

DOSSIER D'ANALYSE

LES GROUPES SCOLAIRES A ENERGIE POSITIVE
PROGRAMME BATEX



Réf : 2010.219-E06 C	08/11/2012
Rédigé par :	Julien LEMAIRE
Vérifié par :	Axelle SZYMANSKI

REVISIONS

Indice	Date	Modifié par	Modification
A	09/09/2012	Julien LEMAIRE	Création du document
B	06/11/2012	Julien LEMAIRE	Modifications suite à une première diffusion au PUCA
C	07/11/2012	Julien LEMAIRE	Corrections suite aux remarques du PUCA
D	08/11/2012	Julien LEMAIRE	Modification du résumé

ACRONYMES

AMO	Assistant à Maitrise d’Ouvrage
APD	Avant Projet Définitif
APS	Avant Projet Sommaire
BATEX	BATiment Exempla ir e
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
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	RESUME.....	6
2	PROBLEMATIQUE	7
3	METHODOLOGIE	9
3.1	Le cadrage du projet et la sélection des opérations étudiées.....	9
3.1.1	Les groupes scolaires retenues dans le cadre du programme de recherche	11
3.1.2	Les groupes scolaires non retenues dans le cadre du programme de recherche	11
3.2	La collecte des données.....	11
3.3	L'analyse des données.....	12
4	PRESENTATION DES GROUPES SCOLAIRES RETENUS.....	13
4.1	Le groupe scolaire Jean-Louis Marquèze à Limeil-Brévannes	13
4.2	Le groupe scolaire Saint-Exupéry à Pantin	14
4.3	Le groupe scolaire Olympe de Gouges à Arcueil	15
4.4	Le groupe scolaire de la ZAC Sainte-Geneviève à Nanterre	16
4.5	Le groupe scolaire de l'îlot 104 (Avenue de la Résistance) à Montreuil	17
4.6	Tableau de synthèse des caractéristiques des cinq groupes scolaires.....	18
5	QU'EST CE QU'UN BATIMENT A ENERGIE POSITIVE ?	21
5.1	Les différentes définitions du BEPOS.....	21
5.1.1	Benchmark de différentes définitions du bâtiment BEPOS.....	21
5.1.2	L'appel à projet Bâtiment BEPOS de l'ADEME	23
5.2	Les définitions adoptées par les groupes scolaires BEPOS étudiés.....	24
5.2.1	Impact de la prise en compte des consommations d'électricité spécifique.....	26
5.2.2	Impact du choix des coefficients de conversion énergie primaire/énergie finale	28
5.3	L'avenir du bâtiment à énergie positive	30
6	SYNTHESE DES INTERVIEWS	32
6.1	Contexte des projets.....	32
6.2	Démarche en conception et réalisation	33
6.3	Solutions techniques et architecturales	35
6.4	Aspect économique	37
6.5	Acceptation et usage des groupes scolaire BEPOS.....	38
7	ANALYSE TECHNIQUE DES SOLUTIONS RETENUES	41
7.1	Composition des parois et performance du bati.....	41
7.2	Les systèmes de chauffage	41
7.3	La production d'eau chaude sanitaire	43
7.4	Les systèmes de ventilation : Double flux et ventilation naturelle	44
7.5	L'éclairage	45
7.6	Production énergétique.....	46
7.7	Analyse des consommations énergétiques des groupes scolaires.....	47
8	SYNTHESE :	51

1 RESUME

Le programme de recherche « BATEX » vise, au travers de l'examen de bâtiments et d'opérations exemplaires, à constituer un corpus de références permettant d'analyser les innovations mises en œuvre pour juger de leurs efficacités mais aussi de leurs efficacies. Dans le cadre de ce programme, une étude a été menée sur les groupes scolaires dits « à énergie positive » ou BEPOS en Île-de-France, afin de mieux comprendre comment concevoir, construire et gérer ce type d'équipement.

La finalité de cette étude n'est pas uniquement d'analyser chacun des groupes scolaires à énergie positive et de répertorier les technologies innovantes que l'on peut y rencontrer mais d'analyser dans sa globalité la vie du bâtiment, de la création du projet et la définition de ses ambitions énergétiques et environnementales, à l'usage du bâtiment dans sa fonction, en passant bien entendu par la phase de conception.

L'objectif de ce dossier d'analyse est donc triple :

- Réaliser un corpus de référence des groupes scolaires à énergie positive en Ile-de-France dans les domaines techniques, environnementaux, économiques et de gouvernance de l'opération,
- Analyser l'exemplarité des bâtiments sur la conception et la mise en œuvre,
- Permettre d'obtenir un premier retour d'expérience sur les technologies employées, l'aspect économique et l'intégration de ces bâtiments.

Plusieurs points importants ont été identifiés lors de cette étude en ce qui concerne la conception et la construction d'un groupe scolaire à énergie positive en Ile-de-France.

Aujourd'hui, il n'existe pas encore de définition officielle du BEPOS ce qui laisse une marge de manœuvre assez importante aux programmeurs. Pourtant le sujet de la définition adoptée a une influence sur les contraintes et les objectifs du projet et sur l'appropriation des projets par les maîtres d'ouvrage dont la volonté et l'engagement dans des politiques de développement durable a toujours été un élément clés dans la réalisation de ces projets.

La démarche de conception d'un groupe scolaire apparaît peu différente dans sa globalité de celle d'un bâtiment plus conventionnel (BBC par exemple) mais elle demande un investissement plus grand des différentes équipes du projet. En effet, plus les consommations énergétiques du bâtiment sont optimisées et plus l'influence de chaque détail devient importante.

Il apparaît également qu'il n'existe pas de solution architecturale ou technique universelle qui puissent être reproduite systématiquement pour concevoir un bâtiment BEPOS. Chaque site et chaque programme possède ces propres contraintes et opportunités qu'il est indispensable d'analyser dans le but d'adopter les installations techniques les plus appropriées. Une enveloppe très performante, une perméabilité à l'air soignée, des systèmes de production de chaleur et de ventilation peu consommateurs en énergie primaire, un système d'éclairage optimisé et le recours aux énergies renouvelables notamment à des panneaux solaires photovoltaïques sont toutefois des éléments que l'on retrouve dans tous les bâtiments.

Enfin, l'usage du bâtiment est un aspect très important à prendre en compte lors de la conception, de la livraison et du suivi de bâtiments aussi performants. La sensibilisation des usagers et du personnel de maintenance s'est avéré être l'un des éléments clés de la réussite d'un projet de groupe scolaire BEPOS.

2 PROBLEMATIQUE

Les objectifs ainsi identifiés ont été déclinés en cinq enjeux distincts qui ont permis de définir un cadre d'étude précis et de structurer cette analyse.

Les cinq thématiques sont les suivantes :

- ***Dans quel contexte les bâtiments à énergie positive étudiés ont-ils été construits ?***
L'enjeu de cette première thématique est de déterminer le contexte général des projets étudiés, d'identifier les enjeux de chaque opération et de mettre en lumière les choix qui ont été réalisés lors de la conception et de la réalisation des bâtiments et les raisons qui ont motivées ces choix. L'un des aspects les plus importants de cette thématique est de comprendre ce qui a amené à réaliser un groupe scolaire BEPOS et le rôle de chacun des acteurs dans cette décision ambitieuse et d'aborder la question de la programmation et de la définition adoptée pour les bâtiments BEPOS.
- ***Quelle démarche en conception et réalisation est mise en place aujourd'hui pour concevoir un groupe scolaire à énergie positive ?***
L'enjeu cette fois-ci est de déterminer les paramètres pris en compte pour la conception des bâtiments, les outils utilisés (étude réglementaire thermique, simulation thermique dynamique, étude solaire) et d'évaluer l'implication des différents acteurs et leurs interactions dès la conception ainsi que leur influence sur la mise en œuvre finale du bâtiment. Les interviews réalisées avec les principaux acteurs des groupes scolaires étudiées permettent d'identifier les singularités dans la démarche de conception et de réalisation par rapport à un groupe scolaire « classique ».
- ***Quelles solutions techniques et architecturales ont-été mises en place pour permettre d'atteindre le niveau de performance énergétique BEPOS ?***
L'enjeu de cette troisième problématique est de réaliser un comparatif des techniques utilisées sur les projets pour atteindre les performances d'un bâtiment à énergie positive et d'évaluer les performances énergétiques et les gains réalisés en fonction des technologies employées. Cette question permet aussi de déterminer s'il existe des solutions mises en place de façon systématique dans les groupes scolaires à énergie positive francilien ou si chacun des projets a expérimenté des technologies différentes en fonction des caractéristiques propres du site et du cahier des charges initial. Les technologies sur lesquelles notre étude se focalise concernent d'une part les procédés permettant de diminuer au maximum les déperditions du bâtiment et donc ses besoins énergétiques et d'autre part les systèmes énergétiques à proprement dit qui permettent de couvrir les besoins de chaleur, de produire de l'énergie renouvelable et d'assurer une qualité d'air conforme aux cahiers des charges. On s'intéresse ici uniquement aux données énergétiques, aux « kWh ».
- ***Quelle rentabilité pour le BEPOS ?***
L'enjeu est d'analyser d'un point de vue économique les différents projets et de déterminer si la construction d'un bâtiment à un tel niveau de performance est réellement intéressante ou si les efforts consentis pour y arriver sont finalement trop coûteux. Le coût (temps, argent) en études, le prix moyen au mètre carré d'un groupe scolaire à énergie positive ainsi que les gains économiques réalisés par le bâtiment grâce aux économies d'énergie et à la production de chaleur/électricité d'origine renouvelable ont notamment été étudié.

La difficulté de cette problématique repose dans la collecte de données fiables du fait de la construction récente des groupes scolaires et donc du très faible retour sur expérience dont ils bénéficient.

- ***Quels changements les bâtiments à énergie positive provoquent-ils et sont-ils bien acceptés ?***

L'enjeu de cette dernière thématique est d'évaluer le niveau d'intégration des bâtiments à énergie positive au sein de leur environnement et les changements de comportement provoqués auprès des usagers des bâtiments et le niveau d'acceptabilité résultant.

Le retour sur le niveau de satisfaction concerne également l'ensemble des acteurs ayant travaillé sur le projet ainsi que les personnes responsables de l'exploitation et de la maintenance du groupe scolaire.

3 METHODOLOGIE

Ce programme de recherche et d'analyse des groupes scolaires à énergie positive en Ile-de-France s'est déroulé en quatre phases distinctes :

- Le cadrage du projet et la sélection des opérations étudiées
- La collecte de données par l'intermédiaire de visites et d'interviews des acteurs principaux des groupes scolaires
- L'analyse des données
- La rédaction de la synthèse

3.1 LE CADRAGE DU PROJET ET LA SELECTION DES OPERATIONS ETUDIEES

Cette première phase de l'étude avait pour objectif de répertorier les groupes scolaires à énergie positive en Ile-de-France déjà construits ou en cours de conception/construction et de sélectionner les opérations à partir de critères permettant d'obtenir un panel suffisamment large pour établir un corpus de référence mais aussi suffisamment homogène pour que les opérations soient comparables les unes par rapport aux autres.

Dix opérations de construction de bâtiments scolaire BEPOS avaient été recensées en Ile-de-France au moment de la première phase de l'étude. Une première analyse a permis de classer les projets en fonction de leur taille, leur programme fonctionnel, les différents acteurs des projets et l'état d'avancement de chaque opération.

Les caractéristiques de ces dix opérations sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Présentation générale des opérations							
Opérations en Ile-de-France		Fonction	Taille	Acteurs			Avancement
				MOA	AMO	MOE	
JL. Marquèze	Limeil-Brévannes	école + restaurant scolaire + centre de loisir	2935 m ²	Mairie de Limeil-Brévannes	Tribu (depuis la programmation)	Lipa & Serge Goldstein	Livré
O. de Gougès	Arcueil	école + restaurant scolaire + centre de loisir + logement de fonction	4 700 m ²	SADEV 94 puis Mairie d'Arcueil	Tribu (depuis la programmation)	TVK	Livré
St Exupéry	Pantin	école + restaurant scolaire	3535 m ²	Mairie de Pantin	Tribu (depuis la programmation)	Méandre	Livré
G. Bruhat	Dammartin-en-serve	uniquement salle de classe	180 m ²	Mairie de Dammartin	-	Arch. Quitard	Livré
JL. Etienne	Herblay	école + restaurant scolaire	4 920 m ²	Mairie d'Herblay	IDF2C (AMO OPC)	Agence Frédéric Nicolas	Construction
Abdelmalek Sayad	Nanterre	école + restaurant scolaire + logement fonction	5 063 m ²	Mairie de Nanterre	LesEnR (depuis l'analyse concours)	Nicolas Favet Architectes	Début des travaux (été 2011)
Résistance	Montreuil	école + restaurant scolaire + centre de loisir	6 210 m ²	Mairie de Montreuil	Tribu (depuis la programmation)	Méandre	APD
ZAC de la Marine	Colombes	école + restaurant scolaire + centre de loisir	6 700 m ²	Mairie de Colombes	LesEnR (depuis l'analyse APS)	Coulon architecture	APS
Ecoquartier Sycomore	Bussy-St-Georges	école + restaurant scolaire + logement fonction + centre de loisir	4 000 m ²	Mairie de Bussy	LesEnR (depuis la programmation)	-	Programmation
ZAC Boissière-Acacia	Montreuil	école + restaurant scolaire + logement fonction + centre de loisir	5 000 m ²	Mairie de Montreuil	LesEnR (depuis la programmation)	-	Programmation

TABLEAU 1 : PRESENTATION GENERALE DES OPERATIONS DE GROUPES SCOLAIRES BEPOS EN ILE-DE-FRANCE

3.1.1 Les groupes scolaires retenues dans le cadre du programme de recherche

- Le groupe scolaire « Jean-Louis Marquèze » est le premier groupe scolaire BEPOS de France. Ce projet entre donc naturellement dans le corpus de l'étude. Il représente une référence de « base » pour tous les autres groupes scolaires réalisés ensuite. D'autre part, ce groupe scolaire bénéficie maintenant d'un retour d'expérience de plus de trois ans ce qui permet de comparer les consommations énergétiques actuelles avec celles qui avaient été estimées par calcul réglementaire (RT200) et simulation thermique dynamique durant la phase de conception et d'analyser les différences ou les « dysfonctionnements » observés pour en tirer des enseignements. Ce retour d'expérience permet enfin un retour plus important sur l'acceptabilité du bâtiment par les usagers.
- Les groupes scolaires « Olympes de Gouges » (Arcueil) et « St Exupéry » (Pantin) ont été livrés en 2010. Ils sont avec le groupe scolaire de Limeil-Brévannes et l'école de Dammartin-en-Serve, les seuls groupes scolaires à énergie zéro ou à énergie positive actuellement en fonctionnement en Ile-de-France. L'étude de ces groupes scolaires permet de voir comment la notion de BEPOS a été déclinée après la première opération de Limeil-Brévannes et si la même définition du BEPOS a été reprise ou si les maîtres d'ouvrage se sont appuyés sur une nouvelle définition.
- Le groupe scolaire de Nanterre sur la ZAC Centre Sainte Geneviève, porte dans sa programmation une réflexion particulière sur l'énergie grise, un point qui n'avait pas été inclus dans la définition des autres groupes scolaires BEPOS. La prise en compte de ce projet permet d'analyser comment cet aspect est intégré aux exigences du bâtiment à énergie positive et décliné dans le projet.
- Le groupe scolaire de l'avenue de la résistance à Montreuil va encore plus loin dans la programmation en incluant un objectif « zéro déchets nucléaire » et « zéro émissions de CO2 » en plus de l'objectif « zéro énergie ». L'étude permettra de montrer comment la démarche a évolué entre les deux opérations à trois ans d'intervalles.

3.1.2 Les groupes scolaires non retenues dans le cadre du programme de recherche

L'école de Dammartin-en-Serve est une opération de trop petite taille pour apporter des résultats significatifs à l'étude en comparaison des autres opérations.

L'état d'avancement des groupes scolaires de Colombes, de Bussy-St-Georges et de la ZAC Boissière-Acacia de Montreuil encore en phase APS ou en programmation ne permettait pas d'obtenir des résultats intéressants pour l'étude.

Actuellement stoppé et reporté, le projet du groupe scolaire JL Etienne à Herblay rencontrait des difficultés au niveau de sa construction. Il n'a pas été retenu dans l'étude.

3.2 LA COLLECTE DES DONNEES

Dans un premier temps, un travail de bibliographie a été réalisé afin de bien comprendre la ou les définitions d'un bâtiment BEPOS et de recueillir la littérature publiée à ce sujet.

Un deuxième temps a été consacré à mieux connaître les tenants et les aboutissants de chaque projet, afin de comprendre le contexte dans lequel ont été réalisés ces groupes scolaires et d'identifier les similitudes et les particularités de chaque école. Dans ce deuxième temps, des guides d'entretiens personnalisés ont été réalisés et adaptés en fonction des particularités de chaque projet et des acteurs rencontrés. D'autre part,

des visites de site ont également eu lieu dans les groupes scolaires livrés afin d'observer le fonctionnement réel du bâtiment, les installations techniques et de rencontrer le personnel de maintenance lorsque cela était possible.

Trois visites de site et huit interviews ont été réalisées :

- Visite du groupe scolaire « Olympe de Gouges » à Arcueil
- Visite du groupe scolaire « Saint-Exupéry » à Pantin
- Visite du groupe scolaire « Jean Louis Marquèze » à Limeil-Brévannes

- Interview de la ville d'Arcueil, exploitant du groupe scolaire « Olympe de Gouges » à Arcueil
- Interview de Mme Chauchat, de l'agence TVK architecte, MOE du groupe scolaire « Olympe de Gouges » à Arcueil
- Interview de M. Boutté, directeur de l'agence Franck Boutté Consultant, au sujet du groupe scolaire « Olympe de Gouges » à Arcueil
- Interview de M. Bornarel, directeur de la société Tribu, responsable de l'AMO HQE des groupes scolaires « Jean-Louis Marquèze » à Limeil-Brévannes, « Olympe de Gouges » à Arcueil, « Saint-Exupéry » à Pantin, et « Résistance » à Montreuil.
- Interview de M. Hackel de l'agence d'architecture « Atelier Méandre » au sujet du groupe scolaire « Résistance » de Montreuil
- Interview de Mme. Patte de l'agence d'architecture « Atelier Méandre » au sujet du groupe scolaire « Saint-Exupéry » à Pantin
- Interview de M. Goldstein, de l'agence d'architecture « Lipa&Serge Goldstein » au sujet du groupe scolaire « Jean-Louis Marquèze » à Limeil-Brévannes
- Interview de M. Lheritier de la ville de Limeil-Brévannes et rencontre avec M. Lebeau du service du département Energie dans les Bâtiments et Territoires d'EDF R&D qui supervise le suivi des consommations énergétiques du groupe scolaire « Jean-Louis Marquèze »
- Interview de la ville de Nanterre au sujet du groupe scolaire « Abdelmalek Sayad » à Nanterre
- Interview de Mme. Judéaux, chef de projet de la société LesEnR, AMO HQE du groupe scolaire « Abdelmalek Sayad » à Nanterre.
- Interview de Nicolas Favet, fondateur et directeur de l'agence Nicolas Favet Architecture, MOE du groupe scolaire « Abdelmalek Sayad » à Nanterre

Ces interviews sont présentées dans leur intégralité dans le dossier des monographies des groupes scolaires étudiées et une synthèse a été réalisée et intégrée dans ce dossier d'analyse.

3.3 L'ANALYSE DES DONNEES

Après avoir effectué le tri des données collectées et confronté les résultats collectés dans les différents documents, une étude technico-économique comparative a été menée afin d'évaluer l'exemplarité de chaque opération suivant les critères déterminés et de leur reproductibilité sur d'autres opérations.

L'enjeu principal de cette analyse est de mettre en lumière les singularités des démarches menées par rapport à un projet à performance énergétique réglementaire, les éventuelles difficultés rencontrées dans un projet de groupe scolaire à énergie positive, les solutions techniques qui fonctionnent et celles qui méritent plus d'attention de par leur complexité et d'estimer les éventuels surcoûts d'un tel projet.

Bien qu'il n'existe pas de solution universelle pour concevoir un bâtiment BEPOS, cette analyse a pour vocation d'aider les différents acteurs du monde du bâtiment dans leur décision de s'investir dans ce type de projet et dans la conception de celui-ci grâce à ce premier retour d'expérience.

4 PRESENTATION DES GROUPES SCOLAIRES RETENUS

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

Présentation du projet

Le groupe scolaire Jean-Louis Marquèze regroupe 5 classes de maternelle et 7 classes d'élémentaire. Il est composé d'une école, d'un restaurant scolaire et d'un centre de loisir.

Livré en novembre 2007, il est le premier groupe scolaire zéro énergie de France.

Surface SHON : 2 935m²

Surface SDO : 2 800m²

Coût des travaux : 5 800 000 € HT

Coût global : 8 500 000 € HT

Coût des travaux au m²_{SHON} : 2900 €/m²_{SHON}

Acteurs	MOA	Ville de Limeil-Brévannes
	AMO	Tribu
	Architecte	Agence Lipa & Serge Goldstein
	BET	Cabinet Hubert Pénicaud, Bérim



Systèmes énergétiques

Ventilation double flux avec récupération de chaleur en hiver et ventilation naturelle en été

Pompe à chaleur sur nappe

Panneaux photovoltaïques

Panneaux solaires thermiques

Gestion Technique Centralisée (GTC) notamment pour l'éclairage

Consommations énergétiques estimées (calcul réglementaire RT2000)

Consommation d'énergie primaire : 53 kWh_{EP}/m²_{SHON}/an

Consommation d'énergie finale : 21 kWh_{EF}/m²_{SHON}/an

Production d'énergie estimée (calcul réglementaire RT2000)

Installation photovoltaïque :

- 532 m² de panneaux
- 70 000 kWh/an d'énergie produite

4.2 LE GROUPE SCOLAIRE SAINT-EXUPERY A PANTIN

Présentation du projet

Inauguré en septembre 2010, le groupe scolaire Saint-Exupéry à Pantin accueille 450 élèves répartis entre 8 classes d'élémentaire et 4 classes de maternelle. Le bâtiment accueille également un restaurant scolaire.

Surface SHON : 3 535m²

Coût des travaux : 8 500 000 €

Coût total : 14 000 000 €

Coût des travaux au m²_{SHON} : 2381 €/m²_{SHON}

Coût total au m²_{SHON} : 3 960 €/m²_{SHON}

	MOA	Ville de Pantin
	AMO	Tribu
Acteurs	Architecte	Atelier Méandre
	BET	Alto Ingénierie, EVP Ingénierie, Anglade Structure Bois



Systèmes énergétiques

Ventilation double flux avec récupération de chaleur

Panneaux photovoltaïques

Panneaux solaires thermiques

Pompe à chaleur sur sonde géothermique

Consommations énergétiques estimées (calcul réglementaire RT2005)

Consommation en énergie primaire : 70 kWh_{EP}/m²_{SHON}/an

Consommation en énergie finale : 27 kWh_{EF}/m²_{SHON}/an

Production d'énergie estimée (calcul réglementaire RT2005)

Installation photovoltaïque :

- 1168m² de panneaux
- 120 kWc de puissance
- 110 500 kWh/an d'énergie produite

4.3 LE GROUPE SCOLAIRE OLYMPE DE GOUGES A ARCUEIL

Présentation du projet

Le groupe scolaire Olympe de Gougues regroupe une école maternelle, une école élémentaire, un centre de loisir, un restaurant scolaire et un logement de fonction. Il a été inauguré en février 2010. Avec 7 classes de maternelle et 11 classes élémentaires, le groupe scolaire accueille 450 élèves.

Surface SHON : 4 700 m²

Coût des travaux : 12 000 000 €

Coût au m²_{SHON} : 2553 €/m²_{SHON}

	MOA	Ville d'Arcueil (MOA déléguée SADEV94)
	AMO	Tribu
Acteurs	Architecte	Trévelo & Viger architectes Inex Fluide, Franck Boutté
	BET	Consultants, EVP Ingénierie, MDETC économie



Systèmes énergétiques

Ventilation double flux avec récupération de chaleur

Pompe à chaleur géothermique

Panneaux photovoltaïques

Panneaux solaires thermiques

Consommations énergétiques estimées (calcul réglementaire RT2005)

Consommation en énergie primaire : 51 kWh_{EP}/m²_{SHON}/an

Production d'énergie estimée (calcul réglementaire RT2005)

Installation photovoltaïque :

- 620m² de panneaux

4.4 LE GROUPE SCOLAIRE DE LA ZAC SAINTE-GENEVIEVE A NANTERRE

Présentation du projet

Dans le cadre de l'aménagement du quartier Sainte-Geneviève, la ville de Nanterre a programmé la construction d'un groupe scolaire. Prévu pour la rentrée 2013, ce groupe scolaire comprendra 9 classes d'élémentaire et 6 classes de maternelle, deux centres de loisir et un espace de restauration. Actuellement en construction, les travaux devraient durer 20 mois jusque fin avril 2013.

Surface SHON : 5 063m²

Surface Utile SU : 4 379m²

Coût des travaux : 11,4 M€ (hors dépollution et parking)

Coût des travaux : 14,5 M€ (avec dépollution et parking)

Coût des travaux au m²_{SHON} : 2250 €/m²_{SHON}

(Hors dépollution et parking)

Acteurs	MOA	Ville de Nanterre
	AMO	LesEnR
	Architecte	Nicolas Favet Architecture
	BET	Coretude, BIIC, Pascal Loison, Perichimie, Gamba Acoustique



Systemes énergétiques

Ventilation double flux avec récupération de chaleur

Panneaux photovoltaïques

Raccordement au réseau de chaleur EnR de la ville

Gestion Technique Centralisée (GTC)

Consommations énergétiques estimées (calcul réglementaire RT2005)

Consommations des postes réglementaires en énergie primaire : 43 kWh_{EP}/m²_{SHON}/an

Consommation tous postes confondus en énergie primaire : 48 kWh_{EP}/m²_{SHON}/an

Consommation en énergie finale : 28 kWh_{EF}/m²_{SHON}/an

Production d'énergie estimée (calcul réglementaire RT2005)

Installation photovoltaïque :

- 800m² de panneaux
- 96 MWh/an d'énergie produite

4.5 LE GROUPE SCOLAIRE DE L'ÎLOT 104 (AVENUE DE LA RESISTANCE) A MONTREUIL

Présentation du projet

Le groupe scolaire de l'avenue de la résistance à Montreuil sera composé de 9 classes de maternelle et de 14 classes d'élémentaire ainsi qu'un restaurant scolaire et deux centres de loisir.

Le projet est actuellement en travaux et devrait être livré en juillet 2013.

Surface SHON : 6 210 m²

Coût des travaux : entre 11 et 12M€

Acteurs	MOA	Ville de Montreuil
	AMO	Tribu
	Architecte	Atelier Méandre
	BET	Alto ingénierie



Systemes énergétiques

Ventilation double flux avec récupération de chaleur

Panneaux photovoltaïques

Panneaux solaires thermiques

Chaudière à huile végétale

Consommations énergétiques estimées (calcul réglementaire RT2005)

Consommations en énergie primaire (tous usages) : 78,5 kWh_{EP}/m²_{SDO}/an

Consommations en énergie finale (tous usages) : 83,5 kWh_{EF}/m²_{SDO}/an

Production d'énergie estimée (calcul réglementaire RT2005)

Chaudière à huile végétale

Installation photovoltaïque (502 m² en toiture)

4.6 TABLEAU DE SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DES CINQ GROUPES SCOLAIRES

Carte d'identité						
Groupe scolaire		« Jean-Louis Marquèze » Limeil-Brévannes (94)	"Saint Exupéry" Pantin (93)	"Olympe de Gougès" Arcueil (94)	"Abdelmalek Sayad" Nanterre (92)	« Résistance » Montreuil (93)
Date de livraison		nov-07	sept-10	févr-10	juin-13	juil-13
Etat d'avancement		Livré	Livré	Livré	Phase Chantier	Phase Chantier
Acteurs	MOA	Ville de Limeil-Brévannes	Ville de Pantin	Ville d'Arcueil (MOA déléguée SADEV94)	Ville de Nanterre	Ville de Montreuil
	AMO	Tribu	Tribu	Tribu	LesEnR	Tribu
	MOE- architecte	Agence Lipa & Serge Goldstein	Atelier Méandre	Trévelo & Viger architectes	Nicolas Favet Architecture	Atelier Méandre
	BET	Cabinet Hubert Pénicaud, Bérin	Alto Ingénierie, EVP Ingénierie, Anglade Structure Bois	Inex Fluide, Franck Boutté Consultants, EVP Ingénierie, MDETC économie	Coretude, BIIC, Pascal Loison, Perichimie, Gamba Acoustique	Alto ingénierie
Nombre de bâtiment		1	3	1	1	1
Surface SHON (m²)		2935,00	3534,7	4 700	5063	6 209,20
Surface SDO (m²)		2800	-	4 279	-	5 433,80
Nombre d'occupant (max)		370	450	450	425	600
Usage des bâtiments		5 classes de maternelle et 7 classes élémentaires + restauration	Ecole élémentaire + école maternelle + 1 centre de loisirs + restauration	Ecole maternelle et primaire + 1 centre de loisirs + restaurant	Ecole élémentaire + école maternelle + 2 centres de loisirs + restauration	1 école maternelle + 1 école élémentaire + 2 centres de loisirs + restauration
Coûts des travaux en €HT		5 800 000	8 500 000	12 000 000	11 400 000	Entre 11 et 12 millions d'euros

Coûts des travaux en €HT/m ² SHON	1 980	2 400	2 550	2 250	Entre 1800 et 2000
Objectifs consommation	53 kWhep/m ² SHON/an	27 kWhef/m ² SHON/an	51 kWhep/m ² SHON/an	48 kWhep/m ² SHON/an	78,5 kWhep/m ² SHON/an
Objectifs production	70 MWh/an soit 61,5 kWhep/m ² SHON.an	110 MWh/an soit 29 kWhef/m ² SHON.an	93 MWh/an soit 51 kWhep/m ² SHON/an	96 MWh/an soit 49 kWhep/m ² SHON.an	170 MWh/an soit 82 kWhep/m ² SHON.an
Structure	Murs en Béton + 18cm de laine minérale en ITE	Ossature bois aux étages supérieurs et béton pour les RDC	Structure béton avec 24 cm d'isolation par l'extérieur	Ossature bois + 30cm de fibre de bois et béton + 20cm fibre bois	Ossature bois et béton
Menuiseries	Bois + Triple Vitrage (Uw=1,2 à 1,6)	Mixte bois/alu et Mélange double et triple vitrage	Triple vitrage à lame d'argon	Mixte bois/alu + Double Vitrage argon (Uw=1,13)	Double vitrage (Uw= 1,4 à 1,5 W/m ² .K)
Production calorifique	Pompe à chaleur puisant dans la nappe phréatique (70m de profondeur)	Pompe à chaleur sur champ de sondes (15 sondes de 100 m de profondeur)	Raccordement à un réseau de chaleur ENR prévu en 2013 (entre 60 et 70% couvert par la géothermie sur Dogger) Pompe à chaleur sur air en attendant	Raccordement à un réseau de chaleur ENR (géothermique) + récupération de chaleur sur eaux usées (EnR>60%) + géocooling sur champs de sonde	Chaudière à huile végétale pure
Emetteurs	Radiateurs basse température	Plancher chauffant	Radiateurs basse température	Plancher chauffant	Planchers chauffants et radiateurs basses température
Production électrique	532 m ² de panneaux photovoltaïque	1168 m ² de panneaux photovoltaïque	620 m ² de panneaux photovoltaïques	800 m ² de panneaux photovoltaïque	502 m ² de panneaux photovoltaïque + cogénération à l'huile végétale pure
ECS	30 m ² de capteurs solaires thermiques et appoint électrique	12 m ² de capteurs solaire thermiques et appoint électrique+PAC	15 m ² de capteurs solaires thermiques	Production d'ECS via le réseau de chaleur	18,56 m ² de capteurs solaires thermiques et appoint réalisé par la cogénération

Ventilation	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver, surventilation nocturne et ventilation naturelle traversante en été	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver, surventilation nocturne et ventilation naturelle traversante en été	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver, surventilation naturelle et ventilation naturelle traversante en été	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver ($p = 70\%$) + sondes CO2 dans certaines zones
Eclairage	Eclairage artificiel géré par GTC en fonction de l'occupation et de l'éclairage naturel	Eclairage artificiel géré par GTC en fonction de l'éclairage naturel	Système d'éclairage à multiples capteurs (détecteur de présence et de luminosité) + rangées de luminaires indépendantes dans les salles de classes	Eclairage artificiel géré par GTC en fonction de l'occupation et de l'éclairage naturel	Eclairage artificiel géré par détecteur de présence et gradation en fonction de mesure de luminosité
Perméabilité à l'air	Pas de test	0,3 m ³ /h.m ² pour le bâtiment A, 0,26 m ³ /h.m ² pour le bâtiment B et 0,12 m ³ /h.m ² pour le bâtiment C	Informations non récupérés	0,6 m ³ /h.m ²	1 m ³ /h.m ² (test à livraison du chantier pour vérifier la conformité)

TABLEAU 2 : TABLEAU DE SYNTHES DES CARACTERISTIQUES DES CINQ GROUPES SCOLAIRES ETUDIES

5 QU'EST CE QU'UN BATIMENT A ENERGIE POSITIVE ?

Il n'existe pas à ce jour de définition réglementaire pour un bâtiment à énergie positive. L'analyse des programmes des cinq groupes scolaires étudiés reflète bien cette absence puisque les objectifs BEPOS fixés pour chacun des projets diffèrent sur plusieurs points : les postes de consommations énergétiques à compenser, les coefficients de conversion entre énergie primaire et énergie finale, la prise en compte de l'énergie grise des matériaux constructifs du bâtiment, etc.

Les premiers bâtiments à énergie positives se sont développés depuis une dizaine d'année en France et sont généralement le résultat de démarches individuelles (maisons individuelles BEPOS) ou d'incitation à travers des appels à projets sur des bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie lancés par l'ADEME et les régions dans le cadre du PREBAT notamment. Parmi les premiers bâtiments BEPOS précurseurs, on retrouve notamment l'école JL. Marquèze à Limeil-Brévannes, la tour Elithis à Dijon, le projet des archives départementales du Nord, le projet Green Office de Bouygues Immobilier...

Avant de s'intéresser aux objectifs portés par chacun des cinq groupes scolaires étudiés, il est intéressant de se pencher sur les différentes définitions formulées pour les bâtiments à énergie positive en France mais également dans les pays voisins comme en Suisse où cette problématique est portée par l'association MINERGIE.

5.1 LES DIFFERENTES DEFINITIONS DU BEPOS

Le concept de bâtiment à énergie positive est apparu en France pour la première fois dans la loi Grenelle 1.

Selon l'article 4 de la loi Grenelle 1 du 3 août 2009, « toutes les constructions neuves faisant l'objet d'une demande de permis de construire déposée à compter de la fin 2020 présentent, sauf exception une consommation d'énergie primaire inférieure à la quantité d'énergie renouvelable produite dans ces constructions, et notamment le bois énergie ».

Cette première définition encore un peu vague a ensuite été reprise et complétée par les différentes institutions du bâtiment dont le PREBAT (Programme de recherche et d'expérimentation sur la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment) en premier lieu : « un bâtiment ou un site est à énergie positive s'il consomme peu d'énergie et si l'énergie produite sur le site, grâce aux énergies renouvelables, est supérieure à celle consommée en moyenne sur l'année ».

D'autres entités, comme l'ADEME et le CSTB, ont ensuite cherché à affiner le cadre de la définition.

5.1.1 Benchmark de différentes définitions du bâtiment BEPOS

Définition extraite de Wikipédia, encyclopédie internet, article « Bâtiment à énergie positive »

« Un bâtiment à énergie positive est un bâtiment qui produit plus d'énergie (électricité, chaleur) qu'il n'en consomme pour son fonctionnement. » ; « C'est généralement un bâtiment passif très performant et fortement équipé en moyens de production d'énergie par rapport à ses besoins en énergie » ; « Le caractère excédentaire en énergie (« positif ») est permis par des principes constructifs et bioclimatiques,

mais aussi par le comportement des usagers (gestion efficace des usages, des consommations de l'électroménager et de l'informatique, de la mobilité...). ».

Définition de M. Alain Maugard, directeur du CSTB, « Le bâtiment à énergie positive » :

« Le bâtiment à énergie positive assure ses propres besoins et l'énergie non consommée est restituée sur le réseau qui devient une immense coopérative de production [...] ces bâtiments ne consomment pas plus qu'ils ne produisent. »

Définition de l'ADEME et du CSTB, article « le bâtiment à énergie positive », thème de recherche pour une fondation

« Un bâtiment à énergie positive est un bâtiment producteur net d'énergie, qui peut toutefois échanger (de la chaleur ou de l'électricité) par l'intermédiaire de réseaux (locaux ou interconnectés) avec d'autres bâtiments, ou plus généralement d'autres consommateurs/producteurs. »

Définition issue du glossaire de l'ADEME :

« Un bâtiment à énergie positive est un bâtiment dont la conception est telle qu'il produit plus d'énergie qu'il n'en consomme. Ces bâtiments, très fortement isolés thermiquement et pourvus des équipements les plus économes, fonctionnent sans système de chauffage ou sans système de chauffage utilisant des combustibles fossiles. Ils produisent de l'énergie, généralement au moyen d'équipements photovoltaïques raccordés au réseau électrique, en quantité supérieure à leurs besoins »

Définition de l'association Suisse Minergie :

La Suisse a pris de l'avance sur la France en développant un label officiel porté par l'association Minergie : le label Minergie-A.

Minergie n'utilise cependant pas l'expression de « bâtiment à énergie positive » ou « bâtiment zéro énergie », mais préfère le concept de « Nearly zéro énergie » que l'on peut traduire par « presque zéro énergie ».

Ce label prend en compte d'une part la somme des énergies nécessaires au fonctionnement du bâtiment (production de chaleur, ventilation, éclairage, appareils électrodomestiques) estimée selon les méthodes réglementaires suisse et d'autre part les consommations liées à l'énergie grise des matériaux, c'est-à-dire l'énergie nécessaire à la production, fabrication, l'utilisation et le recyclage des matériaux utilisés.

Ainsi la consommation énergétique du bâtiment prise en compte est plus complète que le simple niveau réglementaire français où les consommations électrodomestiques et l'énergie grise ne sont pas comptabilisées.

L'ensemble est pondéré pour passer de l'énergie finale à énergie primaire avec des coefficients spécifiques au label (différents des coefficients réglementaires français).

Le niveau de consommation, une fois la production locale d'énergie retranchée, doit être inférieur à 45 kWhEP/m²/an.

D'autre part, des exigences complémentaires doivent également être respectées :

- Les besoins de chaleur en énergie utile doivent être inférieurs à une valeur seuil de 30 kWh/m²/an (besoins couverts par le chauffage et la ventilation)
- Les consommations de chauffage et d'ECS doivent être inférieures à 0 kWhEP/m².an ce qui implique le recours à des sources d'énergie renouvelables

- Le recours à des appareils électroménagers bénéficiant d'une classe énergétique A, A+, ou A++ est obligatoire.

Si cette valeur peut sembler au premier abord à peine plus performante que le label BBC, la prise en compte des consommations non conventionnelles (consommations électriques des appareils électroménagers) ainsi que celles liées à l'énergie grise des matériaux employés font du label Minergie-A une définition qui fait référence.

5.1.2 L'appel à projet Bâtiment BEPOS de l'ADEME

Dans le but de promouvoir l'efficacité énergétique et climatique des bâtiments franciliens et de réaliser un premier retour d'expérience sur les conditions techniques, architecturales, organisationnelles et économiques des bâtiments à énergie positive et des bâtiments passifs, l'ADEME a lancé en 2011 un appel à projets spécifique.

Cet appel à projet s'inscrit dans la continuité des appels à projets Bâtiments Basse Consommation et Réhabilitation Durable organisés par la Direction Régionale Ile de France de l'ADEME et le Conseil Régional depuis 2008, l'objectif de cette nouvelle initiative étant de soutenir des opérations de bâtiments démonstrateurs anticipant la Réglementation Thermique prévue pour 2020 et contribuant au Programme national PREBAT (Programme de Recherche et d'Expérimentation sur l'Energie dans le Bâtiment).

L'originalité de ce dispositif est de faire émerger les meilleures initiatives menées en Ile-de-France sur la performance énergétique mais aussi sur la prise en compte d'autres enjeux (GES, confort d'été et l'adaptation au changement climatique, qualité architecturale, environnementaux, reproductibilité technique et économique).

La définition adoptée dans le cadre de l'appel à projet pour les bâtiments BEPOS s'appuyait sur les consommations réglementaires telles qu'elles sont définies dans la RT 2005 (consommations exprimées en énergie primaire par m²SHON et par an). Ainsi les projets devaient respecter :

- Pour le tertiaire : $Cep \leq Cep\ ref^1 - 50\%$ avec une compensation des consommations des 5 usages réglementés (chauffage, ECS, rafraîchissement et ventilation, éclairage, auxiliaires) par une production locale d'énergie (solaire PV, cogénération...)
- Pour le logement : $Cep \leq 65\ kWh/m^2\ SHON.an$ avec une compensation des consommations des 5 usages réglementés (chauffage, ECS, rafraîchissement et ventilation, éclairage, auxiliaires) par une production locale d'énergie (solaire PV, cogénération...).

A noter que les coefficients de conversions énergie primaire/ énergie finale sont les suivants :

Source d'énergie	Coefficient EP/EF
Electricité	2,58
Bois énergie	0,6
Autres énergies	1

TABEAU 3 : COEFFICIENT DE CONVERSION EP/EF DE L'APPEL A PROJET BEPOS/BEPAS DE L'ADEME

De plus, un double test d'étanchéité à l'air doit être effectué, un avant la mise en œuvre des finitions et le second à la livraison du bâtiment afin de vérifier la conformité avec les valeurs prises en compte dans les études thermiques.

¹ La Cep ref est la consommation du bâtiment de référence telle que définie par le moteur de calcul de la méthode RT 2005 pour les bâtiments neufs

Enfin, des simulations thermiques dynamiques (STD) doivent être utilisées pour conduire l'optimisation des consommations énergétiques d'hiver et justifier les conditions de confort en été.

En effet s'il est plus aisé de comparer les consommations de différents bâtiments sur la base du calcul réglementaire qui est le même pour tous les projets, il est aujourd'hui reconnu que les outils de simulation thermique dynamique permettent d'appréhender plus finement les consommations d'un bâtiment, de s'approcher plus près des consommations réelles et de mieux travailler sur le confort futur des usagers.

Enfin, les bâtiments lauréats doivent disposer d'équipements de comptage, de suivie, de métrologie et GTB/GTC afin qu'un échantillon de projets fasse l'objet d'un suivi instrumenté sur une dure durée prévisionnelle de trois ans dans le but de vérifier la réalité des performances annoncées et tous les lauréats s'engagent à fournir les données énergétiques relatives au fonctionnement des bâtiments pendant 5 ans.

Les données à transmettre sont celles des consommations des postes suivants :

- Le chauffage hors auxiliaires
- ECS hors auxiliaires
- Refroidissement (pour le tertiaire uniquement),
- Pompes de circulation et autres auxiliaires,
- Système de ventilation,
- Eclairage
- Autres usages

5.2 LES DEFINITIONS ADOPTÉES PAR LES GROUPES SCOLAIRES BEPOS ETUDIÉS

Les cinq groupes scolaires étudiés, bien qu'ayant tous un objectif commun de viser un bilan énergétique positif, ont décliné leurs objectifs énergétiques et environnementaux de manière différente. Il est intéressant d'étudier les points de divergence aussi bien sur les exigences énergétiques que sur les exigences environnementales car la réflexion sur les bâtiments très performants du point de vue énergétique peut difficilement être décorrélée de la réflexion sur le confort et la qualité du bâtiment.

« L'objectif et la définition du BEPOS a évolué au fur et à mesure des différents projets », comme précise M. Bornarel de la société Tribu qui a travaillé en tant qu'assistant à maîtrise d'ouvrage pour quatre des bâtiments étudiés.

Les définitions diffèrent sur plusieurs points et notamment :

- la prise en compte des consommations d'énergie à compenser,
- l'origine des énergies utilisées et les coefficients de conversion en énergie primaire utilisés,
- et la prise en compte de l'énergie grise contenu dans les matériaux de construction.

L'objectif du groupe scolaire « Jean-Louis Marquèze » à Limeil-Brévannes était de compenser toutes les consommations énergétiques du bâtiment y compris les consommations non réglementaires, c'est-à-dire les consommations des appareils électroménagers et électroniques pour majeure partie. Le deuxième groupe scolaire BEPOS conçu en Ile-de-France, l'école « Olympe de Gouges » à Arcueil, a repris les mêmes objectifs de performance énergétique.

Une évolution notoire peut être observée en ce qui concerne les deux derniers groupes scolaires que la société Tribu a suivi : le groupe scolaire « Saint Exupéry » à Pantin et le groupe scolaire « Résistance » à Montreuil.

En effet, celui de Pantin s'était fixé un triple objectif énergétique et environnemental : zéro énergie primaire, zéro émission de CO₂ et zéro production de déchets nucléaires en incluant dans le bilan toutes les consommations électriques du bâtiment. L'objectif de ce triple objectif était d'aller plus loin que le bilan énergétique positif en prenant également en compte l'énergie grise du bâtiment en vue de réduire au maximum l'impact environnemental de la construction.

Dans le cas du groupe scolaire « Résistance » à Montreuil, l'évolution concernait les coefficients de conversion énergie finale (EF)/énergie primaire(EP). En effet, si les estimations des consommations pour Jean-Louis Marquèze, Olympe de Gouges et Saint-Exupéry s'appuyaient sur les coefficients de conversion EF/EP conventionnels (réglementation thermique), dans le cadre de la conception du groupe scolaire « Résistance » à Montreuil, ce sont les coefficients de conversion « physiques » calculés pas l'ADEME et couramment utilisé par TRIBU qui ont été utilisé dans l'objectif de se rapprocher de la réalité actuelle des méthodes de production énergétiques. Le groupe scolaire conservait également le triple objectif « Zéro énergie », « Zéro émissions de CO₂ » et « Zéro déchets nucléaires » déjà proposé pour le groupe scolaire « Saint Exupéry » en poussant encore davantage la réflexion sur l'énergie grise des matériaux.

Le groupe scolaire « Abdelmalek Sayad » s'était concentré sur deux objectifs énergétiques et environnementaux :

- Un objectif zéro énergie avec une compensation des consommations d'énergie primaire concernant les cinq postes de consommation réglementaire : le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la climatisation, l'éclairage et les équipements auxiliaires de ventilation et de pompage. Un travail de réduction des consommations énergétiques non réglementaires (électrodomestiques) a également été effectué avec une estimation de ces consommations mais l'objectif initial de l'opération n'était pas de compenser ces consommations énergétiques.
- Un bilan environnemental « le plus neutre possible » avec un travail important sur le choix des matériaux utilisés pour la construction du groupe scolaire et sur l'énergie grise correspondante à ces derniers. Le programme exigeait une construction bois comme pour le groupe scolaire « Saint Exupéry » de Pantin.

On observe donc une évolution importante de la définition du BEPOS entre les cinq groupes scolaires avec une prise en compte ou non des consommations d'électricité spécifique, avec des coefficients de conversion d'EP/EF réglementaires ou « physiques » et une prise en compte plus ou moins importante de l'énergie grise des matériaux de construction des bâtiments.

Le tableau ci-dessous, extrait du guide bio-tech « l'énergie grise des matériaux et des ouvrages » publié par l'ARENE Ile-de-France et l'association ICEB, est une synthèse des différentes approches du choix des coefficients de conversion EP/EF.

Facteurs d'énergie primaire (PEF)	RT France 2005 et 2012	Global Chance France 2007	Energy Star USA 2011	NF EN 15603 1996 ^(c)		CENERG France (2007) ^(d)	TRIBU France 2011
				PEF total	PEF non renouvelable		
Electricité délivrée au site par le réseau	2,58	3,17	3,34	3,31 ^(b)	3,14 ^(b)	3,23	3,24
Gaz naturel fourni au site	1		1,047	1,36	1,36	1,25	1,1
Bois-énergie et biomasse combustible livrée sur le site	1 / 0,6 ^(a)		1	1,06 à 1,10	0,06 à 0,10	1,5	0,2 (non renouvelable)
Biomasse liquide (HVP) ou gazeuse (biogaz)	1		1				0,3 (non renouvelable)
Electricité photovoltaïque produite sur site et revendue au réseau	2,58		3,34				3,2
Electricité photovoltaïque produite et consommée sur le site	2,58		1			0,25	0
Chaleur produite par des capteurs solaires thermiques et consommée sur le site	1		1				0
Energie prise sur l'environnement (sol, air, eau)	1		1				0

(a) 0,6 pour le label BBC 2005

(b) pour le « mix » électrique UCPE (Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité)

(c) sur la base des données d'ETHZ 1996

(d) sur la base des données d'Ecoinvent 2007

TABLEAU 4: SYNTHÈSE DES COEFFICIENTS DE CONVERSION EP/EF SELON PLUSIEURS APPROCHES ET NORMES

5.2.1 Impact de la prise en compte des consommations d'électricité spécifique

Le bilan énergétique du groupe scolaire Saint Exupéry à Pantin est un exemple concret de l'impact de la prise en compte ou non des consommations d'électricité spécifique (ordinateurs, électroménagers, équipements des offices pour la préparation des repas...). En effet, les deux bilans énergétiques du groupe scolaire présentés ci-dessous permettent d'observer que plus d'un tiers des consommations énergétiques sont liés au fonctionnement des équipements du groupe scolaire et majoritairement des équipements de l'office de restauration.

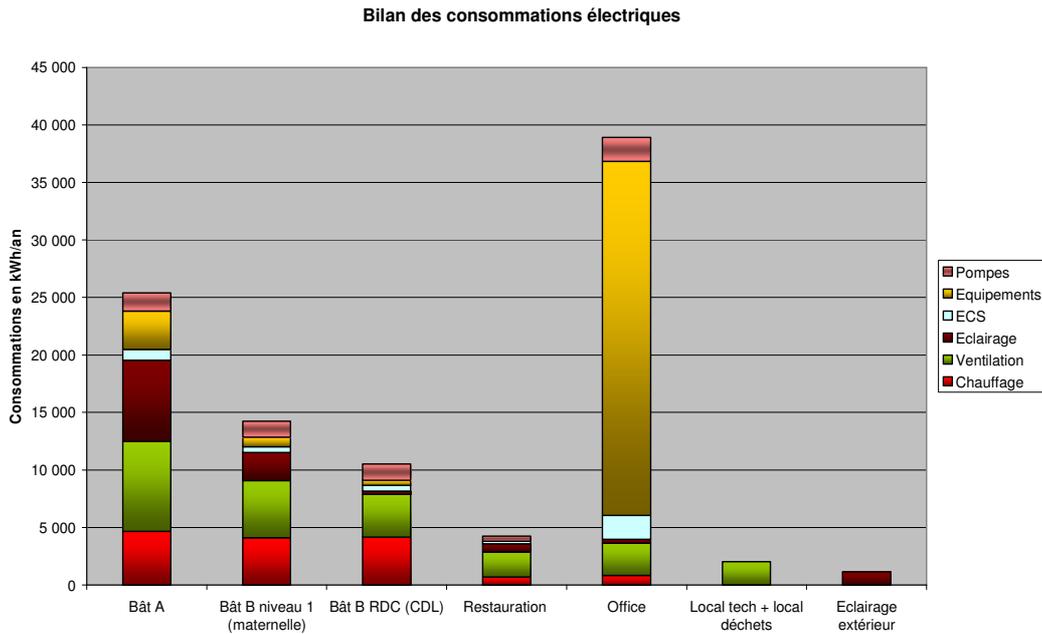


FIGURE 1 : BILAN DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES DU GROUPE SCOLAIRE SAINT EXUPERY

Répartitions des consommations électriques du groupe scolaire Saint Exupéry

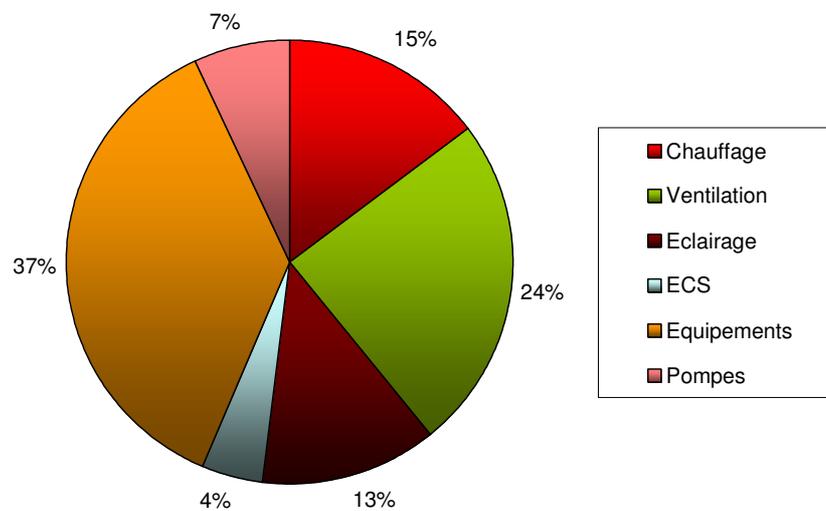


FIGURE 2 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES PAR POSTE DU GROUPE SCOLAIRE SAINT EXUPERY

Faire le choix de compenser l'ensemble des consommations d'électricité spécifique, et particulièrement celles liées à la zone de restauration, a donc un impact fort sur le bilan énergétique du bâtiment.

Dans le cas du groupe scolaire Saint Exupéry, si l'objectif n'avait été que de compenser les postes de consommations réglementaires (au sens de la RT 2005 ou RT 2012), la surface de panneaux photovoltaïques installés en toiture aurait donc pu être réduite de presque 40%, d'où un surcoût d'investissement moins important et des contraintes d'aménagement des toitures plus souples également.

5.2.2 Impact du choix des coefficients de conversion énergie primaire/énergie finale

Comme précisé précédemment, il existe deux choix possibles en ce qui concerne les facteurs de conversion d'énergie finale en énergie primaire :

- Considérer les coefficients réglementaires fixés par la réglementation thermique en vigueur (RT 2005 ou RT 2012),
- Considérer des coefficients physiques de conversion.

Il est intéressant de rappeler que le coefficient réglementaire de conversion énergie primaire/énergie finale de 2,58 pour l'électricité a été fixé dans les années 1960, à une époque où le pétrole fournissait l'essentiel de l'électricité. Ce coefficient se basait alors sur le rendement moyen d'une centrale électrique à fioul qui était de 38,7%². Depuis cette époque, le pétrole a été largement remplacé par le nucléaire pour la production électrique en France, qui couvre maintenant environ 75% de notre production hexagonale. Or le rendement du centrale nucléaire n'est pas le même que celui d'une centrale électrique à fioul (33% contre 38,7%). Le coefficient de conversion énergie primaire/énergie finale aurait donc dû évoluer mais il est resté le même dans la réglementation thermique. Certains bureaux d'étude préfèrent dorénavant utiliser un nouveau coefficient de conversion EP/EF pour l'électricité qui se situe entre 3 et 3,3. D'autre part, dans le cadre du groupe scolaire « Résistance », il a également été considéré un coefficient EP/EF de 0,2 à 0,3 pour la biomasse, ce qui a, de fait, largement favorisé l'utilisation de la biomasse.

L'exemple du groupe scolaire Résistance de Montreuil est l'exemple le plus concret de l'impact de cette décision. Le bilan énergétique de ce groupe scolaire avec les coefficients physiques est le suivant :

Bilan en énergie primaire (avec coefficients EP/EF « physiques »)			
	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 5 : BILAN ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE EN ENERGIE PRIMAIRE EN CONSIDERANT LES COEFFICIENTS DE CONVERSION EP/EF PHYSIQUES

² Pour avoir un MWh d'électricité en sortie, il fallait donc utiliser $1/0,387=2.58$ MWh de chaleur en entrée pour produire la vapeur qui entraîne l'alternateur

Bilan en énergie primaire (avec coefficients EP/EF réglementaires)			
	Coeff EP	kWh/an	kWh/m²SDOT.an
Consommations d'HVP (chauffage+électricité)	1	194 990	35,9
Froid	0	0	0,0
Auxiliaires	2,58	50 307	9,3
Ventilation	2,58	98 013	18,0
Eclairage	2,58	72 458	13,3
ECS décentralisé - électrique	2,58	3 078	0,6
ECS centralisé - appoint électrique	2,58	15 178	2,8
ECS centralisé - appoint cogénération	1	21 226	3,9
Informatique	2,58	23 369	4,3
Ascenseur	2,58	10 101	1,9
Eclairage extérieur	2,58	8 022	1,5
Brasseurs d'air	2,58	2 856	0,5
Cuisine	2,58	57 087	10,5
Total Consommation		556 686	102,4
Production ECS Solaire - hiver	1	- 1 781	-0,3
Production ECS solaire- été	2,58	- 7 572	-1,4
Photovoltaïque	2,58	- 215 511	-39,7
Production électricité cogénération	2,58	- 183 620	-33,8
Total Production		- 408 484	-75,2
BILAN		148 202	27,3

TABLEAU 6 : BILAN ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE EN ENERGIE PRIMAIRE EN CONSIDERANT LES COEFFICIENTS DE CONVERSION EP/EF REGLEMENTAIRES

Comparaison des bilans énergétiques du groupe scolaire Resistance en fonction des coefficients Ep/Ef choisis

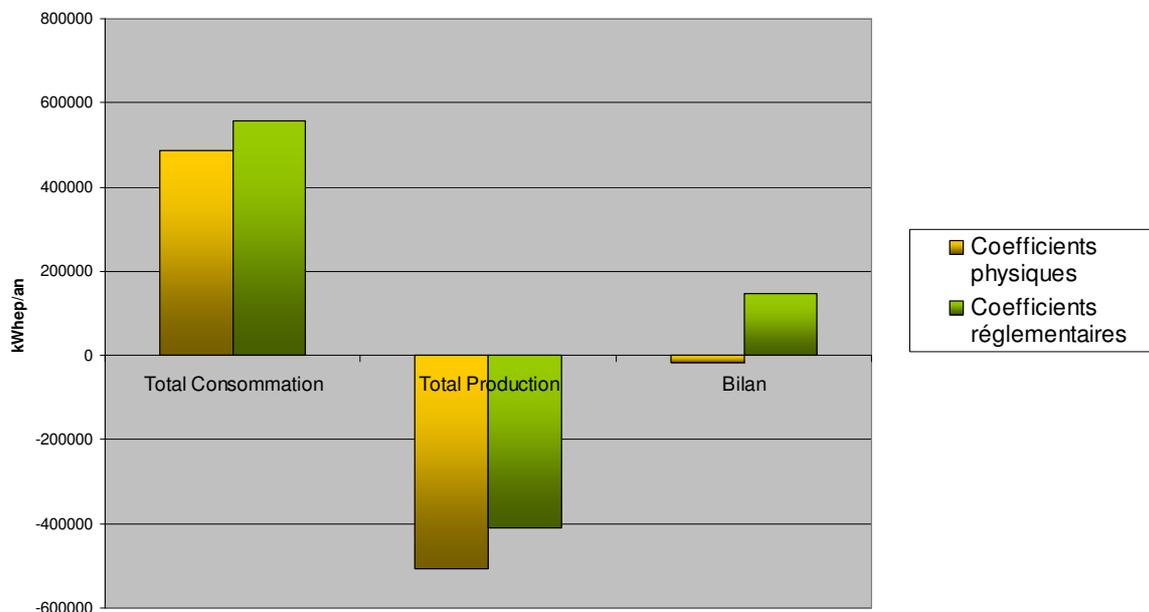


FIGURE 3 : COMPARAISON DES BILANS ENERGETIQUES DU GROUPE SCOLAIRE RESISTANCE EN FONCTION DES COEFFICIENTS EP/EF CHOISIS

Le graphique précédent permet de montrer que l'objectif « Zéro énergie » est atteint lorsque le choix des coefficients de conversion EP/EF se porte sur les coefficients physiques mais que cela n'est pas le cas lorsqu'il s'agit des coefficients réglementaires.

La différence est importante dans le cas du groupe scolaire Résistance de Montreuil car il utilise de l'huile végétale pure comme combustible pour assurer le chauffage et la production d'ECS et également pour la production d'électricité via le module de cogénération et que la différence entre les deux coefficients est importante pour ce type de combustible. Dans le cas des groupes scolaires ayant recours à des pompes à chaleur et donc à l'électricité comme unique source d'énergie pour toutes leurs consommations énergétiques, les bilans énergétiques restent cependant très proches, peu importe les coefficients de conversion choisis. En effet, la valeur d'un seul coefficient sera modifiée (3,2 vs 2,58), ce qui ne modifiera pas l'atteinte de l'objectif « Zéro Energie ».

5.3 L'AVENIR DU BATIMENT A ENERGIE POSITIVE

Si on s'appuie sur les définitions adoptée actuellement par l'ADEME, la définition du BEPOS en France devrait ne prendre en compte que les consommations réglementaires.

Pourtant à l'image de la plupart des groupes scolaires étudiés et de la définition adoptée par l'association Minergie en Suisse, la prise en compte de l'ensemble des consommations d'un bâtiment voire de l'énergie contenue dans les matériaux de construction est possible et c'est une problématique qui touche les maîtres d'ouvrage.

En effet, la réflexion porte aujourd'hui sur ces consommations car il ne paraissait pas cohérent de réduire au minimum les consommations des bâtiments pendant leur période de fonctionnement sans prendre en compte toutes les consommations et la part d'énergie consommée lors de la fabrication des matériaux mis en œuvre.

Pour les villes qui doivent ensuite exploiter leur bâtiment, la définition du BEPOS est souvent simplifiée à « avoir un bilan nul » selon M. Boutté de l'agence Franck Boutté Consultant ce qui peut devenir problématique après la livraison du bâtiment car certains maîtres d'ouvrage ont l'impression que les objectifs initiaux n'ont pas forcément été atteints. Il est ainsi particulièrement important selon lui de pouvoir s'appuyer sur une définition officielle.

L'ADEME propose au sein de sa « Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum », un cadencement réglementaire pour la mise en place des labels sur les bâtiments à énergie positives dont les objectifs sont les suivants :

- Un élargissement progressif du concept d'énergie positive à l'ensemble des usages énergétiques des bâtiments résidentiels et tertiaires, en d'autre terme à la prise en compte des consommations non réglementaire d'électricité du bâtiment ce qui inciterait le recours à des appareils électroménagers très performants énergétiquement ;
- Une intégration des notions d'Analyse de cycle de vie (ACV) dans la conception des bâtiments résidentiels et tertiaires, pour notamment prendre en compte la question de l'énergie grise induite lors des réhabilitations massives et des déconstructions puis reconstructions ;
- Une extension du concept d'énergie positive au-delà du bâtiment, à l'échelle de l'îlot ou du quartier.

Le tableau ci-dessous issu de la feuille de la route précédemment cité présente la proposition de cadencement réglementaire de l'ADEME :

Proposition de cadencement réglementaire pour le bâtiment afin de tendre vers les visions 2050

Horizon temporel	Principaux objectifs de la réglementation
2011-2013	Label HPE 2012 : Bâtiments à énergie positive (BEPOS) pour les cinq usages réglementés de l'électricité (chauffage, ventilation, rafraîchissement, eau chaude sanitaire, éclairage et auxiliaires). Des exigences sont introduites en matière de contenu carbone (seuil) et d'utilisation de matériaux biosourcés , notamment pour l'enveloppe du bâtiment.
2015-2016	Label HPE 2016 : le concept de BEPOS est élargi à d'autres usages de l'électricité comme l'électricité spécifique (appareils électroménagers, informatique, etc.) Un référentiel ACV est introduit dans la réglementation en termes de contenu en carbone ¹² . Pour la première fois, le concept d'énergie positive est étendu au-delà du bâtiment à l'échelle de l'îlot ou du quartier . Le label HPE 2016 préfigure la réglementation thermique 2020 (RT 2020).
2020	RT 2020 : les exigences du label HPE 2016 deviennent obligatoires .
2020-2025	Label HPE 2025 : il correspond à l' extension du concept de BEPOS à l'ensemble des usages énergétiques à l'échelle d'un bâtiment , mais également d'un îlot ou d'un quartier . La prise en compte des référentiels ACV pour les dimensions contenu carbone et impacts environnementaux et sanitaires est légitimée. Pour la première fois, un référentiel explicite permet de raisonner à l'échelle d'un ensemble de bâtiments.
2030	RT 2030 : les exigences du label HPE 2025 deviennent obligatoires .

12 - Ici, la notion de contenu en carbone est prise au sens large puisqu'elle intègre : le contenu en CO2 du kWh électrique pour les différents usages, la fabrication des matériaux et des équipements utilisés pour et dans les BEPOS.

FIGURE 4 : PROPOSITION DE CADENCEMENT REGLEMENTAIRE POUR LE BATIMENT AFIN DE TENDRE VERS LES VISIONS 2050 (SOURCE : "FEUILLE DE ROUTE SUR LES BATIMENTS ET ILOTS A ENERGIE POSITIVE ET A BILAN CARBONE MINIMUM" DE L'ADEME)

Avec la mise en place progressive de la réglementation thermique 2012, de nouveaux labels devraient être définis et notamment un label qui cadrerait la notion de bâtiments à énergie positive. Si dans un premier temps les consommations d'énergie spécifiques (électrodomestiques) et l'énergie grise ne seront pas prises en compte, d'ici à la généralisation du concept de bâtiment à énergie positive en 2020, la définition devra avoir évoluée pour prendre en compte ses consommations.

6 SYNTHÈSE DES INTERVIEWS

6.1 CONTEXTE DES PROJETS

Le contexte dans lequel les projets ont vu le jour est très important. En effet, **la volonté et la motivation de l'ensemble des acteurs qui ont travaillé sur les projets et en particulier de la maîtrise d'ouvrage a été chaque fois un facteur déterminant dans la réussite des projets.**

Dans le cas des cinq groupes scolaires étudiés, la ville en tant que maître d'ouvrage a joué un rôle très important dans la définition des objectifs énergétiques du bâtiment. La décision de viser une performance « zéro énergie » s'inscrit bien souvent dans **un engagement politique général de la ville pour le développement durable et l'environnement** (adhésion à une association environnementale, Plan Climat Energie, etc.). De plus, les retombées médiatiques potentielles peuvent également être une motivation importante pour les maîtres d'ouvrages.

La présence d'au moins un membre de la maîtrise d'ouvrage particulièrement motivé et investi par cet objectif (service technique, élu, maire...) a généralement permis de surmonter plus facilement les difficultés rencontrées et aux projets de voir le jour sans que les objectifs initiaux soient remis en cause en cours de conception.

La volonté de construire un bâtiment très performant d'un point de vue énergétique et environnemental est donc avant tout liée à une volonté politique forte portée par les maîtres d'ouvrage, **mais la prise de décision et le passage à l'acte ont souvent été rendu possible grâce à l'appui de l'assistant à maîtrise d'ouvrage environnementale qui a su proposer les bons outils d'aide à la décision.** En effet, hormis les villes de Limeil-Brévannes, d'Arcueil et de Pantin n'avait pas forcément défini un niveau de performance BEPOS avant les études de programmation.

*« L'AMO doit avoir une vision « militante », elle doit tirer et accompagner les maîtres d'ouvrages vers le haut, vers la performance énergétique »,
M. Bornarel, directeur du bureau d'étude Tribu*

Une étude de faisabilité a généralement été réalisée, par l'AMO HQE, ou en interne lorsque la ville disposait des ressources nécessaires comme à Nanterre, dès la phase de programmation afin d'évaluer si un objectif « zéro énergie » était possible à la fois techniquement et économiquement.

L'étude de faisabilité consiste à définir avec le programmiste plusieurs scénarios de volumétrie, d'occupation, de compacité, d'orientation, d'objectifs de performance énergétique et de réaliser un modèle simplifié de simulation thermique. Les différents scénarios sont ensuite analysés et comparés sur la base de plusieurs indicateurs énergétiques, environnementaux et économique : consommation énergétique, émissions de CO₂, production équivalente de déchets nucléaires, coût d'investissement et d'exploitation, confort acoustique et thermique, etc. Ces éléments permettent ainsi à la maîtrise d'ouvrage de juger de la faisabilité technico-économique du projet.

Ces études ont permis de montrer dans le cas des groupes scolaires étudiés que le surcoût d'investissement pour construire un groupe scolaire BEPOS n'était pas si important et que les économies d'énergies permettraient d'atteindre un temps de retour sur investissement correct vis-à-vis de la durée de vie du bâtiment et des systèmes.

6.2 DEMARCHE EN CONCEPTION ET REALISATION

Plusieurs différences majeures par rapport à la démarche adoptée pour la conception d'un groupe scolaire avec des exigences de performances énergétiques « classiques » ont pu être observées à travers les interviews réalisées.

Les équipes ayant déjà participé à des projets à très haute performance énergétique et environnementale avait un avantage par rapport aux concurrents lors des concours comme par exemple dans le cas du groupe scolaire Abdelmalek Sayad où la maîtrise d'ouvrage a sélectionné une équipe qui « *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* » ou dans le cas de l'atelier Méandres qui a bénéficié de la référence acquise sur le groupe scolaire Saint-Exupéry à Pantin pour gagner le concours du groupe scolaire Résistance à Montreuil.

Cette expérience est également un avantage pendant la phase de conception. En effet, **la réalisation d'un groupe scolaire à énergie positive nécessite d'intégrer les problématiques énergétiques et environnementale très en amont du projet**, dès la phase esquisse dans l'idéal, ce qui est plus simple à réaliser lorsque l'agence d'architecture possède les outils et les compétences dans ce domaine en interne ou bénéficie déjà d'une expérience dans la performance énergétique. Un autre avantage de ces compétences internes est de permettre aux architectes d'avoir une vue plus globale du projet et de prendre en compte les aspects énergétiques dès le début du projet en intégrant notamment la conception bioclimatique dès l'esquisse.

Certaines des agences d'architecture rencontrées avaient déjà de fortes compétences en ce qui concerne l'ingénierie environnementale du bâtiment (utilisation en interne de logiciels de simulation thermique ou expérience des échanges avec les bureaux d'études techniques). Cet atout leur a permis une communication plus facile entre l'agence d'architecture et bureaux d'études ainsi qu'avec l'AMO environnement sans pour autant remettre en cause leurs importances dans le projet.

*« 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 »,
M. Favet, Agence Nicolas Favet Architecte*

Parallèlement, il apparaît que **la conception d'un bâtiment peu consommateur en énergie comme les groupes scolaires étudiés nécessite une quantité de travail plus importante**. Ainsi, beaucoup plus de scénarios sont étudiés grâce aux simulations thermiques dynamiques que pour un bâtiment « conventionnel ». Ces scénarios testent l'impact du choix des matériaux de constructions du bâtiment sur la performance thermique notamment (inertie, épaisseur et résistance thermique des isolants, choix des menuiseries en double ou triple vitrage émissions de gaz à effet de serre, ...) mais aussi la compacité du bâtiment, les effets de masques, l'implantation du bâtiment... Plus d'une centaine de scénarios peuvent ainsi réalisés à différentes étapes du projet afin d'observer l'incidence sur le coût, sur le bilan carbone, sur la performance énergétique, sur le confort d'été des usagers.

*« 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 encore plus loin [dans le détail] »,
M. Lipa Goldstein, Agence Lipa&Serge Goldstein*

*« L'expérience du concepteur/architecte et l'intuition est toujours importante car elle permet d'orienter les choix, mais les outils technologiques sont indispensables à une bonne conception » ;
M. Hackel, Atelier Méandre*

Il apparaît également que la moindre modification du projet, en conception et en réalisation, a des impacts importants sur tous les autres aspects du bâtiment. La conception d'un projet très peu consommateur énergétiquement (niveau passif ou à énergie zéro) nécessite une optimisation constante entre tous les caractéristiques du bâtiment afin d'atteindre des consommations minimales tout en conservant un coût raisonnable. Dans le cas du groupe scolaire Olympe de Gouges par exemple, des modifications apportées par les entreprises en cours de réalisation notamment sur la qualité de l'isolation mise en œuvre ont entraîné de gros impact sur la performance du bâtiment. Il a fallu reprendre les calculs thermiques à de nombreuses reprises et recourir à des panneaux photovoltaïques présentant de meilleurs rendements et par conséquent un surcoût important.

Cela a donc une conséquence sur la quantité de travail des différentes équipes mais également sur le nombre d'échanges entre ces dernières qui augmentent considérablement. Il est donc essentiel que ces échanges soient réellement structurés et organisés. Les équipes ayant déjà l'habitude de travailler ensemble (comme l'atelier Méandre et le bureau d'étude Alto Ingénierie par exemple) ont l'avantage puisqu'ils connaissent mieux les méthodes de travail de chacun et de pouvoir organiser les échanges plus facilement. L'atelier Méandres avait par exemple organisé dès le concours des réunions de concertation sur la base de trois propositions architecturales afin de faire émerger avec le bureau d'études thermique la meilleure proposition.

A l'inverse cela peut devenir problématique quand les rôles et les limites de prestations de chacun n'ont pas été suffisamment bien définis en amont comme dans le cas du groupe scolaire Olympe de Gouges où le bureau d'études fluides n'a pas toujours assumé son rôle complètement.

*« Il existe une interdépendance très forte entre les différents éléments du projet qui requiert une communication constante 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 » ;
M. Hackel, Atelier Méandre*

Le rôle de l'AMO est également très important lors des différentes étapes de la conception du groupe scolaire car il doit s'assurer que les objectifs de performance énergétiques ne focalisent pas toute la concentration des équipes de MOE. D'autres aspects liés à la qualité environnementale ou à la qualité de vie des usagers ne doivent pas être effacés ou occultés par l'objectif BEPOS et méritent donc autant d'attention que la problématique énergétique. Même si la certification HQE n'était pas forcément exigée dans les programmes, une démarche globale de qualité environnementale a toujours été mise en place dans le but de ne pas oublier certains aspects.

*« Le rôle de l'AMO est de suivre la conception technique du bâtiment dès la phase amont, d'analyser l'ensemble des études thermiques et d'être force de propositions, mais il est surtout de rappeler aux équipes que l'objectif « Zéro énergie » ne doit pas être atteint au détriment de la qualité de l'air, du confort thermique, du confort visuel... »,
Mme. Judéaux, LesEnR*

6.3 SOLUTIONS TECHNIQUES ET ARCHITECTURALES

Il apparaît qu'il n'existe pas de solution architecturale ou technique universelle pour construire un groupe scolaire.

Du point de vue architecturale, si tous les projets ont mis en place une démarche d'architecture bioclimatique en prenant en compte la récupération des apports solaires et la compacité des bâtiments, chaque projet a exploité les potentialités de sa parcelle et c'est également un des facteurs qui a permis de remporter les concours comme dans le cas du groupe scolaire Jean-Louis Marquez où M. Goldstein note que *« ce ne sont pas les aspects de haute qualité environnementale ou de haute performance énergétique qui nous ont permis de remporter le concours mais plutôt l'image simple de l'école que nous avons proposée »*.

Si les salles de classe du groupe scolaire Jean-Louis Marquez par exemple sont orientées au sud, celles du groupe scolaire Saint-Exupéry à Pantin sont orientées au nord pour bénéficier des vues sur le canal de l'Ourcq. Dans ce cas, les circulations, largement vitrées participent à la récupération des apports solaires.

Les groupes scolaires Olympe de Gouges, Jean-Louis Marquez et Résistance développent l'ensemble du programme dans un seul et même bâtiment tandis que le groupe Saint-Exupéry propose trois bâtiments séparés et que celui de Nanterre, développent deux bâtiments en « T ».

Les groupes scolaires ont adoptés des structures béton ou bois avec une isolation rapportée par l'extérieur ou répartie selon les cas.

Du point de vue technique, il existe plusieurs solutions pour la production de chaleur tout comme pour la production électrique permettant d'atteindre l'objectif Zéro Energie.

Une analyse technique détaillée est proposée dans le chapitre 7.

Certains groupes scolaires ont fait le choix d'un raccordement à un réseau de chaleur tandis que d'autres ont opté pour une production de chaleur sur le site même de l'école. En ce qui concerne la production électrique, le choix se porte le plus souvent vers une installation de panneaux photovoltaïques en toiture et/ou en façades mais il est également possible d'envisager une production via un module de cogénération comme dans le cas du groupe scolaire Résistance à Montreuil.

Le choix des solutions techniques retenues dépend donc des opportunités présentes sur le site, des volontés des acteurs du projet et des contraintes liées aux bâtiments (environnement local ou sous-sol par exemple). Les solutions techniques retenues par les cinq groupes scolaires sont analysées dans la suite de ce document.

*« Même si la démarche de conception globale reste la même [...], chaque bâtiment est unique, possède ses propres contraintes et opportunités et les choix de conception (technologique, bioclimatique...) doivent donc s'adapter à ces dernières en conséquence »,
M. Hackel, Atelier Méandre*

Cependant, un critère ne peut en aucun cas être négligé dans la construction d'un bâtiment basse consommation ou à énergie zéro : il s'agit de la perméabilité à l'air.

Ce dernier a nécessité une attention importante pour chacun des groupes scolaires étudiés. Les infiltrations d'air sont en effet une source importante de surconsommation énergétique, et ceci est d'autant plus vrai en valeur relative lorsque que la consommation globale d'un bâtiment est faible. De plus une bonne étanchéité à l'air est également très importante dans la notion de confort thermique.

Des études³ ont montré qu'une variation de 1,0 vol/h sous 50Pa conduit à une augmentation de la consommation de chauffage de 4kWh/m²shon.an. Lorsque les besoins de bases sont de 200kWh/m²shon.an, les défauts d'étanchéité n'ont pas une incidence très importante mais dans le cas d'un bâtiment performant avec des besoins de l'ordre de 20 à 30kWh/m²shon.an, l'étanchéité à l'air devient un critère prépondérant. Une amélioration de 1,0 vol/h permet ainsi d'atteindre le même gain de performance énergétique que le passage de menuiseries en double vitrage à triple vitrage en général. Or l'amélioration de l'étanchéité à l'air est beaucoup plus facile à obtenir et infiniment moins chère que le coût d'un passage à un triple vitrage.

L'une des premières recommandations à suivre dans le cas d'un projet BEPOS est d'imposer des mesures d'étanchéité à l'air. En effet, il apparaît que dans la plupart des constructions neuves actuelles, la valeur d'étanchéité à l'air prescrite dans les CCTP est souvent dépassée. L'obligation de résultats vérifiée par un ou plusieurs tests d'étanchéité à l'air permet ainsi d'imposer aux entreprises responsables du chantier une attention particulière à la perméabilité du bâtiment.

Dans le cas des groupes scolaires étudiés, des formations et plusieurs tests d'étanchéité à l'air étaient imposés en phase chantier afin de pouvoir corriger les défauts d'étanchéité suffisamment tôt ainsi qu'un dernier test en fin de chantier pour vérifier la conformité de la mesure avec les prescriptions du cahier des charges. Dans le cas où la valeur visée n'était pas obtenue, l'entreprise responsable se devait de corriger les imperfections et de refaire un test jusqu'à l'obtention de valeur exigée.

Il est également préférable que l'étanchéité à l'air soit intégrée dans sa globalité au macro lot de l'enveloppe du bâtiment et ne soit pas traitée dans des lots individuels tels que la serrurerie. Dans le cas où l'étanchéité à l'air est séparée dans plusieurs lots, il devient alors plus difficile de distinguer la responsabilité de chaque entreprise en cas de non respect des exigences prescrites. Cette notion est très bien illustrée par le groupe scolaire Olympes de Gouges, où un changement tardif dans l'attribution des lots a entraîné des problèmes de mise en œuvre des portes d'entrée du bâtiment, qui ne sont pas étanches à l'air. Ce problème d'étanchéité entraîne de gros problèmes de confort dans les locaux situés au rez-de-chaussée où il a été nécessaire d'installer un chauffage d'appoint en attendant la reprise des portes.

Enfin, l'exemple du groupe scolaire Saint Exupéry est intéressant du fait qu'une formation/sensibilisation avait été dispensé à toutes les entreprises du chantier incluant une partie théorique et une partie pratique sur les bonnes et mauvaises pratiques liées aux problèmes d'étanchéité à l'air du bâtiment. Cette formation avait permis, selon Mme Patte, cogérante de l'Atelier Méandre, de fédérer les corps de métiers entre eux et les avaient impliqués d'avantage sur le chantier et sur l'importance de l'étanchéité à l'air. De telles séances de sensibilisations pourraient ainsi être recommandées dans le cas de projets à très haute performance énergétique.

***« Les ouvriers et les conducteurs de travaux ont participé à une journée de formation théorique et pratique commune, ce qui a été très fédérateur entre les corps de métier »,
Mme Patte, Atelier Méandre***

³ Cf. Notes techniques et analyse « L'étanchéité à l'air des bâtiments : pourquoi et comment faire ? » rédigées par Olivier Sidler - Bureau d'étude Enertech

6.4 ASPECT ECONOMIQUE

Il est très difficile d'évaluer un surcoût économique lié au caractère BEPOS des groupes scolaires étudiés. Il est évident que la construction d'un bâtiment aussi performant énergétiquement est plus onéreuse que celle d'une école conventionnelle mais les résultats varient d'un bâtiment à l'autre.

*« Le 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%.
Mme Collignon, Service énergie, ville de Nanterre*

Il a ainsi été estimé par les maîtres d'ouvrage que le surcoût était de l'ordre de 30% pour le groupe scolaire Jean-Louis Marquèze à Limeil-Brévannes tandis qu'il est de l'ordre de 10 à 20% pour les derniers groupes scolaire encore en phase de chantier selon les informations transmises par les villes. La principale raison de cet écart est que les technologies utilisées pour atteindre le niveau BEPOS sont devenues plus courantes en France et que leur coût a nettement diminué.

Le surcoût observé dans le cadre du groupe scolaire Jean-Louis Marquèze est en grande partie due aux menuiseries en triple vitrage qu'il avait été très difficile de se procurer car elles étaient encore très rares en France à l'époque de la construction. D'autre part, le coût des panneaux photovoltaïques a également diminué de manière non négligeable ces cinq dernières années.

Il est peu pertinent de comparer les coûts estimés de chacun des groupes scolaires puisque chacun de ces projets possédait ses propres contraintes et ses imprévus qui ont engendré des coûts plus importants.

Ainsi, pour le groupe scolaire Jean-Louis Marquèze, la profondeur des puits pour la géothermie avait été estimée initialement inférieure à une dizaine de mètre mais les débits se sont révélés insuffisants et il a alors fallu forer à une profondeur plus importante (environ 70 m) ce qui a engendré des surcoûts qui n'étaient pas initialement prévus. Dans le cas du groupe scolaire Saint Exupéry à Pantin, l'uniformisation des équipements de cuisine par rapport aux autres groupes scolaires de la ville, équipements moins performants que ceux sur lesquels se basaient les estimations au départ, a nécessité de réévaluer la surface de capteurs photovoltaïques et donc engendré un surcoût important qu'il ne serait pas forcément judicieux de prendre en compte dans une comparaison. Le coût de construction de l'école Abdelmalek Sayad à Nanterre englobe la construction d'un parking souterrain et surtout la dépollution du terrain qui contenait du cyanure. La difficulté réside donc dans le fait d'identifier quels sont réellement les coûts liés à l'atteinte de l'objectif BEPOS.

D'autre part, certains groupes scolaires ont fait le choix d'intégrer dans leur cahier des charges plusieurs objectifs environnementaux complémentaire de l'objectif « Zéro énergie » comme l'objectif de « Zéro émissions de CO₂ » qui a généralement conduit à une structure des bâtiments en ossature bois. Cette structure représente un surcoût par rapport à une structure traditionnelle en béton. Le choix de la fibre de bois en isolation coûte approximativement six fois plus cher qu'une laine de verre classique pour les mêmes propriétés thermiques. La structure en ossature bois participant à la fois à l'atteinte du niveau BEPOS et de l'objectif « Zéro émissions de CO₂ » mais à différents degrés, il est délicat d'identifier le coût exacte lié au caractère BEPOS.

Enfin, le coût des panneaux photovoltaïques qui a été retenu comme solution de production électrique pour quatre des cinq groupes scolaires étudiés ne peut pas être intégralement considéré comme un

surcoût lié à l'atteinte de l'objectif « Zéro énergie ». En effet, l'installation de ces capteurs permet en contrepartie d'économiser sur les coûts d'étanchéité et de matériaux de toitures.

*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.
M. Bornarel, directeur du bureau d'étude Tribu*

Il est également nécessaire de prendre en compte les subventions attribués par l'ADEME et le Conseil Régional d'Ile-de-France en ce qui concerne les panneaux photovoltaïques, les pompes à chaleur eau/eau sur nappe ou sur champ de sondes, les capteurs solaires thermiques, les réseaux de chaleur ayant recours aux EnR, etc. Une grande partie de ces subventions ont d'autre part été attribuées du fait du caractère innovant et pionnier des groupes scolaires. Il est donc évident que ces subventions ne seront pas aussi importantes dans une dizaine d'années si le BEPOS tend à se généraliser.

En ce qui concerne le temps de retour sur investissement, les consommations énergétiques réelles des groupes scolaires Saint Exupéry et Olympe de Gouges n'ont pas encore été analysées pour qu'un calcul soit réalisé.

Les consommations énergétiques du groupe scolaire Jean-Louis Marquèze ainsi que les gains liés à la revente de l'électricité photovoltaïque permettent cependant d'envisager un temps de retour intéressant. Etant donné qu'aucun surcoût précis n'a été calculé, il est impossible d'évaluer précisément le temps de retour sur investissement mais d'après la ville de Limeil-Brévannes, il serait largement inférieur à la durée de vie du bâtiment.

D'après les acteurs rencontrés, **le coût lié aux études de conception est évidemment plus important que dans le cas d'un groupe scolaire classique du fait de la complexité des études et du nombre de paramètres à prendre en compte** (pour rappel, le nombre de simulation thermique dynamiques effectués pour chacun des groupes scolaires peut atteindre plusieurs centaines d'itérations) et du nombre d'échanges beaucoup plus important entre les différents membres de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Si ce coût n'a pas toujours été bien estimé par les maîtres d'ouvrage, il a généralement été compensé par l'investissement des équipes dans des projets qui représentaient un réel défi et un niveau d'ambition exemplaire.

*« 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. »
M. Boutté, directeur de l'Agence Franck Boutté Consultant*

6.5 ACCEPTATION ET USAGE DES GROUPES SCOLAIRE BEPOS

Seul trois des groupes scolaires étudiés sont actuellement utilisés, les deux autres étant toujours en phase de chantier. L'acceptation et l'influence de l'usage ne concernent donc que les trois écoles suivantes : le groupe scolaire Jean-Louis Marquèze à Limeil-Brévannes, le groupe scolaire Olympe de Gouges à Arcueil et le groupe scolaire Saint Exupéry à Pantin.

D'après les retours récoltés auprès des exploitants, **les utilisateurs sont très satisfaits par leurs écoles et principalement par la qualité de vie qu'ils offrent.** Les professeurs ont ainsi remarqué les efforts réalisés sur la qualité de l'air à Pantin et ont particulièrement apprécié les efforts réalisés vis-à-vis des accès à la

lumière naturelle dans les trois groupes scolaires (surface de vitrage importante dans les salles de classes et dans les couloirs).

*« Les professeurs sont très satisfait du groupe scolaire et ont en outre remarqué qu'ils avaient beaucoup moins de maux de tête que dans d'autres groupes scolaire 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 »,
M. Metais, Ville de Pantin*

Les interlocuteurs ont cependant relevé l'importance de l'impact de l'usage sur les consommations énergétiques. Dans le cas de bâtiments très consommateurs, l'usage n'a pas une influence très importante sur les consommations mais dès qu'il s'agit d'un bâtiment à très haute performance énergétique, l'impact relatif est beaucoup plus important. Il apparaît donc primordial de sensibiliser les usagers du bâtiment (corps professoral et administratifs, personnels de maintenance du groupe scolaire) sur les bonnes et mauvaises pratiques. L'ouverture des fenêtres est ainsi un des points les plus importants à traiter puisqu'elle agit à la fois sur les consommations de chauffage et de ventilation. Il est ainsi nécessaire de rappeler quotidiennement aux usagers de ne pas ouvrir les fenêtres lorsque la ventilation double flux est en fonctionnement et au contraire de les ouvrir lorsque celle-ci n'est pas utilisée et que la ventilation repose sur le principe de ventilation naturelle.

Certains groupes scolaires étudiés avaient mis en place des livrets d'accueil permettant de se familiariser avec le bâtiment et les bonnes pratiques qui se sont révélés très utiles. Cependant, le renouvellement du personnel dans les groupes scolaires est assez important et les informations contenues dans ces livrets ou délivrées lors de journées de sensibilisation à la livraison du bâtiment sont petit à petit perdues. Il est donc recommandé de renouveler ces dispositifs de manière régulière afin d'informer les nouveaux arrivants et de remémorer les bonnes pratiques aux « anciens ».

Un autre point très sensible sur l'usage du bâtiment qui a impact très fort sur les consommations énergétiques est la température de consigne qui est fixé dans les groupes scolaires. En effet, la température de consigne fixée par la réglementation thermique pour les calculs thermiques est de 19°C, mais cette température n'est généralement pas suffisante et n'est donc pas respecté dans l'usage réel du bâtiment.

La température varie généralement entre 21°C et 22°C dans les salles de classes. Les bilans de certains groupes scolaires ont ainsi été réalisés avec une température de consigne de 21°C afin de prévoir la surconsommation énergétique associée et tout de même respecter l'atteinte du niveau « BEPOS ».

Il est donc possible de concevoir un bâtiment à énergie positive « réglementairement » avec une température de consigne à 19°C mais il faut alors prévoir soit que le bâtiment ne respectera pas les consommations énergétiques prévisionnelles, soit que la température sera réellement fixé à 19°C mais que certains plaintes des usagers vis-à-vis du confort thermiques seront certainement soulevées.

*« La température de consigne est fixé à 21°C car des plaintes apparaissent dès que la température passe en dessous de ce seuil »,
Mme Lairez, Service Bâtiment de la ville d'Arcueil*

Enfin, il est important de noter qu'occuper une école dite à énergie positive reste toutefois plus contraignant pour les usagers qu'une école conventionnelle. Les problématiques de l'ouverture des ouvrants et de la température de consigne ont déjà été citées mais on peut également prendre l'exemple de la maintenance.

D'après les interlocuteurs rencontrés, les groupes scolaires étudiés nécessite une maintenance beaucoup plus importante du fait de la complexité des systèmes installés notamment. Les menuiseries doivent

également être nettoyées plus régulièrement puisqu'un manque de maintenance aurait pour impact une réduction des apports de lumière naturelle et donc une augmentation des consommations d'éclairage. Le problème se pose également pour les enfants qui doivent éviter de coller des dessins ou autres formes d'affichage sur les vitrages donnant sur l'extérieur ou sur les couloirs puisque cela a la même conséquence de réduire l'apport de lumière.

Aussi, certains des acteurs rencontrés auraient souhaité un accompagnement plus important à la livraison du bâtiment. En effet, les groupes scolaires étudiés sont généralement équipés de systèmes beaucoup plus complexes (centrales de traitement d'air, GTB, pompe à chaleur...) que les écoles conventionnelles. Le personnel de maintenance n'est ainsi pas toujours suffisamment formé pour l'usage de ces systèmes ce qui peut poser des problèmes pour le remplacement des filtres des CTA par exemple ou ralentir les réparations/ corrections en cas de dysfonctionnement. La ventilation double-flux a ainsi été by-passée à partir de la deuxième année seulement à Limeil-Brévannes et il a fallu changer les filtres beaucoup plus tôt que prévu à Olympes de Gouges ce qui a entraîné un arrêt de la ventilation double-flux pendant un temps. De plus la GTB ne fonctionne plus et le personnel n'avait pas été suffisamment formé pour la prendre en main.

Concernant le suivi des consommations énergétiques des bâtiments, seul le groupe scolaire Jean-Louis Marquèze semble avoir mis en place un suivi précis et continu. EDF R&D s'occupe ainsi du suivi du bâtiment et organise des réunions régulières afin d'analyser les consommations avec la ville.

Au vue des entretiens réalisés, la mise en place de ce contrat a permis à la ville d'être plus réactive en cas d'anomalies ou de pannes des systèmes et a surtout permis d'optimiser le fonctionnement de ces derniers. Ainsi les consommations énergétiques ont montré une sensible baisse au fil des années d'utilisation. Cette collaboration avait été proposée à la ville par EDF R&D gratuitement pour une durée de deux ans et a finalement été reconduit à la demande de la ville. **Il semble donc intéressant de mettre en place de telles démarches de suivi des consommations énergétiques lorsque les bâtiments sont livrés. Le fonctionnement des systèmes demandent généralement des réglages fins qu'il est difficile d'obtenir dès les premiers mois de fonctionnement du groupe scolaire.**

7 ANALYSE TECHNIQUE DES SOLUTIONS RETENUES

7.1 COMPOSITION DES PAROIS ET PERFORMANCE DU BATI

La composition des parois est résumée dans le tableau ci-dessous :

Composition des parois					
Groupe scolaire	« Jean-Louis Marquèze » Limeil-Brévannes	"Saint Exupéry" Pantin (93)	"Olympe de Gouges" Arcueil (94)	"Abdelmalek Sayad" Nanterre (92)	« Résistance » Montreuil
Structure	Murs en Béton + 18cm Laine minérale en ITE	Ossature bois aux étages supérieurs et béton pour les RDC	Structure béton avec 24 cm d'isolation par l'extérieur	Ossature bois (30cm de fibre de bois) et béton + 20cm fibre bois	Ossature bois et béton
Menuiseries	Bois + Triple Vitrage (Uw=1,2 à 1,6)	Mixte bois/alu et Mélange double et triple vitrage	Triple vitrage à lame d'argon	Mixte bois/alu + Double Vitrage argon (Uw=1,13)	Double vitrage (Uw= 1,4 ou 1,5 W/m ² .K)
Perméabilité à l'air	Pas de test	0,3 m ³ /h.m ² pour le bâtiment A, 0,26 m ³ /h.m ² pour le bâtiment B et 0,12 m ³ /h.m ² pour le bâtiment C	Information non communiquée	0,6 m ³ /h.m ²	1 m ³ /h.m ² (test à livraison du chantier pour vérifier la conformité)

TABLEAU 7 : COMPOSITION DES PAROIS DES CINQ GROUPES SCOLAIRES ET PERMEABILITE A L'AIR

Trois des groupes scolaires étudiés ont fait le choix d'une structure en ossature bois. Ce choix s'explique soit par une demande explicite de la maîtrise d'ouvrage soit par l'atteinte d'un objectif « zéro émission de carbone ». L'ossature bois présente en effet l'avantage par rapport au béton d'avoir un taux d'émission de carbone beaucoup plus faible et donc d'obtenir un bilan carbone construction meilleur. Elle permet également de réduire les ponts thermiques par rapport à une structure béton.

En ce qui concerne les menuiseries, bien que le triple vitrage soit souvent nécessaire pour atteindre les très faibles consommations énergétiques visés par les groupes scolaires, certains groupes scolaires ont réussi à atteindre leurs objectifs énergétiques avec des doubles vitrages performants beaucoup moins onéreux que du tripe vitrage.

La perméabilité à l'air a déjà été abordée dans le paragraphe 6.2. Il est toutefois intéressant de noter que quasiment tous les groupes scolaires ont adopté une démarche permettant de réduire les infiltrations d'air à travers l'enveloppe à une valeur optimisée par rapport à la valeur réglementaire en RT2005, à savoir 1.7³/h.m².

7.2 LES SYSTEMES DE CHAUFFAGE

Sur les cinq groupes scolaires BEPOS étudiés, on retrouve trois typologies de systèmes de production de chaleur pour le chauffage des bâtiments :

- le raccordement à un réseau de chaleur ayant recours aux énergies renouvelables pour les groupes scolaire Olympe de Gouges à Arcueil et Abdelmalek Sayad à Nanterre,

- le recours à une pompe à chaleur eau/eau exploitant la géothermie pour les groupes scolaires Saint Exupéry à Pantin et Jean-Louis Marquèze à Limeil-Brévannes,
- la production de chaleur par combustion de biomasse (huile végétale pure dans ce cas) pour le groupe scolaire Résistance de Montreuil

Il n'existe pas de système à privilégier à priori pour la construction d'un groupe scolaire BEPOS. Une analyse du contexte et des gisements en énergies renouvelables est indispensable afin de déterminer la meilleure source d'énergie c'est-à-dire une énergie permettant de limiter au minimum les consommations en énergie primaire qu'il faudra ensuite compenser.

Si un réseau de chaleur alimenté majoritairement par des énergies renouvelables est situé à proximité, un raccordement est généralement la solution la mieux appropriée d'un point de vue énergétique comme du point de vue économique (à condition que le réseau de chaleur ne soit pas situé à une distance trop éloigné du groupe scolaire). L'approvisionnement du réseau de chaleur considéré peut être assuré par un forage géothermique (sur le Dogger dans le cas du futur réseau d'Arcueil, sur nappe phréatique dans le cas du réseau de Nanterre), à partir d'un mix de plusieurs sources (le réseau alimentant le groupe scolaire de Nanterre est alimenté à la fois par la géothermie et par la récupération de chaleur sur eaux usées), par une chaufferie biomasse ou par une usine de méthanisation, etc.

Dans le cas où un raccordement à un réseau de chaleur n'est pas envisageable, il est alors nécessaire de s'orienter vers un système de production de chaleur propre au groupe scolaire. Les solutions à effet joule ou l'installation de chaudière gaz à condensation sont à éviter car leur consommations énergétiques en énergie primaire seront relativement élevés et donc difficile à compenser pour atteindre l'objectif « Zéro énergie ». L'une des solutions est d'avoir recours à la géothermie sur sonde ou sur nappe grâce à l'installation d'une pompe à chaleur très performante (COP supérieur à 4). Quelque soit le coefficient de conversion E_p/E_f choisi (réglementaire ou « physique »), cela permettra d'atteindre un rapport production de chaleur utile/consommations en énergie primaire supérieur à 1 qui sera donc meilleur que celui d'une chaudière gaz.

Les retours d'expérience de certains bâtiments (particulièrement à Lyon) ont cependant montré qu'un déploiement trop important d'installations de pompes à chaleur sur une même nappe peut causer des interférences thermiques entre les PAC ou un réchauffement/refroidissement de la nappe qui ont alors pour conséquence une diminution importante des rendements du système (chute du COP de la PAC). La pertinence économique et technique du choix de la solution de PAC géothermique peut alors être totalement être remise en cause.

Il peut être donc parfois être pertinent de s'orienter vers une installation biomasse comme cela a été fait pour le groupe scolaire Résistance à Montreuil. Celui-ci a recours à une chaudière à huile végétale pure qui permet la couverture des besoins de chauffage et sert également d'appoint à la production d'ECS. Le premier avantage de cette solution par rapport à une solution de PAC géothermique est qu'elle permet de bénéficier de faibles consommations énergétiques en énergie primaire si les coefficients de conversion E_p/E_f retenus sont favorables. En effet, le coefficient « physique » de conversion E_p/E_f pour une chaudière utilisant de l'huile végétale pure est de 0,3 tandis que celui de l'électricité est de 3,2.

Le deuxième avantage que ce type de système permet d'envisager est l'installation d'un module de cogénération qui permettra de produire de l'électricité d'origine renouvelable et donc compenser en partie les consommations énergétiques du bâtiment. Dans le cas du groupe scolaire Résistance, cette installation a ainsi permis de réduire de manière conséquente la surface de panneaux photovoltaïques à déployer pour atteindre l'objectif « Zéro énergie » (plus de 40% de la production d'électricité est assurée par le module de cogénération).

Comparaison entre les différents systèmes de production de chaleur					
Groupe scolaire	« Jean-Louis Marquèze » Limeil-Brévannes	"Saint Exupéry" Pantin (93)	"Olympe de Gouges" Arcueil (94)	"Abdelmalek Sayad" Nanterre (92)	« Résistance » Montreuil
Production calorifique	Pompe à chaleur puisant dans la nappe phréatique (70m de profondeur)	Pompe à chaleur sur champ de sonde (15 sondes de 100 m de profondeur)	Raccordement au réseau de chaleur (entre 60 et 70% couvert par la géothermie sur Dogger) prévu en 2013	Raccordement à un réseau de chaleur géothermie + récupération de chaleur sur eaux usées (EnR>60%) + géocooling sur champs de sonde	Chaudière à huile végétale pure
Emetteurs	Radiateurs basses températures	Plancher chauffant	Radiateurs basse température	Plancher chauffant	Planchers chauffants et radiateurs basses température

TABEAU 8 : COMPARAISON DES DIFFERENTS SYSTEMES DE PRODUCTION DE CHALEUR DES CINQ GROUPES SCOLAIRES

7.3 LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE

Le tableau ci-dessous liste les systèmes de production d'eau chaude sanitaire des cinq groupes scolaires étudiés :

Comparaison des moyens de production d'ECS					
Groupe scolaire	« Jean-Louis Marquèze » Limeil-Brévannes	"Saint Exupéry" Pantin (93)	"Olympe de Gouges" Arcueil (94)	"Abdelmalek Sayad" Nanterre (92)	« Résistance » Montreuil
ECS	30 m ² de capteurs solaires thermiques et appoint électrique	12 m ² de capteurs solaire thermiques et appoint électrique+PAC	15 m ² de capteurs solaires thermiques	Production d'ECS via le réseau de chaleur	18,56 m ² de capteurs solaire thermiques et appoint réalisé par la cogénération

TABEAU 9 : COMPARAISON DES MOYENS DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE DES CINQ GROUPES SCOLAIRES

Quatre des cinq groupes scolaires étudiées ont décidé de mettre en place des capteurs solaires thermiques pour couvrir une partie des besoins d'eau chaude sanitaire (entre 30 et 50%). Cette technologie permet en effet de réduire les consommations énergétiques liées à ce poste même si les besoins d'ECS restent relativement faibles pour un groupe scolaires vis-à-vis des autres postes de consommations énergétiques comme le chauffage ou la ventilation (cf. l'analyse des consommations énergétiques). Seul le groupe scolaire Abdelmalek Sayad n'a pas eu recours au solaire thermique et produit intégralement son eau chaude sanitaire grâce au réseau de chaleur auquel il est raccordé qui présente déjà un coût relativement faible en énergie primaire.

7.4 LES SYSTEMES DE VENTILATION : DOUBLE FLUX ET VENTILATION NATURELLE

Les systèmes de ventilation utilisés dans les cinq groupes scolaires sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Comparaison des systèmes de ventilation					
Groupe scolaire	« Jean-Louis Marquèze » Limeil-Brévannes (94)	"Saint Exupéry" Pantin (93)	"Olympe de Gouges" Arcueil (94)	"Abdelmalek Sayad" Nanterre (92)	« Résistance » Montreuil (93)
Ventilation	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver, surventilation nocturne et ventilation naturelle traversante en été,	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver, surventilation nocturne et ventilation naturelle traversante en été	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver, surventilation nocturne et ventilation naturelle traversante en été	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur en hiver, (ρ= 70%) + sondes CO2 dans certaines zones

TABEAU 10 : COMPARAISON DES SYSTEMES DE VENTILATION DES CINQ GROUPES SCOLAIRES

Dans le but d'assurer une bonne qualité de l'air pour tous les usagers, les groupes scolaires étudiés ont tous pris la décision d'assurer un débit de 25 m³/h/pers assurée par une ventilation mécanique double flux, débit supérieur au débit minimum réglementaire de 18 m³/h/pers. Cette décision a évidemment une répercussion importante sur les consommations énergétique du poste de ventilation, c'est pourquoi il était impossible de se passer de la récupération sur air extrait assurée par le système double-flux.

Pour limiter les consommations, d'autres solutions techniques ont également été adoptées dans certains groupes scolaires comme la mise en place de sondes CO₂ qui permettent de réguler le débit de la CTA en fonction du nombre de personnes présentes dans certaines salles dites à usage intermittent (salles de réunions ou amphithéâtre par exemple).

Une autre solution intéressante qui pourrait être reproduite dans de futurs groupes scolaire est le système de cheminée solaire qui a été installé dans une des salles d'activité du groupe scolaire Saint Exupéry. La toiture solaire du bâtiment permet de créer un effet venturi qui permet d'augmenter le tirage thermique de la cheminée solaire et d'aspirer ainsi l'air vicié de la salle (cf. monographies).

On peut également remarquer que la majorité des groupes scolaires étudiés ont choisis de mettre en place un système de ventilation naturelle avec surventilation nocturne pendant la saison estivale en remplacement de la ventilation mécanique double flux qui fonctionne uniquement pendant l'été. Seul le groupe scolaire Olympe de Gouges maintient la ventilation mécanique toute l'année en raison de contraintes acoustiques importantes.

La ventilation naturelle, bien qu'étant encore un sujet sensible dans le monde du bâtiment du fait des problèmes d'équilibre entre confort thermique et confort acoustique et de la nécessité d'une action de l'utilisateur du bâtiment sur laquelle il est difficile d'avoir un contrôle, permet de s'affranchir des consommations électriques une partie de l'année. Elle permet d'assurer une ventilation nocturne passive qui vient rafraîchir le bâtiment la nuit. Toutefois, ce type de systèmes exige la mise en place de solutions de protection contre les intempéries et contre les intrusions qui représentent un coût financier non négligeable.

D'après les acteurs rencontrés, la ventilation naturelle semblait très bien fonctionné et satisfaire les usagers qui ont pris le réflexe d'ouvrir leurs fenêtres pendant la saison estivale pour faire entrer de l'air neuf mais également pour des raisons de confort thermique.

La surventilation nocturne est cependant plus facile à gérer mécaniquement puisque les professeurs ont tendance à oublier d'ouvrir les ouvrants avant de quitter les locaux. Pour améliorer ce point, une sensibilisation plus fréquente des usagers (professeurs, personnel de maintenance, et administration du groupe scolaire) serait nécessaire.

Des brasseurs d'air seront également installés dans le groupe scolaire résistance pour améliorer le confort thermique des usagers en période chaude.

7.5 L'ÉCLAIRAGE

Dans le but de réduire les consommations énergétiques liées au poste d'éclairage, tous les groupes scolaires ont été conçus et implantés en favorisant autant que possible les apports de lumière naturelle. On retrouve ainsi plusieurs solutions techniques tels que des menuiseries de grande taille protégées par des stores commandés mécaniquement par la GTB afin de se protéger des rayons du soleil aux heures les plus chaudes, des puits de lumières, des vitrages de second jour en hauteur dans les couloirs...

L'éclairage artificiel est d'autre part assuré par des équipements performants et économes. Toutes les écoles sont ainsi équipées de gradateur de lumière qui règle l'intensité de l'éclairage en fonction de la luminosité de la pièce, de détecteurs de présence et d'horloge ou de rangées indépendantes de luminaires... L'éclairage artificiel est évidemment intégralement géré par la GTB des groupes scolaires et des compteurs indépendants permettent de mesurer les consommations énergétiques du poste.

Les principales équipements installés dans les cinq groupes scolaires sont listés sommairement dans le tableau suivant et sont détaillés plus précisément dans les monographies :

Comparaison des systèmes d'éclairage					
Groupe scolaire	« Jean-Louis Marquèze » Limeil-Brévannes	"Saint Exupéry" Pantin (93)	"Olympe de Gouges" Arcueil (94)	"Abdelmalek Sayad" Nanterre (92)	« Résistance » Montreuil
Eclairage	Eclairage artificiel géré par GTC en fonction de l'occupation et de l'éclairage naturel	Eclairage artificiel géré par GTC en fonction de l'éclairage naturel	Système d'éclairage à multiples capteurs (détecteur de présence et de luminosité) + rangées de luminaires indépendantes dans les salles de classes	Eclairage artificiel géré par GTC en fonction de l'occupation et de l'éclairage naturel	Eclairage artificiel géré par détecteur de présence et gradation en fonction de mesure de luminosité

TABLEAU 11 : COMPARAISON DES SYSTEMES D'ECLAIRAGE ARTIFICIEL DES CINQ GROUPES SCOLAIRES

7.6 PRODUCTION ENERGETIQUE

Dans le but de compenser leurs consommations énergétiques et donc atteindre le niveau de performance énergétique BEPOS ou « Zéro énergie » (ou encore « Zéro déchets nucléaires »), les groupes scolaires ont du mettre en place des systèmes de productions énergétiques. Ces derniers sont pour les quatre premières écoles des panneaux photovoltaïques installés en toiture, et alors qu'ils sont en façade dans le cas du groupe scolaire Jean-Louis Marquèze.

Seul le groupe scolaire Résistance à Nanterre a opté pour un système de production électrique différent en ayant recours à une chaudière fonctionnant à l'huile végétale pure et équipée d'un module de cogénération. Des panneaux photovoltaïques seront tout de même installés en toiture pour produire suffisamment d'électricité et ainsi compenser toutes les consommations énergétiques du groupe scolaire. Ainsi la production électrique sera assurée à 41% par le module de cogénération et à 59% par les panneaux photovoltaïques.

L'avantage du module de cogénération à l'huile végétale pure est que même si la production électrique nécessite une consommation de combustible au contraire des panneaux photovoltaïques (production « gratuite » grâce au soleil), l'huile végétale pure bénéficie d'un coefficient physique de conversion énergie primaire/énergie finale très faible par rapport à celui de l'électricité. La surconsommation énergétique engendrée est donc très faible relativement à la production électrique associée.

Les productions énergétiques ainsi que les systèmes de production sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Production électrique					
Groupe scolaire	« Jean-Louis Marquèze » Limeil-Brévannes	"Saint Exupéry" Pantin (93)	"Olympe de Gouges" Arcueil (94)	"Abdelmalek Sayad" Nanterre (92)	« Résistance » Montreuil
Objectifs consommation	53 kWhep/m ² SHON/an	27 kWhep/m ² SHON/an	51 kWhep/m ² SHON/an	48 kWhep/m ² SHON /an	78,5 kWhep/m ² SHON /an
Objectifs production	70 MWh/an soit 61,5 kWhep/m ² SHON	110 MWh/an soit 29 kWhep/m ² SHON	93 MWh/an soit 51 kWhep/m ² SHON	96 MWh/an soit 49 kWhep/m ² SHON	170 MWh/an soit 82 kWhep/m ² SHON (assurée à 41% par le module de cogénération et à 59% par les panneaux PV)
Production électrique	532 m ² de panneaux photovoltaïque	1168 m ² de panneaux photovoltaïque	620 m ² de panneaux photovoltaïques	800 m ² de panneaux photovoltaïque	502 m ² de panneaux photovoltaïque + cogénération à l'huile végétale pure

TABLEAU 12 : COMPARAISON DES SYSTEMES DE PRODUCTION ELECTRIQUE DES CINQ GROUPES SCOLAIRES

7.7 ANALYSE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DES GROUPES SCOLAIRES

Le tableau suivant synthétise les consommations énergétiques par poste des groupes scolaires Jean-Louis Marquèze, Saint Exupéry, Abdelmalek Sayad et Résistance. Les consommations énergétiques du groupe scolaire Olympe de Gouges n'ont pas pu être récupérées et aurait été de toute façon difficilement exploitable du fait que le groupe scolaire n'est pas encore raccordé au réseau de chaleur de la ville ce qui a un impact important sur la répartition de ses consommations énergétiques.

Les consommations énergétiques sont présentées en énergie primaire et en énergie finale avec le coefficient de conversion ep/ef associée à chaque poste pour chaque groupe scolaire. Comme il a été dit précédemment, tous les groupes scolaires n'ont pas choisi d'utiliser les mêmes coefficients de conversion. Le groupe scolaire Résistance a ainsi fait le choix d'utiliser les coefficients « physiques » plutôt que les coefficients réglementaires.

Postes de consommations	JL Marquèze			Saint Exupéry			Abdelmalek Sayad			Résistance		
	kWh _{ef} /m ² SHON	Coeff Ep/ef	kWh _{ep} /m ² SHON	kWh _{ef} /m ² SHON	Coeff Ep/ef	kWh _{ep} /m ² SHON	kWh _{ef} /m ² SHON	Coeff Ep/ef	kWh _{ep} /m ² SHON	kWh _{ef} /m ² SHON	Coeff Ep/ef	kWh _{ep} /m ² SHON
Chauffage	6,7	2,58	17,2	5,9	2,58	15,2	10,1	1	10,1	65,1 [*]	0,3	19,5 [*]
ECS	1,1	2,58	2,8	1,2	2,58	3,1	4,4	1	4,4	1,5	3,2	4,7
Ventilation	3,2	2,58	8,2	6,6	2,58	17,0	5,2	2,58	13,3	6,1	3,2	19,6
Eclairage	3,3	2,58	8,5	3,4	2,58	8,8	5,9	2,58	15,3	4,5	3,2	14,4
Cuisine	2,3	2,58	5,9	9	2,58	22,0	non pris en compte dans le bilan			3,6	3,2	3,6
Autres (élec spécifique)	3,9	2,58	10,1	1	2,58	3,6	2,0	2,58	5,1	2,8	3,2	8,8
Total	20,4		52,7	27		69,7	27,6		48	83,5	-	78,5
Production électrique (PV + cogénération)	-23,8	2,58	-61,53	-29,0	2,58	-74,8	-19,0	2,58	-49	- 25,4	3,2	- 81,3
Bilan	44,3		-8,83	56,0		-5,2	8,6		-1	58,1	-	- 2,8

TABEAU 13 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES PAR POSTE DES GROUPES SCOLAIRES

* Dans le cas du groupe scolaire il s'agit d'une consommation d'huile végétale pure qui sert à la fois à la production de chaleur et à la production d'électricité grâce au module de cogénération.

Comparaison des consommations énergétiques en énergie primaire par poste des groupes scolaires

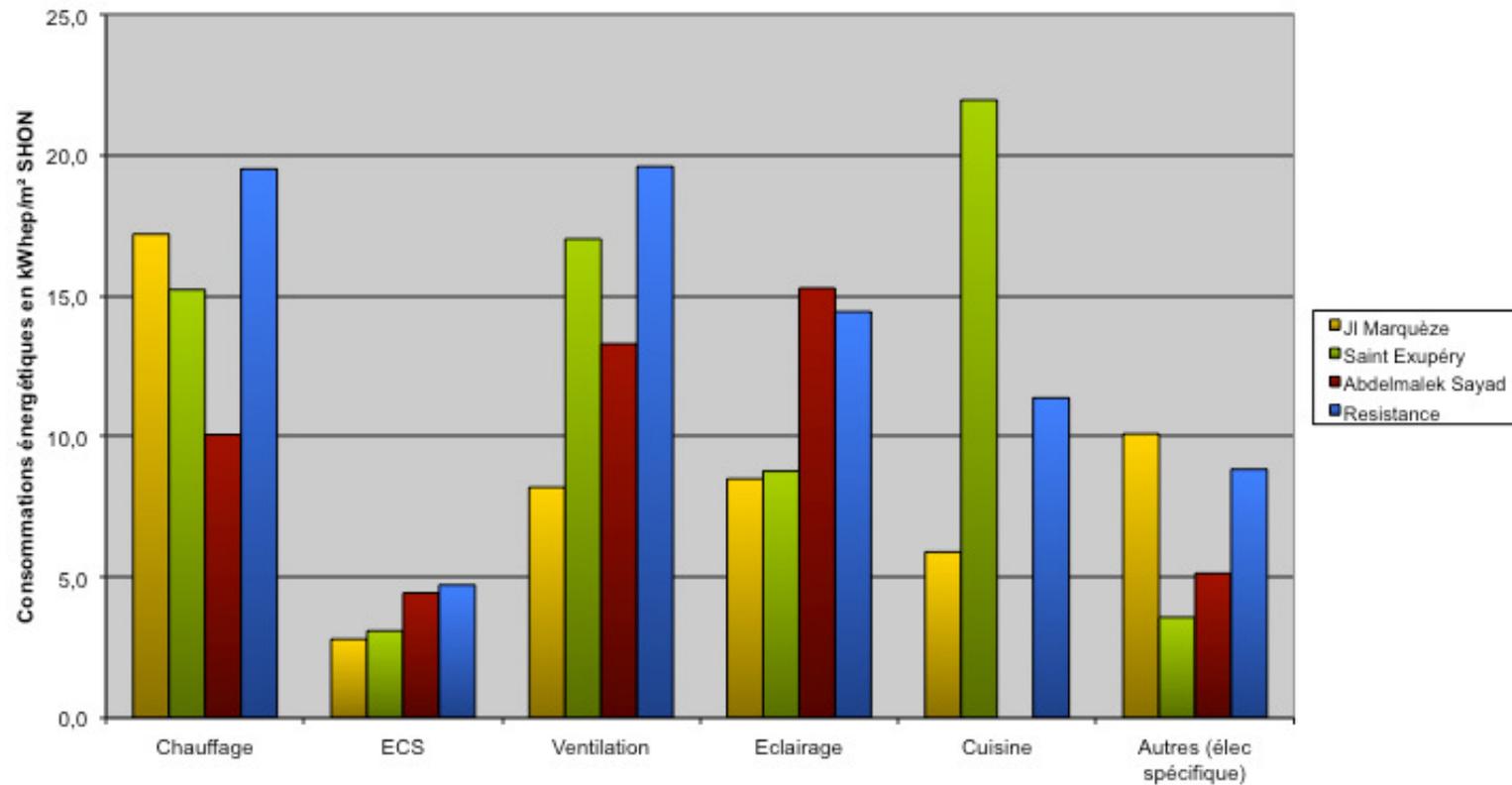


FIGURE 5 : COMPARAISON DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES EN ENERGIE PRIMAIRE PAR POSTE DES GROUPES SCOLAIRES

La figure précédente permet d'identifier les postes de consommations énergétiques les plus importants et de comparer ces derniers par rapport aux autres groupes scolaires.

Les postes de chauffage et de ventilations sont les postes prépondérants de consommation énergétiques des groupes scolaires. Il est important de rappeler que ces deux postes de consommations sont liés étroitement puisqu'une partie des consommations du poste de ventilation sont en fait dues au préchauffage de l'air neuf. Les consommations énergétiques du poste de chauffage sont de l'ordre de 10 à 20 kWhep/m²SHON.an ce qui est très faible par rapport aux groupes scolaires standard en Ile-de-France.

Le poste de consommation de chauffage est plus important pour le groupe scolaire Résistance du fait qu'il s'agit en fait d'une consommation d'huile végétale pure qui sert à la fois à produire de la chaleur et de l'électricité grâce au module de cogénération. Le rendement global de la chaudière à HVP est de 89% avec un rendement électrique de 36,5% et un rendement thermique de l'ordre de 52,5%. Ainsi plus de 40% de l'énergie produite par la chaudière à HVP associée au module de cogénération est de l'énergie électrique ce qui explique la surconsommation énergétique de ce poste par rapport aux autres groupes scolaires étudiés.

Le poste d'éclairage artificiel représente également une part importante des consommations énergétiques (de l'ordre de 20% en moyenne toutes énergies confondues). Au vue des équipements performants installés dans les groupes scolaires, il paraît difficile de diminuer davantage ce poste de consommation.

Les besoins d'eau chaude sanitaire d'un groupe scolaire étant relativement faible, les consommations de ce poste sont relativement faibles par rapport aux autres postes (inférieur à 5 kWhep/m²SHON.an). Ces faibles consommations s'expliquent également par le fait que la majorité des groupes scolaires sont équipées de capteurs solaires thermique qui couvrent entre 30 et 50% des besoins d'ECS. Rappelons d'autre part que la majeure partie des besoins d'ECS des groupes scolaires est liée au fonctionnement de la partie restauration et pourraient ainsi être occulté si les bilans énergétiques présentés ne tenaient compte que des postes réglementaires.

Enfin, les consommations d'électricité spécifique et les consommations liées au fonctionnement de la partie restauration des groupes scolaires représentent également une part importante dans le bilan énergétique des groupes scolaires

Postes de consommations	Jean-Louis Marquèze		Saint Exupéry		Abdelmalek Sayad		Résistance	
	kWhep/m ² SHON	Répartition						
Chauffage	17,2	33%	15,2	22%	10,07	21%	19,5	25%
ECS	2,8	5%	3,1	4%	4,44	9%	4,7	6%
Ventilation	8,2	16%	17,0	24%	13,3	28%	19,6	25%
Eclairage	8,5	16%	8,8	13%	15,28	32%	14,4	18%
Cuisine	5,9	11%	22,0	32%		0%	11,4	14%
Autres (élec spécifique)	10,1	19%	3,6	5%	5,14	11%	8,8	11%
Total	52,7		69,7		48,23		78,5	

TABLEAU 14 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES EN ENERGIE PRIMAIRE PAR POSTE

Le tableau suivant présente les bilans énergétiques en énergie primaire et en énergie finale des quatre groupes scolaires :

Bilans énergétiques	JL Marquèze		Saint Exupéry		Abdelmalek Sayad		Résistance	
	kWh _{ef} /m ² SHON	kWh _{ep} /m ² SHON	kWh _{ef} /m ² SHON	kWh _{ep} /m ² SHON	kWh _{ef} /m ² SHON	kWh _{ep} /m ² SHON	kWh _{ef} /m ² SHON	kWh _{ep} /m ² SHON
Consommations énergétiques	20,4	52,7	27	69,7	27,6	48,2	83,5	78,5
Production électrique (PV + cogénération)	-23,8	-61,5	-29	-74,8	-19,0	-48,9	-25,4	-81,3
Bilan	-3,4	-8,8	-2,0	-5,2	8,6	-0,7	58,1	-2,8

TABEAU 15 : BILANS ENERGETIQUES DES GROUPES SCOLAIRES (CONSOMMATIONS ET PRODUCTION ELECTRIQUE)

On remarque que selon la définition de l'énergie utilisée (énergie primaire ou énergie finale), l'objectif « Energie Zéro » n'est pas toujours atteint. Ceci s'explique, dans le cas du groupe scolaire Abdelmalek Sayad et Résistance, par le fait que les systèmes de production de chaleur utilisés n'utilisent pas l'électricité (ces systèmes étant respectivement un raccordement à un réseau de chaleur et une chaudière à huile végétale pure) comme les deux autres groupes scolaires. Les coefficients de conversion ep/ef ne sont donc pas les mêmes que pour l'électricité produite ce qui crée une différence importante entre les bilans énergétiques en énergie primaire et en énergie finale.

Remarque : La comparaison entre les résultats prévisionnels de consommations énergétiques et les résultats mesurés n'ont pas été intégrés au dossier d'analyse du fait que seules les consommations réelles du groupe scolaire Jean-Louis Marquèze ont pu être récupérées. L'analyse et la justification des différences observées sont cependant détaillée dans la monographie du groupe scolaire.

8 SYNTHÈSE :

Plusieurs points importants ont été soulevés lors de cette étude en ce qui concerne la conception et la construction d'un groupe scolaire à énergie positive en Ile-de-France.

Le sujet de la définition d'un bâtiment BEPOS ou « énergie zéro » a une influence importante sur les contraintes et les objectifs du projet et sur l'appropriation des projets par les maîtres d'ouvrage.

Aujourd'hui, il n'existe pas encore de définition officielle du BEPOS ce qui laisse une marge de manœuvre assez importante aux programmeurs.

Ainsi certains n'ont cherché à compenser que les consommations des postes réglementaires quand d'autres ont considéré toutes les consommations énergétiques. Certains projets ont pris en compte les consommations d'énergie grise des matériaux utilisés lors de la construction ainsi que les émissions équivalentes de CO₂.

L'influence du choix des coefficients de conversion énergie primaire/énergie finale sur le bilan énergétique et sur le choix des systèmes de production énergétique a également été mise en évidence.

Concernant le contexte dans lequel il a été décidé de construire des bâtiments BEPOS, la volonté des maîtres d'ouvrage en accord avec une politique forte en matière de développement durable a toujours été l'élément fondateur. Toutefois, il est important de noter que l'accompagnement des assistants à maîtrise d'ouvrage environnemental, capable de présenter des études de faisabilité technique et économique convaincantes, a été un facteur de passage à l'acte dans la majorité des projets.

La démarche de conception d'un groupe scolaire reste peu différente dans sa globalité de celle d'un bâtiment conventionnel mais elle demande cependant plus de temps d'étude, de calculs et d'échanges entre les différentes équipes du projet. La complexité et la fréquence des échanges sont plus élevées que dans le cadre de la conception d'un bâtiment conventionnel. Les études thermiques nécessitent également d'être réalisées plus en amont que d'habitude et le nombre de variantes étudiées est beaucoup plus important. Plus les consommations énergétiques du bâtiment sont optimisées et plus l'influence de chaque détail est grande.

Il apparaît également qu'il n'existe pas de solution architecturale ou technique universelle qui puissent être reproduite systématiquement pour concevoir un bâtiment BEPOS.

Une enveloppe très performante, réduisant les ponts thermiques est toutefois un point indispensable.

Le recours à des systèmes de production de chaleur peu consommateurs en énergie primaire, à une ventilation avec récupération de chaleur sur air extrait et à des panneaux solaires photovoltaïques, des capteurs solaires thermiques, et des systèmes d'éclairages peu consommateurs sont également des éléments que l'on retrouve dans tous les bâtiments.

Chaque site et chaque programme possède toutefois ses propres contraintes et opportunités qu'il est indispensable d'analyser dans le but d'adopter les installations techniques les plus appropriées.

La ventilation est un poste très important à considérer car très consommateur dans les groupes scolaires étudiés. Ces derniers ont tous fait le choix d'une ventilation mécanique double flux, mais la plupart d'entre eux ont également décidé de n'utiliser cette technologie que durant la période hivernale et d'avoir recours à une ventilation naturelle l'été ainsi qu'une surventilation nocturne. Bien que la ventilation naturelle représente une contrainte importante pour les utilisateurs et nécessite un accompagnement renforcé pour la prise en main du bâtiment, elle permet de réduire considérablement les consommations énergétiques sans pour autant affecter le confort hygrothermique. Des dispositifs « expérimentaux » tels que des

brasseurs d'air ou une cheminée solaire ont également été mis en place et pourront être reproduits sur de futures opérations.

La perméabilité à l'air est un point qu'il semble indispensable de prendre en compte dans la construction d'un bâtiment BEPOS. Celle-ci a en effet une influence très forte sur les consommations énergétiques du bâtiment et nécessite donc une attention très forte dès la phase de conception. En réalisation, il est recommandé de mettre en place des séances de sensibilisation/formation des entreprises, d'exiger au moins deux tests d'étanchéité à l'air (sur une ou plusieurs cellules témoins et un test à la réception), et d'intégrer les exigences d'étanchéité à l'air dans un macro-lot à l'échelle de l'enveloppe du bâtiment par exemple plutôt que de l'inclure dans un lot individuel comme la serrurerie ou la menuiserie.

Il est très difficile d'estimer précisément le surcoût économique engendré par l'atteinte du niveau de performance énergétique BEPOS puisque celui-ci fluctue énormément (entre 10 et 30% d'après les groupes étudiés) selon les projets.

Le surcoût par rapport à un bâtiment conventionnel dépend notamment de la définition du BEPOS retenue au programme et des autres objectifs de performance associés (« zéro émissions de carbone », « zéro déchets nucléaires », énergie grise ...) et des technologies mises en œuvre dont les coûts évoluent au fil du temps (triple vitrage, panneaux solaires...).

Il s'avère cependant, au vue des retours d'expériences collectés en particulier par le groupe scolaire Jean-Louis Marquèze à Limeil-Brévannes, que le temps de retour sur investissement est relativement intéressant du fait des économies sur les coûts d'exploitation du groupe scolaire et de la revente de l'électricité photovoltaïques produites. Le prix de l'énergie étant en constante croissance, il paraît évident que l'investissement pour des bâtiments BEPOS deviendra de plus en plus intéressant économiquement.

L'usage du bâtiment est un aspect très important à prendre en compte lors de la conception de bâtiments aussi performants. Bien que les retours des usagers des groupes scolaires déjà en activité soient dans l'ensemble très positifs en ce qui concerne le confort et la qualité des espaces des bâtiments, il s'avère cependant que l'usage de tels groupes scolaires reste plus contraignant. Le personnel de maintenance doit faire face à des systèmes (CTA, pompe à chaleur, GTB/GTC) qu'il n'a pas l'habitude de rencontrer dans les bâtiments conventionnels et qui demandent une attention plus poussée. Cela peut alors avoir pour conséquence des erreurs de maintenance qui peuvent avoir un impact sur les consommations énergétiques.

Les professeurs et le personnel administratifs des établissements sont également davantage mis à contribution puisqu'ils ont un rôle important pour le bon fonctionnement de la ventilation naturelle ou de la gestion de l'éclairage par exemple.

La sensibilisation des usagers et du personnel de maintenance est donc très importante lorsqu'il s'agit de groupes scolaires exemplaires. Du fait du renouvellement important du personnel dans de telles structures, il est important que la sensibilisation et l'accompagnement soient mis en place de manière régulière et pas uniquement à la livraison du groupe scolaire.

Un suivi précis des consommations énergétiques du bâtiment par un service interne de la ville ou par un prestataire externe semble également permettre d'optimiser le fonctionnement des bâtiments, qui nécessitent une période d'ajustement importante. La complexité des systèmes énergétiques installés exige un réglage très précis qu'il est difficile de trouver en quelques mois. Le suivi permet ainsi d'identifier les dysfonctionnement et les écarts de consommations par rapport au profil de consommation prévisionnel afin d'agir rapidement et efficacement.