 70%. Toutes les CTA sont à débits variable, permettant de réduire les débits en période d'inoccupation (programmation horaire, détection de présence et sondes CO2 dans les locaux fortement occupés).

Les débits de soufflages et de reprise des CTA sont détaillés dans le tableau suivant :

CTA	Débit soufflage (m ³ /h)	Débit reprise (m ³ /h)
CTA A1 - CDL, maternelle, salles spécialisées	9 500	9500
CTA B1 - élémentaire	8 800	8000
CTA C1 - salle polyvalente	7400	7400
CTA C2 - restauration, cuisine, vestiaires	15300	9700
CTA C3 - classes maternelle R+1	1200	800
CTA C4 - logement	150	150

TABEAU 35 : DEBITS DES CTA DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE

Ventilation nocturne naturelle

Le confort d'été est assuré par un dispositif de ventilation nocturne naturelle grâce à des ouvrants de ventilations spécifiques actionnés en période d'inoccupation du bâtiment (de 19h à 7h) hors période de chauffe. On distingue trois types d'ouvrant permettant la ventilation naturelle des locaux, répartis en façade dans chaque local. Ces ouvrants sont tous à ouverture manuelle et sont protégés des intempéries le cas échéant par des grilles

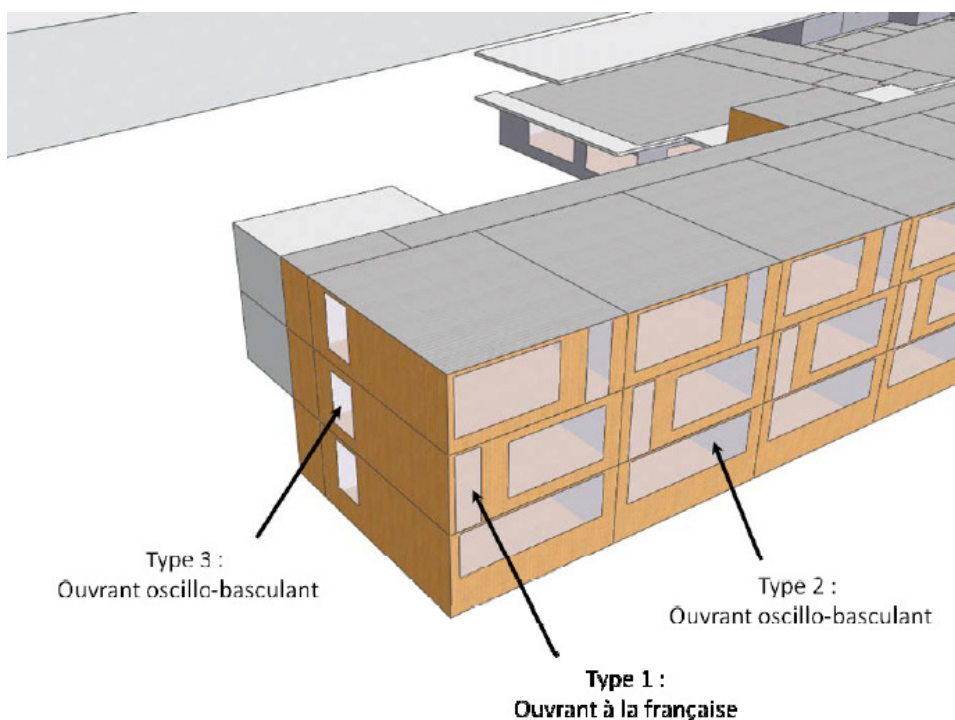


FIGURE 54 : VENTILATION NOCTURNE ET OUVRANTS EXISTANTS

Type 1	Type 2	Type 3
Ouverture à la française (angle d'ouverture maximal de 60°)	Ouverture oscillo-basculant représentant en moyenne deux trames par baie de cinq trames (angle d'ouverture maximal de 20°)	Ouverture oscillo-basculant (angle d'ouverture maximal de 20°)

TABLEAU 36 : TYPOLOGIE DES OUVRANTS

Brasseurs d'air

Des brasseurs d'air, au total 312 brasseurs d'air, sont installés au plafond permettant d'améliorer le confort d'été.

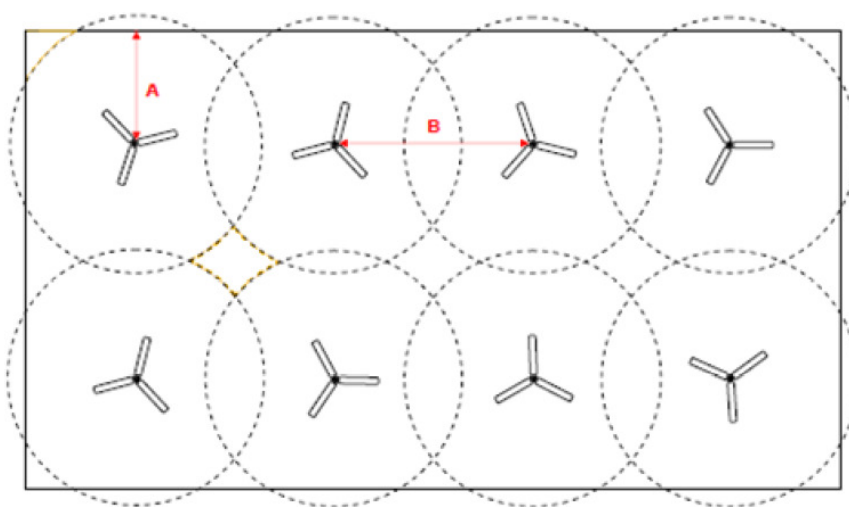


FIGURE 55 BRASSEURS D'AIR : REPRESENTATION DES BRASSEURS D'AIR DANS UNE SALLE DE CLASSE

Surventilation mécanique de la salle polyvalente

Pour la salle polyvalente, une surventilation mécanique de 4 400 m³/h est prévue avec la CTA C1 lorsque la salle polyvalente est occupée et que la température intérieure est supérieure à 28°C. La surventilation permet ainsi de faire du freecooling en amenant de l'air extérieur neuf à une température inférieure à la température intérieure et ainsi d'évacuer les calories.

5.4.6 Production d'énergie

La production d'énergie est assurée par un module de cogénération et des panneaux photovoltaïques installés en toiture.

La production électrique du module de cogénération s'élèvera à approximativement 71 MWh/an tandis qu'une surface de panneaux PV de 502 m² permettra de produire approximativement 83,5MWh/an d'électricité.

Production d'électricité en énergie primaire		
	PV	Cogénération
Production (kWhEP/an)	328 000	227 780
Production (kWhEP/m ² SHON.an)	52,8	36,7
TOTAL (kWhEP/m ² SHON.an)	89,5	

FIGURE 56 : PRODUCTION ELECTRIQUE DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE

5.5 ANALYSE DE L'ETUDE RT

5.5.1 Spécifications du calcul réglementaire et problèmes rencontrés

Le moteur de calcul n'intégrant pas encore les cogénérations au moment de l'étude thermique, le module de cogénération à l'huile végétale pure a été remplacé par une chaudière à condensation et un ballon de stockage

- Puissance de la chaudière : 98 kW
- Rendement de la chaudière : 53,5%
- Volume du ballon : 6000 L

La surface de panneaux photovoltaïques a également été augmentée pour prendre en compte la production d'électricité du module de cogénération.

En ce qui concerne la production d'ECS, une demande de titre V a également dû être réalisée. La production d'ECS est en effet couverte à 30% par des capteurs solaires thermiques avec un appoint par la cogénération pendant l'hiver et par un système électrique l'été ce qui n'était pas possible à prendre en compte initialement dans le moteur de calcul de la RT 2005.

5.5.2 Résultats des calculs

Les principaux résultats de l'étude thermique réglementaires sont résumés dans les tableaux suivants :

Isolation du bâti			
Ubât (W/m ² .K)	Ubâtréf (W/m ² .K)	Gain (%)	Ubâtmax (W/m ² .K)
0,415	0,614	32,30%	0,92

TABLEAU 37: COEFFICIENT MOYEN DE PERDITIONS PAR LES PAROIS DU BATIMENT

Température intérieure conventionnelle		
Usage	Tic (°C)	Ticréf (°C)
Ecole - centre de loisir - logement	30,53	33,1
Restauration + cuisine	30,98	31,64

TABLEAU 38 : TEMPERATURE INTERIEURE CONVENTIONNELLE

Consommation en énergie primaire				
Poste de consommation	Energie primaire (kWhep/m ² SHON)		Gain	Energie primaire (Kwhep/m ² SDOT)
	projet	référence		
Chauffage (consommation d'HVP)	33,57	57,01	0,41	38,36
Climatisation	0,00	0,00	0,00	0,00
Production d'ECS	5,55	4,62	-0,20	6,34
Ventilation	20,23	24,01	0,16	23,12
Eclairage	7,50	30,78	0,76	8,57
Auxiliaires	0,76	1,44	0,47	0,87
Cep total	67,61	117,86	0,43	77,26

TABEAU 39 : CONSOMMATIONS ENERGETIQUES (BILAN RT) DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE

Répartition des consommations énergétiques réglementaires (Etude RT 2005)

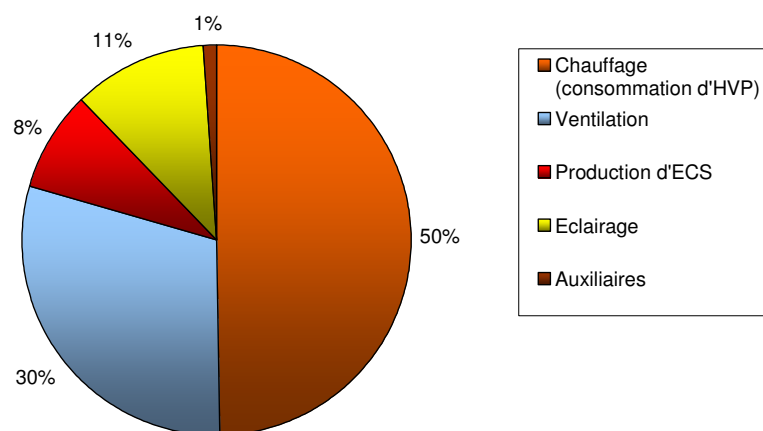


FIGURE 57 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES REGLEMENTAIRES (ETUDE RT 2005)

Le principal poste de consommation énergétique réglementaire est le chauffage qui représente près de la moitié des consommations totales, suivi par le poste de ventilation qui représente environ 30% des consommations totales. Les postes moins énergivores sont l'éclairage, la production d'ECS et les auxiliaires qui représentent respectivement 11%, 8% et 1% des consommations totales.

La consommation énergétique totale des postes réglementaire (sans prise en compte de l'électricité spécifique) s'élève à 67,61 kWhep/m² SHON, soit un gain de 42% par rapport à la référence RT 2005.

Production d'électricité en énergie primaire		
	PV	Cogénération
Production (kWhep/an)	328 000	227 780
Production (kWhEP/m ² SHON.an)	52,8	36,7
TOTAL (kWhEP/m ² SHON.an)	89,5	

TABEAU 40 : PRODUCTION ELECTRIQUE (PV/COGENERATION)

Répartition de la production électrique PV/cogénération

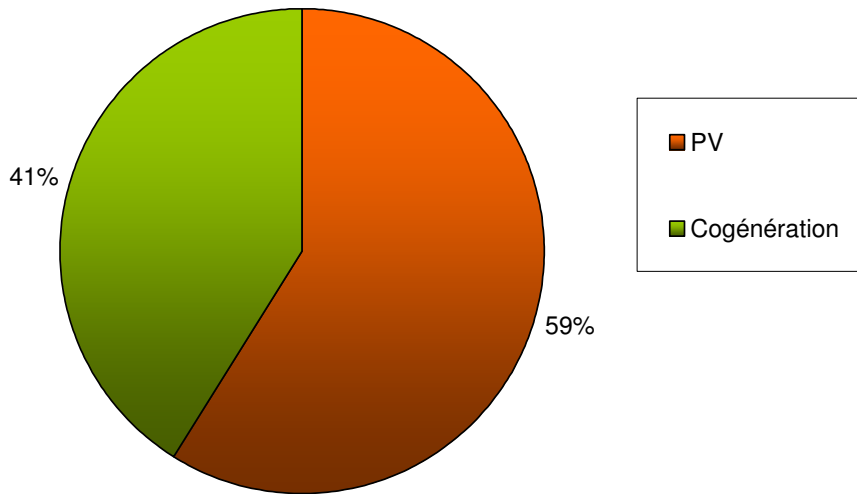


FIGURE 58 : REPARTITION DE LA PRODUCTION ELECTRIQUE

BILAN ENERGETIQUE RT 2005	
Cep (kWhep/m ² SHON)	Cep (kWhep/m ² SDOT)
-21,83	-25,01

TABLEAU 41 : BILAN ENERGETIQUE RT 2005 DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE

En considérant la production électrique via les panneaux photovoltaïques et le module de cogénération, le bilan énergétique global du groupe scolaire est positif d'un point de vue réglementaire avec une consommation totale en énergie primaire de -21,83kWhep/m²SHON.

5.6 ANALYSE DE LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE ET RESPECT DU CONFORT D'ETE

L'outil utilisé pour la simulation thermique dynamique est le logiciel Virtual Environment¹ qui permet de simuler l'évolution des températures dans le bâtiment et ses besoins sur une année.

¹ VE (Virtual Environment) est un logiciel de simulation dynamique édité par IES Software Ltd, qui permet de simuler les caractéristiques physiques et techniques du bâtiment et de ses équipements au moyen d'un modèle unique. Ses domaines d'application sont la thermique, l'aérodynamique et l'éclairage. Le module de simulation thermique dynamique qui a été mis en œuvre pour cette étude utilise le code de calcul APACHE.

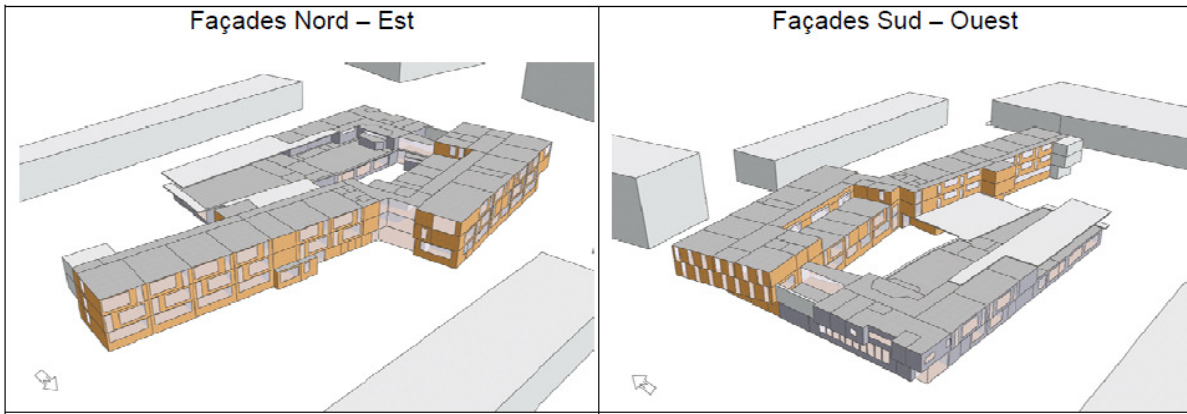


FIGURE 59 : MODELE 3D (SOURCE : NOTICE DESCRIPTIVE DU BILAN ENERGETIQUE DU BET ALTO INGENIERIE)

La température de consigne choisie pour le dimensionnement des équipements est de 19°C, mais la simulation thermique dynamique a été réalisée avec une température de consigne de 20°C pour des raisons de confort des occupants et pour être plus proche du comportement réel futur des bâtiments. Seule la salle de repos de la maternelle a une température de consigne légèrement plus élevée de 21°C. Les circulations sont quant à elles chauffées à 16°C.

5.7 PRESENTATION DES BILANS EN PHASE PRO

5.7.1 Analyse des besoins

Les besoins annuels de chauffages du bâtiment correspondent à 14,8 kWh/m²SDOT.an, ce qui est compatible avec l'objectif du projet de limiter les besoins de chauffage à 15,0 kWh/m² SDOT.an. L'évolution annuelle des besoins de chauffage est représentée ci-dessous :

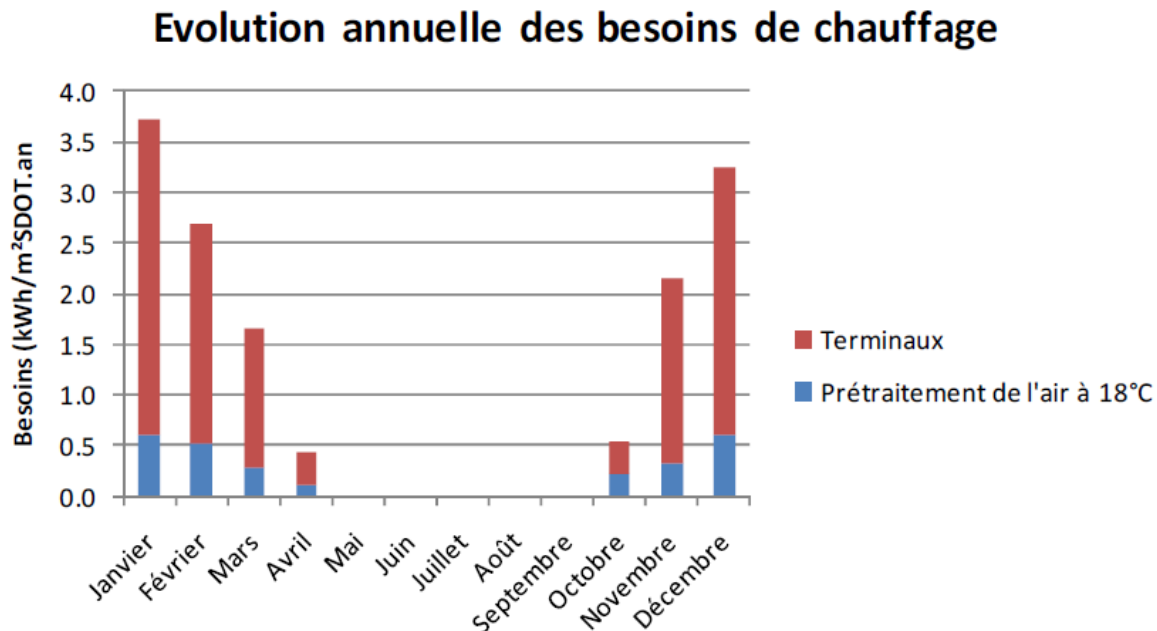


FIGURE 60 : EVOLUTION ANNUELLE DES BESOINS DE CHAUFFAGE

Un travail a également été réalisé pour limiter autant que possible les besoins d'éclairage en restant en dessous du seuil de 5,0kWh/m² SDOT.an.

5.7.2 Analyse des consommations

L'évaluation des consommations n'a pas été reprise entre la phase PRO et le DCE car aucune modification majeure n'a été apportée qui aurait affecté ces consommations. Cependant, le dimensionnement des panneaux photovoltaïques a évolué d'une phase à l'autre en vue de diminuer autant que possible la surface de capteurs à déployer tout en respectant les objectifs de performance énergétique et environnementale.

Les bilans en énergie primaire, en gaz à effet de serre, et en production de déchets nucléaires présentés dans les paragraphes suivants se basent ainsi sur une surface de panneaux photovoltaïques de 624 m².

Les consommations énergétiques du bâtiment se décomposent de la façon suivante :

Bilan en énergie primaire – Phase PRO			
	Coeff EP	kWh/an	kWh/m²SDOT.an
Consommations d'HVP (chauffage+électricité)	0,3	58497	10,8
Froid	0	0	0
Auxiliaires	3,2	62396,8	11,5
Ventilation	3,2	121566,5	22,4
Eclairage	3,2	89870,4	16,5
ECS décentralisé - électrique	3,2	3817,6	0,7
ECS centralisé - appoint électrique	3,2	18825,6	3,5
ECS centralisé - appoint cogénération	0,3	6367,8	1,2
Informatique	3,2	28985	5,3
Ascenseur	3,2	12528	2,3
Eclairage extérieur	3,2	9949,9	1,8
Brasseurs d'air	3,2	3542,4	0,7
Cuisine	3,2	70806	13
Total Consommation		487153	89,7
Production ECS Solaire - hiver	0,3	-534,3	-0,1
Production ECS solaire- été	3,2	-9392	-1,7
Photovoltaïque	3,2	-304835,2	-56,1
Production électricité cogénération	3,2	-227746	-41,9
Total Production		-542507,5	-99,8
BILAN		-55354,6	-10,2

TABLEAU 42 : BILAN ENERGETIQUE GLOBAL EN ENERGIE PRIMAIRE DU GROUPE SCOLAIRE RESTISANCE (EN PHASE PRO)

L'objectif du programme de limiter les consommations à 100kWh/m²SDOT.an est donc atteint avec une consommation tous usages confondus de 89,7 kWh/m²SDOT.an.

L'implantation d'une surface de 624 m² de panneaux photovoltaïques en complément de la cogénération à huile végétale permet largement d'atteindre l'objectif « zéro énergie » avec un bilan à -10,2 kWh/m²SDOT.an. Les résultats présentés pour le DCE tiennent donc compte d'une réduction de la surface de panneaux photovoltaïques (502 m² au lieu de 624 m²).

La répartition des consommations énergétiques en énergie primaire montrent que la ventilation, l'éclairage et les équipements de cuisine représentent une part importante du bilan énergétique global (58%). Les postes de consommations non réglementaires (équipements de cuisine et électroménagers) représentent approximativement 25% des consommations énergétiques totales en énergie primaire.

L'objectif d'un bâtiment « zéro énergie » toutes énergies confondus est donc beaucoup plus ambitieux qu'une compensation énergétiques des postes de consommations réglementaires uniquement. Pour rappel, il n'existe pas de définition officielle du caractère BEPOS d'un bâtiment, et la prise en compte des consommations d'électricités spécifiques (hors RT) n'est donc pas obligatoire pour qualifier de BEPOS un bâtiment. Il s'agit donc d'une démarche volontaire de la part de la maîtrise d'ouvrage.

Répartition des consommations énergétiques en énergie primaire (STD)

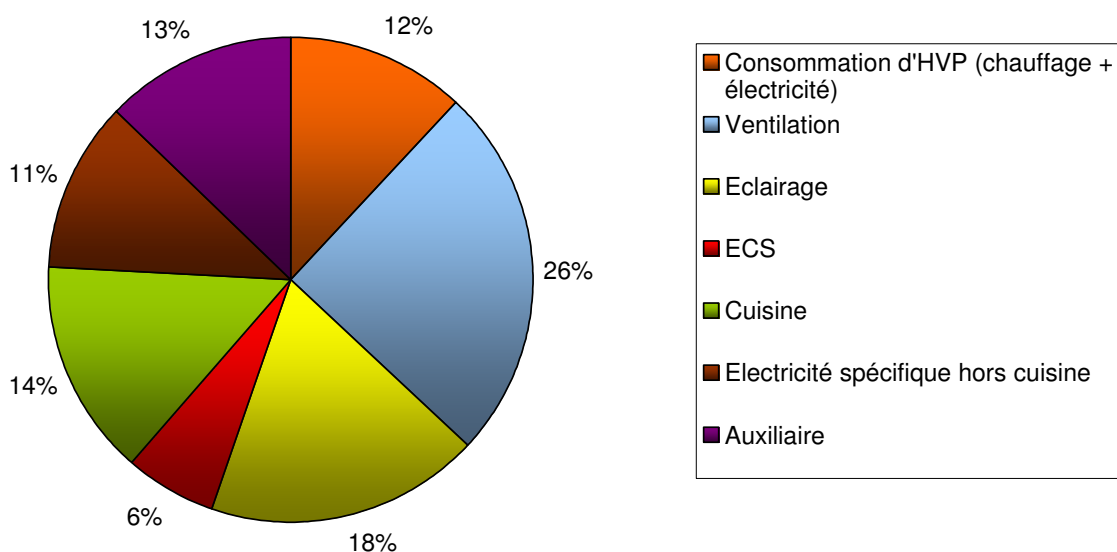


FIGURE 61 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES EN ENERGIE PRIMAIRE (RESULTATS DE LA STD)

Répartition des consommations énergétiques en énergie finale (STD)

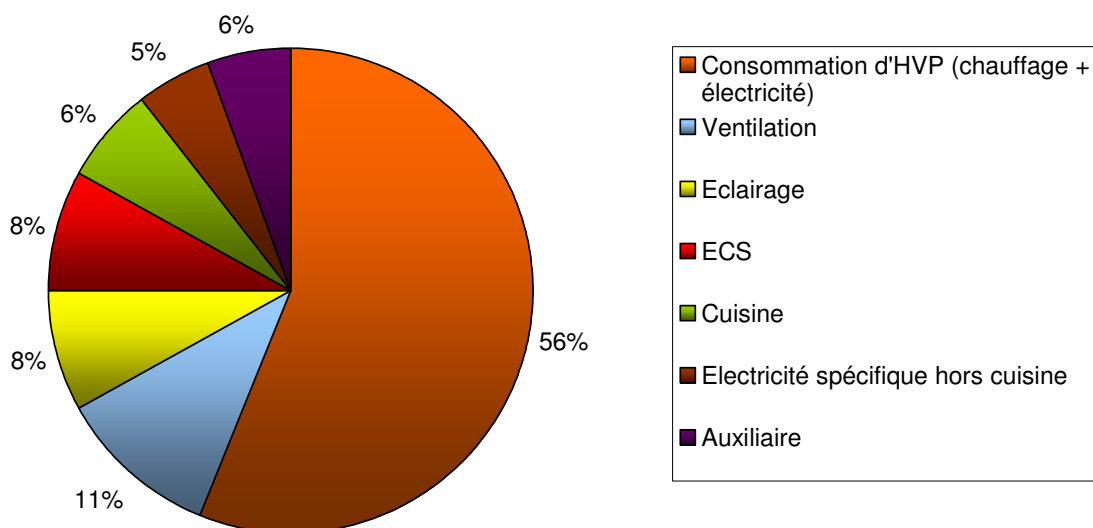


FIGURE 62 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES EN ENERGIE FINALE (STD)

Les résultats présentés ci-dessus sont calculés à partir de coefficients « physiques » (il ne s'agit pas des coefficients réglementaires) de conversion d'énergie finale en énergie primaire. Ces derniers sont explicités dans le tableau suivant :

Coefficient de conversion énergie primaire / énergie finale		énergie	GES	déchets nucléaires
		coef EP	kg CO2/kWh	g DN/kWh
Electricité délivrée au site par le réseau	chauffage	3,2	0,18	0,025
	ECS, éclairage		0,08	0,05
	autres usages, année entière		0,054	0,06
Gaz naturel fourni au site		1,1	0,234	0
Bois-énergie et biomasse combustible livrée sur le site		0,2	0,02	0
Biomasse liquide (HVP) ou gazeuse (biogaz)		0,3	0,09	0
Electricité produite par cogénération en hivers et injectée au réseau		3,2	0,18	0,025
Electricité photovoltaïque produite sur site et injectée au réseau		3,2	0,054	0,06
Electricité produite et consommée sur le site		0	0	0
Chaleur produite par des capteurs solaires thermiques et consommée sur le site		0	0	0
Energie prise sur l'environnement (sol, air, eau) et consommée sur le site		0	0	0

TABLEAU 43 : COEFFICIENTS DE CONVERSION ENERGIE PRIMAIRE /ENERGIE FINALE POUR LE PROJET DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE

5.7.3 Bilan des émissions de Gaz à Effet de Serre

Concernant le bilan d'émission de GES, la contribution principale provient de la production de chaleur (cogénération à l'huile végétale pure). Au vue des résultats suivants, il est apparu très difficile d'atteindre l'objectif de 0 émission de GES. En effet, pour l'atteindre il faudrait augmenter de manière considérable la surface de panneaux photovoltaïques (approximativement 1 875 m²), ce qui aurait été peu pertinent d'un point de vue économique.

Toutefois, les émissions de GES du projet restent très faibles avec moins de 3 kgCO₂/m².an.

Bilan des émissions de GES – Phase PRO			
	kgCO₂/kWh	kgCO₂/an	kgCO₂/m²SDOT.an
Consommations d'HVP (chauffage+électricité)	0,09	17549,1	3,2
Froid	0	0	0
Auxiliaires	0,18	3509,8	0,36
Ventilation	0,054	2051,4	0,4
Eclairage	0,08	2246,8	0,4
ECS décentralisé - électrique	0,08	95,4	0
ECS centralisé - appoint électrique	0,08	470,6	0,1
ECS centralisé - appoint cogénération	0,09	1910,3	0,4
Informatique	0,054	489,1	0,1
Ascenseur	54	211,4	0
Eclairage extérieur	0,08	248,7	0
Brasseurs d'air	0,054	59,8	0
Cuisine	0,054	1194,9	0,2
Total Consommation		30037,4	5,5
Production ECS Solaire - hiver	0,09	-160,3	0
Production ECS solaire- été	0,08	-234,8	0
Photovoltaïque	0,054	-5144,1	-0,9
Production électricité cogénération	0,18	-12810,7	-2,4
Total Production		-18349,9	-3,4
BILAN		11687,5	2,2

TABLEAU 44 : BILAN DES EMISSIONS DE GES (PHASE PRO)

5.7.4 Bilan de la production équivalente de déchets nucléaires :

Le bilan vis-à-vis des déchets nucléaires est également conforme à l'objectif, grâce à une compensation importante issue de la production d'électricité.

Bilan déchets Nucléaires – Phase PRO			
	g DN/kWh	g DN/an	g DN/m²SDOT.an
Consommations d'HVP (chauffage+électricité)	0	0	0
Froid	0	0	0
Auxiliaires	0,025	487,5	0,1
Ventilation	0,06	2279,4	0,4
Eclairage	0,05	1404,2	0,3
ECS décentralisé - électrique	0,05	59,7	0
ECS centralisé - appoint électrique	0,05	294,2	0,1
ECS centralisé - appoint cogénération	0	0	0
Informatique	0,06	543,5	0,1
Ascenseur	0,06	234,9	0
Eclairage extérieur	0,05	155,5	0
Brasseurs d'air	0,06	66,4	0
Cuisine	0,06	1327,6	0,2
Total Consommation		6852,7	1,3
Production ECS Solaire - hiver	0	0	0
Production ECS solaire- été	0,05	-146,8	0
Photovoltaïque	0,06	-5715,7	-1,1
Production électricité cogénération	0,025	-1779,3	-0,3
Total Production		-7641,7	-1,4
BILAN		-788,9	-0,1

TABLEAU 45 : BILAN DE PRODUCTION EQUIVALENTE DE DECHETS NUCLEAIRES (PHASE PRO)

5.8 EVOLUTION DES BILANS ENERGETIQUES, GES ET DN AU DCE :

Dans le but de réduire les coûts tout en préservant le respect des objectifs de performance précédemment atteints (zéro énergie et zéro déchet nucléaire notamment), la surface de panneaux photovoltaïque a été réduite lors de phase DCE à une puissance crête installé de moins de 100 kWc ce qui permettra de faciliter les procédures de rachat de l'électricité produite, soit une surface prévue de PV de 502 m² au lieu de 624 m².

Les résultats sont présentés ci-dessous :

Bilan en énergie primaire – Phase DCE			
	Coeff EP	kWh/an	kWh/m²SDOT.an
Consommations d'HVP (chauffage+électricité)	0,3	58497	10,8
Froid	0	0	0
Auxiliaires	3,2	62396,8	11,5
Ventilation	3,2	121566,5	22,4
Eclairage	3,2	89870,4	16,5
ECS décentralisé - électrique	3,2	3817,6	0,7
ECS centralisé - appoint électrique	3,2	18825,6	3,5
ECS centralisé - appoint cogénération	0,3	6367,8	1,2
Informatique	3,2	28985	5,3
Ascenseur	3,2	12528	2,3
Eclairage extérieur	3,2	9949,9	1,8
Brasseurs d'air	3,2	3542,4	0,7
Cuisine	3,2	70806	13
Total Consommation		487153	89,7
Production ECS Solaire - hiver	0,3	-534,3	-0,1
Production ECS solaire- été	3,2	-9392	-1,7
Photovoltaïque	3,2	-267300	-49,2
Production électricité cogénération	3,2	-227746	-41,9
Total Production		-504972,3	-92,93
BILAN		-17819,3	-3,23

TABLEAU 46 : BILAN ENERGETIQUE (PHASE DCE)

Bilan des émissions de GES – Phase DCE			
	kgCO₂/kWh	kgCO₂/an	kgCO₂/m²SDOT.an
Consommations d'HVP (chauffage+électricité)	0,09	17549,1	3,2
Froid	0	0	0
Auxiliaires	0,18	3509,8	0,36
Ventilation	0,054	2051,4	0,4
Eclairage	0,08	2246,8	0,4
ECS décentralisé - électrique	0,08	95,4	0
ECS centralisé - appoint électrique	0,08	470,6	0,1
ECS centralisé - appoint cogénération	0,09	1910,3	0,4
Informatique	0,054	489,1	0,1
Ascenseur	54	211,4	0
Eclairage extérieur	0,08	248,7	0
Brasseurs d'air	0,054	59,8	0
Cuisine	0,054	1194,9	0,2
Total Consommation		30037,4	5,5
Production ECS Solaire - hiver	0,09	-160,3	0
Production ECS solaire- été	0,08	-234,8	0
Photovoltaïque	0,054	-4510,674	-0,8
Production électricité cogénération	0,18	-12810,7	-2,4
Total Production		-17716,5	-3,23
BILAN		12320,9	2,3

TABLEAU 47 : BILAN DES EMISSIONS DE GES (PHASE DCE)

Bilan déchets Nucléaires – Phase DCE			
	g DN/kWh	g DN/an	g DN/m²SDOT.an
Consommations d'HVP (chauffage+électricité)	0	0	0
Froid	0	0	0
Auxiliaires	0,025	487,5	0,1
Ventilation	0,06	2279,4	0,4
Eclairage	0,05	1404,2	0,3
ECS décentralisé - électrique	0,05	59,7	0
ECS centralisé - appoint électrique	0,05	294,2	0,1
ECS centralisé - appoint cogénération	0	0	0
Informatique	0,06	543,5	0,1
Ascenseur	0,06	234,9	0
Eclairage extérieur	0,05	155,5	0
Brasseurs d'air	0,06	66,4	0
Cuisine	0,06	1327,6	0,2
Total Consommation		6852,7	1,3
Production ECS Solaire - hiver	0	0	0
Production ECS solaire- été	0,05	-146,8	0
Photovoltaïque	0,06	-5095,3	-0,9
Production électricité cogénération	0,025	-1779,3	-0,3
Total Production		-7021,4	-1,3
BILAN		-168,7	0,0

TABLEAU 48 : BILAN DE PRODUCTION EQUIVALENTE DE DECHETS NUCLEAIRE (PHASE DCE)

5.9 INTERVIEW DES ACTEURS DU PROJET

5.9.1 Interview de M. Bornarel, Cogérant de la société Tribu, AMO des groupes scolaires JL Marquèze, Saint Exupéry, Olympe de Gouges et Résistance

Voir la monographie du groupe scolaire Jean-Louis Marquèze de Limeil-Brévannes

5.9.2 Interview de M. Christian HACKEL, co-fondateur de l'Atelier Méandre, Architecte du groupe scolaire Resistance

- *Aviez-vous participé à la réalisation d'autres opérations BEPOS auparavant ?*

L'Atelier Méandre avait participé en novembre 2005 au concours de la première école « zéro énergie » en France à Limeil-Brévannes mais ce dernier avait été remporté par une autre équipe de MOE. Le deuxième groupe scolaire « zéro énergie » sur lequel le cabinet d'architectes a travaillé est le groupe scolaire « Saint Exupéry » à Pantin qui fut finalement remporté par l'Atelier Méandre et livré en septembre 2010.

Une équipe de l'atelier Méandre avait également participé au concours pour le siège social du S.I.M.T (Service Interprofessionnel de la Médecine du Travail) à « énergie positive » en septembre 2009.

D'autre part, d'autres ouvrages très performants d'un point de vue environnemental ont été conçus au sein de l'Atelier Méandre, ce qui a permis à celui-ci de renforcer encore d'avantage ses compétences et ses connaissances dans le domaine.

- *Les autres groupes scolaires BEPOS situés en Ile de France (Limeil-Brévannes, Arcueil, et Pantin) vous ont-ils permis de réutiliser des résultats techniques/conceptuels et d'éviter certains pièges ou erreurs de conception qui auraient pu être commises sur les autres bâtiments ?*

L'expérience acquise par les études réalisées pour les écoles de Limeil-Brévannes et de Pantin a bien sur été très utile pour la conception du bâtiment de Montreuil mais les équipes ne sont pas exactement les même (le noyau dure environnemental/énergie restant composé de l'Atelier Méandre, Tribu et Alto Ingénierie). D'après M. HACKEL, il est cependant impossible de calquer les solutions techniques d'un bâtiment sur un autre bâtiment. Même si la démarche de conception globale reste la même pour ces trois projets, chaque bâtiment est unique, possède ses propres contraintes et opportunités et les choix de conception (technologiques, bioclimatiques...) doivent donc s'adapter à ces dernières en conséquence.

A titre d'exemple, même s'il est évident que pour ce type de performance énergétique, la ventilation double flux est indispensable, la distribution de l'air n'est pas la même dans le cas du groupe scolaire de Montreuil que pour celui de Pantin. En effet, le groupe scolaire de Pantin est équipé d'une distribution horizontale de l'air qui avait nécessité l'installation de faux plafonds dans l'ensemble du bâtiment. Dans le cas du groupe scolaire « Résistance », au contraire l'orientation du bâtiment plus contraignante imposait d'obtenir un second jour dans les salles de classe à partir du couloir pour obtenir une uniformité satisfaisante de l'éclairage d'où une hauteur sous plafond importante. Il a donc fallu orienter le choix de la ventilation vers une distribution verticale.

- *La réalisation d'un bâtiment BEPOS représentait-il une motivation supplémentaire pour votre équipe ?*

Dès sa création, l'atelier Méandre s'est engagé dans la recherche autour des questions environnementales pour imaginer des réponses en urbanisme et en architecture à chaque étape du projet. Méandre est d'autre part membre de l'ICEB (Institut pour la Conception Eco-responsable du Bâti) et participe aux réflexions pionnières avec les acteurs de l'acte de Bâtir (actuellement sur l'énergie grise). Il y a donc une véritable volonté et conviction pour l'environnement au sein du cabinet d'où un désir très fort de s'engager

dans des projets comme celui des groupes scolaire de Pantin ou de Montreuil qui représente un challenge à la fois architectural et environnemental.

- *Quels sont les principales différences entre la démarche de conception d'un bâtiment BEPOS et celle d'un bâtiment plus classique ?*

L'atelier méandre étant très impliqué dans les questions environnementales depuis sa création, il n'y a pas eu de réelle fracture dans la démarche de conception du groupe scolaire de Montreuil par rapport aux autres projets. Les méthodes de travail et de réflexion restent donc globalement très proches mais celles-ci vont beaucoup plus loin. D'après M.HACKEL, la conception d'un bâtiment aussi performant et exemplaire que le groupe scolaire de Montreuil ne peut pas laisser la place à l'« intuition » architecturale ou au « ressenti » de l'architecte comme c'est le cas pour d'autre projet. Les vérifications sont beaucoup plus importantes, poussées et fréquentes : « tout doit être vérifié par la simulation » (STD, facteurs de lumière jour...). L'expérience du concepteur est toujours importante car elle permet d'orienter les choix mais les outils technologiques sont indispensables à une bonne conception.

D'autre part, l'implication des BET intervient très tôt dès la phase esquisse avec le BET thermique principalement puis avec le BET structure bois dans ce cas. Les « aller-retour » entre les architectes et les ingénieurs des BET sont apparus beaucoup plus tôt que d'habitude et ils étaient beaucoup plus fréquents que pour des projets plus « classiques ».

Il existe une interdépendance très forte entre les différents éléments du projet qui requiert une communication importante entre tous les acteurs de la maîtrise d'œuvre. Chaque modification même mineure du projet a des répercussions « en cascade » sur de multiples autres aspects du bâtiment. Plus un bâtiment est performant et plus le réglage des paramètres techniques doit être précis, ce qui n'est possible que si les différentes équipes du projet travaillent réellement en équipe. Il y a donc un travail d'organisation qui est beaucoup plus important pour ce type de bâtiment, à la fois pour mettre en places les différentes équipes mais aussi pour gérer les flux d'informations entre ces derniers (mail, téléphone, etc.).

- *Avez-vous rencontré des difficultés d'ordre budgétaire ?*

Le budget était déterminé et non modifiable dès le lancement du concours. D'après M. HACKEL, même si ce dernier était un peu serré, il avait été fixé de manière cohérente par rapport aux objectifs élevés du bâtiment et il n'y a donc pas eu de réelles difficultés sur ce point.

- *Aucune définition officielle du BEPOS n'existe encore aujourd'hui, quel était la définition choisie pour le groupe scolaire de Montreuil ?*

L'objectif énergétique du groupe scolaire de Montreuil était d'atteindre le concept de Bâtiment ZEN, c'est à dire zéro énergie en énergie primaire avec des conventions différentes de celles de la RT 2005 pour passer de l'énergie finale à l'énergie primaire (cf. tableau page suivante).

Le « zéro carbone » porte sur les émissions de gaz à effet de serre mesurée en kg équivalent CO2 émis par le bâtiment. Le « zéro déchet nucléaire » se mesure en grammes de déchets nucléaires et pointe les déchets nucléaires induits par les énergies nécessaires au fonctionnement du bâtiment.

Ces 3 objectifs s'entendent en bilan annuel, il ne s'agit donc pas d'un bâtiment autonome et ils ne portent que sur le bâtiment en phase d'utilisation. Par contre, il couvre tout les usages énergétiques du bâtiment et pas seulement les 5 usages réglementaires habituellement couverts par la RT 2005.

Cela signifie que la conception doit aussi s'attacher à la réduction des consommations non réglementaires (éclairage extérieur, ascenseurs, bureautique et autres matériel électronique, poste de cuisson et de froid pour la restauration).

C'est TRIBU qui avait donné une définition précise du concept « zéro énergie » utilisé pour le projet.

Une attention très particulière a également été portée dans le choix des matériaux de construction afin de réduire l'impact environnemental lié à la construction et à l'exploitation du bâtiment. Une grande partie de la structure du groupe scolaire a été conçue en ossature bois avec de la paille pour l'isolation thermique. Le béton n'a été que utilisé que lorsque les contraintes de structure ne laissaient pas d'autres choix.

coefficients »physiques » d'équivalence en énergie primaire, en GES et en déchets nucléaires

		énergie	GES	déchets nucléaires
		coef EP	kg CO2 /kWh	g DN /kWh
Electricité délivrée au site par le réseau	chauffage	3,2	0,18	0,025
	ECS, éclairage		0,08	0,05
	autres usages, année entière		0,054	0,06
Gaz naturel fourni au site		1,1	0,234	0
Bois-énergie et biomasse combustible livrée sur le site		0,2	0,02	0
Biomasse liquide (HVP) ou gazeuse (biogaz)		0,3	0,09	0
Electricité produite par cogénération en hiver et injectée au réseau		3,2	0,18	0,025
Electricité photovoltaïque produite sur site et injectée au réseau		3,2	0,054	0,06
Electricité produite et consommée sur le site		0	0	0
Chaleur produite par des capteurs solaires thermiques et consommée sur le site		0	0	0
Energie prise sur l'environnement (sol, air, eau) et consommée sur le site		0	0	0

TABLEAU 49 : COEFFICIENTS PHYSIQUES D'EQUIVALENCE EN ENERGIE PRIMAIRE, EN GES ET EN DECHETS NUCLEAIRES

- *Quel est le secret ou l'élément essentiel selon pour réussir un tel projet ?*

D'après M. HACKEL, l'élément essentiel à la réussite d'un tel projet est une bonne communication à tout niveau entre les différents membres de l'équipe travaillant sur le projet. Le projet réalise sans cesse des allers-retours entre les BET pour améliorer toujours plus la performance du bâtiment autant d'un point de vue architectural, qu'énergétique ou encore acoustique.

La forte réactivité du MOA est aussi un élément essentiel d'après M.HACKEL pour ce type de projet, ce qui était le cas pour le projet du groupe scolaire de Montreuil.

- *Quelle a été votre première approche énergétique : la recherche d'une réduction des besoins, le travail sur la performance des systèmes énergétiques... ?*

D'après M. HACKEL, il n'y a pas une étape plus importante que l'autre et il est impossible de hiérarchiser ces dernières. On ne conçoit pas un bâtiment aussi performant si on ne s'intéresse qu'à l'enveloppe du bâtiment et pas aux systèmes de production et inversement. Cependant, il existe toutefois un ordre entre ces différentes étapes.

Dans le cas du groupe scolaire « Résistance », la compacité du bâtiment a été la première étape de conception, visant à l'optimiser autant que possible tout en respectant les contraintes d'urbanisme. Une fois cette étape terminée, l'effort s'est porté sur l'enveloppe du bâtiment et sur sa performance énergétique (choix des menuiseries, des matériaux de structure, des épaisseurs d'isolants...). Le choix des systèmes d'approvisionnement énergétiques ainsi que des systèmes d'éclairage et de ventilation a été la dernière étape de conception.

Bien que l'ordre des étapes soit généralement toujours le même, la conception n'est pas réellement linéaire et il est nécessaire de faire des allers-retours réguliers entre ces différentes étapes afin de vérifier la cohérence entre elles.

La simulation thermique dynamique permet ensuite de confirmer la cohérence des choix retenus au fur et à mesure de l'avancement du projet.

- *Quels étaient les systèmes énergétiques envisagés et lesquels ont été retenus ?*

Une étude de faisabilité énergétique a été réalisée en amont du projet afin d'étudier le potentiel des énergies renouvelables présentes sur le site. Les solutions de PAC sur sonde, de PAC sur nappe, d'éolien, de photovoltaïque et de solaires thermiques ont été étudiées. Les deux solutions technologiques les plus pertinentes étaient la géothermie sur nappe et la chaudière biomasse (huile végétale) avec cogénération.

C'est finalement la deuxième option qui a été retenue pour deux raisons :

- La géothermie sur nappe présente l'inconvénient de réchauffer peu à peu les nappes ce qui a des conséquences néfastes à la fois pour l'environnement mais aussi sur le rendement global de l'installation.
- La deuxième raison est que la chaudière à huile végétale permet d'associer un système de cogénération qui complète la production d'électricité d'origine photovoltaïque et donc de réduire la surface de panneaux photovoltaïque nécessaire pour atteindre l'objectif « zéro énergie ». Au final, un tiers de la production d'électricité sera produite grâce à la cogénération tandis que le reste sera produit grâce aux 450 m² de panneaux photovoltaïques prévus sur le toit des bâtiments.

18 m² de panneaux solaires thermiques seront également installés en toiture afin d'assurer un taux de couverture d'environ 40% des besoins d'ECS du bâtiment.

- *Avez-vous estimé le surcoût du projet ?*

Il n'y a pas eu de surcoût estimé pour le groupe scolaire de Montreuil. Il est évident qu'un bâtiment aussi performant coûte plus cher qu'un bâtiment plus « classique » mais le budget avait été établi en conséquence. Les équipes de MOE ont raisonné de manière globale et non par comparaison avec d'autres bâtiments déjà existants.

- *Le comportement des usagers et l'usage en général du bâtiment a un très fort impact sur les consommations de celui-ci lorsqu'il s'agit d'un bâtiment BEPOS. Des formations spécifiques ou des supports d'information ont-ils été prévus pour la livraison du bâtiment ?*

Il y a une véritable prise de conscience de la part de la MOA de la nécessité de sensibiliser et d'informer les occupants. Une note sur l'organisation du suivi d'exploitation a été demandée par la ville de Montreuil mais il est encore un peu tôt pour savoir quelles actions concrètes seront mises en place.

Le problème majeur reste que même si une sensibilisation est effectuée correctement, il est impossible d'obliger ou de contraindre les occupants à changer leur comportement ensuite. On ne peut pas interdire au corps professoral de ne pas ouvrir les fenêtres pendant la période de chauffe du bâtiment ou lui imposer de les ouvrir pendant la saison estivale pour la ventilation naturelle. Il reste encore beaucoup de progrès à faire sur l'usage du bâtiment mais les moyens d'actions sont très réduits.