

n°2

RÉFÉRENCES

ÉNERGIE ET ENVIRONNEMENT

Bâtiments passifs, bâtiments à énergie positive

Evaluation des nouvelles générations de bâtiments

Collection Cahiers - mai 2015 - 25 €



L'UNION SOCIALE POUR L'HABITAT
Les Hlm, habiter mieux, bien vivre ensemble

PILOTAGE

Farid Abachi, Dominique Brésard, Pierre Frick, Leslie Petitjean, Direction de la maîtrise d'ouvrage et des politiques patrimoniales, L'Union sociale pour l'habitat

Louis Henri, Département Politique de la ville et Développement urbain, Caisse des Dépôts

ÉTUDE

Catherine Charlot-Valdieu, Philippe Outrequin, La Calade

CONTRIBUTIONS

Pascal Aveline, Directeur général, Habitat de la Vienne – Gérard Bellanger, Directeur du développement, Résidences de l'Orléanais – Olivier Broudic, chargé d'opérations, Sarthe Habitat – Bruno Caccia, Directeur Général, NEOTOA – Jean-Luc Charrier, Directeur technique, Le Toit Vosgien – David Chevalier, chargé d'opérations, Nantes Habitat – Alexandre Cousin, chargé d'opération, Habitat de la Vienne – Rémi Delbaere, chargé d'opérations, service Construction, Habitat 62/59 Picardie – Alain Desaleux, Responsable Habitat et Développement, Archipel Habitat – Patrick Elias, Directeur développement construction, La Nantaise d'Habitations – Olivier Foli, Directeur de programme, Immobilière Méditerranée – Jean-François Gabriel, Responsable Promotion immobilière, Rhône Saône Habitat – Fabio Gatto, chargé d'opérations, Vaucluse Logement – Patrick Goeuriot, Directeur du développement et du patrimoine, ICF Habitat Atlantique – Stéphanie Golfouse, Responsable Développement et Patrimoine, Rhône Saône Habitat – Mikaël Goupil, chargé d'opérations, Archipel Habitat – Jean-Marc Gremmel, Directeur général, Le Toit Vosgien – Jean-François Huck, technicien GE exploitation, Foyer Rémois – Fabrice Lacaille, responsable technique d'agence, ICF Habitat Atlantique – Elodie Luchini, responsable patrimoine, Immobilière Méditerranée – Claire Lemercier, Sarthe Habitat – Jean-Denis Mège, Directeur du développement, Foyer Rémois – Sébastien Merlet, ingénieur thermicien, direction technique, Habitat de la Vienne – Bernard Peterlongo, Directeur technique, Habitat de la Vienne – Didier Philippe, Sarthe Habitat – Mathieu Raducanu, FFB Pays de Loire – Christèle Renaud-Martin, chef de projet Habitat, Nantes Habitat – Olivier Rosat, Directeur du patrimoine, Habitat 70 – Philippe Scouarnec, Directeur du développement et du patrimoine, NEOTOA – Karim Ternane, chef de projet développement durable, Groupe 3F – Hervé Thébault, Directeur de la construction, SAMO – Bernard Tracol, Directeur Général, Rhône Saône Habitat – Christine Trichet, responsable d'agence, Nantes Habitat – Nicolas Vigier, Directeur du Patrimoine, Angers Loire Habitat.

GR O U P E



*La réalisation de cette étude
a bénéficié d'une contribution financière
de la Caisse des Dépôts*

PRÉAMBULE

Les engagements pris par la France visent une réduction de 30% de la consommation énergétique primaire entre 1990 et 2020, et de 40% des émissions de gaz à effet de serre en 2030, avant de les diviser par quatre à horizon 2050. Dans ce contexte, le secteur du bâtiment, responsable de 40% de la consommation énergétique globale, est fortement concerné. Les objectifs et les moyens pour y parvenir ont été progressivement précisés dans le corpus législatif et réglementaire depuis les années 2000, au fur et à mesure de la prise de conscience grandissante des impacts de l'activité humaine sur l'environnement. Aujourd'hui, le projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte vise à marquer une nouvelle étape.

La contribution de la construction neuve à usage résidentiel à l'atteinte de ces objectifs passe par le développement de bâtiments aux besoins énergétiques proches de zéro, voire producteurs d'énergie (calorifique et électrique renouvelables).

Acteur majeur de la transition énergétique dans le secteur du logement, le Mouvement Hlm se prépare d'ores et déjà à développer ces nouvelles générations de bâtiments. De nombreux organismes Hlm se sont engagés dans des démarches innovantes et expérimentales pour réaliser des bâtiments dits « passifs » ou des bâtiments dits « à énergie positive ». Parmi ces nombreuses réalisations, certaines sont habitées déjà depuis plusieurs années.

Parallèlement, les évaluations conduites par l'Union sociale pour l'habitat sur les récentes opérations basse consommation ont montré qu'un changement de paradigme était indispensable pour atteindre et garantir les niveaux de performances énergétique et environnementale aujourd'hui recherchés. Les premiers résultats de l'Observatoire de la Performance Énergétique du logement social ont objectivement mis en évidence ces besoins et permettent de mesurer le chemin restant à parcourir pour une bonne mise en œuvre de la RT 2012.

Aujourd'hui, l'apparition de ces nouvelles générations de bâtiments passifs ou à énergie positive pose de nouvelles questions, et laisse entrevoir de nouveaux enjeux. Comment se conçoivent, se construisent et s'exploitent ces bâtiments aux performances renforcées, avec quelles solutions techniques ? Selon quelles méthodes sont calculés les bilans énergétiques, avec quels outils de simulation ? Comment ces démarches sont-elles partagées avec les acteurs de la construction, les habitants et les collectivités ?

C'est pour apporter les premiers éléments de réponse que l'Union sociale pour l'habitat et la Caisse des Dépôts ont mené conjointement cette étude d'évaluation des premières opérations passives ou à énergie positive dans le logement social.

A partir d'une définition des différentes approches possibles, cet ouvrage présente la synthèse des opérations observées au travers des solutions techniques et des équipements retenus, de leur maîtrise technologique par les acteurs, du confort d'usage, et des moyens mobilisés sur les plans financier et opérationnel.

PARTIE 1 - SYNTHÈSE	5	PARTIE 3 - RETOURS D'EXPÉRIENCES	29
Bâtiment passif, bâtiment à énergie positive :		Des objectifs partagés	31
un premier bilan	6	Anticiper les prochaines échéances réglementaires.....	31
Des caractéristiques communes	6	Réduire les charges et les consommations énergétiques	33
Une divergence d'approche entre « passif » et « à énergie positive »	7	Optimiser les règles d'urbanisme.....	33
Des prix de revient technique en baisse ?	8	Labelliser et certifier	35
		Choisir la procédure adaptée	36
PARTIE 2 - CONTEXTES	11	Des choix techniques innovants	37
Une approche européenne	12	Structures et enveloppes	37
Une consommation « quasi nulle » ?	14	Equipements et solutions techniques	45
Entre coût optimal et coût efficient.....	16	Des équipements à très hauts niveaux de performance	47
Optimisation énergétique micro et/ou macroéconomique	18	Une production EnR différenciée selon l'approche..	48
Une définition française	21	Des opérations vitrine	51
Du bâtiment basse consommation au BePOS	23	Un coût d'investissement encore important.....	51
Les labels proposés aujourd'hui	24	Des charges locatives faibles... mais plus élevées que prévues.....	55
Un changement d'approche nécessaire	25	Instrumenter et suivre les opérations sur la longue durée	57
Vers une première définition du BePOS.....	26	Un premier « bilan carbone ».....	60
Une articulation aux territoires : du bâtiment au territoire à énergie positive.....	26	Une mise en perspective	61
Une ouverture nécessaire	27		

sommaire

PARTIE 4 - MONOGRAPHIES	63	Habitat 62/59 Picardie	
Méthodologie d'évaluation		Résidence René Dumont, Béthune (62).....	90
et d'analyse des opérations	64	Habitat de la Vienne	
Les opérations analysées	66	La Vallée Mouton II, Saint-Benoît (86).....	92
Foyer Rémois		3F	
La Clairière, Bétheny (51).....	68	Le Bois Badeau, Brétigny-sur-Orge (91).....	94
Le Toit Vosgien		La Nantaise d'Habitation	
Les Baudouines, Gerbepal (88).....	70	Villavenir Atlantique, Nantes (44).....	96
Le Toit Vosgien		Rhône Saône Habitat	
Les Héliades, Saint-Dié-des-Vosges (88).....	72	Le Jardin de Jules, Villeurbanne (69).....	98
Le Toit Vosgien		Sarthe Habitat	
Résidence Voltaire, Raon-l'Étape (88).....	74	Champ de la Croix, Etival-lès-le-Mans (72).....	100
Habitat 70		Angers Loire Habitat	
Résidence étudiante, Port-sur-Saône (70).....	76	L'Espéria, Montreuil-Juigné (49).....	102
ICF Habitat Atlantique		Le Toit Vosgien	
Résidence du Quai Fleury, La Riche (37).....	78	Jules Ferry, Saint-Dié-des-Vosges (88).....	104
Immobilière Méditerranée		Nantes Habitat	
Les Hauts de Pessicart, Nice (06).....	80	Le Grand-Carcouët, Nantes (44).....	106
Résidences de l'Orléanais		NEOTOA	
Ilot Bossuet, Orléans La Source (45).....	82	Le Jardin des Frênes, Mordelles (35).....	108
SAMO		Rhône Saône Habitat	
Résidence Hélios, Clisson (44).....	84	L'Escale, Lyon (Lyon Confluence) (69).....	110
Vaucluse Logement		Archipel Habitat	
La Magnanerie, Jonquières (84).....	86	La Levantine, Mordelles (35).....	112
France Loire			
Résidence Aléna, Saint-Doulchard (18).....	88		
		RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	116



PARTIE 1

SYNTHÈSE

Bâtiment passif, bâtiment à énergie positive : un premier bilan 6

Des caractéristiques communes..... 6

Une divergence d'approche entre « passif » et « à énergie positive » 7

Des prix de revient technique en baisse ?..... 8

Bâtiments passifs, bâtiments à énergie positive

BÂTIMENT PASSIF, BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE : UN PREMIER BILAN

Les réalisations présentées comme « passives » ou « à énergie positive » mettent en avant les différentes interprétations de la notion de « Nearly Zero Energy Building », actuellement en cours de définition à l'échelle européenne. Les écarts de performances conventionnelles entre opérations traduisent autant de divergences d'approche que de capacités à pouvoir atteindre les objectifs fixés, tant en termes de coûts d'investissement que de charges locatives. ┘

Au niveau européen, si les objectifs de réduction des consommations et d'émission des GES sont largement partagés (« facteur 4 », « 3*20 »...), la définition du « bâtiment à consommation d'énergie quasi nulle » (ou Nearly Zero Energy Building – NZEB) est variable selon les Etats membres, de même que les échéances fixées dans le calendrier des différents engagements nationaux (définition, étapes, moyens d'atteinte des objectifs...).

Pour la France, le plan d'action a été mis en place successivement par le Grenelle de l'environnement, le label BBC, la RT 2012, la RT existant... Il doit conduire à la généralisation du « bâtiment à énergie positive » à horizon 2020¹, défini comme étant un « bâtiment dont la production annuelle d'énergie renouvelable est supérieure à la consommation d'énergie non renouvelable pour tous les usages ».

Anticipant cette échéance, des organismes Hlm ont expérimenté des approches différenciées, allant d'un bâtiment à très faibles consommations énergétiques (réduction de la demande) à un bâtiment support de production d'énergies renouvelables.

En partenariat avec la Caisse des Dépôts, l'Union sociale pour l'habitat a initié en 2014 cette étude d'évaluation des premiers bâtiments « passifs » ou « à énergie positive » livrés par les organismes Hlm (étude portant sur 23 opérations, totalisant 582 logements). Les objectifs de l'étude étaient de :

- ① Préciser les notions de **Nearly Zero Energy Building** aux niveaux français et européen et leurs attendus (évolution tendancielle de la réglementation thermique...);
- ② Caractériser ces bâtiments passifs (Bpas) ou à énergie positive (BePOS) dans le logement social français, dans le cadre d'une approche en coût global: contexte et origine des opérations, caractéristiques architecturales et techniques, bilan économique et énergétique des opérations et niveau de satisfaction des usagers.

Des caractéristiques communes

Pour la plupart des organismes Hlm sollicités, **l'opération a été présentée comme un « test », visant à « se préparer à la réglementation 2020 », en incluant le développement du recours aux EnR pour répondre à des cahiers des charges de ZAC ou aux attentes des collectivités. Certains organismes ont inscrit leurs opérations dans une politique visant un infléchissement de leur production vers ces prochains standards, en passant du « démonstrateur » à la « tête de série ».**

Les premières conclusions de cette étude confirment que les définitions du Bpas et du BePOS sont en cours de construction.

Si les mêmes enseignements que ceux livrés par le programme d'instrumentation de l'Observatoire de la Performance Energétique (OPE) ont pu être constatés, d'autres axes communs à ces opérations ont été relevés :

- les écarts entre les consommations prévisionnelles issues du moteur de calcul RT 2012 et les consommations réelles sont encore plus importants que ceux constatés dans le cadre du programme d'instrumentation de l'Observatoire de la Performance Energétique. On note cependant que le moteur de calcul utilisé pour les bâtiments passifs (PHPP) fournit des consommations prévisionnelles relativement proches des consommations mesurées,
- pour une grande part, l'atteinte des performances recherchées est permise par la situation urbaine idéale et exemplaire des bâtiments (orientation nord-sud, absence de masques solaires...), situation qui ne peut être celle de toutes les emprises à construire. Les **contraintes d'urbanisme** (alignement ou recul nécessaire, orientation imposée) rendent difficiles une généralisation du BePOS, particulièrement en site urbain (trame viaire déjà existante). Cela sous-entend la nécessité d'intégrer le plus en amont possible ces éléments par les services d'urbanisme des collectivités,

1. Echéance avancée à 2018 en l'état actuel de l'examen par le Parlement du projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte.

- ▶ le recours généralisé à des technologies très performantes (VMC Double Flux, triple vitrage, peau extérieure très isolée et très étanche à l'air...), au-delà des investissements financiers conséquents qu'elles supposent, appelle une grande exigence technique lors de la réalisation du fait du saut technologique induit,
- ▶ les retours d'expériences sont fortement capitalisés au niveau du maître d'ouvrage, tant sur les plans organisationnel, fonctionnel (test d'équipements innovants) que technique (pertinence économique des choix faits) et ceux-ci sont mis à profit pour les opérations RT2012 en cours,
- ▶ un nécessaire apprentissage du fonctionnement des différents équipements, impliquant une adaptation des habitants et de nouvelles compétences pour les gestionnaires et les exploitants. Cet effort d'apprentissage s'ajoute à celui observé pour les bâtiments BBC dans le cadre de l'OPE,
- ▶ un niveau des charges locatives quittancées encore important (incluant abonnements, maintenance exploitation...), alors que ces bâtiments avaient été présentés comme étant à faibles consommations énergétiques.

À NOTER

Aucun organisme n'a intégré, à ce stade, une approche en termes de résilience : quelle capacité a un tel bâtiment à rester vivable dans le contexte d'un événement extérieur important (VMC double flux vs coupure de courant prolongée, inertie thermique vs confort d'été et réchauffement climatique...)? De même, la question de la durée de vie des composants performants installés est incertaine et elle est déduite de celle des équipements actuellement en fonctionnement, par absence de référentiels de comparaison.



Une divergence d'approche entre « passif » et « à énergie positive »

Pour les opérations passives étudiées, les objectifs poursuivis par tous les organismes sont, à confort égal voire supérieur, une nette réduction des besoins énergétiques accompagnée d'une baisse des charges locatives, et une anticipation de la future RT (process métiers, compétences...). L'obtention de la certification Passiv'Haus n'est pas apparue comme un but en soi.

Pour les bâtiments à énergie positive, deux tendances se dégagent, à parts égales :

- ① un bâtiment « à énergie positive » conçu comme un bâtiment BBC (« BBC-BePOS »), mais avec une production énergétique locale très importante et compensatrice (exclusivement par photovoltaïque, jusqu'à 32 m²/logt),
- ② un bâtiment à très hautes performances (niveau passif), avec une production locale d'énergie moindre mais variée (photovoltaïque : 9-12 m²/logt, microgénération).

De ces différences d'approche découlent les constats suivants :

- ▶ une prise en compte, pour le Bpas, d'un coût global « élargi » intégrant des indicateurs quantitatifs et qualitatifs (bilan carbone, charges, qualité environnementale, qualité d'usage, cycle de vie complet...), alors que l'approche reste limitée au coût global « direct » pour les opérations « BBC - BePOS »,
- ▶ des contraintes de réalisation nettement plus exigeantes pour le bâtiment passif, de l'avis des maîtres d'œuvre et des professionnels (gouvernance des projets, sensibilités aux risques et prévention des malfaçons, étanchéité à l'air...),
- ▶ des choix techniques différenciés selon que l'on vise le niveau passif ou le niveau BBC-BePOS, avec un niveau de performance des équipements nettement supérieur pour le Bpas. A ce stade, le surcoût de ces équipements ne permet pas encore d'envisager un retour sur investissement compensé par les économies d'énergie générées dans un délai raisonnable,
- ▶ l'installation de système de comptage et d'affichage des consommations reste limitée aux seuls bâtiments « BBC-BePOS »,
- ▶ pour les bâtiments « BBC-BePOS », on note une relative incompréhension des locataires à devoir payer des charges énergétiques qui peuvent être similaires à celles de leur logement précédent, bien qu'ils soient dans un bâtiment producteur d'énergie. On note en effet que la production d'électricité reste mutualisée à l'échelle du bailleur dans tous les cas étudiés.



À RETENIR

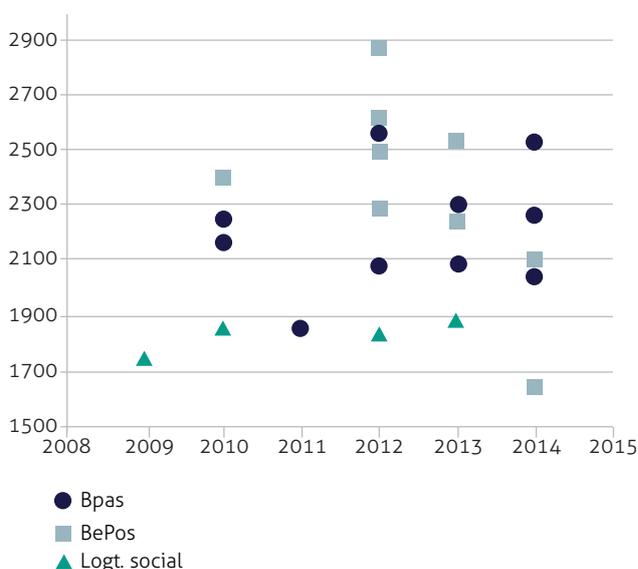
Le moteur de calcul utilisé pour un bâtiment passif (PHPP) n'est pas réglementaire, ce qui conduit à ce que les études soient doublées par un calcul thermique RT2012. Par ailleurs, les hypothèses standard du moteur de calcul PHPP s'avèrent inadaptées pour le logement social (35 m²/habitant.logt, 25 litres ECS/hab.j...) et nécessitent un travail en amont conséquent.

Des prix de revient techniques en baisse ?

Ces bâtiments sont à la fois des vitrines et des terrains d'expérimentation, expliquant une part importante des coûts élevés de construction. Cependant, l'examen des coûts de construction montre une nette diminution des coûts entre 2009 et 2014 (montants en euros réels).

Une partie des surcoûts peut être expliquée par les équipements qui s'avèrent largement surdimensionnés ou non adaptés à un très faible niveau de consommations énergétiques, et par les redondances entre équipements liées aux marges de couverture que s'octroie encore la maîtrise d'œuvre. Une autre part est due au caractère innovant des produits et équipements installés, dont la compétitivité devrait s'améliorer au fur et à mesure du développement de leur usage.

Coût total opération (en € TTC / m²Shab, hors foncier)



Pour les bâtiments à orientation passive, les coûts énergétiques constatés sont faibles : entre 60 et 150 €/an et par logement pour le chauffage seul et à partir de 1 000 €/an toutes charges fluides confondues (gaz/électricité/eau et maintenance), après correction des éléments de coûts disponibles (coûts mutualisés, report de factures individuelles...).

A l'inverse, les charges d'entretien-maintenance ont augmenté du fait de l'apparition de nouvelles prestations, avec de grandes disparités entre opérations selon le type d'équipements installés (entretien périodique de la VMC DF avec des écarts de coûts allant de 60 à 200€/an, entretien des panneaux photovoltaïques...).

Il apparaît ainsi que :

- ▶ le choix des équipements peut compromettre fortement le niveau de charges locatives et les économies potentielles pour le locataire, sans pour autant garantir de faibles consommations énergétiques,
- ▶ le surcoût des opérations passives, sur l'échantillon examiné, est de l'ordre de 18% par rapport à une opération de logement social moyenne, tandis que le surcoût d'une opération à énergie positive est de 26%,
- ▶ les coûts d'exploitation et de maintenance et les charges locatives des opérations passives apparaissent fortement réduites, comparativement à celles des opérations à énergie positive.



Sous réserve d'une confirmation de la baisse des coûts d'investissement, les bâtiments passifs pourraient représenter une réponse adaptée pour les prochaines opérations de logement social à horizon 2020.

Pour les BePOS, des niveaux de coûts d'opération très élevés et des charges locatives non maîtrisées

- ▶ Un coût de construction moyen (y compris honoraires) de 2 225€TTC/m² SHAB hors charges foncières. Ce montant est supérieur de 25% au coût moyen de construction d'un logement social (source CDC - coût total d'un logement : 1 760€/m² SHAB hors charges foncières).
- ▶ De grands écarts entre coûts d'opération : de 1 610€TTC/m² SHAB à 2 730 €TTC/m² SHAB.
- ▶ Un niveau de fonds propres mobilisés considérable (23% versus 13% en moyenne) qui s'accompagne généralement d'un abondement des subventions des collectivités (15% versus 12% en moyenne).
- ▶ Une rentabilité financière des installations photovoltaïques supérieure à leur durée de vie technique (TRI de 33 ans sur une opération): l'investissement initial ne prend pas en compte le nécessaire renouvellement des panneaux PV au terme de leur durée de vie technique.
- ▶ Des niveaux de charges locatives importants, marqués par de grands écarts entre les consommations réelles et mesurées (+20% à +100%), et des frais de maintenance - exploitation qui augmentent du fait de nouvelles prestations liées aux modules photovoltaïques en toiture (nettoyage périodique, vérification de bon fonctionnement...), ce qui renforce le constat issu de l'Observatoire de la Performance Énergétique.



PARTIE 2

CONTEXTES

Une approche européenne	12
Une consommation « quasi nulle » ?	14
Entre coût optimal et coût efficient	16
Optimisation énergétique micro et/ou macroéconomique	18
Une définition française	21
Du bâtiment basse consommation au BePOS	23
Les labels proposés aujourd'hui	24
Un changement d'approche nécessaire	25
Vers une première définition du BePOS	26
Une articulation aux territoires : du bâtiment au territoire à énergie positive	26
Une ouverture nécessaire	27

Bâtiments passifs, bâtiments à énergie positive

UNE APPROCHE EUROPÉENNE

L'analyse circonstanciée de la transcription des directives européennes successives révèle les différences d'approche et de signification données, par chaque Etat membre, au « Nearly Zero Energy Building – Bâtiment aux besoins énergétiques proche de zéro ». ┘

L'Union européenne est confrontée à des défis sans précédent. Ils découlent de sa dépendance accrue à l'égard des importations d'énergie du fait de ressources énergétiques limitées, et de la nécessité de lutter contre le changement climatique tout en luttant contre la crise économique. Les engagements pris en conséquence, réduire les consommations d'énergie primaire et les émissions de gaz à effet de serre (GES), et augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique, sont à des horizons temporels proches : la règle des « 3 fois 20 » à l'horizon 2020 et le « Facteur 4 » (division par 4 des émissions de GES) d'ici 2050.

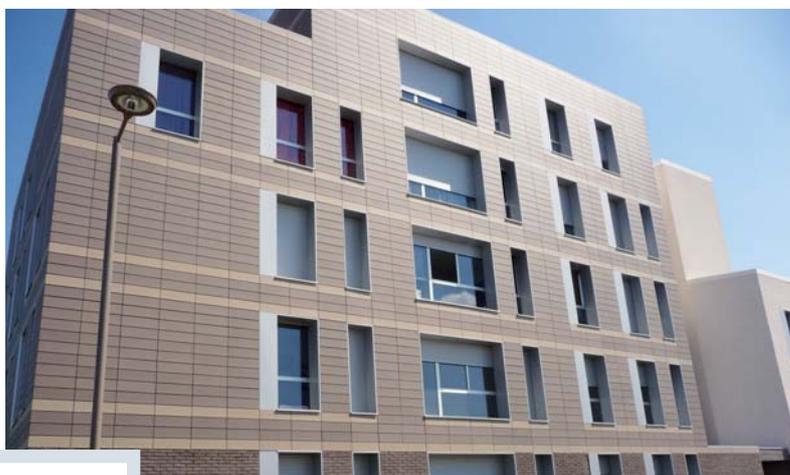
Dès 2006, une directive européenne¹ visait la mise en place des conditions propices à la promotion d'un marché pour les services énergétiques, pour la fourniture de programmes d'économies d'énergie et d'autres mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique au profit des utilisateurs finaux. Par la suite, d'autres directives ont visé à développer le recours aux énergies renouvelables (Dir 2009/28/EC), à redéfinir les marchés intérieurs du gaz et de l'électricité (2009/72/CE), puis les performances énergétiques des bâtiments (EPBD – 2010/31/UE). Cette dernière a conduit en 2012 à la définition d'une nouvelle catégorie de « **bâtiments aux besoins énergétiques proches de zéro** » (« nearly zero energy building » ou NZEB), applicable dès 2020 pour la construction neuve des bâtiments résidentiels, notamment dans le logement social aidé.

Un « **bâtiment dont la consommation d'énergie est quasi nulle** » est un « bâtiment qui a des performances énergétiques très élevées [déterminées conformément à l'annexe I], où la quantité quasi nulle ou très basse d'énergie requise devrait être couverte dans une très large mesure par de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, notamment l'énergie produite à partir de sources renouvelables sur place ou à proximité ».

Les directives (EPBD) 2010/31/UE et 2012/27/UE imposent aux Etats membres de mettre en place dès avril 2014 une stratégie à long terme pour mobiliser les investissements dans la rénovation du parc immobilier national. Elles imposent également de fixer des **objectifs indicatifs nationaux d'efficacité énergétique**, selon des critères choisis par les Etats membres (par exemple sur la base des économies ou de la consommation d'énergie primaire ou finale, ou de l'intensité énergétique), mais également de **définir le « bâtiment à consommation d'énergie quasi nulle »** (NZEB) et les étapes et objectifs intermédiaires visant à améliorer la performance énergétique des nouveaux bâtiments d'ici à 2015, en vue de préparer leur bonne mise en œuvre. Chaque Etat membre devait ainsi, au plus tard le 30 avril 2013, notifier à la Commission européenne ses objectifs et la méthode utilisée pour les exprimer, sous la forme d'un niveau absolu de consommation d'énergie primaire et finale à respecter dès 2020. Les Etats membres doivent également fournir « *un descriptif détaillé [relatif à] la manière dont [il] applique, dans la pratique, la définition des bâtiments dont la consommation d'énergie est quasi nulle, [selon] des conditions nationales, régionales ou locales et [avec] un indicateur numérique d'utilisation d'énergie primaire exprimé en kWh/m².an* ».

L'étape intermédiaire, telle que définie par la France en 2009 avec les Lois Grenelle est celle d'un « **bâtiment à basse consommation d'énergie** » (BBC), un bâtiment qui consomme, pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, entre 40 à 65 kWh par m² et par an (kWh/m².an) pondéré selon la zone climatique. Ces niveaux de performances sont ceux retranscrits dans la réglementation thermique pour tout permis de construire déposé après le 31 décembre 2012 (et par anticipation au 28 octobre 2011 pour certaines catégories de bâtiments et de maîtres d'ouvrage).

1. Directive 2006/32/CE du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2006 relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques et abrogeant la directive 93/76/CEE (abrogée par la Directive 2012/27/EU).



Comment définir le NZEB sans répondre à trois questions ?

- ▶ Le NZEB est-il un bâtiment dont les besoins en énergie sont réduits au strict minimum en raison d'une construction optimisée ?
- ▶ Le NZEB est-il un bâtiment dont les besoins en énergie sont gérés de façon autonome par une production qui, *a minima*, compense la consommation mais peut aussi lui être supérieure ?
- ▶ Le NZEB est-il d'abord un bâtiment très économique ou Bpas, qui serait en plus producteur d'énergie en quantité égale ou supérieure à sa consommation ?

Tous partagent – en apparence – la définition proposée dans la directive, à savoir que le NZEB est « *un bâtiment qui a des performances énergétiques très élevées [...] et que la quantité quasi nulle ou très basse d'énergie requise devrait être couverte dans une très large mesure par de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, notamment l'énergie produite à partir de sources renouvelables sur place ou à proximité* » (article 2). Cependant, l'examen détaillé des différentes transcriptions, par chaque Etat membre, montre aussi qu'il n'y a pas de réelle harmonie européenne sur la définition et les critères d'évaluation des NZEB... même si tous les Etats, à différents niveaux, font état d'un grand nombre de politiques et de mesures de soutien aux objectifs en matière de bâtiments à consommation d'énergie quasi nulle.

La plupart des Etats européens ont désormais transcrit ces directives. Les progrès sont énormes, au regard de la situation de départ. Ainsi, pour la majorité des Etats, les exigences minimales sont d'atteindre une consommation maximale de 50 kWh/m².an dès 2015, pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire².

POUR ALLER + LOIN

[Synthèse de l'état d'avancement de la transcription de la Directive européenne sur l'efficacité énergétique des bâtiments \(EPBD\), dans les différents pays européens \(synthèse disponible sur le Centre de Ressources de l'Union sociale pour l'habitat : Dossier « Bâtiments et Territoires à énergie positive »\).](#)

Principales mesures favorisant les NZEB dans les Etat membres³

Mesures	Nombre d'Etats membres	%
Aides financières	16/16	100 %
Renforcement des réglementations thermiques des bâtiments	13/16	81 %
Sensibilisation et éducation	12/16	75 %
Projets de démonstration ou pilotes	10/16	62 %
Projets de R&D	4/16	25 %

2. Rapport COM/2013/0483 final/2 du 7 octobre 2013, de la Commission au Parlement européen et au Conseil, « progrès réalisés par les Etats membres vers des bâtiments dont la consommation d'énergie est quasi nulle »

3. Analyse des 16 plans nationaux disponibles.

Une consommation « quasi nulle » ?

L'examen de la définition proposée par chaque Etat membre sur le « nearly-zero energy building » révèle la diversité des approches nationales. Il peut s'agir de la consommation d'énergie tous usages du logement, ou du bâtiment, ou de la consommation d'énergie limitée à certains usages comme le chauffage, le froid (climatisation), l'ECS..., intégrant ou non la production locale, elle-même pouvant être définie de différentes manières. Cinq principaux critères de différenciation doivent être examinés pour identifier les précisions à apporter.

1. Les usages de l'énergie retenus

Certains Etats membres (Irlande) considèrent l'ensemble des usages énergétiques du bâtiment, y compris les consommations électrodomestiques, tandis que d'autres se concentrent sur la performance du bâti en évaluant un coefficient de performance énergétique (Pays-Bas) ou en retenant les quatre usages relatifs à cette performance : chauffage, ECS, ventilation et auxiliaires (Danemark). Dans certains Etats membres, le chauffage est distingué des autres usages comme un critère particulier, rejoignant en cela l'approche du PassivHaus (Autriche, Suisse, Italie). D'autres, enfin, intègrent les consommations d'éclairage ou des parties communes (France, Royaume-Uni).

2. Les niveaux de consommation finale ou primaire du bâtiment ou du logement pour ces différents usages

La performance énergétique des bâtiments respectant les objectifs de la directive européenne varie, selon les projets des Etats membres, entre 0 et... 180 kWh/m².an. Le « quasi nul » ne signifie donc pas « zéro ». Par ailleurs, ce niveau de consommation d'énergie n'est pas toujours figé dans le temps. Il peut évoluer en fonction des conditions économiques et techniques, de façon assez régulière pour certains pays (Allemagne, Autriche, Danemark...) ou par des évolutions brutales, les labels étant là pour anticiper ces évolutions (France).

Notons cependant que certains Etats membres ont défini le NZEB comme étant « **net zero energy building** » et non pas « **nearly zero energy building** » (Finlande) : les conséquences sur la définition du bilan énergétique sont loin d'être marginales.

3. Le rôle et la définition de la production locale d'énergie

Le bilan énergétique des bâtiments peut inclure – ou déduire – les productions d'énergie renouvelable des consommations conventionnelles, cette autoproduction pouvant être autoconsommée ou revendue à des tiers. Ainsi, le « zéro-net » sera atteint si la production d'énergie renouvelable est supérieure ou égale à la consommation d'énergie non renouvelable, un écart étant autorisé en fonction du bâtiment et de son implantation (Wallonie, label Effinergie 2013). Ailleurs, on définira un pourcentage minimum d'énergies renouvelables qui devra couvrir la consommation d'énergie totale (incluant de ce fait les consommations de bois mais aussi de solaire thermique...). Seuls quelques pays ont intégré à ce jour, dans leur réglementation nationale, le recours à un pourcentage minimum d'EnR (Danemark).

La production et la consommation de certaines énergies renouvelables peuvent être suivies à l'aide de compteurs (solaire thermique ou PV, bois, éolien...) auquel cas, les apports renouvelables non mesurables (apports solaires gratuits et apports internes...) ne peuvent être valorisés. Or, dans un bâtiment dit « passif », les besoins de chauffage sont couverts pour un tiers par les apports directs du soleil, un tiers par les habitants eux-mêmes, et un tiers seulement par un système de chauffage.

On voit au travers de cette réflexion, les deux conceptions qui vont s'opposer pour définir la future réglementation thermique :

- ▶ en entrant dans la question par la réponse aux besoins de chauffage, l'approche passive oriente la conception du projet autour des apports gratuits,
- ▶ en visant un taux de couverture des consommations énergétiques par les énergies renouvelables, les productions actives d'énergie seront privilégiées au détriment de la valorisation des apports passifs.

4. Le périmètre de l'analyse et l'équilibre dans le temps

Le projet de norme européenne prEN 15603 envisage que les énergies renouvelables actives (solaire thermique ou photovoltaïque, biomasse, éolien...) puissent être produites sur place, à proximité ou à distance. Se pose alors

la question relative au périmètre du NZEB : l'équilibre est-il forcément sur le bâtiment ? Peut-il l'être sur un groupe de bâtiments sur un territoire ? Cette question se pose doublement car la norme suggère aussi que la production renouvelable puisse être consommée localement (autoconsommation), exportée puis réimportée (avec des capacités de stockage ailleurs ou des processus de compensation) ou encore exportée (sur le réseau).

La notion de couverture des besoins énergétiques pré-suppose aussi la définition de l'équilibre dans le temps des courbes d'offre et de demande. Le NZEB amène à s'interroger sur un équilibre (ou une compensation) annuel, mensuel ou pour chaque heure de l'année. En fonction de la réponse, un poids plus ou moins important sera donné au stockage, au délestage et aux technologies de *smart grids*.

En outre, équilibre entre offre et demande et compensation entre offre et demande ne sont pas synonymes : l'équilibre offre/demande concerne principalement la courbe de charge électrique, la production renouvelable locale étant très fréquemment de l'électricité. Il peut y avoir une compensation annuelle satisfaisante (on parle alors de BePOS annuel) mais de grands déséquilibres horaires qui se traduisent par un bilan en carbone très négatif et aussi un déséquilibre en termes de puissance appelée. Ici encore, cette notion de « couverture » demande à être précisée.

5. L'intégration du bilan carbone

Toute définition du NZEB doit inclure la division par quatre des émissions de GES à horizon 2050 (Facteur 4). Cependant, le contenu carbone des différentes énergies n'est pas partagé entre les Etats membres, pas plus que le sens à donner au « puits de carbone ». Pour autant, certains pays mettent désormais l'accent sur les émissions de carbone, plus que sur les consommations énergétiques : le standard nZEB est atteint si le bâtiment est neutre en carbone, ce qui devra être le cas pour tous les bâtiments construits après 2019, quitte à ce que cette neutralité soit atteinte en intégrant les investissements en EnR réalisés hors site (Royaume-Uni). On parle alors de nZEB (net zero energy building).

Le contexte international

Entre 2008 et la fin 2013, dix-neuf pays (Australie, Autriche, Belgique, Canada, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Italie, Corée, Nouvelle-Zélande, Norvège, Portugal, Singapour, Espagne, Suède, Suisse, Royaume-Uni et États-Unis) ont collaboré au sein d'un projet de recherche piloté par l'Agence internationale de l'énergie (AIE)⁴ visant à :

- ▶ développer un cadre de définition harmonisé et applicable internationalement du NZEB,
- ▶ outiller le processus de conception,
- ▶ assurer une conception avancée de bâtiment NZEB, avec des solutions technologiques et des lignes directrices pour l'industrie.

La définition retenue est celle du « **net Zero Energy building (nZEB)** » (applicable par exemple aux Etats-Unis, pour tous les bâtiments fédéraux à partir de 2020) et non plus du « **Nearly Zero Energy Building** ». La conception d'un nZEB reprend, en y ajoutant des éléments de production d'énergie, les grands principes de la maison passive et notamment l'isolation thermique renforcée, des fenêtres de grande qualité, la suppression des ponts thermiques et l'isolation par l'extérieur, une excellente étanchéité à l'air, une forte limitation des déperditions thermiques par le renouvellement d'air via une ventilation avec récupération de chaleur sur air vicié, une captation optimale de l'énergie solaire de manière passive, des protections solaires et dispositifs de rafraîchissement passifs, une limitation des consommations d'énergie des appareils ménagers, des équipements en moyens de captage ou de production d'énergie (capteur photovoltaïque, capteur solaire thermique, aérogénérateur, pompe à chaleur sur nappe, freecooling par plancher rayonnant, sondes géothermiques verticales, etc.). Généralement injectée sur les réseaux électriques (privés ou publics), l'énergie excédentaire peut également être fournie aux bâtiments voisins.

4. Solar Heating and Cooling Program (SHC) tâche 40 / Energy in Buildings and Communities (EBC) Annex 52 « Towards Net Zero Energy Solar Buildings ».

Les réglementations en matière de construction et les méthodes de calcul des États membres étant différentes, les niveaux de performances énergétiques et les objectifs chiffrés ne peuvent être comparés sans tenir compte de ces différences de méthode. Il n'y a pas encore au niveau européen de méthode de calcul commune. La Commission européenne prévoit donc de rédiger une note dans ce sens, en faisant référence aux travaux de normalisation actuellement en cours effectués par le Centre européen de normalisation (CEN) au titre du mandat M/480.

Entre coût optimal et coût efficient

La directive EPBD-2010/31/UE précise que le niveau de consommation d'énergie doit être déterminé à partir d'une éco-optimisation (calcul du coût optimal et du coût efficient). Ce calcul est issu d'une analyse pour laquelle :

- ▶ les hypothèses (taux d'actualisation, période d'analyse, évolution des prix de l'énergie...) doivent être définies à l'issue d'un consensus,
- ▶ la méthode doit être précisée.

Les travaux de la Commission européenne relatifs à la directive sur la performance énergétique des bâtiments (EPBD) visent à optimiser le niveau de performance énergétique à atteindre pour les bâtiments, qu'ils soient neufs ou existants, résidentiels ou tertiaires. Ces travaux proposent de distinguer deux seuils de consommation relatifs à la performance énergétique des bâtiments :

- ▶ **un niveau optimal** (appelé coût optimal ou niveau de consommation optimale) : c'est **l'optimum économique ou technico-économique** (dans la mesure où l'analyse est effectuée pour chaque technique) que l'on peut appeler seuil de rentabilité maximale. Le critère de mesure est la valeur actualisée nette ou VAN qui doit être maximisée,
- ▶ **un niveau d'efficience** (appelé coût efficient ou niveau de consommation efficiente) pour lequel le projet après travaux ne coûte pas plus cher à l'utilisateur ou à la collectivité que le niveau initial (autrement dit, il faut que le surcoût d'investissement ne soit pas supérieur aux économies d'énergie réalisées sur la durée de vie de cet investissement).

Ce niveau d'efficience correspond à une sorte de maximum économique à ne pas dépasser car c'est le seuil au-delà duquel les investissements deviennent contre-productifs. C'est le **coût efficient** ou la **consommation (d'énergie) efficiente**. Le critère de mesure est la valeur actualisée de l'investissement ou VAI. Si on ajoute à la VAI les charges énergétiques, on obtient le coût global.

Les différents types d'analyse en coût global

L'analyse en coût global est une méthode équivalente à celle du calcul de la valeur actualisée nette (VAN) qui permet d'effectuer, selon ces deux approches macro et microéconomique, une optimisation multicritères : énergétique, écologique (réduction des émissions de gaz à effet de serre), technique, économique (rentabilité des investissements) et sociale (production de logements abordables, peu coûteux à l'entretien, etc.).

On distingue différents types d'analyse en « coût global » : le coût global direct, le coût global élargi et le coût global partagé. L'analyse coût-bénéfice (appelée aussi coût-avantage, préconisée notamment par l'Europe) et l'analyse coût-efficacité étant deux formalisations différentes de l'analyse en coût global mais des approches parallèles.

- ▶ **Le coût global direct** (ou élémentaire) : le coût global direct est l'ensemble des coûts d'investissement et futurs d'un projet (coûts d'exploitation, d'entretien-maintenance, de renouvellement...).
- ▶ **Le coût global élargi** (ou étendu) : le coût global élargi intègre différents critères tels que l'impact des choix architecturaux, l'impact financier ou fiscal du projet ou encore des externalités (gaz à effet de serre, emplois induits, bruit, etc.). Le coût global élargi pourrait être un critère d'aide à la décision dans l'allocation des subventions publiques. La norme ISO 15686-5 par exemple retient le terme de coût global « étendu » (au lieu d'élargi) et celui-ci inclut le volet financier et fiscal, éventuellement les revenus et des éléments intangibles liés à la qualité d'usage et aux externalités.

La Commission européenne exige que le niveau de la consommation d'énergie soit défini à partir, notamment, d'une étude de coût optimal.

Si la Commission a défini le coût optimal et le coût efficient, leur mode de calcul repose sur de nombreuses hypothèses et celles-ci doivent être précisées par chacun des Etats membres : chaque Etat membre doit préciser s'il utilise une approche micro ou macroéconomique et définir les hypothèses qu'il retient (ainsi que les aides qu'il met en place, notamment pour la réhabilitation).

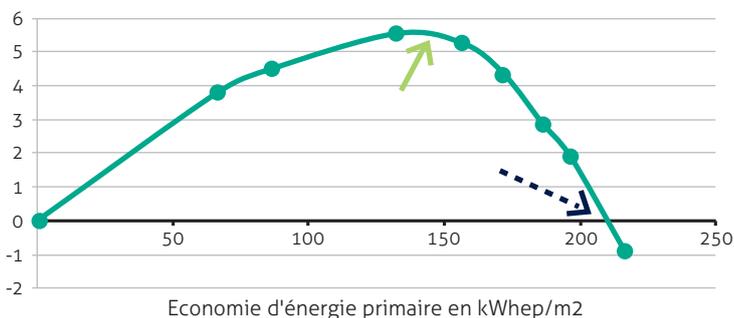
De nombreux pays européens ont effectué cette éco-optimisation et retenu la méthode du coût efficient pour faire évoluer le niveau de performance énergétique (Allemagne, Suède, Danemark). Cette approche permet de justifier des évolutions successives de la performance énergétique des bâtiments, voire de définir leur stratégie de réhabilitation massive des logements (Pays Bas).

Deux exemples de calcul du coût optimal (ou de l'optimum technico-économique) et du coût efficient sont présentés ci-après.



Calcul du coût optimal et du coût efficient grâce à l'analyse de la valeur actualisée nette (VAN) et du coût global

Valeur actualisée nette en €/m².an en fonction des économies d'énergie réalisées (en kWh/m²)



Pour lire le graphique :

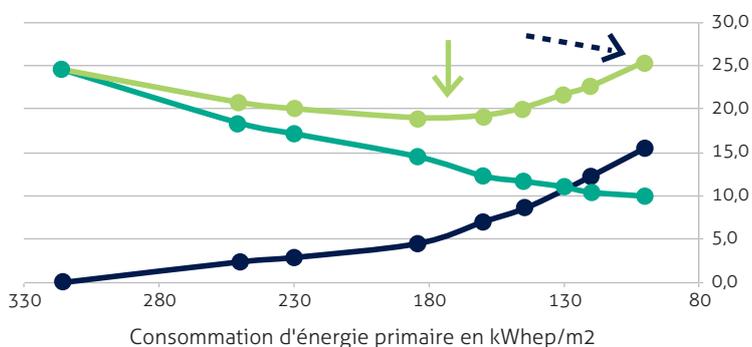
Axe des X : économies d'énergie réalisées en kWh/m²

Axe des Y : VAN en €/m².an

En vert : la courbe de la valeur actualisée nette (VAN) qui évolue en fonction des économies d'énergie réalisées.

Rappel : une VAN positive signifie un gain.

Evolution du coût global en € TTC/m².an et de ses différentes composantes en fonction des options de réhabilitation



Pour lire le graphique :

Axe des X : la consommation d'énergie primaire en kWh/m²

Axe des Y : la VAI et les charges en €/m².an

En bleu : la courbe de la valeur actualisée de l'investissement (VAI) qui en croissant, réduit la consommation d'énergie

En vert : la courbe des charges énergétiques (E)

En vert clair : la courbe de coût global, somme des deux courbes précédentes, évolue depuis la situation initiale (E₀)

Rappel : un coût global qui diminue signifie une rentabilité croissante ; un coût global inférieur à E₀ signifie un gain.

Chaque point sur les courbes correspond à un type de travaux, ceux-ci étant hiérarchisés du plus efficace au moins efficace.

Les flèches vertes pointent le coût optimal.

Les flèches en pointillé indiquent le coût efficient, sur la courbe de VAN comme sur celle du coût global.

Source : La Calade

Optimisation énergétique micro et/ou macroéconomique, valeur actualisée nette et coût global

Ces niveaux optimaux de consommation (consommation optimale et efficiente) peuvent eux-mêmes être évalués de deux façons dites microéconomique ou macroéconomique. Dans le premier cas, le taux d'actualisation reflète le taux d'intérêt du marché et le calcul d'optimisation est proche d'une optimisation financière. Dans le second cas, le taux d'actualisation, qui mesure la valeur du temps, est un taux d'actualisation public qui arbitre entre les investissements et la consommation dans une vision théorique d'intérêt général (ce taux

est de 4 % pour la France, exprimé en euro constant et sans risque, 3 % pour la Commission européenne).

Ce calcul d'éco-optimisation renvoie à une approche en coût global qui, comme l'indique la norme ISO 15 686-5, peut être direct ou étendu (élargi). Dans le premier cas, le coût global direct est calculé en ne prenant en compte que les coûts initiaux d'investissement et les coûts différés d'exploitation, de maintenance, de renouvellement et de fin de vie. Quant au coût global étendu, il intègre dans le calcul des externalités (par exemple le coût des gaz à effet de serre) ainsi que des revenus (loyers) et des coûts ou bénéfices induits (par exemple, la qualité d'usage, la qualité sanitaire, la présence d'espaces verts de qualité, etc.).





À RETENIR

L'éco-optimisation (calculs du coût optimal et du coût efficient) requiert la définition d'une méthodologie qui doit encore être partagée par les acteurs du bâtiment :

- ▶ Retient-on l'approche macroéconomique ou micro économique ?
- ▶ Choisit-on l'analyse en coût global direct ou élargi ?
- ▶ Quelles hypothèses retient-on pour chacun de ces choix ?

La Commission européenne préconise pour cette éco-optimisation :

- ▶ d'effectuer des calculs de sensibilité avec au minimum deux taux d'actualisation,
- ▶ d'intégrer les émissions de gaz à effet de serre dans l'approche macroéconomique,
- ▶ d'élaborer une grille d'évolution du prix du carbone.

Suite à une enquête réalisée en 2011, auprès des vingt-sept pays de l'Union il ressort que certains pays recourent à la méthode macroéconomique (Autriche, Allemagne, Danemark, Irlande, Norvège, Royaume-Uni et Suède), onze pays utilisent la méthode microéconomique (qui fournit une perspective uniquement financière des investissements d'efficacité énergétique pour les maîtres d'ouvrage et usagers), et cinq pays utilisent les deux méthodes. La France n'a pas répondu à cette enquête. Elle n'utilise ni l'une ni l'autre de ces méthodes et privilégie le raisonnement en termes de surcoûts uniquement.

Coût global, approche microéconomique et approche macroéconomique

Comme l'exige depuis 2013 la directive européenne sur l'efficacité énergétique des bâtiments (EPBD), il faut calculer, pour au moins quatre programmes (scénarios) de bâtiment (neuf) ou de réhabilitation, la valeur actualisée nette (VAN) selon les deux approches ou types de calcul :

- ▶ une approche macroéconomique, en intégrant les émissions de gaz à effet de serre comme externalité⁵,
- ▶ une approche microéconomique (ou financière).

L'approche macroéconomique est celle de la collectivité ou de la société (intérêt général) : pour la collectivité, un certain nombre d'objectifs doivent être poursuivis, tels que la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre, afin de satisfaire aux engagements dits des « 3 fois 20 » et du « Facteur 4 » mais aussi de contribuer à la réduction du déficit de la balance commerciale (88 % de ce déficit étant dû en 2011 en France à l'énergie), de permettre la création nationale / locale de richesses et d'emplois (valorisation des ressources locales, maîtrise de filières industrielles) et de favoriser la production d'équipements et de matériaux à haute valeur environnementale (produits de l'éco-conception ou de l'écoconstruction).

L'approche microéconomique ou financière est celle des acteurs privés.

Ces différents éléments peuvent conduire à une approche en coût global en intégrant si possible ces externalités dans le calcul économique, la méthode de calcul de la VAN étant équivalente à celle du coût global⁶.

5. La Commission européenne n'impose la prise en compte que d'une seule externalité (les émissions de gaz à effet de serre).

On appelle externalité un effet externe qui apparaît dès lors que l'action d'un agent influence le bien-être d'un autre agent ou d'un écosystème sans que cette action passe par un marché ou par un dispositif de régulation.

6. Voir Coût global des bâtiments et des projets d'aménagement – Mode d'emploi, Catherine Charlot-Valdieu et Philippe Outrequin, Le Moniteur, 2013

Les choix des différents pays européens pour le NZEB

Il y a, à ce jour, plusieurs définitions du « NZEB », norme de construction et réhabilitation à atteindre dès 2020 :

► le « **nearly zero-energy building** » (NZEB) : bâtiment à très basse consommation d'énergie couverte par une énergie produite par des énergies renouvelables.

► le « **net zero-energy building** » (nZEB) : bâtiment neutre en émission de carbone dans lequel les émissions éventuelles en carbone du bâtiment doivent être intégralement compensées par des productions d'énergies renouvelables ou dans lequel 100% des énergies utilisées sont décarbonées,

► le « **nearly zero-energy building** » (NZEB) dans lequel l'équilibre ne se fait plus forcément à l'échelle du bâtiment mais à l'échelle de l'îlot ou du quartier, avec une compensation entre les consommations d'énergies fossiles d'une part et les productions d'énergies renouvelables sur le territoire. C'est cette dernière définition (apparue plus récemment) qui est aujourd'hui véhiculée par les agents de la DG Energie de la Commission européenne.

D'autre part, aucun pays n'a refusé d'élaborer de réglementation sur les NZEB parce que l'analyse coût bénéfique s'était révélée négative (comme l'article 9 de la Directive le laisse possible). Mais seuls quelques pays ont défini à ce jour

le « NZEB » (Danemark, Royaume-Uni, Chypre, Lituanie, Luxembourg, Wallonie). La Wallonie, le Luxembourg et le Danemark ont retenu une définition se rapprochant de celle du bâtiment passif (le label PassivHaus nécessitant cependant une autorisation spéciale pour le secteur résidentiel).

Quelques Etats membres se sont fixés des objectifs plus ambitieux que ceux de la Commission européenne : l'Allemagne (neutralité carbone), le Danemark (très faibles consommations d'énergie et pourcentage important d'énergies renouvelables), les Pays Bas (zéro énergie) et le Royaume Uni (zéro carbone).

La France a, dès 2009, soit avant même la directive européenne de 2010, défini le NZEB comme étant un bâtiment à énergie positive (BePOS) mais ses caractéristiques précises ne sont pas finalisées à ce jour. Dans son « plan d'action national NZEB » remis à la Commission européenne début 2013, la France rappelle les Lois Grenelle, et définit le NZEB comme le Bâtiment Basse Consommation (BBC), puis le bâtiment à énergie positive (BePOS) comme le standard à atteindre en 2020. Cependant ce plan n'aborde pas la stratégie française pour avancer vers la généralisation du BePOS. Faut-il en conclure que l'on s'oriente vers un BePOS qui serait un BBC produisant de l'énergie avec des panneaux photovoltaïques ?

Quinze des vingt-sept pays ont d'ores et déjà fixé des objectifs intermédiaires : une majorité d'entre eux (Allemagne, Estonie, Finlande, Grèce, Hongrie, Lettonie, Irlande, Pays-Bas, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède et Tchéquie) a fixé un niveau de performance maximum (50 kWh/m².an en 2015 par exemple) ; mais seuls trois pays ont fixé des objectifs intermédiaires pour la réhabilitation (Belgique, Danemark et Irlande).

Concernant les EnR : Certains pays ont défini un pourcentage minimum de recours aux EnR alors que d'autres définissent la part des EnR comme étant celle qui compense la consommation d'énergie non renouvelable. Pour l'Estonie et les Pays Bas, les objectifs concernant les EnR seront précisés lorsque le NZEB sera défini.

Concernant la rénovation : Certains États membres ont fait état de mesures spécifiques concernant la rénovation de bâtiments existants en bâtiments NZEB (Danemark, France, Irlande, Malte, Pays-Bas, Royaume-Uni et Suède), soit par la mise en place de réglementations spécifiques (Danemark, Irlande et Suède), soit en proposant des incitations financières ou fiscales (mettant l'accent sur les avantages financiers comme des réductions ou crédits d'impôt, des crédits bancaires avantageux (Malte, Royaume-Uni) ou le financement d'études préalables aux Pays Bas).

UNE DÉFINITION FRANÇAISE

Les lois Grenelle ont placé la lutte contre le réchauffement climatique au rang des priorités nationales. Le projet de loi relatif à la transition énergétique confirme les ambitions fortes en matière d'efficacité énergétique pour le secteur résidentiel. Cependant, les moyens pour y parvenir sont encore en cours de définition, comme en témoignent les nombreuses questions en suspens. ┘

Les directives européennes précitées ont rapidement été transcrites en droit français, par les lois NOME⁷ d'une part, visant entre autres la réorganisation des marchés de l'énergie, et, d'autre part, par le **processus du Grenelle de l'Environnement** qui a précisé dès 2009, les engagements de la France par la publication de la loi de programmation « Grenelle I », de la loi portant engagement national pour l'environnement dite « Grenelle II », puis de la loi de finances 2009 (« Loi Grenelle III ») arrêtant les mesures fiscales nécessaires⁸.

Ces trois textes successifs ont placé la lutte contre le changement climatique « au premier rang des priorités » nationales, et décliné la mise en œuvre de cet objectif selon trois axes :

- ▶ réduction de la consommation d'énergie,
- ▶ prévention des émissions de gaz à effet de serre,
- ▶ promotion des énergies renouvelables.

Les principales mesures, pour le secteur du bâtiment, sont les suivantes :

- ▶ l'élaboration d'une norme « bâtiment basse consommation » (BBC) consommant moins de 50 kWh/m².an en énergie primaire⁹ pour toutes les nouvelles constructions à la fin 2012 (avec anticipation à fin 2010 pour les logements construits dans le cadre du programme national de renouvellement urbain, les bâtiments du tertiaire et les bâtiments publics) et une modulation des seuils selon les zones géographiques et l'altitude, afin d'encourager la diminution des gaz à effet de serre ou pour tenir compte de la localisation, de l'usage du bâtiment,

- ▶ la réduction de la consommation d'énergie dans les bâtiments anciens de 38% d'ici à 2020,
- ▶ le recours aux énergies renouvelables, portées à 2020 à 23% de la consommation énergétique (objectif ambitieux, comparé aux 10,3% de 2005),
- ▶ la définition d'un programme ambitieux de 400 000 rénovations énergétiques par an (dont le programme d'éradication des 800 000 logements sociaux énergivores à horizon 2020), avec des échéances réduites pour les bâtiments publics,
- ▶ la définition et la mise en place d'outils d'incitation financière, grâce à la conclusion d'accords avec les banques et le secteur des assurances pour financer le développement des investissements d'économies d'énergie,
- ▶ l'harmonisation des documents d'urbanisme, afin de faciliter l'instauration au niveau local de ces mesures à haute portée énergétique, et le développement des écoquartiers.

Ces dispositions devraient être précisées ou complétées par le **projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte**, actuellement en cours d'examen par les Chambres. Ce projet de loi, qui s'est largement appuyé sur les préconisations et les conclusions des consultations publiques menées en 2012-2013 par le Conseil national de la transition énergétique, réévalue certains des objectifs annoncés dans le projet de loi Grenelle, et confirme les ambitions fortes en matière d'efficacité énergétique, à l'échelle du bâtiment, mais également à l'échelle des territoires.

7. La loi n° 2010-1488 du 7 décembre 2010 portant nouvelle organisation du marché de l'électricité.

8. Détail des Lois Grenelle :

- Loi Grenelle I : Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement ;
- Loi Grenelle II : Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement ;
- Loi Grenelle III : déploiement des mesures fiscales nécessaires, incluses dans la loi des finances 2009.

9. L'exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire, traduite par le coefficient « Cepmax », porte sur les « 5 usages » énergétiques nécessaires : les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs).

Dans sa version provisoire, ce projet de loi est divisé en huit titres. Les deux premiers titres définissent respectivement les objectifs communs portés à l'échelle nationale pour réussir la transition énergétique et les dispositions impactant le secteur du bâtiment.

- ▶ Le **titre I** du projet de loi propose de réduire de 40% les émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2030, par rapport à 2009, et de les diviser par quatre en 2050, de porter à 32% la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale en 2030 et de diviser par deux la consommation d'énergie finale à horizon 2050, en s'appuyant sur l'innovation dans le domaine de l'énergie et sur la mise en place des territoires à énergie positive. Ces territoires s'engagent dans « une démarche permettant d'atteindre l'équilibre entre la consommation et la production d'énergie en réduisant les besoins d'énergie au maximum », en renforçant l'efficacité énergétique des solutions déployées et en visant le déploiement du recours aux ENR dans son approvisionnement.
- ▶ Le **titre II** introduit des dispositions permettant d'accélérer et d'amplifier les travaux de rénovation énergétique des bâtiments pour économiser l'énergie et faire baisser les factures. Il prévoit également, entre autres, de nouvelles dispositions en faveur des nouvelles constructions de bâtiments qui feront « preuve d'exemplarité énergétique ou environnementale, ou qui sont à énergie positive ». Ces dispositions s'insèrent dans une démarche plus large, à savoir la réforme de la gouvernance nationale énergie-climat, en s'appuyant sur deux outils de planification environnementale en cours d'élaboration : la stratégie nationale « Bas carbone » et la programmation pluriannuelle de l'énergie 2015-2018/2023, déclinées selon leurs recommandations sectorielles.

Avancement et ambitions du projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte

Présenté en Conseil des ministres le 18 juin 2014, le projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte a été adopté par l'Assemblée nationale le 14 octobre en première lecture, après engagement de la procédure accélérée, puis voté au Sénat le 03 mars 2015. Ce projet de loi a préalablement été soumis au Conseil économique, social et environnemental, au Conseil national de la transition écologique et au Conseil d'Etat, avec consultation pour avis du Conseil national de l'industrie. Ce texte devrait être voté de manière définitive et publié en septembre 2015.

Ce projet de loi qui a pour ambition de « lutter contre le dérèglement climatique et réduire la facture énergétique de la France par la transformation du modèle énergétique national, offre au pays l'opportunité de combattre le chômage par la croissance verte, de valoriser de nouvelles technologies, de conquérir de nouveaux marchés dans le domaine des énergies renouvelables, du transport propre, du bâtiment durable et de l'efficacité énergétique, et d'améliorer la compétitivité des entreprises. »

Il vise à favoriser le progrès social en protégeant mieux la santé publique, en améliorant la qualité de vie et en donnant aux ménages du pouvoir d'achat grâce aux économies d'énergie dans le bâtiment et les transports. Ce projet de loi fait de la France l'un des Etats membres de l'Union européenne les plus engagés dans la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique, au moment où se discute au niveau européen le nouveau paquet énergie climat. A l'approche de la Conférence de Paris sur le Climat de 2015, il traduit l'ambition française dans le cadre des négociations internationales.

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE pour la
CROISSANCE VERTE

Du bâtiment basse consommation au BePOS

Dans son « plan d'action national NZEB » remis à la Commission européenne début 2013, la France rappelle les Lois Grenelle et la mise en place de la RT2012 (avec le Bâtiment Basse Consommation – BBC), puis définit le bâtiment à énergie positive (BePOS) comme le standard à atteindre en 2020.

Cette définition fixe deux échéances, 2012 et 2020, et des seuils « ambitieux de besoin maximal en énergie de chauffage des bâtiments » distincts pour chacune des deux étapes¹⁰:

- ▶ à compter de la fin 2012 : « toutes les constructions neuves faisant l'objet d'une demande de permis de construire déposée à compter de la fin 2012 et, par anticipation à compter de la fin 2010, s'il s'agit de bâtiments publics et de bâtiments affectés au secteur tertiaire, présentent une consommation d'énergie primaire inférieure à un seuil de 50 kilowattheures par mètre carré et par an en moyenne, avec une modulation de ce seuil selon les énergies mobilisées, la localisation, les caractéristiques et l'usage du bâtiment »,
- ▶ à partir de 2020 : « 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 ».

Si le moteur de calcul « RT2012 » a permis de définir les attentes et les besoins en énergie, par intégration notamment du Bbio (besoins bioclimatiques du bâtiment), il convient de remarquer que cette définition du BePOS reste très générique. Elle a depuis fait l'objet de différentes approches, traduites ou non par des labels ou des certifications, aux attendus bien distincts, selon qu'il s'agisse de réduire au maximum les besoins et consommations en énergie (approche retenue par la Maison Passive), ou qu'il s'agisse de compenser les besoins énergétiques par une production locale et renouvelable d'énergie (approche développée par Effinergie dans le label BePOS-Effinergie).

Aujourd'hui, il n'y a ni définition officielle, ni définition faisant consensus autour du « BePOS », comme en témoignent les différentes écritures usitées, chacune porteuse d'un sens nuancé (BePOS, BePos, BEPOS...). Il est cependant communément admis que le BePOS est d'abord un bâtiment très économe en énergie : « la notion de BEPOS ne fait pas l'unanimité, elle énerve parfois, mais c'est aussi un logo, une bannière, lisible et utile pour rassembler et motiver les gens au-delà des secteurs de la recherche, de la maîtrise d'ouvrage ou de la maîtrise d'œuvre. Mais il ne faut pas que ce soit une 'tarte à la crème', donc il faut préciser ce concept ».¹¹

Pour autant, l'articulation entre le BePOS et la prochaine réglementation thermique semble actée par la majorité des acteurs¹², malgré la proximité des échéances. A ce titre, les réflexions sur la prochaine réglementation thermique, destinée à être opérationnelle en 2020 sont nombreuses. On peut citer à ce titre le groupe de travail regroupant des professionnels de la filière du bâtiment et piloté par le Plan Bâtiment Durable, travaillant sur la « Réglementation Bâtiment Responsable 2020 » (RBR 2020), et dans la perspective de la généralisation de bâtiments à énergie positive et décarbonée en 2020¹³.



10. Loi Grenelle I n°2009-967, article 4.

11. Source synthèse de l'atelier BePOS de 2011, propos tenus par l'architecte Michel Macary, Président de la plateforme BePOS initiée par le PUCA et l'ADEME.

12. Voir le dossier « Maison à énergie positive : anticiper la RT 2020 », Les Cahiers techniques du bâtiment, n°327, oct.2013.

13. Voir le rapport d'étape du groupe de travail : « Embarquement immédiat pour un bâti sobre, robuste et désirable » (printemps 2013), et le rapport définitif de recommandations du GT RBR 2020-2050 : « Cap sur le futur "Bâtiment responsable" », sept. 2014.

Les labels proposés aujourd'hui

La Maison Passive

Le concept de « maison passive » a été développé à partir des années 1970, pour produire des bâtiments économes en énergie (suite à la crise pétrolière de 1973), et au confort d'usage et d'habitabilité élevé (suppression de sentiment de « paroi froide »...). Un premier label a été proposé en 1988 par l'Université de Lund (Suède) et l'Institut pour l'Habitat et l'Environnement de Darmstadt (Allemagne).

Aujourd'hui, la « maison passive », également appelée « maison sans chauffage », repose sur un concept de construction très basse consommation, basé sur l'utilisation de l'apport de chaleur « passive » du soleil, sur une très forte isolation (des murs, des fenêtres, etc.), sur l'absence

de ponts thermiques, sur une grande étanchéité à l'air ainsi que sur le contrôle de la ventilation.

Trois critères permettent de déterminer si un bâtiment peut obtenir la labellisation « Bâtiment passif/ PassivHaus® » :

- ▶ besoins en chauffage < 15 kWh/m².an ou puissance de chauffe < 10 W/m²,
- ▶ étanchéité de l'enveloppe : ≤ 0,6 vol/h à 50 Pa. Cette étanchéité est en effet indispensable pour assurer un bon fonctionnement du système mécanique de ventilation et ainsi pouvoir utiliser éventuellement une ventilation double-flux avec récupération de chaleur,

- ▶ besoins en énergie primaire totale (chauffage, ventilation, éclairage, eau chaude sanitaire, auxiliaires et équipements électrodomestiques) inférieurs 120 kWh/m².an.

À NOTER

- ▶ Les calculs sont basés sur une température intérieure de 20 °C ;
- ▶ Les critères de confort doivent être respectés dans toutes les pièces d'habitation, aussi bien l'hiver que l'été ;
- ▶ La surface prise en compte par le moteur de calcul « PHPP » est la Surface de Référence Énergétique (SRE), correspondante à la surface habitable (Shab).

Le label Bepos-Effinergie 2013

S'appuyant sur la RT 2012 et le label Effinergie+, le nouveau label Bepos-Effinergie 2013 a pour objectif de « préfigurer les engagements pris dans la loi du Grenelle II pour 2020 en matière de bâtiment à énergie positive ». Pour obtenir ce label, le projet doit respecter l'exigence suivante : « la consommation d'énergie primaire non renouvelable entrant dans le projet, diminuée de la production locale d'énergie sortant du projet doit être inférieure ou égale à un écart autorisé ». Cet écart correspond à la somme de la consommation de référence (Cepref) pour les usages réglementés et de la consommation de référence pour les usages non pris en compte par la RT (Auref), à laquelle on soustrait une production de référence (Prodref).



Le label Habitat neuf

Ce label, développé par Promotelec, est un label à deux niveaux avec un socle de base constitué de prescriptions techniques et réglementaires obligatoires autour des postes clés du bâtiment. Il vise à préparer le passage vers la réglementation thermique 2020 au « bâtiment responsable ». Cinq principes guident cette évolution :

- ▶ diminuer les besoins énergétiques du bâtiment en s'appuyant sur une approche bioclimatique,
- ▶ renforcer le confort intérieur (confort thermique, qualité de l'air, adaptation aux différentes étapes du parcours résidentiel et de vie),
- ▶ s'inscrire dans une démarche d'économie circulaire pour une empreinte carbone la plus réduite possible,
- ▶ favoriser la production locale d'énergie renouvelable et l'autoconsommation,
- ▶ rendre l'habitat réactif : connaître et piloter toutes les sources de consommation d'énergie en bonne interaction avec les réseaux et le territoire.



Un changement d'approche nécessaire

Le passage du « bâtiment basse consommation » au « bâtiment aux besoins énergétiques proches de zéro » a permis de mettre en avant certaines questions nouvelles.

- ▶ Quels sont **les nouveaux modèles de consommation et de commercialisation des énergies** naturelles renouvelables, dont ceux susceptibles d'assurer une exploitation rentable des systèmes photovoltaïques ?

Cette question en ouvre une autre, plus large : sous quelles conditions un opérateur ou un organisme Hlm peut-il revendre l'électricité produite à l'échelle de sa résidence à des tarifs préférentiels à ses locataires ?

- ▶ Quelles sont **les modalités d'approche des besoins énergétiques** ? S'il s'agit – dans un premier temps – d'inclure ou non les besoins domestiques aux « 5 usages » conventionnels pris en compte par la RT2012, cette question déborde largement le périmètre temporel et géographique des bilans énergétiques actuellement proposés par les différents labels.

Faut-il traiter à l'échelle du bâtiment ou du territoire, c'est-à-dire par mètre carré de surface habitable, ou, au contraire, mener les réflexions sur la consommation d'énergie par personne (tel le projet suisse d'une société à 2000 W) ?

- ▶ Quelles sont les pistes ouvertes pour une **réduction des besoins énergétiques** ? Est-ce une mutualisation d'équipements et leur optimisation technologique, un développement de l'efficacité active et des solutions de pilotage (dont les faibles retombées pour le secteur résidentiel font l'objet d'un consensus des acteurs¹⁴), ou le développement de stratégies d'effacement pour un écrêtement et un lissage de la consommation globale cumulée ?

Ni les labels actuels, ni les avancées réglementaires actuellement enregistrées, ne donnent de pistes pour une avancée de ces réflexions.

14. Rapport « L'efficacité énergétique, levier de la transition énergétique », FFIE-Gimelec-Ignes, dec. 2012 (<http://www.gimelec.fr/Publications-Outils/L-efficacite-energetique-Levier-de-la-transition-energetique>).

Cependant, tous les acteurs de la filière bâtiment insistent sur l'importance de la gestion de l'énergie à échelle territoriale. **Le bâtiment performant énergétiquement (bâtiment à énergie positive) est au cœur du dispositif mais est aussi replacé dans son contexte d'une société sobre en énergie et décarbonée et donc d'un nouvel ordonnancement au niveau de la ville et des quartiers.** Les différents travaux en cours soulignent également l'importance cruciale des enjeux industriels, économiques, sociaux de cette démarche, ainsi que la nécessité absolue d'une mobilisation de tous les acteurs (professionnels, politiques, entreprises, usagers...). Cela rejoint les préoccupations formulées par l'ADEME dès 2010, invitant à réfléchir à l'échelle de l'îlot plus qu'à celle du bâtiment¹⁵.

Vers une première définition du BePOS

Dès 2011, l'Union sociale pour l'habitat et le PUCA amorçaient une réflexion sur le BePOS, par des appels à propositions et à expérimentations. Si cette réflexion conduite en ateliers a permis de recentrer le BePOS dans un cadre plus large où l'énergie n'est qu'un des critères, les débats n'ont pas pu déboucher sur une définition partagée.

De nombreux experts s'accordent sur le fait que **la définition du BePOS par la norme technique à l'échelle d'un bâtiment unitaire sera insuffisante dans la mesure où elle ne résout pas les questions organisationnelles et économiques et que cette définition doit être avant tout économique.** Selon l'Institut Français pour la Performance Énergétique des Bâtiments (IFPEB), « *la notion de BePOS est enfin l'occasion de faire coïncider l'optimum économique et écologique. Cela demande de penser ensemble, dans la planification, dans les codes et réglementations concernés, l'énergie (le récent code de l'énergie), le bâtiment (code de la construction) et son environnement direct (urbanisme de projet)* »¹⁶.

Une articulation aux territoires : du bâtiment au territoire à énergie positive

Dans son appel à propositions « BEPOS, *Smart grids*, territoires et habitants » de septembre 2011, le PUCA appelait à **raisonner à l'échelle territoriale** (îlot ou quartier notamment) **et non plus à l'échelle du bâtiment :**

- ▶ **un bâtiment à énergie positive doit d'abord être un bâtiment économe en énergie**, avant de lui-même en produire,
- ▶ **il est nécessaire de prendre en compte l'énergie grise et le CO2 associé**, dans la construction et plus largement dans tout le cycle de vie du bâtiment et du système d'approvisionnement en énergie qui lui est lié,
- ▶ **le modèle économique sous-jacent au BePOS, ses implicites technologiques et ses conséquences sociales doivent aborder les conditions de rentabilité**, prises à la bonne échelle, la solvabilité des ménages, les conditions de rachat de l'électricité produite face à son autoconsommation...

Cependant, une réflexion à l'échelle de l'îlot permettrait en revanche de répondre plus facilement et de façon plus pertinente aux enjeux de mutualisation, que ce soit du point de vue énergétique ou des usages, dès lors qu'une importante mobilisation de solaire (photovoltaïque et thermique) est envisagée. Mais elle pose de nouvelles questions, identiques à celles abordées à propos des *smart grids* : comment organiser une mutualisation puis une utilisation (ou un stockage), à l'échelle de l'îlot, de cette énergie intermittente ?

15. ADEME, « Feuille de route stratégique sur les bâtiments à énergie positive et à faible contenu carbone », août 2010 (<http://www.ademe.fr/feuille-route-batiments-ilots-a-energie-positive-a-bilan-carbone-minimum>).

16. Source IFPEB : « Les spécialistes de l'IFPEB s'expriment sur l'objectif du bâtiment à énergie positive » : la définition du BePOS par la norme technique à l'échelle d'un bâtiment unitaire sera insuffisante, ne résolvant pas les questions organisationnelles et économiques.

UNE OUVERTURE NÉCESSAIRE

La directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments de 2010 (EPBD – 2010/31/UE) promeut **la généralisation de bâtiments aux besoins énergétiques proches de zéro** (« *nearly zero energy building* » ou NZEB) notamment pour toutes les constructions neuves à partir de 2020. Le secteur résidentiel social est concerné.

Cette définition du NZEB par la Commission européenne laisse ouverte **un certain nombre d'aspects qui doivent être précisés par chaque Etat membre**, en fonction de son contexte national et de ses objectifs, **la Commission européenne exigeant par ailleurs que le niveau de la consommation d'énergie soit défini à partir, notamment, d'une étude de coût optimal et d'une optimisation éco-efficace.**

Le BePOS résultera de la transcription actuelle en droit français de cette directive européenne EPBD.

Cependant, les contours de cette notion de BePOS ne sont, à ce jour, ni bien définis, ni partagés par les différents acteurs. De même, la notion de « maison passive » a progressivement migré des notions de confort intérieur et de faibles consommations initiales (en 1973) vers des exigences techniques très élevées comparativement aux réglementations en vigueur (renouvellement d'air intérieur, niveau de consommation maximal...) incluant de nouvelles données (prise en compte des usages énergétiques domestiques). Là comme ailleurs, la réalité couverte par ces termes met au jour les préoccupations directes de chaque époque, et les jeux des acteurs qui se sont progressivement saisis de ces notions.

Dans la nécessaire ouverture des champs techniques induite par les innovations technologiques récentes, une chose était de fixer les niveaux de performances énergétiques minimales à respecter (en termes de kWh d'énergie primaire par exemple), les rendements des installations de chauffage ou d'eau chaude sanitaire et le calendrier de leur déploiement à horizon 2020 ou 2030. Une autre est de prédéfinir les modalités de production et d'autoconsommation de l'énergie produite localement, et de pouvoir les autoriser (ou les imposer) en cohérence avec les textes législatifs existants. Une

COMMENTAIRE

Quel bilan énergétique pour ces opérations BePOS ?

Quel est le bilan énergétique de ces opérations innovantes, entre production et consommation d'énergie, puis dans les échanges avec leur environnement ?

- ▶ Est-ce un bilan saisonnalisé ($\text{prod}_{\text{été}} \geq \text{conso}_{\text{été}}$, $\text{prod}_{\text{hiver}} \geq \text{conso}_{\text{hiver}}$) ?
- ▶ Est-ce un bilan de type puissance globale annuelle ($\text{prod}_{\text{global}} \geq \text{conso}_{\text{global}}$) ?
- ▶ Est-ce un bilan annuel de nature de production comparée à la consommation ($\text{prod}_{\text{ENR global}} \geq \text{conso}_{\text{Ep global}}$) ?

troisième sera de faire basculer, dans un laps de temps assez court au regard du rythme des évolutions technologiques et des délais nécessaires à l'aboutissement d'une opération de construction, d'une logique de moyens (la RT2005), à une logique de résultats et de performances sur résultats (comme le faisait déjà la RT2012), incluant un « bilan carbone » et ses indispensables « compensations » sur du long terme.

Or, ces préoccupations sont à replacer dans leur contexte d'une société en transition, devenue ambitieuse en termes de sobriété énergétique et d'économie décarbonée. Elles sont, de même, à articuler avec les autres thématiques abordées dès qu'il est question de logement et d'aménagement urbain : qui produit l'énergie consommée, sur quelle assiette foncière, avec quelle(s) mobilisation(s) de ressources financières et quelles modalités de calcul du retour sur investissement ?

Ces questions ne se posent pas dans les mêmes termes, et ne revêtent pas la même importance, selon que l'on raisonne « bâtiment à énergie positive » ou « îlot à énergie positive », voire « territoire à énergie positive ». Elles conduisent à lier, selon le cas, la production d'énergie à l'objet technique bâtiment ou, au contraire, à un ensemble qui mutualise sa production d'énergie et la redistribue.



PARTIE 3

RETOURS D'EXPÉRIENCES

Des objectifs partagés	31
Anticiper les prochaines échéances réglementaires.....	31
Réduire les charges et les consommations énergétiques.....	33
Optimiser les règles d'urbanisme.....	33
Labelliser et certifier.....	35
Choisir la procédure adaptée.....	36
Des choix techniques innovants	37
Structures et enveloppes.....	37
Equipements et solutions techniques.....	45
Des équipements à très hauts niveaux de performance.....	47
Une production EnR différenciée selon l'approche.....	48
Des opérations vitrine	51
Un coût d'investissement encore important.....	51
Des charges locatives faibles... mais plus élevées que prévues.....	55
Instrumenter et suivre les opérations sur la longue durée.....	57
Un premier « bilan carbone ».....	60
Une mise en perspective	61

Bâtiments passifs, bâtiments à énergie positive

INTRODUCTION

Les pages précédentes ont permis de restituer, dans l'espace géographique européen et dans le temps, les évolutions de sens entre les termes employés, que le bâtiment soit « passif » ou « à énergie positive », voire les chevauchements entre ces deux catégories.

Au vu du nombre conséquent d'opérations engagées ou réalisées à ce jour par les organismes Hlm – plus d'une cinquantaine d'opérations déjà livrées – il nous a paru nécessaire d'appréhender au mieux le contexte dans lequel les opérations ont été voulues (territoire, subventions, tarif de rachat de la production EnR...), afin d'envisager les conditions de leur développement et leur reproductibilité en termes d'acceptabilité sociale et financière et en cohérence avec les engagements des organismes Hlm.

L'étude vise à apporter, par la présentation des vingt-trois opérations Bpas ou BePOS qui suivent, des éléments de réponse aux questions suivantes :

- ▶ Sur quels critères se sont basés les organismes Hlm pour catégoriser leur opération comme « passive » ou « à énergie positive », alors que peu d'entre eux avaient in fine engagé une démarche de certification ou de labellisation ou, plus simplement, recherché une définition communément partagée ? Pour chacun de ces types de bâtiments, quelles en sont les caractéristiques techniques, énergétiques et économiques ?
- ▶ Quelles ont été les conditions de réalisation de ces opérations, en particulier les conditions financières et le niveau de mobilisation des fonds propres et celui des aides des collectivités ? Ces conditions et leur reproductibilité permettent-elles d'envisager une généralisation de ces opérations à horizon 2020 ?
- ▶ Quelles ont été, pour ces bâtiments innovants et souvent exemplaires, les conditions de mise en œuvre, tant en termes d'organisation du marché (conception et réalisation) que de techniques et d'exploitation (montant des charges énergétiques et aussi de maintenance, d'entretien et de renouvellement) ?
- ▶ Quelle a été l'acceptabilité sociale de ces nouvelles formes de bâtiments avec les contraintes que cela a pu imposer mais aussi la qualité d'usage que cela a pu procurer aux habitants ?

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

- ▶ **Caractériser les bâtiments à énergie positive (BePOS) et les bâtiments passifs (Bpas) dans le logement social, à partir des pratiques des bailleurs sociaux :** contexte et origine des opérations, caractéristiques architecturales et techniques, bilan énergétique attendu et réel.
- ▶ **Restituer le bilan économique des opérations :** coût d'investissement, évolution des charges, dans une approche en coût global si possible.
- ▶ **Détailler l'approche sociale nécessaire :** accompagnement et satisfaction des usagers (confort, qualité d'usage...).
- ▶ **Extrapoler les résultats des évaluations** afin d'accompagner ou d'aider les bailleurs sociaux dans la réalisation prochaine d'opérations similaires.

DES OBJECTIFS PARTAGÉS

Le faible nombre d'opérations étudiées et la grande diversité de contextes observés ne permettent pas de dégager les quelques récurrences qui caractériseraient ces immeubles. Il est cependant possible de mettre au jour certaines des préoccupations mises en avant par les organismes Hlm, et les principales contraintes qu'il leur a fallu prendre en considération.

Deux grands registres de préoccupation sont mis en avant par les organismes Hlm : la prochaine réglementation thermique et la maîtrise des charges et des consommations énergétiques.

Parmi les contraintes identifiées, il convient de distinguer celles relevant des règles d'usage des sols et du potentiel de la parcelle (qui contraignent l'orientation, par exemple), de celles édictées par les considérations climatiques et thermiques, ou encore une démarche de labellisation. ┘

Anticiper les prochaines échéances réglementaires

Dans la grande majorité des cas, l'organisme Hlm a clairement indiqué vouloir **se préparer à la future réglementation thermique et énergétique de 2020**, bien que son cadre de référence ne soit pas défini à ce jour. Cette anticipation s'est faite de deux façons :

- ▶ par la recherche de solutions techniques et de moyens de production permettant de répondre, à coûts maîtrisés, à des exigences supérieures à la RT2012, telles que celles définies par certains labels ou certifications (Effinergie+, PassivHaus...), même si la recherche et l'obtention du label ou de la certification n'a été un but en soi que pour moins de la moitié des opérations étudiées. Dans ce cas, c'est le maître d'ouvrage qui a défini ses propres niveaux d'exigence,
- ▶ par la réponse à une consultation pour une opération située dans une zone d'aménagement (écoquartier...) répondant à un cahier des charges exigeant sur le plan énergétique. Moins de la moitié des opérations rejoignent cette catégorie.

Pour les opérations présentées comme étant « à énergie positive », il s'agit bien ici de « produire plus d'énergie que n'en consomme le bâtiment », même si l'approche technologique diffère grandement selon que l'objectif est d'abord la réalisation d'un bâtiment à très faibles consommations énergétiques ou la recherche d'une couverture des besoins en Cep au sens de la RT2012.



Pour les « bâtiments passifs », les démarches des organismes sont diversifiées, comme les objectifs qu'ils se sont fixés.

L'analyse détaillée des projets confirme la diversité des situations rencontrées et des réponses apportées, face à cette volonté d'anticiper les réglementations à venir.

COMMENTAIRE

Opérations dans un écoquartier

Bâtiments passifs : la Résidence Hélios, le Jardin de Jules, L'Escale, Le Jardin des Frênes et La Levantine.

Bâtiments à énergie positive : Le Bois Badeau, Villavenir Atlantique, L'Espéria, La Vallée Mouton II et la résidence du Quai Fleury.

On retiendra qu'**aucun écoquartier accueillant une des opérations étudiées n'a avancé d'éléments précis sur les réponses énergétiques attendues, et qu'à ce jour, aucun de ces écoquartiers ne s'inscrit dans une stratégie territoriale** (à l'échelle communale ou de l'agglomération) – même lorsque les agglomérations ou les métropoles concernées sont engagées, parfois depuis plusieurs

années, dans des projets territoriaux de maîtrise de l'énergie. Le projet de Villavenir, par exemple, traduit avant tout la volonté du maître d'ouvrage, et non les attendus de l'écoquartier Erdre-Porterie.

Pour autant, certaines collectivités sont très fortement engagées et de longue date dans le déploiement d'une stratégie énergétique à l'échelle de leur territoire. Nantes-Métropole, disposant d'un PCET depuis plusieurs années, engagée dans un projet Concerto et parmi les premières collectivités françaises signataire du *Convention of Mayors*, a initié une expérience intéressante « d'îlot à énergie positive » sur la ZAC de la Prairie du Duc sur l'île de Nantes (écoquartier et lauréat EcoCité). Mais il n'est question que d'y produire des « bâtiments énergétiquement performants ». L'opération du Grand Carcouët, sise sur une autre portion du territoire, a été conçue en totale indépendance de ces réflexions, et ne fait à aucun moment état de la stratégie énergétique territoriale.

Un projet expérimental d'îlot à énergie positive sur l'île de Nantes

Harmonie Habitat a construit des logements sociaux en accession sur cet « îlot à énergie positive » (IPOS). Bien que le cahier des charges insiste sur la mutualisation et la capitalisation, les exigences énergétiques pour cet îlot définies par un AMO Energie missionné par l'aménageur, la SAMOA, et intégrées au CPEDD (Cahier de Prescriptions Environnementales et de Développement Durable), ne font pas référence au BePOS. Elles préconisent en revanche d'atteindre une performance énergétique de niveau PassivHaus pour l'ensemble de l'opération (sans exigence de certification cependant), notamment par le recours aux EnR et par des

exigences accrues par rapport à la RT 2012. Cependant, afin d'évaluer l'impact technico-économique sur le projet global des différents niveaux d'ambition, trois scénarios devaient être étudiés : un scénario de base (niveau PassivHaus répondant à l'enjeu minimum de sobriété), un scénario IPOS pour les cinq usages réglementaires et un scénario plus ambitieux (IPOS pour tous usages y compris électrodomestiques). Pour ce projet, l'acte de vente pour le terrain est signé juste avant le début des travaux. Cela permet à la SAMOA de s'assurer de la cohérence de l'opération avec les enjeux définis initialement, quitte à préciser cer-

taines clauses dans le cahier des charges de cession de terrain. Par ailleurs, en absence d'une analyse en coût global menée par l'AMO, la SAMOA a demandé aux concepteurs de prendre en compte la maîtrise des coûts de maintenance et d'entretien, de façon à ce que la diminution de la facture énergétique se répercute bien sur celle des charges de l'occupant.

Selon le retour d'expérience de la SAMOA, la capacité d'innovation des opérateurs est souvent sous-estimée. La démarche initiée montre que laisser plus de marge dans le cahier de prescriptions peut favoriser l'innovation.

Cette opération n'a pas été étudiée dans le cadre de ce travail.

Pour autant, une analyse détaillée montre la diversité des situations rencontrées et des réponses apportées, face à cette problématique d'anticiper.

Certains bailleurs ont situé leur projet dans un cadre plus vaste que l'opérationnel : il indique une réflexion stratégique menée à l'échelle de l'organisme. Sarthe Habitat fait référence à un projet d'entreprise en cours de développement, Habitat de la Vienne à une charte interne de développement durable et Immobilière Méditerranée à un engagement en matière de développement durable. Tout laisse à penser que ces opérations, certes encore expérimentales, sont des « têtes de série » destinées à être reproduites – pas nécessairement aux mêmes conditions. Tout est encore en cours de capitalisation.

D'autres maîtres d'ouvrage ont mis en avant leur participation – volontaire – au développement de filières locales de construction, la filière bois par exemple, retenue par le Toit Vosgien en tant que réponse adaptée à une recherche de bilan carbone positif. De fait, cette adhésion guide toutes les opérations (construction neuve et réhabilitation), en partenariat avec les collectivités et instances locales.

Pour deux bailleurs (Le Foyer Rémois et Habitat 62/59 Picardie), l'opération s'inscrit dans le cadre d'un projet européen avec un partenariat avec un industriel (BASF). C'est une mutualisation d'expériences qui est recherchée, pour une optimisation des coûts et des process organisationnels et l'adaptation du prototype avant sa généralisation.

Réduire les charges et les consommations énergétiques

L'autre grand objectif fréquemment cité est **la réduction des consommations énergétiques et la maîtrise des charges locatives**. Là encore, les voies empruntées sont diverses et les résultats plus ou moins concluants¹.

Peu d'organismes ont fait part d'un recours accru aux EnR, mobilisation qu'envisage pourtant le législateur dans les textes en cours de préparation. Le solaire thermique reste fréquemment cité, mais n'est installé que par des organismes ayant déjà conduit avec succès des installations de solaire thermique. C'est donc là une affaire de compétences, internes et externes, autant

que de potentiel urbain (orientation...). D'autres dispositifs à forte technicité sont testés : une PAC à haut rendement couplée à des sondes géothermales, des chaudières collectives à granulés (biomasse), des « PAC 3 en 1 », des systèmes de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur air extrait...

Si tous les bailleurs sont soucieux de la maîtrise des coûts et des charges locatives, seules deux opérations ont clairement mentionné dans leur cahier des charges un objectif de maîtrise des coûts de construction (Villavenir Atlantique et L'Espéria). L'une de ces deux opérations (Villavenir Atlantique) était d'ailleurs un projet monté en partenariat avec la Fédération française du bâtiment de Loire-Atlantique. Deux autres opérations (Le Bois Badeau et Le Grand Carcouët) l'ont fait indirectement, par le recours à une procédure de conception – réalisation.

Optimiser les règles d'urbanisme

L'ensemble des acteurs interrogés partage l'idée qu'**une optimisation de la conception bioclimatique devient particulièrement complexe lorsque le plan masse est contraint**.

Plusieurs pistes ont été empruntées par les organismes Hlm.

Pour atteindre un niveau de performance élevé, il est nécessaire d'optimiser les façades sud (pour les apports solaires passifs) et de réduire les masques pénalisant ces apports. **L'orientation est déterminante** quant à la décision de viser le niveau passif, mais également pour toute opération à forte production d'énergie. Les exemples étudiés ont montré qu'une bonne conception du bâti (orientation, compacité, enveloppe...) permet de réduire les besoins énergétiques des logements d'environ 50% par rapport au niveau RT2012.

L'intégration des panneaux solaires doit également être étudiée dès la phase faisabilité architecturale, car elle influe sur les surfaces disponibles dédiées au solaire et pèse ainsi sur les futurs équilibres énergétiques et économiques de l'opération. Les chargés d'opérations abordent alors de front la faisabilité technique de l'opération, son équilibre économique, le financement des systèmes EnR et le montage juridique associé.

1. Les niveaux des charges locatives et d'investissement de ces opérations sont détaillés ci-après.



La recherche d'une bonne orientation peut conduire l'organisme Hlm à demander une modification de l'implantation prévue initialement. Selon les marges de négociation avec les collectivités locales, cela peut aller jusqu'à **faire modifier le plan local d'urbanisme**, afin d'autoriser une modification de l'implantation prévue initialement (La Clairière). A Clisson (résidence Hélios), où la Ville a fourni le terrain, de nombreuses discussions ont été nécessaires avec la Ville pour faire rentrer le projet dans les contraintes d'urbanisme, alors que le plan masse était quasiment figé (parcelle, volume et façade sur rue). Si cette procédure a peu impacté le bon déroulement de ces deux projets, elle est néanmoins un point de vigilance : **tous les terrains constructibles ne conviennent pas à la réalisation de telles opérations passives ou positives**, en particulier lorsqu'une compensation allant au-delà des usages réglementaires est recherchée.

L'atteinte de la compensation des usages réglementaires par une production d'énergie renouvelable suffisante paraît une équation insoluble en zone dense, avec les

technologies actuellement disponibles. **La réalisation de ces opérations passe avant tout par un emplacement et une orientation favorables. Souvent, la décision de conduire une telle opération expérimentale a été déterminée par le potentiel du terrain.** La reproductibilité de ces opérations reste donc très limitée.

Une réflexion à l'échelle de l'îlot permettrait en revanche de répondre plus facilement et de façon plus pertinente, par un recours à la mutualisation, dans un contexte d'usages complémentaires, aux enjeux de « l'énergie positive », dès lors qu'une importante mobilisation de solaire (photovoltaïque et thermique) est envisagée. Mais elle pose de nouvelles questions, identiques à celles abordées à propos des *smart grids* : comment organiser une mutualisation puis une utilisation (ou un stockage), à l'échelle de l'îlot, de cette énergie intermittente ?

Labelliser et certifier

Moins de la moitié des opérations étudiées ont recherché une certification ou un label. Ce résultat peut paraître surprenant, au premier abord, au regard des ambitions affichées de ces opérations, et de l'investissement effectué par les organismes Hlm. Il montre surtout les limites de l'apport des certifications en l'absence d'obligation, la qualité des études paraissant souvent suffisante aux maîtres d'ouvrage.

C'est à la demande de la coopérative d'habitants et des primo-accédants, appuyés en cela par la commune de Villeurbanne, que le Jardin de Jules n'a fait l'objet d'aucune certification. Le niveau d'exigences prévisionnelles suffisait ici, comme gage de bonne réalisation et le coût de la certification a été considéré comme une dépense inutile.

Certaines opérations ont eu recours, simultanément, à plusieurs labels ou certifications (Les Hauts de Pessicart, le Bois-Badeau et La Magnanerie).

Les arguments avancés, pour la recherche de certifications, restent ceux usuellement rencontrés : une exonération de taxe foncière (pour H&E et BBC), et une bonification d'aides octroyées par la collectivité.

Quelques organismes ont fait part de l'intérêt de la démarche de certification comme un moyen de faire progresser les compétences des collaborateurs et des autres acteurs concernés, et de les sensibiliser aux bonnes pratiques environnementales.

Pour autant, la recherche de hautes performances n'est pas un gage de certification. Les Héliades et la résidence Jules Ferry se sont vues refuser la certification H&E par Cerqual car les techniques retenues ne figuraient pas dans leur référentiel... bien qu'elles aient été lauréates du concours Prébat.

La dichotomie entre certification et performances de l'opération est donc flagrante, pour ces opérations qui sont encore « hors catégorie courante ».

Les différences certifications et labels

Résidence du Quai Fleury (37)			BEPOS Effinergie
Les Hauts de Pessicart (06)	H&E Profil A	BBC Effinergie	
Bois Badeau (91)	H&E Profil A	BBC Effinergie	
La Magnanerie (84)	THPE	BBC Effinergie Promotelec BBC	
Les Baudoinnes (88)			Passiv Haus
Résidence Voltaire (88)			Passiv Haus
Résidence Hélios (44)			Passiv Haus
La Clairière (51)			Passiv Haus
Jules Ferry (88)	(refusée)		Passiv Haus
Le Jardin des Frênes (35)			Passiv Haus
Résidence René Dumont (62)		BBC Effinergie	Passiv Haus (en cours)
La Levantine (35)		BBC	Passiv Haus (en cours)
Résidence étudiante Port sur Saône (70)		(envisagée)	
Les Héliades (88)	(refusée)		

Bon nombre des opérations ont été distinguées. Certaines sont lauréates du concours Prébat (Résidence René Dumont, les Héliades, le Grand Carcouët...), d'appels à projets PUCA-ADEME (appel à projets « Vers des bâtiments à énergie positive : le Grand Carcouët) ou d'autres manifestations (concours Bas Carbone, Solar Decathlon...). Les trois opérations du Toit Vosgien étudiées ont reçu le prix d'excellence LQE (Lorraine Qualité Environnementale) de la Région Lorraine : Les Baudoines (2012), la Résidence Voltaire (2013) et La Résidence Jules Ferry (2014). L'opération L'Hespéria a obtenu le prix Urbanisme et architecture aux Grands Paris du Logement 2014 (le jury ayant mis en avant son caractère BePOS, le recours à la préfabrication et à la conception en maquette numérique, la prise en compte de la qualité sanitaire, du confort et de la simplicité d'utilisation des équipements thermiques).

Choisir la procédure adaptée

La procédure privilégiée, pour dix-neuf opérations sur les vingt-trois étudiées, reste celle de l'appel d'offres. Cela montre qu'il est possible de construire des bâtiments avec des niveaux de performances très élevés dans le cadre contraint des procédures actuelles des marchés publics. Est-ce pour autant la procédure la plus optimale ?

L'étude montre que les points de vigilance portent sur les capacités des prestataires à travailler ensemble, bien plus que sur les critères énoncés en phase de sélection de la maîtrise d'œuvre ou des entreprises, et leur niveau de compétences respectif. En l'occurrence, pour bon nombre d'architectes ou d'entreprises, il s'agissait de leur « première » réalisation très performante ou passive. Afin d'obtenir un niveau de finition soigné, plusieurs organismes ont institué des temps obligatoires de formation et de mobilisation des équipes. Pour le Toit Vosgien, par exemple, une journée d'information théorique et pratique est dispensée en amont, à tous les compagnons. Pour d'autres, c'est la généralisation, à toutes les étapes du chantier, de vérifications conduites avec des instruments de mesure perfectionnés (caméra thermique, thermomètre de paroi, tests à l'air aux différentes étapes...), l'approche méticuleuse et le contrôle à l'œil nu ne suffisant plus à la détection des défauts.

Trois organismes ont pour leur part privilégié la procédure de conception – réalisation, à chaque fois uniquement pour des bâtiments décrits comme étant à énergie positive (le Bois Badeau, le Grand Carcouët et l'Espéria). L'un des arguments avancés est la complexité technique de l'opération, au regard de la performance environnementale exceptionnelle attendue, mais également l'engagement des équipes lauréates sur le délai de livraison, le montant global du coût de travaux et le pilotage du chantier. Pour le Grand Carcouët, faire travailler en équipe l'ensemble des acteurs de la construction dès le début a permis de garantir la performance, ainsi qu'un gain de temps significatif en phase chantier. Si les délais sont souvent plus longs en amont du chantier, il n'y a pas eu, pour ces trois opérations, de répercussions sur la durée globale de l'opération. La critique, courante, faite à cette dévolution de marché (favoriser les grandes entreprises), a été modérée dans le cadre du Grand Carcouët par l'association d'une entreprise locale aux côtés de l'entreprise générale, pour l'ossature bois.

Une seule de ces opérations a été produite en VEFA (Villavenir Atlantique), avec un achat auprès de la FFB44, maître d'ouvrage. Cela la situe dans un contexte très éloigné des acquisitions en VEFA couramment réalisées auprès de promoteurs immobiliers. Ce projet s'est articulé autour de trois axes de travail prioritaires : technique – formation – promotion. L'objectif de la FFB44 était de construire, à coûts maîtrisés, trois prototypes de maison individuelle, selon un référentiel qu'elle a elle-même établi en anticipation de la future RT 2020, afin de démontrer que les produits et les solutions existants sur le marché sont compatibles avec le (futur) label BEPOS et que ces maisons sont reproductibles. Si l'estimation du coût global est le premier objectif mentionné dans le cahier des charges, il n'y a cependant aucune précision sur la méthode d'analyse ni sur les hypothèses à retenir, et le coût global n'a pas été un critère de sélection des groupements. Enfin, les solutions techniques différentes des six maisons et le recours à la conception-réalisation rendent difficiles une analyse comparative en coût global.

Aucun bailleur n'a eu recours au dialogue compétitif, ou au concours de maîtrise d'œuvre, pour des raisons qui n'ont pas été détaillées.

DES CHOIX TECHNIQUES INNOVANTS

Toutes ces opérations font appel, à des degrés variables, à des technologies ou des équipements dont le développement est très récent et encore peu répandu en France.

Cela peut porter sur des systèmes constructifs complets : des façades préfabriquées en atelier, des enveloppes à simple ou à double ossature bois isolée avec des isolants biosourcés, et des pré-murs isolés, des structures métalliques...

Mais aussi sur des combinaisons d'équipements : une ventilation double flux à haut rendement couplée à un « puits canadien », une tour « 3 en 1 » (ballon d'eau chaude, PAC et VMC DF), une micro-cogénération gaz, des capteurs solaire sous vide, des menuiseries à triple vitrage et/ou à volets roulants automatisés (en fonction de l'ensoleillement et des horaires)...

Structures et enveloppes

L'analyse de la composition de façade montre la grande diversité des situations, selon les opérations. Plusieurs types de structure ont été relevés pour l'enveloppe des bâtiments : structure voile béton, structure béton + ossature bois, structure et ossature bois, béton cellulaire, structure métallique ou structure bois.

L'épaisseur de l'isolant et la constitution du mur sont des critères de différenciation de ces opérations, soit en répondant strictement à la réglementation thermique actuelle (RT2012) ou soit aux exigences du passif.

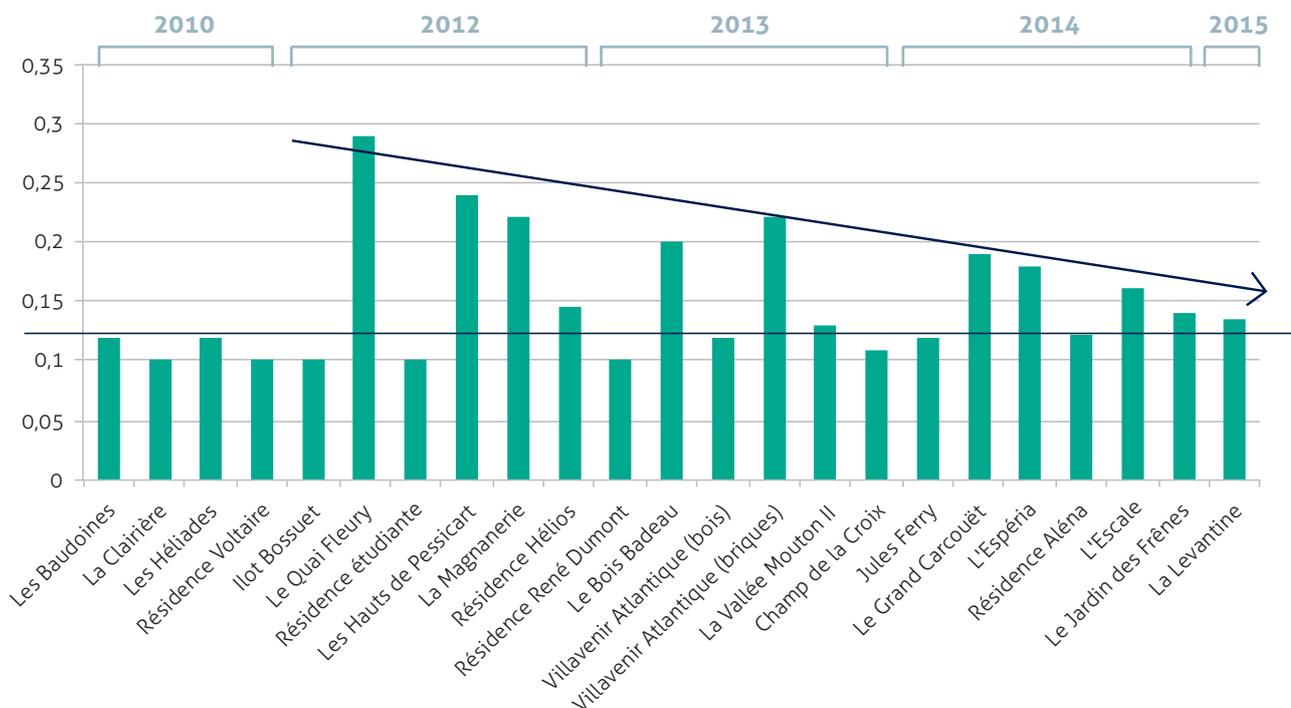
Les opérations répondant à la RT 2012 ont des structures de murs courantes : un voile béton supportant une ITE de 150 mm. Les savoir-faire sont maîtrisés, il n'y a guère d'innovation, si ce n'est un léger renforcement de l'isolant.

Les opérations à orientation passive ont des épaisseurs de façades plus importantes (300 mm en moyenne), mais également une meilleure continuité en acrotères ou en fondation. Les façades peuvent être à structure conventionnelle : un béton préfabriqué avec un PSE de 300 mm, un béton avec 300 mm de laine de roche et bardage bois extérieur (red cedar), un voile béton avec ITE et doublage intérieur... Mais ces opérations passives se distinguent surtout par les nouvelles combinaisons constructives mises en œuvre : des panneaux bois préfabriqués avec 400 mm de paille (Les Baudoinés), un béton bois avec 300 mm d'ouate de cellulose insufflée (Ilot Bossuet), voire une structure bois avec un remplissage en caisson de paille et bardage tuile (Jules Ferry).

Les structures de murs elles-mêmes deviennent également complexes. A la Levantine, la façade, rattachée à une structure béton, est constituée de panneaux à ossature bois multicouches, en partie posés sur chantier : bardage bois + lame d'air + OSB + 200 mm laine de verre sur solive bois + pare vapeur + OSB + 60 mm laine de verre + BA13. Réussir un tel assemblage et garantir les tests d'étanchéité à l'air nécessite une parfaite anticipation de tous les points singuliers et une bonne coordination sur chantier.

L'expérience conduite par la FFB44 à Villavenir Atlantique démontre la possibilité d'atteindre des performances techniques globales similaires selon que le mur est en maçonnerie isolante avec laine minérale ($R > 4,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), en façade préfabriquée métallique avec isolation intégrée (200 mm de laine de verre et 100 mm de mousse polyuréthane projetée pour l'étanchéité à l'air), ou en ossature bois à double isolation (200 mm de ouate de cellulose et parement intérieur avec 100 mm d'isolant à base de vêtements recyclés). Pour chacune de ces maisons, le Cep est inférieur à 32 kWhep/m^2 (Cep ref $< 35 \text{ kWhep/m}^2$), et les pertes d'étanchéité à l'air inférieures à $0,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ (ref : $0,3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$). Les écarts entre les coûts de construction des six prototypes ne sont pas significatifs (sur un bilan complet des coûts, incluant les équipements). Il reste à vérifier que le confort d'été et à mi saison est assuré pour l'ensemble des modes constructifs – mais ces opérations sont trop récentes pour disposer d'un tel bilan.

L'examen des $U_{\text{façade}}$ montre une évolution dans le temps des façades des opérations dites à énergie positive et de leur niveau d'isolation.



La restitution chronologique des $U_{\text{façade}}$, selon l'année de livraison des opérations, montre que les premières opérations dites passives, livrées en 2010, avaient déjà un $U_{\text{façade}}$ très performant, égal ou inférieur à $0,12 \text{ W/m}^2.\text{K}$. Cet $U_{\text{façade}}$, ou plus généralement le U_{bat} , est un indicateur sur le niveau de performance du bâtiment : il indique, en creux, les bâtiments aux faibles besoins de chauffage. Ce diagramme montre également que tous les bâtiments tendent progressivement vers un degré d'isolation élevé. Plus aucune opération, récemment livrée, n'a de $U_{\text{façade}}$ aussi élevé que celui des premières opérations « à énergie positive », qui étaient en réalité des bâtiments basse consommation (BBC RT 2005) avec une très forte compensation énergétique issue d'une importante production photovoltaïque : leur $U_{\text{façade}}$ est supérieur à $0,2 \text{ W/m}^2.\text{K}$.



À RETENIR

Comme pour les façades, les opérations passives se distinguent des opérations RT 2012 pour le traitement des planchers bas, des planchers hauts et toitures. Nous relevons une épaisseur de 200 mm d'isolant sur dalle béton sur vide sanitaire et 120 mm en toiture sur dalle béton, pour un bâtiment répondant à la RT2012 et classé « à énergie positive ». Pour un bâtiment répondant aux exigences du passif, le plancher bas est constitué d'une chape béton sur des ourdis isolants PSE 240 mm et 80 mm de polyuréthane, tandis que le planché haut est isolé par 400 mm de laine de verre. **Ces différences de constituant de parois montrent les différences d'approche entre les bâtiments à orientation passive et ceux présentés comme « à énergie positive ».**

Les différences structurelles entre bâtiments passifs et bâtiments à énergie positive

L'étude montre que l'une des différences majeures entre les bâtiments à orientation passive et les bâtiments BBC-BePOS à énergie positive se situe dans le choix et l'épaisseur des matériaux de façades et d'enveloppe, et non dans le choix de la structure.

Pour les bâtiments passifs, une attention particulière est également portée au traitement de tous les ponts thermiques, dans le traitement spécifique des dalles de sous-sol, des acrotères, des raccordements des châssis et menuiseries. Ces éléments font l'objet de carnets de détails très approfondis, dressés par la maîtrise d'œuvre avant le démarrage du chantier, et souvent discutés avec les entreprises avant leur réalisation.

Tous les projets ont mis l'accent sur **l'importance des carnets de détails d'exécution**. Les plans techniques inclus dans les cahiers des clauses techniques particulières (CCTP) ont été jugés par tous les acteurs ayant à conduire une réalisation au niveau passif comme étant « insuffisamment précis » notamment sur les moyens à mettre en œuvre pour traiter les liaisons sensibles, et sur les articulations entre les différents lots (positionnement des canalisations VMC DF et solaire...).

Ce carnet de détails doit cependant être envisagé comme une réalisation partagée entre la maîtrise d'œuvre et l'entreprise, afin d'être précis et complet. Les dossiers consultés montrent que ce n'est pas une mission qui se superpose à l'actuelle mission EXE, trop souvent dévolue aux entreprises, et sur laquelle la maîtrise d'œuvre a perdu la vision d'ensemble.

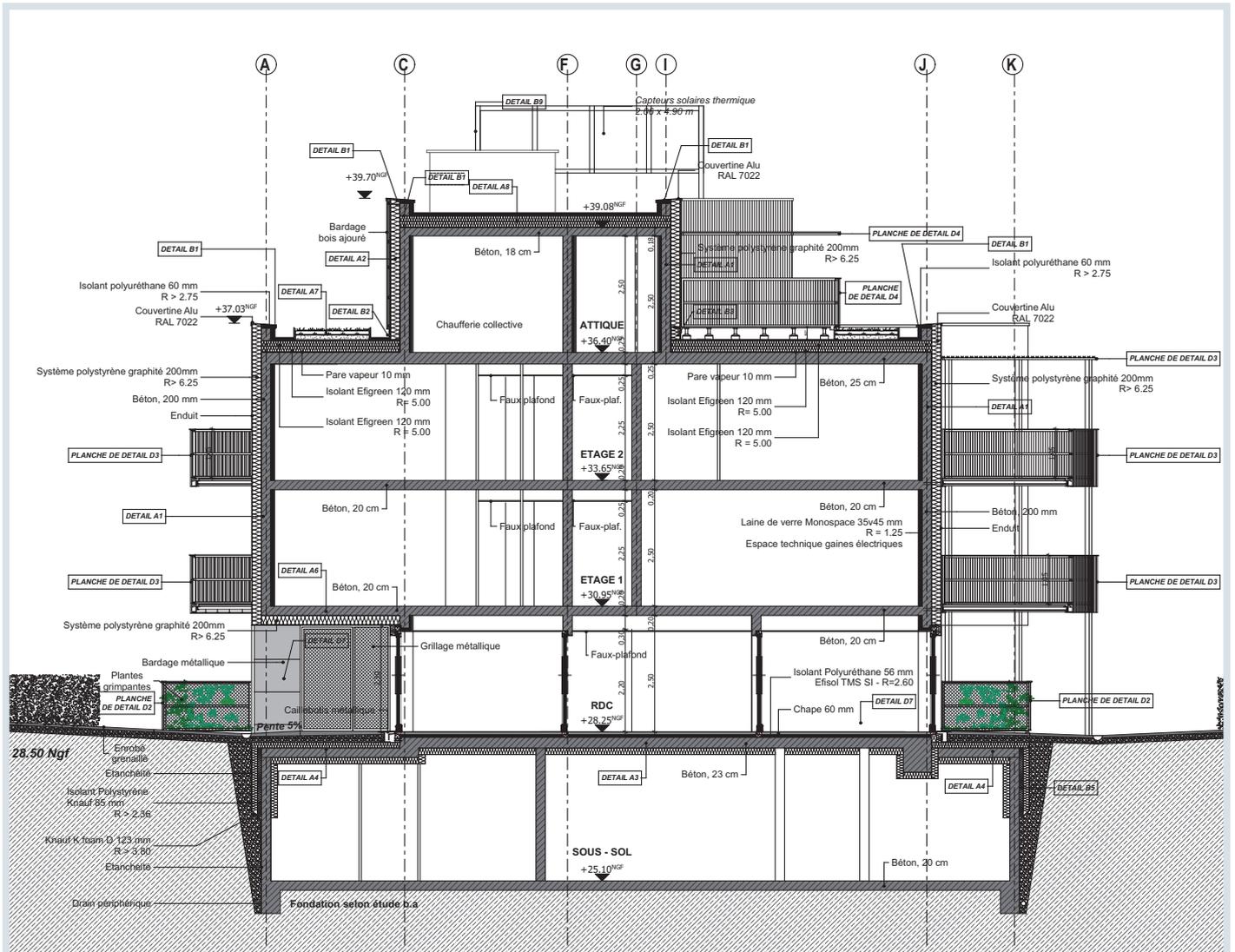
Ces exigences élevées en termes d'isolation vont de pair avec de fortes prescriptions en matière d'étanchéité à l'air. Nous avons observé que l'attention portée sur ce critère par l'ensemble des acteurs (concepteurs et exécutants) depuis quelques années, avait porté ses fruits : pratiquement toutes ces opérations ont fait l'objet de test à l'air concluant, sans qu'une reprise en fin de chantier ne soit nécessaire. Ce process est à comparer aux premières opérations de ce type, pour lesquelles il avait été nécessaire de former, tant la maîtrise d'œuvre que les compagnons, aux exigences et aux moyens pour obtenir une étanchéité à l'air conforme.

Consistance d'un carnet de détails d'exécution

Un carnet de détails doit comprendre les renseignements suivants :

- ▶ les esquisses détaillées de tous les raccords avec l'enveloppe thermique du bâtiment : isolation sur terrasse en contact avec une paroi extérieure, isolation des acrotères et des souches en toiture-terrasse, fixation d'éléments sur l'isolant PSE, etc,
- ▶ les détails comprenant les dimensions et les indications concernant les matériaux et les groupes de conductivité thermique,
- ▶ le niveau d'étanchéisation attendu et la description de son exécution, à tous les points de raccord et toutes données concernant les compositions des parois de tuyaux,
- ▶ pour chaque élément entrant dans la composition d'une paroi extérieure : type de produit, épaisseur, coefficient de conductivité thermique (valeur lambda sur base de fiche technique) et conditions de mise en œuvre.

Résidence Le Jardin des Frênes :
mise en évidence des détails ayant fait l'objet d'un dessin spécifique



Source : Cabinet Paumier François - NEOTOA : Le Jardin des Frênes

Les exigences en matière d'étanchéité à l'air

- ▶ Bâtiment basse consommation : $Q_{4Pa_surf} = 1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ sous 4 Pa pour logement collectif ou $Q_{4Pa_surf} = 0,6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ sous 4 Pa pour logement individuel*.
- ▶ Bâtiment passif : $n_{50} = 0,6 \text{ vol/h}$ sous 50 Pa.

Comparaisons entre niveaux d'exigence

	Collectif	Individuel
Exigence BBC = Q_{4Pa} ($\text{m}^3/\text{h.m}^2$)	1,00	0,60
Exigence BBC = n_{50} (vol/h)	2,89	1,87
Exigence Passif = n_{50} (vol/h)	0,60	0,60

Source : ENERGELIO

Exemples comparatifs :

- ▶ pour le bâtiment collectif de la Résidence Hélios, les exigences du passif en I4 sont de $0,11 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$, soit 9 fois supérieure à l'exigence BBC (certification la Maison passive),
- ▶ pour l'Ilot Bossuet, l'exigence Q_{4Pa_surf} en passif est de $0,16 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$, soit 6,5 fois supérieure à l'exigence BBC (référentiel PHPP).

*le Q_{4Pa_surf} a remplacé le I4 dans la réglementation

Pour les bâtiments passifs, le recours au triple vitrage semble s'imposer : seules deux opérations passives ont une combinaison double vitrage/triple vitrage (le double vitrage étant limité aux façades sud). Cinq autres opérations à énergie positive ont conservé le double vitrage : elles sont toutes situées sur la façade Atlantique ou sur le bassin méditerranéen et elles ont un bilan énergétique plus que satisfaisant. Le moteur de calcul, pour le passif notamment, tend à imposer le triple vitrage. Ainsi, l'opération du Grand Carcouët aurait dû, pour être qualifiée de BePOS, avoir du triple vitrage et une surface de photovoltaïque légèrement supérieure. Pour cette opération, au-delà de la modélisation théorique, l'impact du triple vitrage sur les consommations énergétiques serait resté très minime, bien inférieur aux surcoûts que ce choix aurait occasionnés.

À NOTER

Tous les bâtiments passifs ont une forte inertie, procurée par une dalle béton pour les planchers bas et des murs de refends en béton. Ces éléments laisseraient supposer un confort d'été satisfaisant, mais ces opérations étant encore récentes, le retour des locataires en termes de confort n'est pas connu.

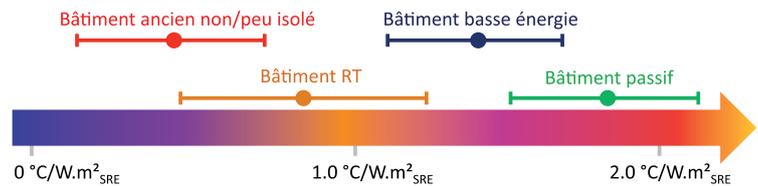
La constante de temps

Les bâtiments passifs se distinguent des autres constructions par leur « constante de temps ». Celle-ci dépend de deux paramètres principaux : l'isolation globale de l'enveloppe (R) et l'inertie mobilisée dans le contour de l'enveloppe (C).

Le produit de ces deux paramètres exprime la constante de temps : $\tau = R.C$

► Exprimé en °C/W, R représente la **résistance thermique globale** équivalente à l'ensemble du bâtiment. Elle correspond à l'inverse du coefficient thermique de déperdition du bâtiment, y compris les déperditions aérauliques (par infiltrations et ventilation mécanique).

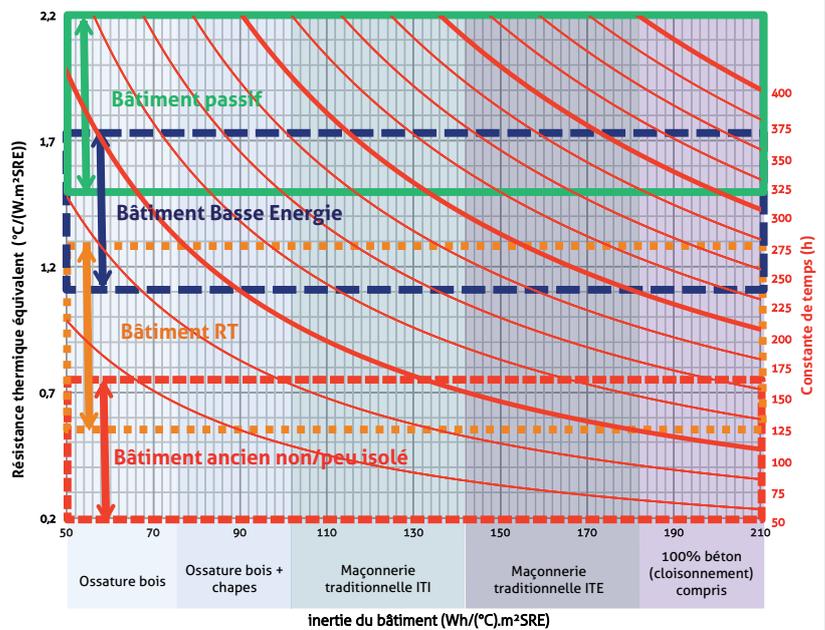
► Exprimé en Wh/°C, C représente la **capacité de stockage de chaleur d'un bâtiment**. Elle dépend de la masse des matériaux mis en œuvre dans le bâtiment et des surfaces développées et accessibles à l'air ambiant intérieur.



La valeur numérique de la constante de temps d'un bâtiment représente la durée que mettrait la température intérieure à descendre de 63% de la différence de température initiale entre l'intérieur et l'extérieur. Cette valeur est calculée par le moteur PHPP.

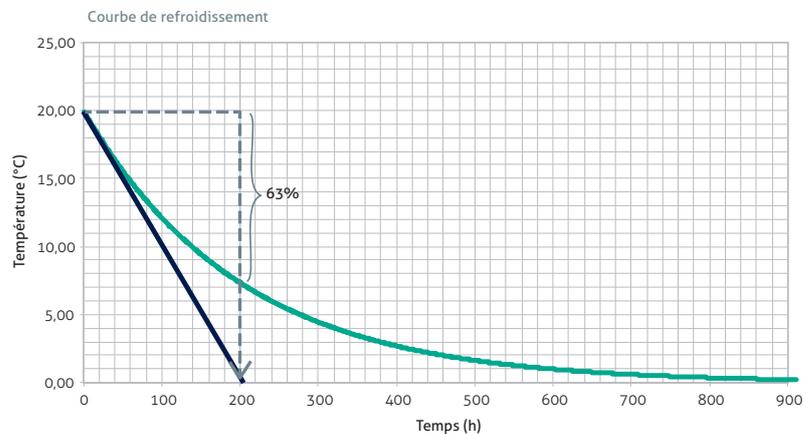
Plus la constante de temps est élevée, moins le bâtiment dérivera en température intérieure. En revanche, plus la valeur de la constante de temps sera faible, plus le bâtiment sera sensible aux variations externes et internes (rayonnement solaire, apports internes...).

Constante de temps : valeurs typiques



La constante de temps : courbe théorique

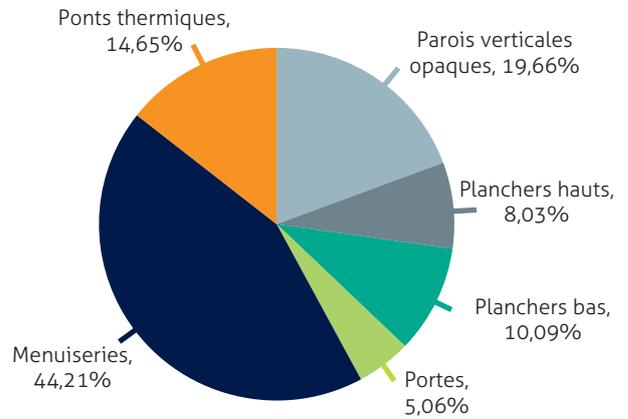
Dans cet exemple, la constante de temps τ est de 200h.



Source : Alexandre Pécourt, Energelio, intervention lors du colloque annuel de la Maison Passive, nov. 2014.



Répartition moyenne des déperditions thermiques

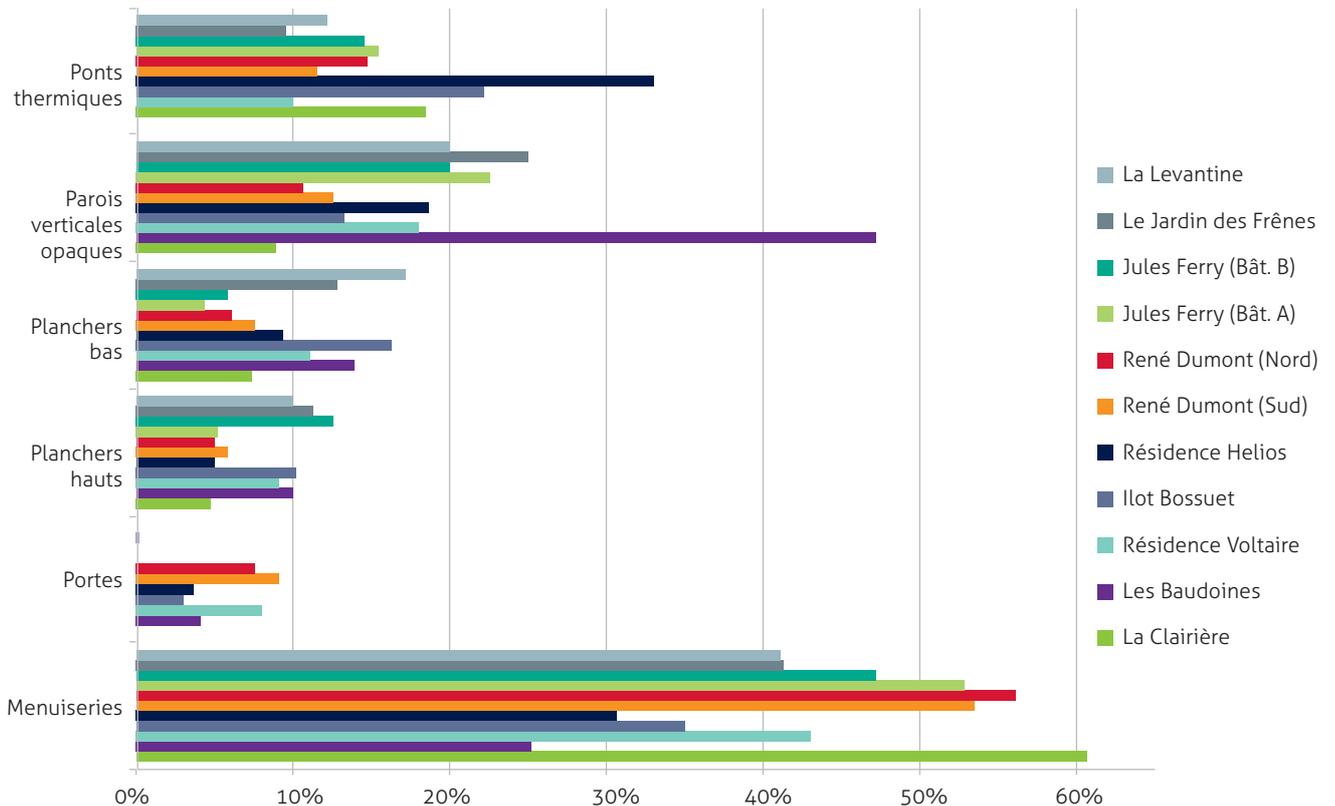


Les déperditions thermiques sont inégales selon les bâtiments et selon les parties constituant l'enveloppe d'un bâtiment. Pour les quelques opérations où ce bilan a pu être effectué, les parois vitrées et les parois opaques représentent près de 6/10e des déperditions, en moyenne. Cela souligne également l'importance d'un traitement convenable des ponts thermiques responsables de 15% des pertes.

Cette étude révèle aussi la grande dispersion des valeurs, allant du simple au triple dans le même groupe de constituants de paroi. Cet écart incite à **une grande prudence quant au choix des matériaux d'une part et aux prescriptions de montage, d'assemblage et de pose d'autre part.**

Il reste cependant à différencier, dans les exemples étudiés, si ces écarts sont causés par des différences de caractéristiques intrinsèques aux matériaux, ou à la complexité de leur mise en œuvre sur chantier, leur faisant perdre sur chantier tout avantage d'isolation.

Dispersion des déperditions thermiques par opération

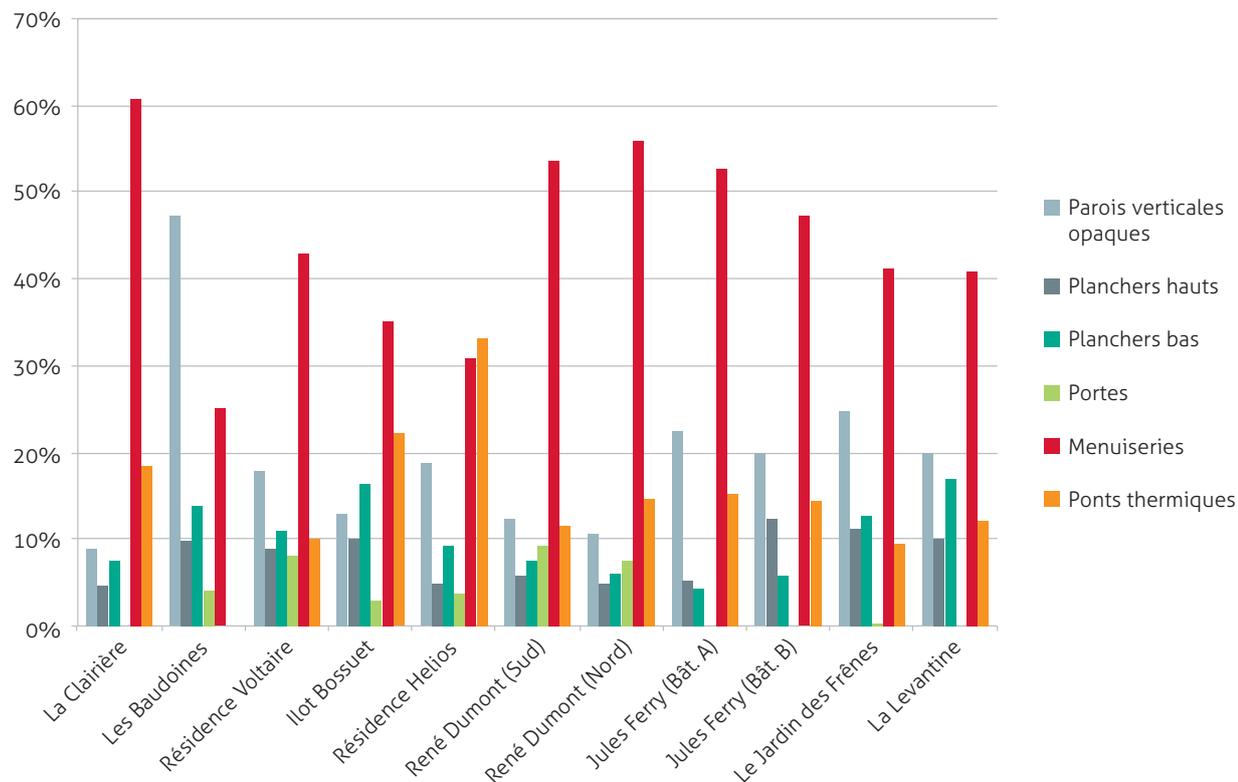


Rapporté à une analyse par bâtiment, le détail des déperditions thermiques montre bien que les menuiseries restent le point faible, même à triple vitrage et ce quelle que soit la date de construction. Mais l'analyse ne permet pas de dégager d'autres points de vigilance, l'ensemble des opérations ayant été réalisées dans un temps assez court (2009-2014).

Cela suggère surtout que, même si l'enveloppe connaît depuis quelques années une amélioration notable de ses caractéristiques globales, l'amélioration des performances de chaque groupe de produits s'est faite simultanément.

Il faudrait, pour parfaire l'analyse, comparer ces déperditions issues des menuiseries, entre celles à double vitrage et celles à triple vitrage, puis mesurer cet impact comparativement aux apports solaires et aux pertes générées.

Répartition des déperditions thermiques par opération

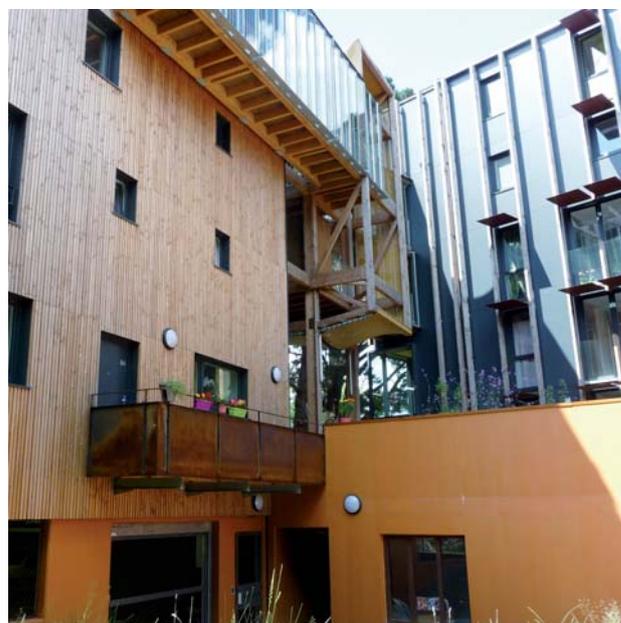


Equipements et solutions techniques

Toutes les opérations étudiées sont en ventilation mécanique double flux (VMC DF) – à l’exception d’une seule, équipée d’une ventilation hygro B.

Cette généralisation de la VMC DF contraint fortement les choix de production de chauffage et d’eau chaude, par les interférences qu’elle induit, bien plus que par son bilan énergétique.

Les différents systèmes de VMC DF installés dans chacune des opérations étudiées montrent la diversité des situations : la VMC peut être individuelle ou collective, couplée à des batteries chaudes individuelles (alimentée par une résistance électrique ou une PAC) ou une batterie hydraulique. Pour toutes les opérations, le dimensionnement de la VMC comprend désormais la satisfaction aux besoins de chauffage.



VMC DF individuelle	Batterie électrique	Résistance électrique PAC
	Batterie hydraulique	Chaudière collective gaz à condensation
	Chauffage d’appoint	Poêle à bois
VMC DF collective	Batterie chaude individuelle	Chaudière murale à condensation
		Panneaux radiants / rayonnants
		Chaudière collective bois ou gaz
		PAC géothermique
		Chauffage urbain

La VMC double flux : avoir des niveaux d’exigence élevés en phase chantier

- ▶ Un nettoyage initial de toutes les gaines à la livraison des logements après la phase chantier (ou mieux une protection des gaines lors de la phase chantier).
- ▶ Le choix de techniques adaptées et performantes (choix du bon produit à haut rendement).
- ▶ Des réglages initiaux en fonction de l’occupant (entrées d’air, acoustique).
- ▶ Un comportement vertueux de l’occupant (ne pas boucher les entrées d’air, apprendre à faire fonctionner un boîtier à trois positions).
- ▶ La nécessité de pénétrer dans le logement pour l’entretien des VMC individuelles (nettoyage et/ou changement de filtres) sauf si la conception de l’appartement prévoit une autre solution (par exemple accès depuis les circulations).

Ces choix d'assemblage des différentes solutions, rapportés à l'opération, n'ont pas permis de dégager de système plus performant qu'un autre, sur les plans technico-économiques. En attente d'une étude d'évaluation à faire sur un grand nombre de dispositifs comparables entre eux, cette disparité montre l'éventail des choix ouverts à la maîtrise d'œuvre, les différents moteurs de calcul favorisant largement la VMC DF. Cependant, une approche en termes de charges locatives (incluant coûts d'entretien et d'exploitation-maintenance – cf infra) conduirait à nuancer ce bilan énergétique globalement positif.

La seule opération sans ventilation double flux est une opération en accession, couplée à une opération d'habitat participatif : le Jardin de Jules, à Villeurbanne.

Cette opération est raccordée à un chauffage collectif bois – gaz. Le choix de la ventilation simple flux a répondu à une demande des futurs habitants, et semble leur donner satisfaction. Ce choix pourrait avoir été fait pour échapper aux contraintes d'entretien et de maintenance de la VMC DF, et au coût associé, coût que beaucoup de maîtres d'ouvrage gestionnaires jugent excessif. Cette opération est pourtant à un niveau d'exigence très proche du passif : la VMC DF ne semble donc pas « obligatoire » pour réaliser un bâtiment passif, contrairement à ce qu'avancent de nombreux bureaux d'études thermiques, pour peu qu'une approche globale et systémique des équipements soit correctement conduite. Un retour d'expériences élargi, dans le temps et l'espace, reste néanmoins nécessaire.

Opérations	Techniques de chauffage et de ventilation
La Clairière (51)	VMC DF individuelle alimentée par un puits canadien, appoint par batterie électrique
Les Baudouins (88)	VMC DF individuelle (tour Genvex 3 en 1 avec PAC intégrée sur air extrait), appoint par poêle à bois individuel et sèche serviette électrique en salle de bain
Résidence Voltaire (88)	VMC DF collective, appoint par chaudière bois desservant aussi un bâtiment municipal et sèche-serviette électrique en salle de bain
Ilot Bossuet, (45)	VMC DF individuelle, appoint par chaudière murale individuelle gaz à condensation
Résidence Helios (44)	VMC DF collective avec batterie chaude individuelle alimentée par une chaudière gaz collective
Résidence René Dumont (62)	VMC DF individuelle avec batterie chaude provenant d'une chaudière collective gaz à condensation et sèche-serviette électrique en salle de bain
Le Jardin de Jules (69)	Chaudière bois à granulés + chaudière gaz condensation
Jules Ferry (88)	VMC DF collective + batterie chaude issue d'une PAC géothermique
L'Escale (69)	VMC DF collective et chaufferie bois (granulés) avec chaudière collective gaz en appoint (ou secours)
Jardin des Frênes (35)	VMC DF collective avec batterie chaude individuelle assurée par une chaudière collective gaz à condensation
La Levantine (35)	VMC DF collective (1 par cage d'escalier) avec batterie chaude individuelle provenant d'une chaudière collective gaz à condensation

Des équipements à très hauts niveaux de performance

L'analyse récapitulative des performances réelles des bâtiments, pour les opérations pour lesquelles des informations sont disponibles, montre que les consommations énergétiques sont effectivement très faibles, au regard des autres sources disponibles traitant principalement des bâtiments basse consommation (dont celles du programme d'instrumentation de l'Observatoire de la performance énergétique du logement social). Ce constat est valable tant pour les niveaux de consommations conventionnelles, que pour les niveaux de consommations réels, là où un suivi a été mis en place par le bailleur.

COMMENTAIRE

Comparaisons entre bâtiments BBC et bâtiments passifs

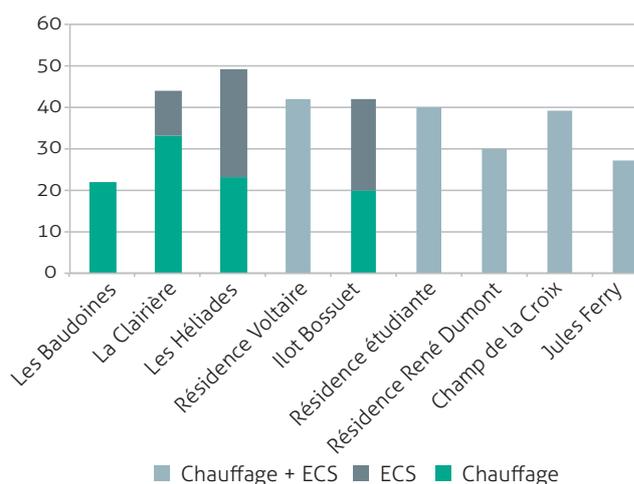
Les opérations BBC suivies dans le cadre l'Observatoire de la Performance Énergétique du logement social² ont une consommation réelle comprise entre 40 et 120 kWh/m².an pour le chauffage et l'ECS (entre 15 et 80 kWh/m².an pour le chauffage).

Les consommations réelles des opérations passives étudiées sont comprises entre 27 et 43 kWh/m².an, pour le chauffage et l'ECS.

Le suivi des consommations réelles, pour les postes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, montre des niveaux de performance remarquables. Les consommations sont comprises entre 20 et 40 kWh/m².an.

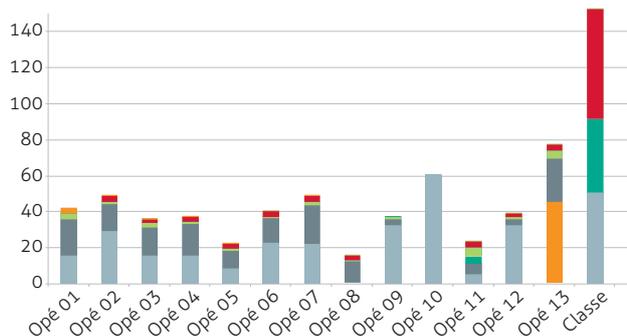
Ces niveaux rapprochés de ceux issus du programme d'instrumentation de l'Observatoire de la performance énergétique montrent que les consommations relevées, sur ces bâtiments passifs, sont en moyenne inférieures de moitié à celles des bâtiments basse consommation réalisés entre 2008 et 2012. Elles sont, pour certaines, comparables à celles des consommations réglementaires prévues par les moteurs de calcul (RT2005).

Consommations réelles des opérations en kWh/m² shon

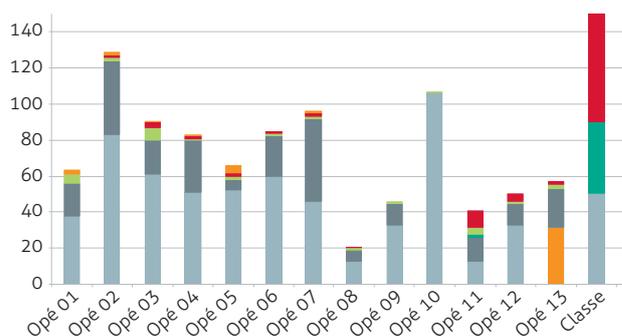


Détail des consommations des opérations instrumentées dans le cadre de l'Observatoire de la performance énergétique

Consommations conventionnelles par opération en kWh/m² shon/an



Consommations globales mesurées par opération



2. Source : Les premiers enseignements du Programme d'instrumentation de bâtiments thermiquement performants, Observatoire de la performance énergétique du logement social, l'Union sociale pour l'habitat, sept. 2014.

Le gain de performance entre les opérations basse consommation et les opérations passives, étudiées ici, est lié tout d'abord à l'isolation de l'enveloppe et à la réduction des ponts thermiques, mais aussi aux équipements installés, proposant une technologie plus aboutie, mais également à la qualité de leur installation (conduits, isolation des gainages...).

Une production EnR différenciée selon l'approche

A l'exception des opérations où la production d'ECS est liée à celle du chauffage (chauffage urbain, chaudière individuelle, ballon thermodynamique), la production d'ECS est assurée par le recours au solaire thermique, avec un appoint électrique ou gaz. L'analyse de ces opérations conduit aux mêmes constats que ceux faits sur d'autres opérations³ : les compétences en solaire thermique sont inégalement réparties sur le territoire national, et mériteraient d'être développées.

Toute la production des opérations dites à énergie positive est électrique et est principalement produite par des panneaux photovoltaïques. Une opération, Les Héliades, dispose d'une chaudière collective gaz à condensation avec cogénération, système qui n'a pas été reproduit depuis.

Le nombre de mètres carrés de photovoltaïque posés par logement va de 9 m² à 31,5 m², la production d'énergie allant de 40,4 à 153 kWhep/m² Shab, en rapport avec l'importance de l'installation PV et l'ensoleillement.

Ces grandes différences, entre les opérations, sont liées à la surface disponible (toiture...), mais également au bilan énergétique recherché :

- ▶ cinq opérations ont cherché **une compensation de la consommation d'énergie des 5 usages réglementaires par une production PV en kWhep/m².an** : Les Héliades, Le Quai Fleury, Résidence étudiante (Port-sur Saône), Villavenir Atlantique et Champ de la Croix,
- ▶ trois opérations ont cherché à couvrir **la totalité de la consommation d'énergie primaire tous usages** : Les Hauts de Pessicart, le Bois-Badeau et la Vallée Mouton II,
- ▶ deux opérations ont cherché à **satisfaire les exigences du BEPOS-Effinergie 2013** (Le Grand Carcouët et L'Esperia). Le premier n'y parvient pas (des préconisations faites par Pouget consultants montrent comment y parvenir), le second a atteint ces exigences en jouant sur le facteur de conversion du bois.

Panneaux photovoltaïques dans les opérations BePOS

Opérations	Nb de logements	Nb m ² PV	Prod. PV kWh/m ² Shon	m ² PV / logement	U bat	Cep (5 usages)
Les Héliades	30 logts	930	90	31	0,26	49
Quai Fleury	9 maisons	144	61	16	0,40	43
Résidence étudiante	20 studios et 1 T3	190	61	9	0,32	50
Les Hauts de Pessicart	44 logts	900	153	20,5	0,64	43
La Magnanerie	24 maisons	691	137	28,8	0,36	48
Le Bois Badeau	54 logts	1 056	129	19,5	0,35	61
Villavenir Atlantique	6 maisons	98	59	16,33		26-36
Vallée Mouton II	2 maisons	63	98	31,5	0,20	45
Champ de la Croix	10 maisons	168	46	16,8	0,16	46
Le Grand Carcouët	30 logts	260	40	8,66	0,49	34
L'Esperia	23 logts	245	55	10,6	0,30	50

3. Pour plus de précisions sur les potentialités et contraintes du solaire thermique : installation solaire thermique en logement social, L'Union sociale pour l'habitat, Cahier Repères n°4, mars 2014.

Cette analyse des modalités de production photovoltaïque montre pour l'essentiel qu'aucune opération n'est réellement à énergie positive (mais deux s'en approchent), même si quatre opérations sur cinq ont une production PV supérieure au Cep réel.

Par ailleurs, les modalités de production énergétique apparaissent encore insuffisamment maîtrisées par les bureaux d'études et les acteurs locaux. Tous les organismes sollicités pour cette étude ont fait part de problèmes de maintenance, résolus plus ou moins rapidement. Seule une opération a une production photovoltaïque égale ou supérieure à la prévision.

Ces divergences d'approche interrogent d'une manière générale les conditions de production locale, tandis que l'autoconsommation n'est valorisée ni dans le bilan énergétique, ni par les outils réglementaires ou les moteurs de calcul actuels.

Toute la production électrique issue des panneaux photovoltaïque est revendue à EDF, et est réinjectée dans le réseau électrique. Le bilan économique est donc conditionné par la revente, selon les tarifs en vigueur au moment de la demande de raccordement. Pour les premières opérations réalisées (2010), ces tarifs de rachat étaient encore très avantageux, aux environs de 63 cts/kWh pour les panneaux photovoltaïques et de 10 cts/kWh pour la cogénération (Les Héliades, tarifs contractuels sur 20 ans). Aujourd'hui, alors que le coût moyen d'installation de panneaux photovoltaïques est de l'ordre de 650 € HT/m²PV posé (2012), la rentabilité financière des investissements n'est plus toujours au rendez-vous : le temps de retour sur investissement a été estimé à 33 ans sur une opération (Le Bois Badeau). Ces installations et les conditions économiques de leur fonctionnement interpellent les organismes et les locataires :

► les bailleurs, qui initient dès lors des opérations financières, bien loin de leur métier de maître d'ouvrage – gestionnaire, et de leur mission d'intérêt général,

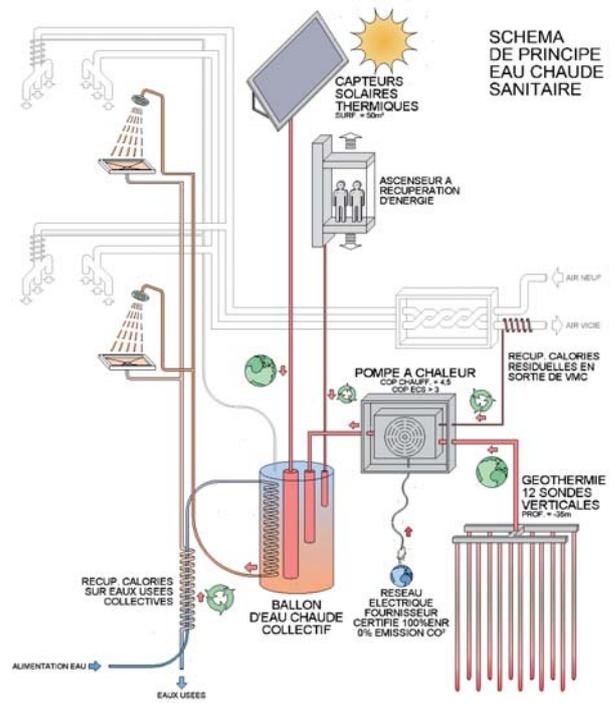
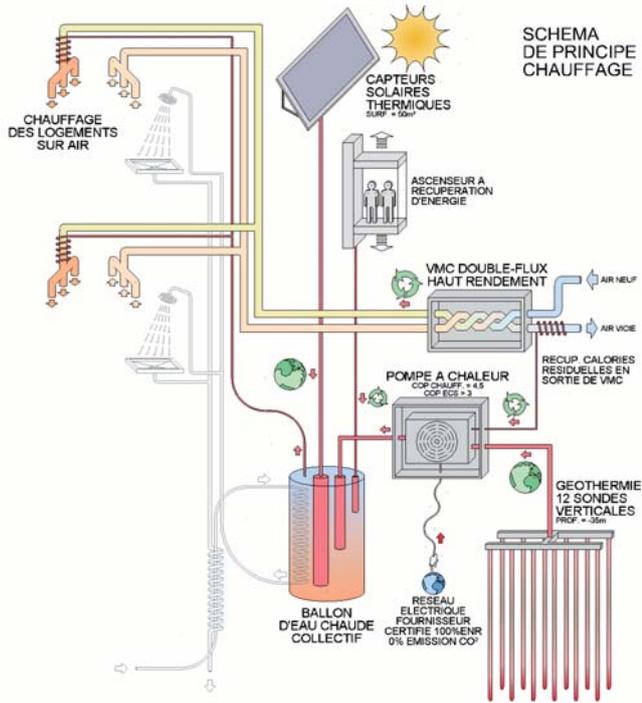
► les locataires, qui expriment leur insatisfaction : ils s'étonnent de devoir payer une facture d'électricité alors qu'ils habitent un BePOS, et regrettent de ne pas pouvoir profiter d'une valorisation de cette production à des tarifs qui leur seraient avantageux, à défaut d'une déduction totale de leurs consommations domestiques.

L'une des raisons du non-développement de l'autoconsommation tiendrait ainsi aux modalités de revente de l'autoproduction. En application des dispositions réglementaires actuelles, les organismes Hlm ne sont pas habilités à vendre de l'énergie, même autoproduite. Celle-ci ne peut être valorisée financièrement auprès des locataires, tandis que les organismes doivent supporter l'ensemble des frais et investissements nécessaires aux installations, sans possibilité de vente autre que celle permise au fournisseur historique – et au tarif fixé contractuellement. Un organisme seulement, le Toit Vosgien, a fait le choix de faire bénéficier indirectement les locataires de cette autoproduction : les consommations électriques des parties communes ne sont pas facturées aux locataires de l'immeuble, elles sont déduites, dans les comptes de l'organisme, des recettes financières des produits photovoltaïques.

Ceci amène à nuancer les différentes prises de position des experts en la matière, qui avancent que les BePOS sont « une excellente réponse à cette problématique nouvelle et urgente. [...] Transformer une charge (la facture énergétique) en une ressource financière (la revente de l'énergie produite par son bâtiment) est une des grandes vertus du BePOS, surtout en secteur social »⁴. Dans ces conditions, quels statuts et quelle présentation donner aux futurs « 300 000 producteurs d'énergie » ? Sans modification des règles de revente, prenant en compte les capacités de délestage du réseau aux heures de crête, les locataires risquent d'être soumis aux alignements de tarifications (attendus suite à la libéralisation du marché de l'électricité) sans pouvoir bénéficier des investissements à but énergétique réalisés sur le patrimoine locatif social, situation pour le moins paradoxale.

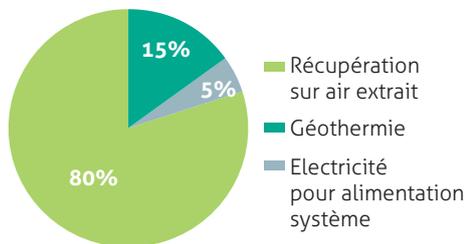
4. Plaquette de présentation de l'opération de Bretigny-sur-Orge, propos tenus par O. Sidler, Enertech.

Une mobilisation complète des ressources renouvelables dans les systèmes de production de chauffage et d'eau chaude (opération Jules Ferry - le Toit Vosgien)

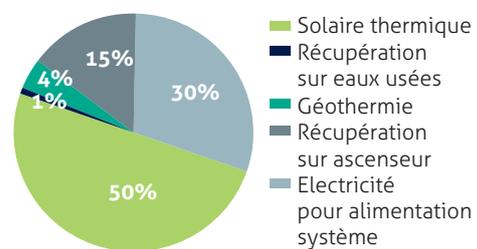


■ Energie renouvelable produite sur site ♻️ Energie recyclée 🌍 Energie renouvelable via fournisseur certifié

Répartition des sources énergétiques pour le chauffage



Répartition des sources énergétiques pour l'eau chaude sanitaire



100% d'énergie renouvelable, 95% d'énergie gratuite

©Schémas : ASP Architecture

DES OPÉRATIONS VITRINE

La plupart de ces opérations, nous l'avons vu, ont été distinguées. Toutes ont été conduites en étroite partenariat avec les collectivités, qui ont largement contribué à leur financement. Mais les surcoûts constatés (+20%) et la (très) forte mobilisation de fonds propres interrogent la capacité des organismes à généraliser ces opérations innovantes, d'autant plus que les prestations n'ont pas toujours permis de baisser les charges locatives – même si la baisse des consommations énergétiques est avérée. ┘

Un coût d'investissement encore important

La dispersion des coûts de travaux est plus importante pour le collectif que pour les maisons individuelles. Cela tient en grande partie à la composition de la structure porteuse et aux équipements retenus pour atteindre les performances. Pour les immeubles collectifs, les coûts de construction de l'échantillon étudié vont de 1 050 à 1 990 € HT/m² shon avec une moyenne de 1 472 € HT/m² shon (tous lots). **Les montants de travaux (frais de construction) relevés pour ces opérations sont supérieurs de près de 20% à ceux des opérations BBC ou RT2005**, estimés à 1 250 € HT/m² shon⁵.

Ces montants sont donnés sans les investissements nécessaires à l'installation photovoltaïque, très variables selon les projets et les surfaces installées, qui renchérisse l'opération de 3 à 4% environ.

Les montants de travaux ne sont pas similaires entre opérations. Le choix de la structure porteuse influence également :

- ▶ les coûts de construction moyens d'une structure béton s'élèvent à 1 250 €/m² shon ;
- ▶ les structures bois ou béton avec ossature bois sont plus coûteuses, de l'ordre de 1 400 €/m² shon.

L'augmentation du pouvoir isolant des parois (y compris des parois vitrées) et celle du coût de construction apparaît clairement dans ces quelques données restituées par les organismes, opération par opération. Cependant, l'analyse croisée n'a pas permis d'établir de relation directe entre pouvoir isolant et coûts, les augmentations apparaissant par palier. Des investigations complémentaires restent nécessaires, sur un plus grand nombre d'opérations, afin d'établir une telle corrélation.

Une analyse fine des surcoûts d'investissement a été menée par les maîtres d'ouvrage sur deux opérations passives.

Pour l'opération La Clairière (2010), le Foyer Rémois a comparé les coûts avec ceux d'une opération BBC (2009). L'analyse des surcoûts par poste indique un surcoût réel important, de l'ordre de 24%. Aujourd'hui, le Foyer Rémois estime qu'une partie de ce surcoût pourrait être revue à la baisse, suite au développement de certains produits et technologies. Cependant, le surcoût pour arriver au niveau passif reste élevé, de l'ordre de 15 à 20% par rapport à une construction respectant la RT 2005 (soit 1 150 à 1 200 € HT/m² shon). La ventilation de ce surcoût est la suivante : 5 à 8% provenant de l'enveloppe et 10 à 12% des équipements et systèmes.

Coûts des travaux (€ HT /m²/shon)

- ▶ Moyenne collectifs : 1 470 € TTC/m² Shon (de 1 050 à 1 990 € TTC/m² Shon).
- ▶ Moyenne individuels : 1 700 € TTC/m² Shon (de 1 470 à 1 880 € TTC/m² Shon).

Surfaces des logements

- ▶ Collectifs : 91 m² shon (de 62 à 118 m² shon/de 57 à 100 m² Shab) – ratio moyen : 0,92.
- ▶ Individuels : 98 m² shon (de 85 à 114 m² shon/de 74 à 95 m² Shab) – ratio moyen : 0,87.

5. Source : Les coûts de production des logements locatifs sociaux depuis 2005, Caisse des Dépôts, Eclairages n°1, nov.2012

Analyse des surcoûts de l'opération de Bétheny

Lots	Poste	Prix €/m ² installé (valeur 2009)	Montant HT	Montant en €/m ² shon	% du coût total
Gros œuvre	Isolation du plancher haut 150 mm	34,86 €/m ²	15 192	10	0,69%
Revêtement extérieur	ITE CELLOMUR ULTRA + (- 300 mm)	96,01 €/m ²	78 824	51	3,57%
	Isolation enterrée	151,65 € / m ²	9 130	6	0,41%
Couverture	Isolation toiture - 240 mm	88,58 €/m ²	33 839	22	1,53%
Menuiseries extérieures	Triples vitrages - châssis bois	1574,66 €/m ²	54 074	35	2,45%
	Triples vitrages - châssis alu + stores métalliques extérieures	898,56 € / m ²	203 535	132	9,23%
Menuiserie intérieure	Blocs portes palières CLIMAPHONE	475,18 €/logt	4 277	3	0,19%
Plomberie Chauffage	Puits canadien	11 288,62 €/13 logts	11 289	7	0,51%
	Distribution d'air	1 455,81 € / logt	18 926	12	0,86%
	VMC double flux individuelle	7 227,11 €/logt	93 952	61	4,26%
	Chaudière gaz condensation 70 kW		-	-	
	Fourniture et pose adoucisseur Echangeur à plaque ballon 500 L.		-	-	
Carrelage	Isolation sous chape flottante	43,35 €/m ²	15 463	10	0,70%
TOTAL			538 501	350	24,40%

Source : Foyer Rémois

Pour l'opération passive Hélios (2012), la SAMO a estimé le surcoût à 17% par rapport à une opération THPE. La comparaison intègre un surcoût d'honoraires (mission complémentaire de maîtrise d'œuvre, labellisation, suivi des consommations et des locataires) et d'études estimé à 15 €/m² et une actualisation de 33 €/m². **Le surcoût de la construction seule est de 195 €/m² shon, soit 17%.** Ce surcoût est principalement lié au système constructif d'isolation et de menuiseries triple vitrage et au système de chauffage et de ventilation.

Analyse des surcoûts de l'opération Résidence Hélios

La décomposition des surcoûts, établie par lot, est la suivante :

- ▶ structure des parois extérieures en prémur isolé : + 50 €/m² shon (par rapport à des murs parpaings en individuel et voile béton en collectif et enduit),
- ▶ surépaisseur de l'isolant toiture et terrasse : + 12 €/m² shon,
- ▶ bardage extérieur en tôle thermolaquée avec incorporation d'une isolation renforcée : +71€/m² shon (par rapport à une finition enduit monocouche ou peinture),
- ▶ surcoût triple vitrage et surisolation des portes extérieures pleines : + 31 €/m² shon (par rapport à des doubles vitrages),
- ▶ suppression des doublages intérieurs (moins-value) : - 30 €/m² shon (l'ITE du passif évite l'isolation par l'intérieur),
- ▶ surépaisseur de l'isolation des plafonds floqués : +2 €/m²,
- ▶ ventilation double flux, chaufferie centralisée, distribution hydraulique calorifugé, régulation, système de comptage énergétique : +65€/m²,
- ▶ suppression de la peinture sur les parties isolées par l'extérieur (moins-value) : - 6€/m².

Source : SAMO



L'ingénierie des projets BBC-BePOS reste dans les mêmes fourchettes, en montants comme en prestations, à celle actuellement réalisée dans les missions de maîtrise d'œuvre. A contrario, l'ingénierie des projets à orientation passive est considérée, par tous les acteurs, comme plus importante que celle nécessaire pour la réalisation des bâtiments RT 2012. Ces montants sont compris entre 9 et 17% du coût de travaux (€ HT), les 17% étant ceux d'une petite réalisation de quelques individuels ayant nécessité de forts développements de la part du bureau d'études (simulations, élaboration de scénarii...). La moyenne des montants de prestations de maîtrise d'œuvre est à 11%, soit des montants globalement comparables en pourcentage avec ceux pratiqués jusque-là. La légère variation à la hausse des prestations intellectuelles qui en résulte est peu sensible sur le prix de revient global de l'opération.

L'analyse détaillée des projets passifs montre que :

- ▶ le surcoût actuel en honoraires peut être chiffré entre 10 et 15 €/HT/m² shon,
- ▶ la durée de conception est plus longue, ce qui peut entraîner des coûts d'actualisation non négligeables.



À RETENIR

Les surcoûts moyens, ingénierie et construction cumulés, sont de l'ordre de 225-240 €/HT/m² shon.

Coûts des travaux (€ TTC/m² Shab)

- ▶ Moyenne collectifs : 2 063 € TTC/m² Shab (de 1 718 à 2 726 € TTC/m² Shab).
- ▶ Moyenne individuels : 2 400 € TTC/m² Shab (de 2 195 à 2 675 € TTC/m² Shab).

La recherche de matériaux à fort pouvoir isolant et d'équipements performants a donc un coût non négligeable, qu'il faut financer.

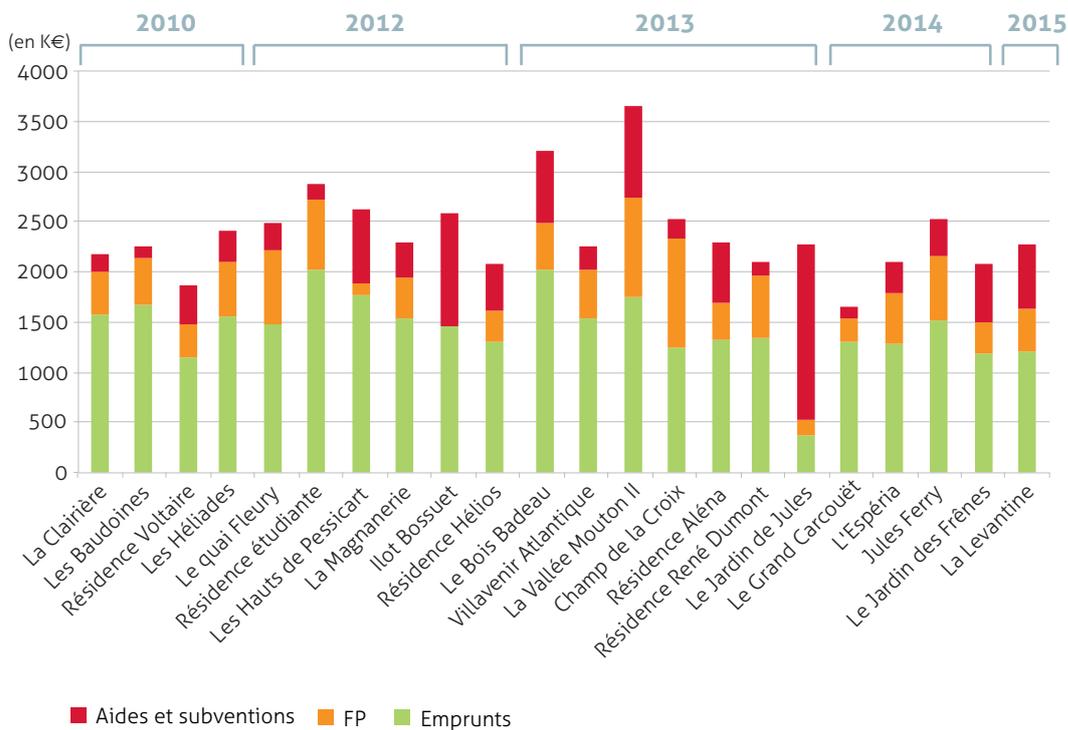
Les collectivités ont été, pour la plupart, très impliquées dans la bonne réussite de ces opérations phares sur leur territoire.

Elles se sont fortement mobilisées financièrement : les niveaux de subventions apportés à ces opérations sont sans commune mesure avec les apports d'aides pratiqués pour les autres opérations de logement social locatif. Citons, par exemple, l'apport exceptionnel de la Ville d'Orléans pour la réalisation de l'îlot Bossuet, qui a compensé les surcoûts de l'opération et a permis à l'organisme d'éviter toute mobilisation de fonds propres. L'effort de participation des collectivités se situe en moyenne à 17%, avec des montants apportés bien supérieurs à ceux généralement octroyés pour une construction neuve de logement social.

Sources de financement des opérations

	Mini – maxi	Moyenne relevée	Moyenne France Construction neuve*
Aides et subventions	5,1% - 42,9%	17%	10%
Emprunts	47% - 80%	63%	75%
Fonds propres	4% - 44%	21%	15%

Source : DHUP, base Sisal, financement moyen d'un logement PLUS, 2013



Le haut niveau d'aides et subventions ne doit pas occulter le haut niveau de fonds propres des organismes injectés dans ces opérations. Rapporté au logement, il est supérieur de plus de 40% à celui nécessaire pour la réalisation d'une opération BBC.

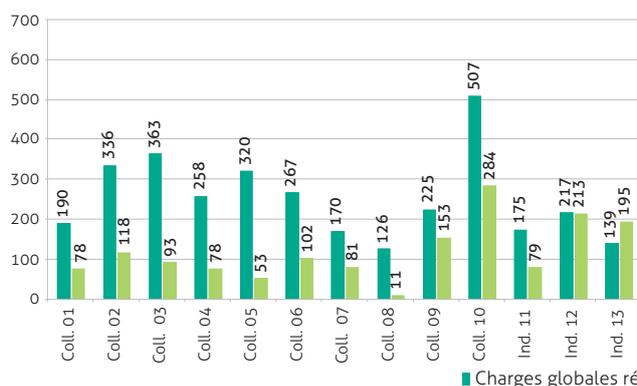
Les emprunts restent mobilisés à hauteur d'environ 100 k€ par logement (entre 1 000 et 1 500 €/m²Shab), ce qui reste supérieur à ceux des opérations courantes.

Cette hausse constatée de la part des aides et subventions et des fonds propres, dans les plans de financement de l'immense majorité de ces opérations innovantes, ne peut être maintenue, dans le cadre d'une généralisation de ces niveaux de performances. A long terme, ce niveau de fonds gratuits (fonds propres et subventions) n'est pas soutenable, compte-tenu de la baisse prévisible des fonds propres des organismes et des contraintes lourdes pesant sur les finances des collectivités locales.

A l'heure où une multiplication du nombre d'engagement de ces opérations est observée, en tant que réponse immédiate aux sollicitations de collectivités et en tant que préparation des organismes Hlm à la généralisation de ces prochains standards, **il convient de s'interroger sur les modalités de financement adéquates à mettre en œuvre**, afin de permettre une généralisation de ces opérations à très haut niveau de performance.

Détail des consommations des opérations instrumentées dans le cadre de l'Observatoire de la performance énergétique

Comparaison des charges annuelles du poste chauffage par logement entre le réel et le réglementaire (en € TTC)



Des charges locatives faibles... mais plus élevées que prévues

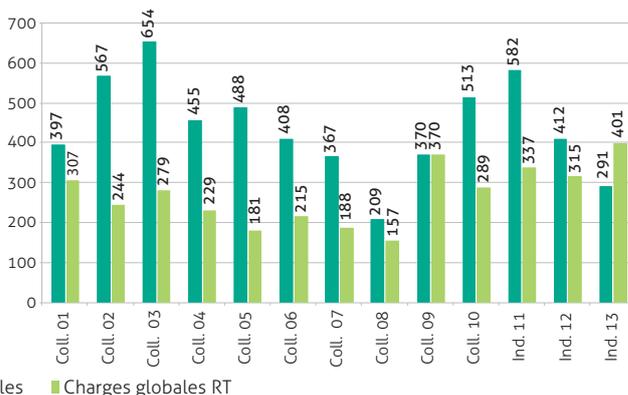
Les montants de charges des opérations passives étudiées sont en très nette baisse, comparativement aux réalisations antérieures. Toutes les opérations n'arrivent cependant pas à atteindre ce faible niveau de charges énergétiques. Il convient, par ailleurs de différencier les consommations en ressources énergétiques (électrique, gaz, bois...) des coûts générés par l'entretien – maintenance des équipements de production de chauffage, d'eau chaude sanitaire et de ventilation.

Pour la Nantaise d'habitations, les charges de chauffage et d'ECS d'un logement construit en application de la RT2005 s'élèvent à environ 650 € par an, et, pour un logement BBC, à environ 500 € par an. A périmètre de poste égal, ces mêmes charges devraient être comprises entre 250 et 300 € par an. En moins de cinq ans, les charges énergétiques en euros ont ainsi été divisées par deux, au bénéfice des occupants d'un logement à orientation passive.

Les charges des bâtiments à énergie positive construits selon la RT2012, quant à elles, sont semblables à celles du reste de la production neuve actuelle, au standard BBC.

Les charges annuelles des bâtiments passifs varient du simple au double : de moins de 300 € par mois à près de 600 €. Les raisons de ces écarts tiennent, pour une faible part, aux différences de consommations énergétiques constatées entre les opérations. Elles tiennent surtout aux écarts de prestations entre les opérations (frais d'abonnement, de maintenance et d'exploitation), selon qu'elles ont ou non installé – voire multiplié – les équipements performants.

Comparaison des charges énergétiques annuelles globales



Source : Observatoire de la Performance énergétique, programme d'instrumentation de 21 opérations BBC, 2014.

Coûts de maintenance constatés pour les opérations passives, par équipement

Opérations	Technique	Coût d'entretien annuel	Ratio par logement en €/an
La Clairière	Puits canadien	200 € HT	15 € HT
	VMC Double flux individuelle	1 700 € HT	131 € HT
	ECS solaire	1 370 € HT	105 € HT
	Comparaison BBC : chaudière individuelle gaz et VMC hygro B ou gaz <i>(source Foyer Rémois)</i>		132 € HT
Les Baudoines	PAC Genvex 3 en 1		
	ECS solaire		
Ilot Bossuet	VMC Double flux individuelle et chaudière gaz (P2)	450 € HT	90 € HT
Hélios	VMC Double flux collective		60 €
	VMC Double flux individuelle		<i>changement de filtres et déplacements</i>
	ECS solaire		
	Comparaison BBC : chaudière individuelle gaz et VMC hygro B ou gaz <i>(source Energelio)</i>		100 € HT
René Dumont	VMC Double flux individuelle		200 € HT <i>(2 filtres par an)</i>
	Comparaison BBC : chaudière individuelle gaz et VMC hygro B		145 € HT <i>(source Habitat 62/59)</i>
Le Jardin de Jules	Chaudière collective bois		
Jules Ferry	VMC Double flux collective	1 250 € HT	48 € HT
L'Escale	ECS solaire		
	VMC double flux		
	Chaudière bois granulés		
	Chaudière gaz (en secours)		
	ECS solaire		75 € HT
Le Jardin des Frênes	VMC Double flux collective		
	ECS solaire		233 € HT

Pour toutes ces opérations, la question de l'estimation du premier appel de charges locatives énergétiques (pour les opérations à installation collective) s'est révélée problématique, par absence de référentiel et de base comparative disponibles.

Les conséquences en sont doubles :

► d'une part, certains services de gestion ont « surestimé » certains postes, en se basant sur des consommations d'opérations BBC ayant des équipements « similaires ». C'est oublier le haut rendement de ces installations, permis par les récents développements en R&D,

► d'autre part, certains prestataires ont surestimé le temps à passer pour l'entretien et la maintenance de dispositifs innovants pour eux (VMC DF HR, « PAC 3 en 1 »...), et pour lesquels ils ont estimé avoir un niveau de maîtrise « insuffisant ». Les frais, proportionnellement élevés, sont ici une couverture de risque. Ils peuvent être amenés à baisser dans le temps.

Ces deux raisons, cumulées sur une opération passive, expliquent pourquoi l'appel de charges a baissé d'une centaine d'euros entre la première et la seconde année,

Dépenses énergétiques annuelles constatées réelles pour les locataires

Opérations	Dépenses énergétiques annuelles, tous usages confondus	Dépenses énergétiques annuelles chauffage seul
La Clairière	< 500 € pour un T3	60 € pour un T3
Les Baudoinés	530 € (maison de 74 m ²)	70 €
Résidence Voltaire		152 € pour un T3 (chauffage et ECS)
Ilot Bossuet	1 075 € pour un T4 (86 m ²)	120 € (hors abonnement)
Résidence René Dumont		164 €
Le Jardin des Frênes (estimation)	603,24 € à 633,96 €	304,32 à 327,48 € pour un T3

passant de 650 à 550 € pour un T3, toutes charges énergétiques cumulées (incluant l'entretien du ballon ECS solaire thermique, du système de chauffage, de la VMC DF et de l'adoucisseur).

Le détail des consommations et des charges énergétiques afférentes soulève de nouveaux points de vigilance pour les organismes Hlm : ceux de l'accompagnement des occupants au bon usage de leur logement, et ceux de la transmission des informations nécessaires au bon fonctionnement des équipements, à bon escient.

La valeur excessive de 1 075€ par an, toutes charges énergétiques, relevée sur un logement T4 de l'Ilot Bossuet ne provient pas de dysfonctionnements ou de malfaçons techniques ou constructives. Elle s'explique par les difficultés de gestion et de compréhension par l'occupante du fonctionnement des équipements installés : les consommations électriques liées au chauffage sont plus du double de celles de ses voisins. Dans son logement précédent, ancien et énergivore, tous les équipements étaient collectifs, et gérés par son bailleur. C'est un processus d'apprentissage défaillant qu'il nous faut ici constater.

Il convient donc d'informer les locataires des montants estimatifs prévisionnels de charges et des estimations de consommations, à l'aide de simulations, et de leur indiquer comment adapter usages et comportements à ces nouveaux équipements de production (température du logement, consommation d'eau chaude...).

Instrumenter et suivre les opérations sur la longue durée

Soucieux de vérifier si les résultats sont à la hauteur des attentes et des objectifs, les maîtres d'ouvrage associés à l'étude ont déployé, pour dix-sept opérations sur vingt-trois, un système d'instrumentation ou de suivi sur leur opération, sans que cette démarche soit généralisée sur les autres programmes neufs en cours. Cela confirme que ces opérations ont bien bénéficié d'une attention particulière.

Le système de suivi a pu prendre différentes formes, liées autant à la configuration du bâtiment qu'aux questions à étudier. Les grandes catégories d'objectifs étaient les suivantes :

- ▶ **permettre une comparaison des consommations**, entre les consommations prévisionnelles (conventionnelles : RT 2005, RT 2012, ou estimatives : PHPP) et celles réelles, mesurées,
- ▶ **sensibiliser les locataires aux « surconsommations »**, en particulier celles liées aux températures intérieures des logements,
- ▶ **pouvoir fournir des renseignements et indications précis** aux locataires, sur la vie de leur résidence,
- ▶ **disposer d'un outil de pilotage des charges locatives**, permettant l'analyse des répartitions des consommations par poste (chauffage, ECS...), et mieux répartir les charges locatives ou la bonne refacturation de charges individualisées,

► **vérifier le bon fonctionnement des installations**, une fois identifiés les écarts entre consommations prévisionnelles et réelles, et traiter les dysfonctionnements des équipements, optimiser les réglages...

Le dispositif le plus simple consiste en un relevé des compteurs d'énergie et d'eau (relevé à distance ou effectué par un collaborateur), afin de distinguer les consommations par grand poste (chauffage, ECS...) et/ou par affectation (parties communes, privatives...). Les données sont collectées à partir des compteurs déjà installés pour une répartition des charges locatives.

Un dispositif plus sophistiqué permet un croisement de relevés, afin d'établir des corrélations : coupler des mètres cubes d'eau et les kilowatts nécessaires à leur préchauffage, en différenciant par exemple l'apport solaire et l'appoint. Dans les cas où les consommations sont individualisées, les parties privatives ont été investiguées de la même manière.

Une troisième catégorie de dispositifs, plus complexes, met en place des sondes (température...) et des sous-comptages en sus des relevés de comptages usuels. C'est une instrumentation lourde, qui nécessite une multiplication des points de collecte : l'opération du Bois Badeau totalise 265 points de comptage.

Cette démarche d'instrumentation et de suivi est toujours conduite dans un objectif de capitalisation des informations recueillies, bien que les visées ne soient pas partagées entre les organismes.

Pour la grande majorité des opérations instrumentées, les informations collectées sont partagées avec les locataires, après traitement et anonymisation. Elles servent une politique d'accompagnement et de sensibilisation, et elles portent autant sur le coût (en euros) que sur les niveaux de consommations (en m³, en kWh...). Les modalités de retour auprès des locataires sont variables : par le biais de la régulation des charges locatives, à l'occasion d'un accompagnement individualisé

(avec des agences locales de l'énergie et du climat qui viennent éventuellement en support de l'action), ou par le biais de campagnes de sensibilisation ciblées sur les économies d'énergie. Ainsi, les locataires des logements aux surconsommations identifiées peuvent être accompagnés par les équipes de proximité, afin d'identifier les sources d'écarts et se faire expliquer l'impact des usages sur leur facture énergétique. C'est une démarche de crédibilité qui est engagée par les bailleurs, tant vis-à-vis des locataires, que des collectivités locales. Nous sommes ici bien loin du seul accès à l'information sur les consommations rendu obligatoire avec la RT 2012⁶.

Ces informations peuvent également alimenter un suivi des consommations sur le long terme : Sarthe Habitat, NEOTOA et Archipel Habitat ont chacun mis en place un portail web, accessible par leurs locataires, alimenté par les dispositifs de suivi installés. Le dispositif Eco-sésame de NEOTOA ouvre la possibilité aux locataires de paramétrer des niveaux d'alerte de consommations et/ou des objectifs, dans une démarche proactive et volontaire.

Cette collecte de données sert avant tout un usage interne. L'idée commune est de pouvoir comparer les postulats pris en considération dans les études thermiques, avec la réalité de l'usage et de l'occupation. Il s'agit d'en tirer des enseignements et des pistes de réflexion, le faible nombre de logements concernés ne permettant cependant pas d'extrapolation. Ces données permettent également d'objectiver les solutions techniques retenues, et leurs défauts. Pour NEOTOA, l'objectif est de comparer la pertinence de conception et de choix techniques entre deux opérations passives similaires. Certains organismes cherchent également à évaluer et objectiver les défauts de confort ressentis, en particulier à la mi-saison.

6. L'article 23 de l'arrêté du 26 octobre relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments impose que les maisons individuelles ou accolées ainsi que les logements des bâtiments collectifs d'habitation soient équipés d'un système permettant de mesurer ou d'estimer la consommation totale d'énergie dédiée à ce logement selon une clé de répartition à définir par le maître d'ouvrage lors de la réalisation du bâtiment. Ces systèmes permettent d'informer les occupants, a minima mensuellement, de leur consommation d'énergie.

Pour une grande partie des organismes interrogés, ces informations sont recueillies à des fins statistiques. Après traitement des données et selon l'occupation, les niveaux de consommations énergétiques permettront la constitution de nouveaux ratios internes spécifiques, les anciens ratios usuels n'étant plus valides avec ces bâtiments très performants.

Cependant, aucun bailleur ne considère ce suivi comme un outil de pilotage. Il est un outil de calcul des charges, de sensibilisation, d'information des parties prenantes, notamment pour le réglage des équipements.

L'instrumentation et le suivi ont un coût non négligeable. Certaines instrumentations ont été en totalité prises en charge par des énergéticiens qui souhaitaient disposer de retours de consommation sur les premiers bâtiments passifs (tel EDF R&D pour le Foyer Rémois). Cela reste une exception : les frais induits sont supportés par l'organisme dans l'immense majorité des cas. Ces dépenses peuvent être en partie couvertes par un financement de l'ADEME (à hauteur du tiers en moyenne).

Les montants investis sont compris entre 1 000 et 3 000 € par logement. Après déduction des aides apportées par les collectivités et l'ADEME, il reste à la charge du bailleur une dépense moyenne d'environ 1 500 € à lisser sur trois années (durée moyenne constatée des dispositifs de suivi), soit 500 € par logement et par an. Pour le Toit Vosgien, Nantes habitat ou NEOTOA, les coûts moyens sont à prendre « par opération » : ils varient de 30 et 50 k€, car ils incluent les frais de suivi et d'accompagnement pour toute la durée envisagée.

L'instrumentation complète du projet expérimental de Villavenir Atlantique a coûté près de 90 k€ (fourniture et pose des instruments, sondes...), et son suivi près de 30 k€ (analyses trimestrielles sur deux années complètes avec hébergement web).

Ces montants sont très élevés au regard des quittances et des charges énergétiques. Ils suggèrent que ces dispositifs n'ont pas vocation à perdurer ni à être généralisés. Pour autant, à ce jour, ces organismes les considèrent comme une étape obligée, nécessaire à la bonne compréhension de ces nouveaux bâtiments.



À RETENIR

Coût moyen constaté d'une instrumentation et d'un suivi : 500 € par logement et par an

COMMENTAIRE

Il reste que certains fabricants installent des compteurs embarqués sur certains de leurs équipements : les données fournies n'ont pas de valeur contractuelle, mais leur précision suffit amplement pour une première étape d'information, de sensibilisation et de vérification du correct fonctionnement des équipements.

Un premier « bilan carbone »

Deux organismes Hlm ont fait réaliser un bilan carbone de leurs opérations (la méthode employée n'a pas été précisée).

L'opération Les Baudoinés du Toit-Vosgien a un bilan net positif (stockage) de 15 tonnes de CO₂ (51 kg/m² Shab), suite au choix d'une construction bois (stockage de 73 tonnes de CO₂, soit 248 kg/m² Shab), une fois déduit le contenu carbone des autres matériaux de construction (estimé à 58 tonnes de CO₂, soit 197 kg CO₂/m² Shab). Il conviendrait, dans une approche globale, de comptabiliser également les émissions annuelles de CO₂ générées par les consommations d'énergie des ménages, estimées à 3,3 kg CO₂/m².an (37,4 kWh/m² x 90 g CO₂/kWh).

L'opération Jules Ferry du Toit Vosgien a nécessité 1 000 m³ de bois permettant de stocker 1 000 tonnes de CO₂, 600 m³ de paille équivalents au stockage de 200 tonnes de CO₂ et de la cellulose stockant l'équi-

valent de 20 tonnes de CO₂. Elle a aussi nécessité du béton, de l'acier et du verre impliquant une consommation de CO₂ de 120 tonnes. Le bilan net de l'opération est un stockage de 1 100 tonnes de CO₂, soit 500 kg/m² Shab. Une simulation comparative, sur un bâtiment similaire en béton / ITE polystyrène / menuiseries PVC livre un bilan déficitaire de 600 tonnes de CO₂ pour la seule construction. La consommation d'énergie primaire, estimée à 30 kWh/m².an en électricité (chauffage, ECS, éclairage, auxiliaires fluides et ventilation), émet environ 1,1 kg de CO₂ /m².an. Les émissions totales, incluant les consommations domestiques des ménages (environ 30 kWh/m².an), seraient de l'ordre de 3,8 kg de CO₂ /m²Shab.an, volume à comparer aux 500 kg de CO₂ stockés par m² Shab.an.

Une démarche similaire a été conduite sur l'Ilot Bossuet. Elle a permis de guider les Résidences Orléanaises dans les choix de matériaux à privilégier et dans l'optimisation des process de construction.

	Contenu en énergie de l'enveloppe extérieure	Contenu en carbone de l'enveloppe extérieure
Projet Ilot Bossuet	837 kWh/m ²	126 kg CO ₂ /m ²
Opération BBC (parpaing + PSE en ITI 16 cm)	1 230 kWh/m ²	240 kg CO ₂ /m ²
Opération conventionnelle (parpaing + PSE en ITE 24 cm)	1 580 kWh/m ²	303 kg CO ₂ /m ²

UNE MISE EN PERSPECTIVE

Deux approches ont été retenues par les organismes Hlm : le bâtiment à orientation passive, avec inertie renforcée et volonté de réduire au maximum les consommations énergétiques, et le bâtiment dit à énergie positive, valorisant une production d'énergie renouvelable, essentiellement par panneaux photovoltaïques. Ces deux démarches sont possibles, compte tenu des développements technologiques très importants ces dernières années, tant au niveau des systèmes passifs que des solutions actives (équipements hydrauliques et aérauliques) disponibles sur le marché. L'évolution des performances embarquées (Ubat ou rendements d'équipements), améliorées en un temps très court, témoigne de l'intérêt porté par les services R&D des industriels et de leur capacité à innover.

Ces deux démarches sont cependant bien différenciées, lorsqu'on les rapporte à l'un des objectifs initiaux des organismes : « réduire les charges locatives par la réduction des besoins énergétiques du bâtiment ». La comparaison, entre les opérations étudiées, montre que cet objectif est mieux atteint par les bâtiments à orientation passive.

Globalement, les maîtres d'ouvrage ont à résoudre la délicate question du financement des surcoûts occasionnés (20%) par rapport aux opérations BBC-RT2005, alors que les niveaux d'aides constatés ne pourront pas être systématisés à toutes les constructions neuves. Une partie pourra être absorbée par le développement technologique et la montée en compétence des acteurs. Le reste devra l'être par d'autres voies. La valorisation des énergies renouvelables pourra y contribuer mais cette question devra être abordée à l'échelle des territoires, toutes les parcelles ne disposant pas du même potentiel.

L'évaluation menée montre d'autres pistes de progrès, qui étaient considérées jusqu'à présent comme des limites à ces opérations à très hautes performances.

Le bâtiment reste un assemblage de composants, sur chantier, après prescriptions de la maîtrise d'œuvre. Le travail effectué pour une bonne exécution de bâtiments passifs fait état d'une nécessaire et indispensable coordination entre tous les acteurs intervenants, assortie de formations complémentaires éventuelles pour fiabiliser les résultats. La réalisation des carnets de détails et leur exécution devient une action partenariale, afin de résoudre les complexités techniques. Cela suggère une réorganisation des missions de chacun, mais également des responsabilités respectives dans cette nouvelle articulation entre la maîtrise d'œuvre et l'entreprise. C'est probablement ainsi que l'on résoudra la « somme de petits problèmes » que représente encore un bâtiment passif aux yeux des maîtres d'ouvrage. Par ailleurs, le recours à de nouvelles méthodes de test (thermographies, tests d'étanchéité à l'air...) a permis de vérifier la capacité d'adaptation des acteurs de la construction. Faut-il pour autant qu'elles soient systématisées et exigibles, comme le laissent entendre certains développements de labels ?

Les très faibles consommations interrogent également les répartitions des charges locatives. Au moment où de nombreux acteurs militent pour la généralisation des compteurs d'énergie pour « tous les logements », de nombreux organismes Hlm souhaiteraient forfaitiser ces charges énergétiques, dans le cadre d'une démarche gagnant – gagnant avec les locataires, et d'une réelle simplification dans la répartition des charges locatives. D'autre part, la pertinence des investissements sur des systèmes de chauffage coûteux se pose dès lors que les besoins énergétiques en chauffage sont devenus très faibles pour des bâtiments passifs. Le défi à venir est celui de l'optimisation de la production d'eau chaude sanitaire, devenue le premier poste de consommation énergétique, et le plus variable suivant les ménages.



PARTIE 4

MONOGRAPHIES

Méthodologie d'évaluation et d'analyse des opérations	64
Les opérations analysées	66
Foyer Rémois - La Clairière, Bétheny (51).....	68
Le Toit Vosgien - Les Baudoines, Gerbepal (88)	70
Le Toit Vosgien - Les Héliades, Saint-Dié-des-Vosges (88)	72
Le Toit Vosgien - Résidence Voltaire, Raon-l'Étape (88).....	74
Habitat 70 - Résidence étudiante, Port-sur-Saône (70).....	76
ICF Habitat Atlantique - Résidence du Quai Fleury, La Riche (37).....	78
Immobilière Méditerranée - Les Hauts de Pessicart, Nice (06).....	80
Résidences de l'Orléanais - Ilot Bossuet, Orléans La Source (45)	82
SAMO - Résidence Hélios, Clisson (44).....	84
Vaucluse - Logement La Magnanerie, Jonquières (84)	86
France Loire - Résidence Aléna, Saint-Doulchard (18).....	88
Habitat 62/59 Picardie - Résidence René Dumont, Béthune (62).....	90
Habitat de la Vienne - La Vallée Mouton II, Saint-Benoît (86)	92
3F - Le Bois Badeau, Brétigny-sur-Orge (91)	94
La Nantaise d'Habitation - Villavenir Atlantique, Nantes (44)	96
Rhône Saône Habitat - Le Jardin de Jules, Villeurbanne (69).....	98
Sarthe Habitat - Champ de la Croix, Etival-lès-le-Mans (72)	100
Angers Loire Habitat - L'Espéria, Montreuil-Juigné (49).....	102
Le Toit Vosgien - Jules Ferry, Saint-Dié-des-Vosges (88).....	104
Nantes Habitat - Le Grand-Carcouët, Nantes (44).....	106
NEOTOA - Le Jardin des Frênes, Mordelles (35).....	108
Rhône Saône Habitat - L'Escalé, Lyon (Lyon Confluence) (69).....	110
Archipel Habitat - La Levantine, Mordelles (35)	112

Bâtiments passifs, bâtiments à énergie positive

Méthodologie d'évaluation

Cette étude s'est attachée à analyser les contextes et conditions de mise en œuvre de tels bâtiments innovants et expérimentaux, mais également leurs bilans énergétique et économique, afin de présenter les conditions de leur réussite. Au-delà de la maturité des solutions présentées et du degré de motivation des organismes bailleurs interrogés, ces éléments d'information ont permis de détailler le contexte favorable à ces opérations et les conditions d'engagement des organismes pour une reproductibilité de ces opérations.

Cette étude est fondée sur vingt-trois réalisations d'organismes HIm, présentées ici selon les ambitions et les classifications énoncées par les maîtres d'ouvrage, en l'absence de définition officielle, ou d'obtention de certification ou de label. Cette sélection d'opérations s'est faite dans une logique de diversification des situations rencontrées (situation géographique, implantation, typologie d'habitat, structures et équipements utilisés...).

Chaque analyse d'opération comprend une description de la localisation et du contexte (objectifs, type de procédures...), une description des choix architecturaux et techniques, une analyse des performances initiales attendues, un retour d'expérience avec, dans la mesure du possible, une analyse socio-économique et financière du projet, une mesure des performances énergétiques réelles et des charges locatives supportées par les locataires, et une synthèse présentant les points de vigilance ou d'amélioration.

Plusieurs outils méthodologiques ont été mobilisés pour analyser ces opérations. Une visite sur place a été effectuée pour toutes les opérations, complétée par :

- ▶ **des informations fournies par le bailleur** lors de la visite ou par téléphone (entretiens complémentaires avec le bailleur, le maître d'œuvre ou un membre du groupement...),
- ▶ **des documents fournis par le bailleur** : document de consultation des entreprises (pièces administratives et techniques du marché de travaux...), pièces techniques et documents d'architecture (avant-projet d'architecture, études de sol, plans de masse et plans des bâtiments, planches de détails, notices acoustiques, rapports

d'étanchéité à l'air, études thermiques, rapports de contrôle technique...), tableaux de bord, comptes rendus de réunions de chantier ou de travail, dossiers de financement, études économiques, coûts des travaux, plan général de coordination de sécurité et de protection de la santé, analyse de cycle de vie, etc.,

- ▶ **des documents de présentation de l'opération** réalisés par le bailleur ou la maîtrise d'œuvre pour différentes manifestations (salons, conférences, groupes de travail...),
- ▶ **des documents rassemblés suite à une analyse bibliographique complémentaire** : sites web des bailleurs, documents sur les écoquartiers ou sur les projets de la ville ou de l'aménageur, séminaires professionnels, résultats de projets de recherche et d'expérimentation (par exemple du PUCA), articles de presse, études diverses (en France, dans un autre pays européen ou pour la Commission européenne), etc.

Cependant, les données recueillies ne permettent pas d'apporter le même niveau d'information en fonction des opérations, notamment concernant le suivi de consommations réelles, une fois l'opération livrée et habitée (les organismes n'ayant pas tous mis en place un système de suivi ou l'opération étant encore trop récente pour avoir des premiers retours sur les consommations réelles). Le niveau de détail sera variable en fonction des monographies.

COMMENTAIRE

Cette étude porte sur 582 logements :
517 collectifs et 65 individuels.

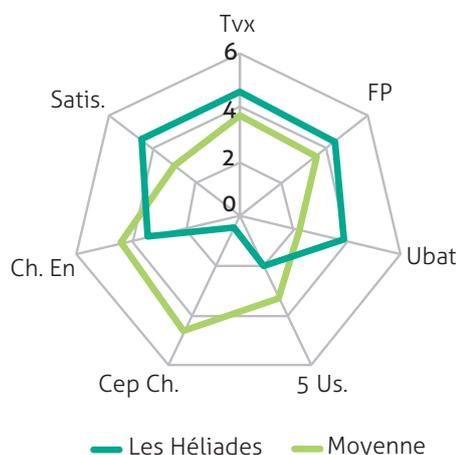
et d'analyse des opérations

Ces monographies, présentées ci-après par année de livraison et par ordre alphabétique, permettent d'identifier les caractéristiques techniques des opérations, mais également le contexte global dans lequel elles s'inscrivent. Cela permet de mettre en avant les bonnes pratiques à chaque phase, en conception, en réalisation puis en maintenance, mais également les indicateurs de suivi pertinents. Les « Consommations et dépenses énergétiques » et les « Retours d'expériences » permettent, quand les données sont suffisantes pour connaître les performances réelles du bâtiment et ainsi de voir s'il atteint les objectifs de consommations énergétiques visées initialement.

Présentation du « radar »

Afin de positionner chacune des opérations les unes par rapport aux autres et par rapport à la moyenne des autres constructions neuves de la même année de réalisation, des indicateurs ont été mis en série :

- **le coût des travaux (Tvx)** : plus la valeur de l'indicateur est élevée, plus le prix de l'opération (honoraires & travaux, par m² habitable) est élevé, comparativement au prix de revient d'une opération moyenne de construction neuve en France, de la même année (source comparative : Caisse des Dépôts, Eclairage n°1 Les coûts de production des logements locatifs sociaux depuis 2005, nov. 2012),
- **la part des Fonds propres (FP)** : plus la valeur est élevée, plus l'opération a mobilisé des fonds propres dans son montage financier, comparativement à la mobilisation d'une opération de construction neuve moyenne en France (source comparative : Caisse des Dépôts, Eclairage n°1 Les coûts de production des logements locatifs sociaux depuis 2005, nov. 2012),
- **la valeur de l'Ubat (Ubat)** : plus l'indicateur relatif au coefficient de transmission surfacique moyen de l'enveloppe est élevé, plus les performances d'isolation du bâtiment sont élevées,
- **les consommations conventionnelles des 5 usages, selon la RT 2012 (5 Us.)** : plus la valeur des 5 usages (Cep max) est élevée, plus les consommations énergétiques conventionnelles sont élevées (source comparative : exigences RT2012 Cepmax par région),
- **la consommation de chauffage en énergie primaire (Cep.Ch.)** : plus l'indicateur est élevé, plus les consommations énergétiques prévisionnelles de chauffage sont élevées (source comparative : Ush, Observatoire de la Performance énergétique),
- **le montant des charges énergétiques (Ch.En.)** : plus la valeur est élevée, plus les charges locatives payées par le locataire sont élevées (source comparative : Ush, Observatoire de la Performance énergétique),
- **la satisfaction des locataires (Satis.)** : plus la valeur est élevée, plus les locataires ont fait part de leur satisfaction et de leur confort d'usage à l'intérieur de leur logement (source comparative : Ush, Observatoire de la Performance énergétique).





Les opérations

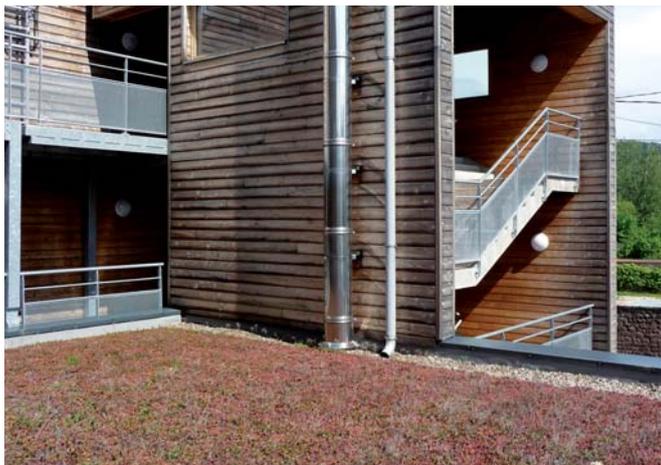
2010	Foyer Rémois : La Clairière, Bétheny (51) 68 <i>13 logements collectifs - VMC DF - puits canadien - triple vitrage - ECS solaire</i>
2010	Le Toit Vosgien : Les Bardoines, Gerbepal (88) 70 <i>4 logements accolés - Structure bois et paille – bloc compact associant PAC air/air, ballon ECS et VMC DF - ECS solaire - poêle à bois</i>
2010	Le Toit Vosgien : Les Héliades, Saint-Dié-des-Vosges (88) 72 <i>30 logements collectifs - Structure bois, bardage en métal laqué - VMC DF avec batterie électrique - chaudière collective gaz à condensation et cogénération - ECS solaire</i>
2010	Le Toit Vosgien : Résidence Voltaire, Raon-l'Etape (88) 74 <i>Réhabilitation de 2 bâtiments de 28 logements - ossature bois - VMC DF collective avec batterie chaude individualisée - chaudière bois</i>
2012	Habitat 70 : Résidence étudiante, Port-sur-Saône (70) 76 <i>20 logements étudiants + 1 logement gardien - Ossature bois - Double vitrage - Panneaux rayonnants - VMC DF - 190 m² PV</i>
2012	ICF Habitat Atlantique : Résidence du Quai Fleury, La Riche (37) 78 <i>9 maisons individuelles (au sein d'un programme de 20 maisons dont 11 BBC et 9 BePOS) Structure bois - béton, PAC air-eau et radiateurs BT, VMC DF, ECS solaire</i>
2012	Immobilier Méditerranée : Les Hauts de Pessicart, Nice (06) 80 <i>44 logements collectifs - Chauffage gaz individuel à condensation - ECS solaire - VMC hygro B – double vitrage - 900 m² PV - Coursives</i>
2012	Résidences de l'Orléanais : Ilot Bossuet, Orléans La Source (45) 82 <i>5 maisons en bande R+1 - Système constructif bois-béton - ossature, charpente et menuiserie bois - Doubles vitrages au sud et triples vitrages au nord - VMC DF - chaudière murale gaz à condensation</i>
2012	SAMO : Résidence Hélios (ZAC du Champ de Foire), Clisson (44) 84 <i>21 logements et 5 logements individuels - Structure en pré-mur béton isolé - VMC DF - triple vitrage - chaudière gaz condensation pour batterie chaude et ECS - ECS solaire - coursives</i>
2012	Vaucluse Logement : La Magnanerie, Jonquières (84) 86 <i>24 maisons individuelles en bande - Structure bois et béton, chaudières gaz à condensation avec panneaux solaires, VMC simple flux, 300 m² panneaux PV</i>
2013	France Loire : Résidence Aléna, Saint-Doulchard (18) 88 <i>21 logements collectifs - Ossature bois, isolation laine de verre - chaudière gaz à condensation - ECS solaire et gaz - VMC DF</i>
2013	Habitat 62/59 Picardie : Résidence René Dumont, Béthune (62) 90 <i>49 logements - Structure béton - triple vitrage bois/alu - VMC DF individuelle avec batterie chaude - chaudière gaz collective pour ECS et batterie chaude - coursives abritées</i>

analysées

2013	Habitat de la Vienne : La Vallée Mouton II, Saint-Benoît (86) 92 <i>2 maisons isolées de plain-pied - Orientation N/S - VMC DF - ECS solaire - Appoint électrique - Panneaux PV</i>
2013	3F : Le Bois Badeau, Brétigny-sur-Orge (91) 94 <i>54 logements collectifs - Structure béton - Chauffage urbain bois - VMC DF réchauffé par une batterie chaude provenant du chauffage urbain - 1 200 m² Panneaux PV</i>
2013	La Nantaise d'Habitations : Villavenir Atlantique, Nantes (44) 96 <i>6 maisons (accolées par 2) achevées en VEFA avec 3 systèmes constructifs distincts (métal, bois et béton)</i>
2013	Rhône Saône Habitat : Le Jardin de Jules, Villeurbanne (69) 98 <i>38 logements (accession sociale) - bois béton avec façades bois préfabriquées - Double vitrage bois - Chaudière bois à granulé + chaudière gaz en pointe et secours - PAC air-eau - VMC Hygro B - Panneaux PV: 260 m²</i>
2013	Sarthe Habitat : Champ de la Croix, Etival-lès-le-Mans (72) 100 <i>10 maisons individuelles accolées - Ossature bois, VMC DF avec ballon thermodynamique - Panneaux PV</i>
2014	Angers Loire Habitat : L'Espéria, Montreuil-Juigné (49) 102 <i>23 logements collectifs - Ossature bois - chaudière granulé bois, VMC hygro B, Panneaux PV - coursives au nord</i>
2014	Le Toit Vosgien : Jules Ferry, Saint-Dié-des-Vosges (88) 104 <i>26 logements collectifs - Ossature et charpente bois, isolation caisson de paille, bardage bois - Triple vitrage bois - VMC DF avec échangeur à roue - Récupération de chaleur sur eaux grises et ascenseur - ECS solaire - coursives</i>
2014	Nantes Habitat : Le Grand-Carcouët, Nantes (44) 106 <i>30 logements - Voile béton, VMC hygro B, menuiseries métalliques DV - panneaux PV - Coursives</i>
2014	NEOTOA : Le Jardin des Frênes, Mordelles (35) 108 <i>24 logements collectifs - VMC DF, Triple vitrage, batterie chaude et ECS par chaudière gaz condensation, ECS collective solaire</i>
2014	Rhône Saône Habitat : L'Escale, Lyon (Lyon Confluence) (69) 110 <i>84 logements (dont accession sociale) et commerces en RdC - Structure bois béton - menuiseries DV bois - 3 chaudières bois en cascade + chaudière gaz à condensation - ECS solaire - Coursives</i>
2015	Archipel Habitat : La Levantine, Mordelles (35) 112 <i>26 logements collectifs - VMC DF, batterie chaude et ECS par chaudière gaz collective condensation, ECS solaire, triple vitrage</i>

Le Foyer Rémois

Un modèle de bâtiment passif décliné sur le territoire européen



Identité, contexte et motivations

Le point de départ de cette opération est un partenariat avec BASF France qui a apporté des produits et une expertise pour « une construction durable à un coût économiquement abordable ». Ce partenariat repose sur une conception de bâtiments pré-industrialisés et modulables qui s'est concrétisée par une première réalisation de bâtiment passif à Bétheny (démarrage en 2008 et livraison en 2010) puis, avec Habitat 62/59 Picardie par le projet de 49 logements à Béthune (cf. infra l'opération René Dumont).

Le partenariat avec BASF s'est élargi depuis 2011 dans le cadre du projet européen Buildtog (« Building Together »). Il s'agit de construire un même immeuble passif de logements sociaux dans plusieurs villes d'Europe à partir d'un projet initial conçu par le cabinet d'architecture ANMA. Ce projet, porté depuis par l'association Eurhonet (European Housing Network) vise à construire des immeubles labellisés Passivhaus en R+3 ou R+4 d'une trentaine de logements. Il a permis la création d'un outil d'aide à la conception et de recommandations (matériaux et systèmes à utiliser) qui sert de base pour l'adaptation du projet dans chaque ville d'Europe où sera reproduit l'immeuble.

Cette opération satisfait aux exigences du label BBC Effinergie et du PassivHaus (certification par La Maison Passive en décembre 2013).

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : prémurs constitués de panneaux en béton préparés en usine et assemblés directement sur chantier - ITE de 30 cm de polystyrène expansé graphité Néopor®.
- › Toiture végétalisée avec substrat de 50 cm pour récupérer l'eau de pluie.
- › **Menuiseries** : triple vitrage (menuiserie alu, pare soleil à lames orientables).
- › **Chauffage et ventilation** : VMC DF individuelle avec récupérateur de chaleur et puits canadien.
- › **ECS** : solaire (34,5 m² de panneaux solaires installés sur le toit du bâtiment) et appoint électrique (raccordement à des ballons individuels de stockage de 300 litres).

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : 2010
 1 bâtiment R+3
 13 logements : 2 T2, 2 T3, 8 T4 et 1 T5
 Surface habitable : 1 289 m²
 Prix location moyen : de 362 € pour un T2 de 68 m² à 566 € pour un T5 de 127 m²
2 058 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires	256	.....9%
Construction	2 397	.....85%
Charges foncières	152	.....5%
Total	2 805	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres	565	.....20%
Subventions	225	.....8%
Prêts	2 015	.....72%
Total	2 805	

Performances conventionnelles

Ubat (W/m².K)0,450

Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWhep/m²)

Chauffage	19,9
ECS	26,6
Auxiliaires ventilation	9,33
Autres auxiliaires	1,10
Eclairage	6,37
Total	63,3
Perméabilité à l'air	0,37 (vol/h à n50)

La Clairière à Bétheny (51)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Un accompagnement des locataires est réalisé à l'entrée dans le logement, avec la distribution d'un guide intitulé « Bienvenue sur le site » qui présente les techniques mises en œuvre, leur fonctionnement et leur intérêt.

Tous les ans, au début de l'été (en mai), est également distribué un prospectus ou document d'une page afin de rappeler les bons gestes et notamment le fonctionnement de la VMC double flux.

Consommations et dépenses énergétiques

Le bâtiment a fait l'objet d'un suivi par usage sur trois ans par EDF (2010-2013).

Consommations d'énergie réelles en kWhep/m² shab (moyenne de 2010 à 2013)

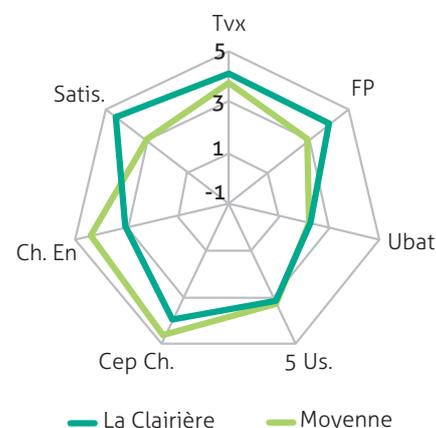
Chauffage	40	} 67
ECS	13	
Auxiliaires (ventilation et autres)	21	
Eclairage	3	
Electroménager	23	
Prises	59	
Total	158	

Le bilan est légèrement au-dessus de l'objectif des 120 kWhep/m². Par logement, il apparaît en 2010/2011 qu'un tiers des logements sont bien en-dessous de cette valeur, un tiers dans la moyenne (autour de 120 kWhep/m²) et un tiers au-dessus. En 2011/2012, trois des treize logements restaient bien au-dessus, deux légèrement au-dessus et huit en dessous.

Le poste le plus important est la consommation sur les prises de courant, liée notamment aux consommations audiovisuelles et multimédias et à tous les appareils électroménagers.

L'apport solaire pour l'ECS a permis de couvrir 49 %, 45 % puis 44 % des besoins d'ECS pour les années 2011, 2012 et 2013. Ce taux est largement inférieur aux prévisions du constructeur qui tablait sur un taux de couverture de 62 %.

Le bilan du couple puits canadien/VMC DF est très positif : le gain moyen de température est de 13,4°C en hiver et le fonctionnement de la VMC DF est conforme aux attentes (8 kWhep/m².an).



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Les résidents sont très largement satisfaits de leur système de chauffage passif : 11 résidents sur 13 n'utilisent aucun radiateur d'appoint et un seul utilise régulièrement l'appoint existant (chambre du bébé située au nord). Trois résidents seulement utilisent la marche forcée du ballon ECS, afin de compenser un manque de chaleur du ballon solaire (méconnaissance du système ou peur d'augmenter la facture pour les autres résidents). Pour une majorité de résidents, la facture énergétique « évolue dans le bon sens ». Le montant est similaire ou inférieur à celui de leur ancien appartement mais avec une surface nettement supérieure.

Chiffre clé : Les coûts de maintenance sont de 25 € TTC par mois et par logement.

Le Foyer Rémois a étudié de façon précise les coûts de maintenance des différentes installations :

- ▶ Puits canadien : 200 € HT/an
- ▶ VMC : 1 700 € HT/an
- ▶ ECS solaire : 1 370 € HT/an

Le Toit Vosgien

Un bâtiment passif qui ouvre la voie à d'autres opérations



Identité, contexte et motivations

Les objectifs du Toit Vosgien et de ses actionnaires majoritaires (la Chambre de Commerce et d'Industrie et la Ville de Saint-Dié-des-Vosges) sont de réduire les charges des locataires, de développer les matériaux biosourcés et de contribuer au développement de la filière bois.

Depuis 2000, le Toit Vosgien mène des expérimentations sur les opérations passives en bois (l'opération Hellieule de 20 logements en 2000 et une opération de 34 logements à Saint-Dié-des-Vosges en 2003) en partenariat avec la CCI. En parallèle, il a également expérimenté des opérations à énergie positive (cf. Les Héliades en infra).

L'opération des Baudoines concrétise le choix effectué par le Toit Vosgien en faveur de la construction passive. Elle a été certifiée par La Maison Passive en novembre 2010 et a reçu le prix d'excellence LQE (Lorraine Qualité Environnementale) en 2012.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : ossature bois et ITE paille (bottes de paille fixées contre le mur sur des solives puis enduites d'un mortier traditionnel à la chaux sur toile) et ouate de cellulose.
- › **Chauffage** : individuel par poêle à bois 2,5-6kW et tour compacte 3 en 1 (PAC sur air extrait avec COP de 4 assurant le préchauffage de la ventilation, ballon ECS et appoint chauffage).
- › **ECS** : panneaux solaires/PAC.
- › **Ventilation** : VMC DF avec récupération de chaleur.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : juin 2010
 1 bâtiment R+1
 4 logements de 74 m²
 Surface habitable : 294 m²
 Prix location moyen : 369,24 €
2 225 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	113.....	17%
Construction.....	541.....	82%
Charges foncières.....	9.....	1%
Total	662	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	138.....	21%
Subventions	34.....	5%
Prêts.....	490.....	74%
Total	662	

Performances conventionnelles

Ubat (W/m ² .K).....	0,183
Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWhep/m ²)	
Chauffage	11,7
ECS	35,9
Auxiliaires ventilation	11,5
Autres auxiliaires	1,5
Eclairage.....	6,8
Total	67,4
Perméabilité à l'air	<0,60 (vol/h à n50)

Les Baudoines à Gerbepal (88)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Un livret a été remis aux locataires et des explications leur sont fournies à leur entrée dans le logement.

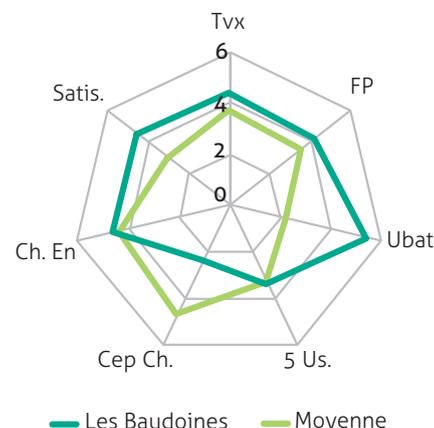
Consommations et dépenses énergétiques

Il n'y a pas eu d'instrumentation concernant les consommations d'énergie des logements.

Une enquête auprès de deux des quatre locataires indique une consommation de bois d'une stère pour un ménage et d'une stère et demi pour un autre ménage, soit environ cinq stères pour les quatre ménages, ce qui représente une consommation de 7 500 kWh (1 500 kWh le stère de sapin), soit 21,5 kWh par m² de Shon. La dépense est de l'ordre de 70 € par logement et par an.

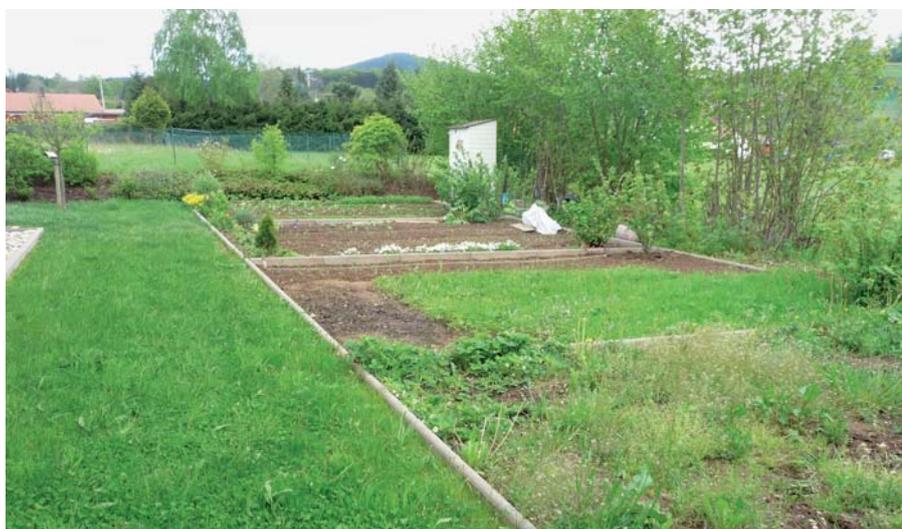
La consommation électrique représente pour les deux ménages enquêtés une dépense de 38 € et de 53 € par mois (sur dix mois). Au prix moyen de 0,13 c€ le kWh hors abonnement, la consommation électrique peut être estimée à 11 000 kWh soit 31,5 kWh/m² de Shon.

Chiffre clé : Les dépenses énergétiques sont de l'ordre de 460 € par logement et par an tous usages compris.



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Le Toit Vosgien considère aujourd'hui que l'enjeu est de faire du passif, le BePOS n'apportant pas grand-chose au locataire si le bâtiment est déjà passif. Par ailleurs, le BePOS consomme beaucoup de fonds propres. Le surinvestissement pour passer du BBC au passif est estimé à 8 à 10 %. Une grande différence se joue au niveau de la conception du bâtiment. Si pour le BBC, on renforce l'isolation d'un bâtiment traditionnel et on ajoute le recours aux EnR (le chauffage traditionnel gaz est possible), pour le passif, on part d'une conception bioclimatique avec une forte isolation et un recours aux EnR mais l'enveloppe est prioritaire, devant le système énergétique qui devient interchangeable (et modifiable). Pour le Toit Vosgien, le passif est devenu le standard de construction (plusieurs opérations ont été lancées suite à celle-ci).



Le Toit Vosgien

De la « passivité » à la « positivité »



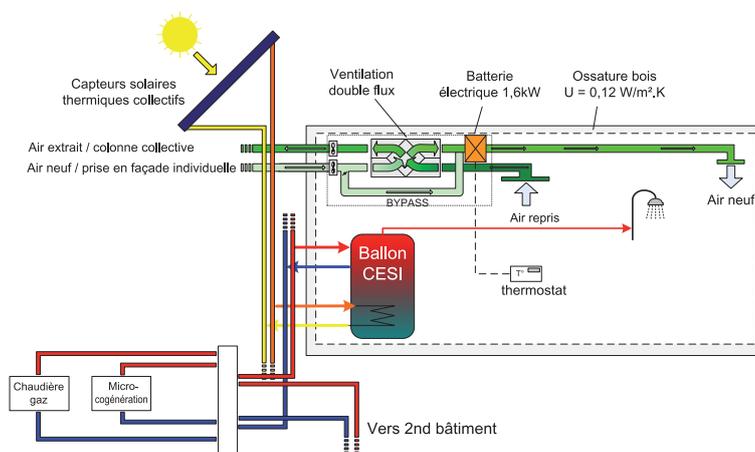
Identité, contexte et motivations

Précurseur pour développer la filière bois sur son territoire, le Toit Vosgien a initié des expérimentations dès 2000, sur des opérations passives en construction bois, et en parallèle sur des opérations intégrant des énergies renouvelables. Récompensée par de nombreux prix et trophées, Les Héliades cherche à lier le bois et les EnR dans une même opération.

Les objectifs initiaux du Toit Vosgien, pour cette opération lancée en 2007, étaient de réaliser un bâtiment consommant le moins d'énergie possible. Il s'agissait d'intégrer de façon raisonnée les concepts de Qualité environnementale et du développement durable, de faire appel aux EnR, et, dans la mesure du possible, de rendre ce bâtiment « à énergie positive ».

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : ossature bois, poteaux poutres en lamellé collé (1 100 m³ de bois), murs de refends et planchers en épicea, bardage en métal laqué ou bois peint, double peau inox côté ouest.
- › **Menuiseries** : triple vitrage (50% des déperditions estimées).
- › **Chauffage** : VMC DF individuelle, avec couplage d'une batterie électrique de 800 W (rendement : 92%).
- › **ECS** : solaire (CESCI – 62m²) avec appoint par chaudière collective gaz à condensation et cogénération gaz (système titre V, l'électricité produite étant utilisée partiellement en autoconsommation et revente du surplus).
- › **PV** : 930 m² de PV (31 m²/logt), production revendue.



CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : mars 2010
 2 bâtiments collectifs orientés SO
 30 logements (R+4 : 13 logements et R+3 : 17 logements) : 3 T2, 15 T3 et 12 T4
 Surface habitable : 3 038 m²
 Prix de location moyen :
 - T2 (56 m²) : 348,76 €
 - T4 (123 m²) : 627,22 €
2 387 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	803	.....11%
Construction.....	6 449	.....88%
Charges foncières.....	46	.....1%
Total.....	7 299	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres	1 575	.....22%
Subventions	949	.....13%
Prêts	4 775	.....65%
Total	7 299	

Performances conventionnelles

	bât. A	bât.B
Ubat (W/m ² .K).....	0,256	.....0,274

Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWhep/m²)

Chauffage	2,4	.....2,9
ECS	19,6	.....19,3
Aux. Chauffage.....	1,1	.....1,1
Aux. Ventilation	17,5	.....17,0
Eclairage.....	8,3	.....8,2
Cep hors PV	49,9	.....48,4
Production PV.....	-78,9	.....-105,6
Cep BBC 2005	-30,1	.....-57,2

Les Héliades à Saint-Dié-des-Vosges (88)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Le Toit Vosgien a veillé à expliquer verbalement à chacun des habitants le fonctionnement du bâtiment et à donner des conseils d'utilisation. Une note de « bonne utilisation » pour le confort thermique d'été des logements a également été remise aux habitants.

Consommations et dépenses énergétiques

Le suivi, effectué sur trois logements pendant trois ans de fonctionnement (de mai 2010 à avril 2013), a permis de montrer que la consommation d'énergie est légèrement supérieure à l'objectif de l'habitat passif. Sur le poste chauffage, la consommation moyenne est de 23 kWhep/m², avec une température moyenne des logements de 22°C.

Consommations de chauffage et VMC en kWhep/m² pour les 3 années de suivi

	Appartement 1	Appartement 2	Appartement 3	Moyenne
2010-2011	42,2	80,2	72,2	54,5
2011-2012	39,6	38	29,5	36
2012-2013	26,9	37,2	45,4	36,8

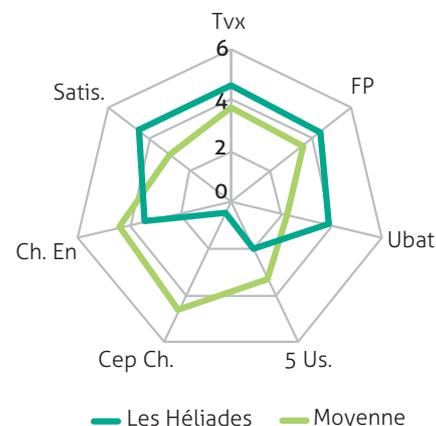
Sur une base d'une T°_{int} de 19°C, la consommation de la période 2012-2013 serait ramenée à 12 kWhep/m², ce qui permettrait d'avoir un bilan énergétique positif. Sur une base de 20°C, cette consommation moyenne est estimée à 17 kWhep/m².

Au total, la consommation d'énergie de la résidence (avec extrapolation des consommations d'énergie des logements instrumentés) s'établit pour les cinq usages réglementaires à 67 kWhep/m².an sur les trois années 2011/2013. Il est à noter la diminution progressive des consommations, notamment après la première saison de chauffe.

Chiffre clé : 30€/mois/logt

La dépense énergétique par logement s'élève en moyenne à 340 € par an hors consommations électro-domestiques, soit 30 € par mois.

	En Euros (€)
Chauffage	184
ECS	133
Auxiliaires	0 (fournis par PV)
Eclairages	23
Total	340



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Globalement, les locataires sont satisfaits de leur logement, notamment concernant la structure bois du bâtiment, ainsi que de la superficie des appartements. Il n'y a pas eu de plainte concernant le confort d'été, ni le confort thermique, même si certains locataires avaient au début des appréhensions quant à ce nouveau système de chauffage (VMC double flux). Le Toit Vosgien reconnaît que la réussite du projet tient à la collaboration forte avec le bureau d'études thermiques et l'architecte. Les équipes internes ont dû être formées à de nouvelles technologies telles que l'étanchéité à l'air, ce qui a nécessité une journée d'information (volet théorique et volet pratique). Il est important de noter que, compte-tenu de la conception « passive » de l'opération, l'ingénierie de projet a nécessité deux à quatre mois de plus. L'équilibrage de l'installation solaire a été délicate, avec un tiers des logements mal desservis à la livraison et des pertes en lignes importantes (53%).

Le Toit Vosgien

Le premier habitat social passif en réhabilitation



Identité, contexte et motivations

Ces deux bâtiments (datant de la fin des années 60 et 70) abritaient un foyer pour personnes âgées (42 studios et un T3 pour le gardien) et souffraient de vacance suite au décès de plusieurs personnes (la moitié des studios était inoccupée).

Le Toit Vosgien a alors décidé, suite à la non-reconduction de la convention de gestion avec la commune, de restructurer ces deux bâtiments pour en faire une opération exemplaire de bâtiment passif en réhabilitation. L'opération a permis la création de 28 logements tous traversants (un bâtiment de 13 logements et un bâtiment de 15 logements avec une crèche).

Le bâtiment a été certifié par La Maison Passive et a été lauréat du prix LQE (Lorraine Qualité Environnement) en 2013.

Nous nous intéresserons ci-dessous au bâtiment de 13 logements.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : bases du gros œuvre standard de l'époque 1972 conservées : béton cellulaire, charpente traditionnelle bois. Enveloppe isolée avec une double peau avec ossature bois et insufflation de ouate de cellulose + bardage bois.
- › **Menuiseries** : double ou triple vitrage selon l'orientation (rapportées à l'extérieur avec renforcement de l'isolation).
- › **Chauffage** : chaudière bois à plaquettes de 100 kW pour les 2 bâtiments avec un sèche-serviette en salle de bain.
- › **ECS** : 25 m² de capteurs solaires alimentant un ballon collectif de 2 500 L couplés à la chaudière.
- › **Ventilation** : VMC DF avec récupération d'énergie collective.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : novembre 2010
 1 bâtiment R+2 orienté NS
 13 T3 de 62,8 m²
 Surface habitable : 816 m²
 Prix location moyen : de 289 € (PLAI) à 341 € (PLUS)
1 810 €TTC/m² Shab (hono+txv)
 soit plus de 120 000 € par logement.

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	148.....	10%
Construction.....	1 329.....	87%
Charges foncières.....	45.....	3%
Total.....	1 522	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	263.....	17%
Subventions.....	313.....	21%
Prêts.....	946.....	62%
Total	1 522	

Performances conventionnelles

Ubat (W/m ² .K).....	0,187
Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWh _{ep} /m ²)	
Chauffage	5,6
ECS	20,7
Auxiliaires ventilation.....	12,1
Autres auxiliaires	1,3
Eclairage.....	13,7
Total.....	55,1

(44,6 avec BBC
 Effinergie car bois
 est compté à 0,6)



Résidence Voltaire à Raon-l'Etape (88)

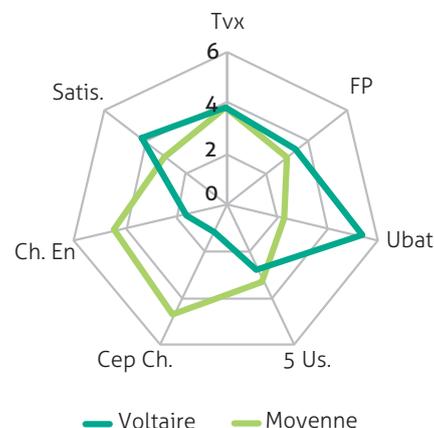
Prise en charge des locataires/sensibilisation

Une explication sur les caractéristiques du bâtiment et des logements a été effectuée lors de l'entrée dans les lieux des locataires.

Consommations et dépenses énergétiques

Les consommations réelles sont plus élevées que les consommations attendues. En 2011, la consommation d'énergie (5 usages confondus) a été de 84,5 kWhep/m²/an, et de 78,4 kWhep/m²/an en 2012.

Cela s'explique principalement par la « surchauffe » (24 à 25°C plutôt que 19°C) des logements par les occupants qui sont surtout des personnes âgées. Le surcoût annuel engendré par la majoration des consommations est de l'ordre de 140 € par appartement (suivi instrumenté du CETE de l'Est). Le réglage et l'équilibrage de la chaudière effectués dans le courant de la première année, ont permis d'améliorer le rendement.



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Le Toit Vosgien a fait appel à une équipe architecte-thermicien déjà constituée car il considère qu'il est nécessaire de travailler ensemble dès l'esquisse pour s'assurer de l'atteinte des objectifs de performance thermique du bâtiment.

Au niveau du montage financier, l'opération a rencontré quelques obstacles. Initialement, un emprunt dans le cadre d'une opération de réhabilitation n'était possible que sur 15 ans. Or, l'opération n'aurait pas atteint l'équilibre sur cette durée. La DDE a alors décidé de considérer l'opération comme du neuf et donc d'accorder un emprunt sur 40 ans. Cette opération a incité la Caisse des Dépôts à revoir ses durées d'emprunt pour la réhabilitation (25 ans aujourd'hui).



Chiffre clé : les dépenses énergétiques sont de 13 € TTC par mois et par logement après travaux (avant travaux : 104 €/mois/logt).

Habitat 70

Un BePOS modulaire



Identité, contexte et motivations

Ayant mené son premier projet BBC en 2006 sur du logement individuel, et rôdé à l'exercice des bâtiments BBC à travers plusieurs opérations (tous ses logements neufs sont BBC depuis 2010), Habitat 70 a souhaité aller plus loin dans sa démarche. Ainsi, pour combiner les objectifs d'une performance énergétique accrue et d'une sensibilisation des jeunes aux économies d'énergie, le bailleur a répondu à la demande du proviseur du lycée agricole voisin de construire une résidence étudiante. Spécificité de l'opération, le bâtiment se devait d'être évolutif afin de pouvoir par la suite devenir une résidence pour seniors.

Constituée de vingt logements étudiants, cette résidence a été lauréate « Bâtiment exemplaire » PREBAT 2010, en particulier pour son bilan à énergie positive.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : béton type poteau poutre, double ossature bois (2 x 12 cm) avec mousse de polyuréthane (8 cm) en sandwich, isolation complétée par laine de roche (12 cm) et bardage ventilé.
- › **Menuiseries** : double vitrage avec argon.
- › **Chauffage** : VMC DF collective et panneaux rayonnants électriques en appoint.
- › **ECS** : 4 ballons thermodynamiques collectifs air extérieur/eau.
- › **PV** : 190 m² de PV (soit puissance installée de 29,2 kWc) – production revendue.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : septembre 2012
 1 bâtiment collectif R+2
 20 studios (25m² + 7m² de terrasse), 1 T3,
 1 laverie et 1 pièce de convivialité de 40m²
 Surface habitable : 630 m²
 Prix de location :
 - Studio : 299,81 € /mois HC (396,20 € CC)
 - T3 : 420 € HC

2 726 €TTC/m² Shab (hono+tvx)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	176.....	10%
Construction.....	1 541.....	86%
Charges foncières.....	76.....	4%
Total.....	1 794	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	436.....	24%
Subventions	99.....	5%
Prêts	1 259.....	70%
Total	1 794	

Performances conventionnelles

Notons que la Shon prise en compte dans le calcul RT 2005 est de 1 027,67 m² avec 21 logements étudiants alors que l'opération réelle comprend 20 logements et une surface chauffée réelle de seulement 629,6 m². Ceci induit un biais élevé quant aux ratios unitaires.

*Ubat (W/m².K).....*0,325

Consommations d'énergie (RT 2005)

(en kWhep/m²)

Chauffage	6
ECS.....	28,5
Auxiliaires ventilation	6,5
Autres auxiliaires	0,5
Eclairage	8,43
Cep hors PV.....	49,8
Cep BBC 2005	-11,1
Perméabilité à l'air (en m ³ /h.m ²).....	0,8

Suite à cette étude thermique et après correction des surfaces réelles, la consommation d'énergie primaire a été estimée par Habitat 70 à 38 kWhep/m² et la production PV a été évaluée à 49 kWhep/m², soit un bilan net toujours positif de 11 kWhep/m². Sur cette base, les émissions de CO₂ ont été estimées à 1 kg eq. CO₂ par m² et par an.

Résidence étudiante à Port-sur-Saône (70)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

A chaque entrée dans les lieux des étudiants (soit tous les deux ans, ceux-ci étant en BTS), Habitat 70 a prévu une sensibilisation à l'usage du logement. Le jour même de la remise des clés, un flyer leur est distribué expliquant les caractéristiques du bâtiment et les bonnes pratiques. Cependant, compte tenu de la rotation des étudiants, un important effort d'implication est fait à chaque rentrée, afin d'adapter au mieux les comportements.

Consommations et dépenses énergétiques

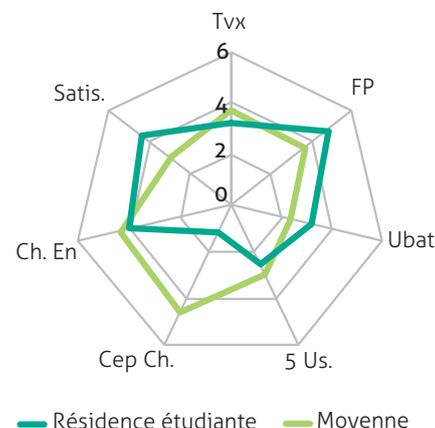
Dans le cadre du programme PREBAT, l'ADEME a souhaité mettre en place un suivi des consommations énergétiques du bâtiment sur deux ans (septembre 2012-septembre 2014) par le CEREMA (ex CETE de Lyon ; les données ne sont pas encore connues).

Cependant, les relevés de compteurs sur la première année d'exploitation (avril 2013-avril 2014) permettent d'avoir des premiers éléments sur les performances énergétiques du bâtiment.

	kWh final	kWh/m ² chauffé
Consommation électriques des logements (chauffage + consommations électrodomestiques)	21 383	33,96
Eclairage des communs	3 001	4,77
ECS	9 729	15,45
Consommation finale totale	34 113	54,18
Consommation « total compteur »	34 006	54,01
Production PV	30 378	48,25

Enfin, il faut signaler une grande disparité de consommations entre les différents studios, allant de 128 kWh à 2 179 kWh sur une année.

Chiffre clé : Les charges mensuelles pour un studio s'élèvent à 96 €/mois, dont **34,73 €/mois pour les postes énergétiques** (chauffage et ECS, respectivement 15,17 € et 19,56 €).



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Habitat 70 rencontre plusieurs problèmes – non anticipés – concernant la maintenance des équipements, notamment la VMC double flux et les panneaux photovoltaïques. En effet, il y a peu d'entreprises locales qualifiées pour assurer ce poste. Cela entraîne des coûts supplémentaires.

Le réglage du système de chauffage est problématique. En effet, si les logements ne sont pas assez chauffés par les panneaux électriques, la VMC n'arrive pas non plus à chauffer. A l'inverse, si les panneaux restent tout le temps allumés, la VMC double flux n'est plus utile. Deux réunions ont été nécessaires lors de l'installation des étudiants pour leur expliquer le fonctionnement de l'installation, ce qui indique qu'un important travail de sensibilisation et d'accompagnement doit être fait afin d'adapter les comportements à la technologie.

ICF Habitat Atlantique

Entre Bpas et BePOS au cœur d'un EcoQuartier



Identité, contexte et motivations

Cette opération se situe au cœur d'un projet urbain nominé au label EcoQuartier du Ministère du Développement durable et financée par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) dans le cadre d'un programme de recherche sur la ville durable. L'écoquartier s'était fixé l'objectif d'être autosuffisant en énergie grâce à l'équipement dans chaque bâtiment d'énergies renouvelables.

Les ambitions du programme étaient initialement de construire vingt logements individuels répondant au cahier des charges du label BBC – RT 2005 en suivant le référentiel Qualitel H&E (millésime 2008). Compte-tenu de l'orientation nord-sud des logements, il a été décidé que neuf d'entre eux seraient à énergie positive. Le système constructif et les équipements sont ainsi les mêmes pour les BBC-RT 2005 et les BePOS, la seule différence étant l'ajout de panneaux PV pour ces derniers. Nous nous intéresserons ici à ces 9 logements.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : mixte ossature bois/béton, isolation par l'extérieur 140 mm de PSE, $R = 3,65 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.
- › **Chauffage** : individuel par PAC air/eau (puissance nominale 5,3 kW pour un T4 (COP = 3,25) et de 4,1 kW pour un T3 (COP = 3) avec radiateurs thermostatiques.
- › **Ventilation** : VMC DF.
- › **ECS** : solaire individuel (300 litres pour un T3 et 395 litres pour un T4) avec appoint électrique. Surface de capteurs solaires : 4 m² pour un T3.
- › **PV** : 16m² par logement (soit puissance installée de 2kWc et production annuelle de 16917 kWh_{ef}) – production revendue.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : été 2012
 9 logements individuels : 5 T3 de 74m² et 4 T4 de 87m² (avec garage fermé pour chacun d'eux)
 Surface habitable : 719 m²
2 197 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	135	8%
Construction.....	1 444	81%
Charges foncières.....	213	12%
Total.....	1 792	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	535	30%
Subventions.....	198	11%
Prêts	1 059	59%
Total	1 792	

Performances conventionnelles

	T4 (87m ²)	T3 (74 m ²)
Ubat (W/m ² .K).....	0,41	0,39
Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWh _{ep} /m ²)		
Chauffage	16,6	18,4
ECS	4,3	5,9
Aux. Ventilation et autres	13,1	14
Eclairage.....	6,7	6,6
Cep hors PV	40,8	45,3
Production PV	- 46,5	- 54,4
Cep BBC 2005	-5,8	- 9,1
Perméabilité à l'air (en m ³ /h.m ²)	0,6	0,6

Le Quai Fleury à La Riche (37)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

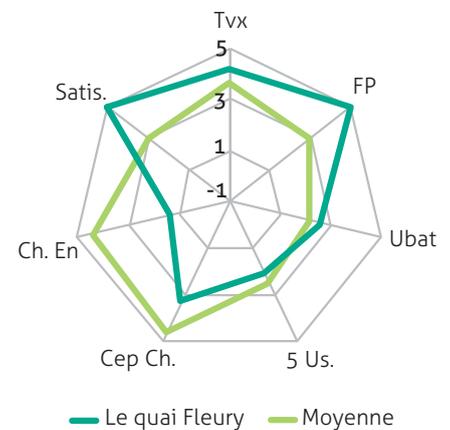
Chaque locataire s'est vu remettre un DVD présentant le fonctionnement des équipements (pompe à chaleur, thermostats d'ambiance, VMC DF).

Consommations et dépenses énergétiques

Il n'y a pas encore eu à ce jour de suivi précis des consommations énergétiques.

A titre d'exemple, un locataire (T3 avec un couple et un enfant) nous a précisé que sa facture électrique était de 110 € tous les deux mois pendant la période de chauffage et de 65 € pour les mois hors chauffage, soit une facture annuelle estimée à 570 € par an. Ceci correspond à une consommation annuelle de 3 700 kWh par an (avec un contrat 9 kW heures creuses/heures pleines), soit 41,5 kWh d'électricité exprimée en énergie finale.

Si l'on considère que les usages électrodomestiques représentent une consommation moyenne annuelle de 850 kWh par adulte (moyenne nationale correspondant à un taux d'équipement élevé, conforme à ce qui été constaté lors de la visite par ICF), la consommation d'énergie réglementaire (5 usages) peut être estimée à 2 000 kWh final soit 58 kWh/m², assez proche de la production PV.



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Mis à part un conflit de voisinage concernant l'isolation acoustique entre deux logements, réglé depuis par le bailleur, les locataires sont globalement satisfaits (beaucoup ont tendance à comparer leur nouveau logement avec leur ancien logement en chauffage collectif).

Cependant, sur l'aspect énergétique, plusieurs locataires se sont étonnés du montant de leur facture énergétique alors que le bâtiment est à énergie positive. En effet, la production d'électricité des PV reste mutualisée par le bailleur.

Chiffre clé : La facture énergétique pour un T3 peut être estimée à 570 € par an, tous usages confondus.



Immobilière Méditerranée

Un BePOS intégré dans le paysage



Identité, contexte et motivations

Certifié H&E profil A et labellisé BBC Effinergie (2005), les Hauts de Pessicart est l'un des projets « phare » d'Immobilière Méditerranée en matière de développement durable et d'énergie. L'intégration de PV sur les toitures lui permet de s'inscrire dans la catégorie des bâtiments à énergie positive, sachant que cette performance énergétique se justifie à l'échelle des six bâtiments. Cette opération a dû être pensée en intégrant les contraintes du site sur lequel la parcelle était placée. En effet, malgré l'importance de sa taille (17 500 m²), elle est très pentue et donc constructible uniquement sur une bande de 8 mètres. Une solution a été trouvée en mettant les places de stationnement sur les toits des bâtiments.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Mur extérieur** : structure béton armé avec ITE (15 cm d'isolant type PSE),
U = 0,236 W/m².K ; avec rupteurs de ponts thermique pour les balcons et pergolas.
- › **Mur intérieur sur circulation** : béton plein armé + 6 cm isolant (PSE) + BA13, U = 0,469 W/m².K.
- › **Mur intérieur sur local ECS** : béton plein armé + 15 cm isolant (PSE) + Béton plain armé, U = 0,228 W/m².K.
- › **Chauffage** : chaudière gaz à condensation individuelle pour chauffage et appoint ECS.
- › **ECS** : solaire avec préchauffage de l'eau entre les 2 premiers bâtiments qui ont des panneaux solaires, couvrant 66 % des besoins.
- › **Ventilation** : VMC hygro B.
- › **PV** : 900 m² de PV intégrés à la toiture des parkings pour 4 bâtiments et sur les toits pour les 2 autres bâtiments (soit puissance installée de 121 kWc) – production revendue.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : octobre 2012
 4 bâtiments collectifs de 6 à 8 logements
 44 logements : 22 T2, 16 T3, 5 T4 et 1 T5
 Surface habitable : 2 561 m²
 Prix de location moyen : de 299 € pour un T2 (48m²) à 532 € pour un T5 (98 m²)
2 157 €TTC/m² Shab (hono+tvx)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....806.....12%
 Construction.....4 719.....71%
 Charges foncières....1 165.....17%
Total.....6 690

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....2494%
 Subventions1 882.....28%
 Prêts4 560.....68%
Total6 690

Performances conventionnelles

Bâtiment A

Ubat (W/m².K)0,642

Consommations d'énergie (RT 2005)
 (en kWh/m²)

Chauffage19
 ECS.....12
 Aux. Ventilation
 et autres4,8
 Eclairage.....6,6
 Cep hors PV42
 Perméabilité à l'air
 (en m³/h.m²)1

La production des PV n'a pas été calculée au prorata du bâtiment. Au niveau des 6 bâtiments cette production est estimée à 392 428 kWh/m² par an.

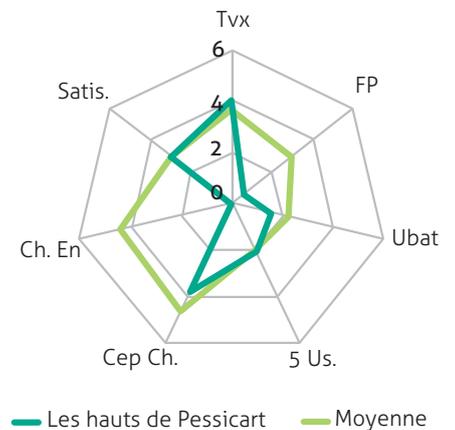
Les Hauts de Pessicart à Nice (06)

Consommations et dépenses énergétiques

Aucun suivi n'a été mis en place pour estimer les consommations énergétiques des locataires. Le quittancement peut renseigner sur le montant des charges, sachant que les montants communiqués incluent toutes les charges (ECS et autres).

	T2	T3	T4	T5
m ²	47,66	61,37	75,20	98,09
Loyer HC (€)	299,06	411,27	472,33	531,95
Loyer PLUS CC (€)	402	522	633	-
Loyer PLAI CC (€)	349	485	568	725

De plus, les contrats gaz et électricité étant individuels, les informations ne sont pas disponibles.



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Concernant l'installation photovoltaïque, si la production est proche de l'évaluation théorique, il n'en est pas de même des recettes. Celles-ci avaient été programmées sur la base d'un tarif de rachat de 17 c€/kWh_{ef}, soit une recette annuelle escomptée de 29 000 €. En 2013, la recette réelle s'est élevée à seulement 10 000 € avec un tarif de rachat de 7 c€/kWh_{ef}. Le coût de l'installation photovoltaïque s'est élevé à 333 493 €, le temps de retour escompté était initialement de 12 ans ; il est passé à plus de 33 ans.



Résidences de l'Orléanais

La Ville d'Orléans s'engage pour des maisons passives



Identité, contexte et motivations

Les Résidences de l'Orléanais ont fait de la baisse des charges pour les locataires un enjeu majeur dans leur stratégie. C'est en 2008 que l'organisme décide de lancer une opération passive sur un terrain dont l'orientation nord-sud était favorable. A cette époque l'obtention du label était rendue difficile avec de nombreux documents rédigés en allemand et une absence de pratiques en France. Les Résidences de l'Orléanais ont donc retenu l'idée de rechercher le label BBC à partir de la RT 2005 et d'utiliser le référentiel PHPP pour aller vers des solutions passives.

Le projet de l'îlot Bossuet a fait l'objet d'un soutien important de la Ville d'Orléans (pas d'apport de fonds propres dans le plan de financement du fait de l'importance de la subvention apportée par la Ville d'Orléans – projet contractualisé avec l'ANRU). Cette opération de cinq maisons se veut expérimentale et exemplaire dans le domaine du logement passif.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : juin 2012
 5 maisons R+1 orientées NS
 3 T4 de 89 m² et 2 T5 de 105 m²
 Surface habitable : 477 m²
 Prix location moyen : 507 € pour un T4 et 592 € pour un T5 (HC)
2 448 €TTC/m² Shab (hono+tvx)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	146.....	12%
Construction.....	1 022.....	83%
Charges foncières.....	63.....	5%
Total.....	1 231	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres	0.....	0%
Subventions	528.....	43%
Prêts.....	703.....	57%
Total	1 231	

Performances conventionnelles

	T4 (n°1)	T5 (n°1)
Ubat (W/m ² .K).....	0,352	0,352
Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWhep/m ²)		
Chauffage	19,6.....	8,8
ECS	27,3.....	21,8
Aux. ventilation.....	7,7.....	8,7
Autres auxiliaires	1,4.....	0,8
Eclairage.....	5,1.....	5,2
Total.....	61.....	45,3
Perméabilité à l'air	0,50.....	0,51
(vol/h à n50)		

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : système constructif bois-béton - Ossature en bois et isolation par remplissage des parois par 300 mm de ouate de cellulose insufflée, insufflée, plancher bas en béton avec 16cm de mousse polyuréthane.
- › **Menuiseries** : double ou triple vitrage selon l'orientation.
- › **Chauffage et ventilation** : VMC DF individuelle à très haut rendement et appoint chaudière, doublée par des radiateurs dans toutes pièces (robinets thermostatiques).
- › **ECS** : chaudière gaz basse température de 24 kW.

Ilot Bossuet à Orléans La Source (45)

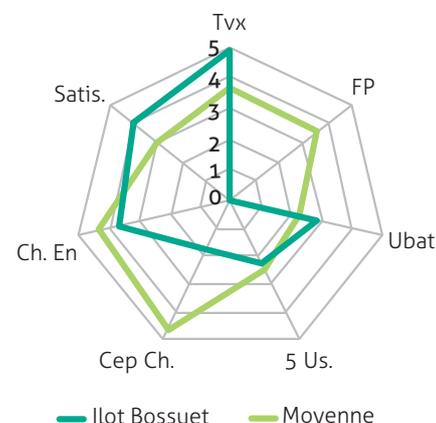
Consommations et dépenses énergétiques

Il n'y a pas d'instrumentation de l'opération mais les coûts d'exploitation sont suivis par le bailleur grâce aux relevés des consommations.

Sur les deux années d'exploitation (de mai 2012 à mai 2014), la consommation de gaz est de l'ordre de 50 kWh/m² Shab pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (alors que la consommation théorique de chauffage est de 17 kWh/m² avec une température de 20°C). Le fait que les ménages souhaitent une température moyenne de 23°C dans leur logement peut expliquer cette augmentation de 6 à 7 kWh/m² (la consommation de chauffage est alors estimée à 24 kWh/m² Shab). La consommation d'eau chaude sanitaire est calculée dans le logiciel PHPP à 20 kWh/m² sur la base d'une consommation forfaitaire de 25 litres d'eau chaude par jour et par personne. On peut se baser sur une consommation plus élevée qui amène la consommation d'eau chaude entre 25 et 30 kWh/m².an. La consommation de gaz est in fine cohérente avec le moteur de calcul.

La consommation électrique est par contre assez éloignée des hypothèses du référentiel PHPP. La consommation moyenne par logement est de 50 à 55 kWh/m² par an alors que le modèle PHPP fixe cette consommation autour de 30 kWh/m². Pour quatre logements sur cinq, le différentiel de consommation est ainsi donc de 20 kWh/m² soit environ 2 000 kWh par an. Ainsi, la consommation moyenne des logements en électricité spécifique est de l'ordre de 800 à 1 000 kWh par an et par habitant avec des écarts pouvant aller de 600 à 1 500 kWh par habitant et par an.

Par contre, si nous considérons la consommation d'énergie par habitant, la consommation d'électricité retrouve une valeur proche des ratios théoriques. En effet, le logiciel PHPP prend comme hypothèse une surface habitable de 35 m² par personne (soit 14 habitants pour une surface habitable de 477 m²). Or, la résidence compte à elle-seule 27 habitants (11 adultes et 16 enfants) avec un ratio de 18 m² par personne.



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Les besoins de chauffage étant très faibles dans les bâtiments passifs, il n'est pas viable d'investir sur des systèmes de chauffage coûteux. Mais les solutions les moins chères sont généralement celles qui ont un mauvais rendement environnemental ou en énergie primaire. L'eau chaude sanitaire devient prépondérante par rapport au chauffage et doit être optimisée, avant même le chauffage d'appoint.

Enfin, le temps passé à la conception et à la réalisation des dessins d'exécution est absolument nécessaire pour éviter les ponts thermiques, les malfaçons et les pertes de performance énergétique. Le passif exige des dessins d'exécution bien analysés, et bien exécutés sur chantier.

Chiffre clé : Les charges énergétiques sont de 90 € TTC par mois et par logement (T4), et les charges totales de 128€/mois/logt).



SAMO

S'allier pour réaliser une opération passive expérimentale



Identité, contexte et motivations

La Ville de Clisson s'est engagée avec le Conseil général de Loire-Atlantique dans une opération pilote portant sur la création d'environ vingt-cinq logements sociaux bioclimatiques très basse consommation au sein de la ZAC du Champ de Foire, au centre-ville de Clisson, dans le cadre d'un projet d'écoquartier de plus de six hectares. Cet écoquartier comprendra un pôle tertiaire de 6 000 m² de services et de bureaux – dont ceux du Conseil général – un cinéma déjà construit et 260 logements collectifs et individuels, passifs ou BBC, dont 20% de logements sociaux.

L'objectif commun recherché est la prise en compte d'une démarche environnementale ambitieuse et l'obtention d'une réduction des charges énergétiques au bénéfice des locataires, ainsi que de faire de cette opération un cas exemplaire reproductible. Après audition de différents organismes sociaux, la Ville de Clisson a décidé de confier à la SAMO la réalisation de cette opération passive (deux bâtiments collectifs comprenant vingt-et-un logements et cinq maisons individuelles en bande).

Les bâtiments ont été certifiés par La Maison Passive en septembre 2013.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : RdC : prémur béton isolé (20 cm PSE) – étages : voiles béton et ITE 20 cm laine minérale, toiture en caisson avec 380 mm d'isolant minéral, planchers bas sur 150 mm de laine de roche avec descente sur longrines.
- › **Menuiseries** : triple vitrage.
- › **Chauffage et ventilation** : VMC DF collective et appoint chaudière collective gaz condensation (63 kW).
- › **ECS** : solaire (30 m² de capteurs) et appoint chaudière.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : fin 2012
 2 bâtiments collectifs (R+2 et R+3) de 21 logements (8 T2 de 45 m² et 13 T3 de 66 m²) et 5 logements individuels R+1 (T4 de 77 m²)
 Surface habitable : 1 603 m²
 Prix location moyen : de 230€ (PLUS) à 280€ (PLAI) pour un T2 à 445€ à 460€ pour un T4 (HC)
1 987 €TTC/m² Shab (hono+txv)
 (coût d'objectif : 1747 €/m² Shab)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	477	.....	14%
Construction.....	2 708	.....	81%
Charges foncières.....	151	.....	5%
Total.....	3 336		

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	494	.....	15%
Subventions.....	735	.....	22%
Prêts.....	2 107	.....	63%
Total	3 336		

Performances conventionnelles

	Immeuble collectif	Maison individuelle
Ubat (W/m ² .K).....	0,374	.....0,280
Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWh _{ep} /m ²) sans ECS solaire		
Total.....	45,86	.....46,53
Perméabilité à l'air (en vol/h. à n50)	<0,60	.....<0,60

Résidence Hélios (ZAC du Champ de Foire) à Clisson (44)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

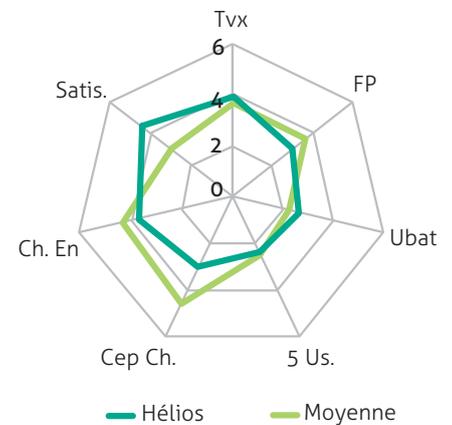
La SAMO a lancé une large action en direction des habitants : sensibilisation des usagers en matière de consommation d'énergie et d'environnement bâti d'une part et, d'autre part, compréhension de la perception de leurs logements par les locataires.

Des réunions ont été organisées avec l'ensemble des habitants (le 15 mars 2013 à laquelle étaient invités des représentants de la mairie et du CCAS, puis à nouveau le 11 mars 2014). Des vidéos ont été diffusées à tous les locataires, portant sur les thèmes de la ventilation, du chauffage et du séchage du linge.

Consommations et dépenses énergétiques

Un monitoring est effectué par un BET Energie (Aireo énergies). Trois logements représentatifs ont été équipés avec deux années de relevés et cinq usages mesurés (chauffage, ECS, ventilation, éclairage et prises électriques). Un suivi des consommations des parties communes est également assuré (auxiliaires de chaufferie, éclairage de parking et de circulation).

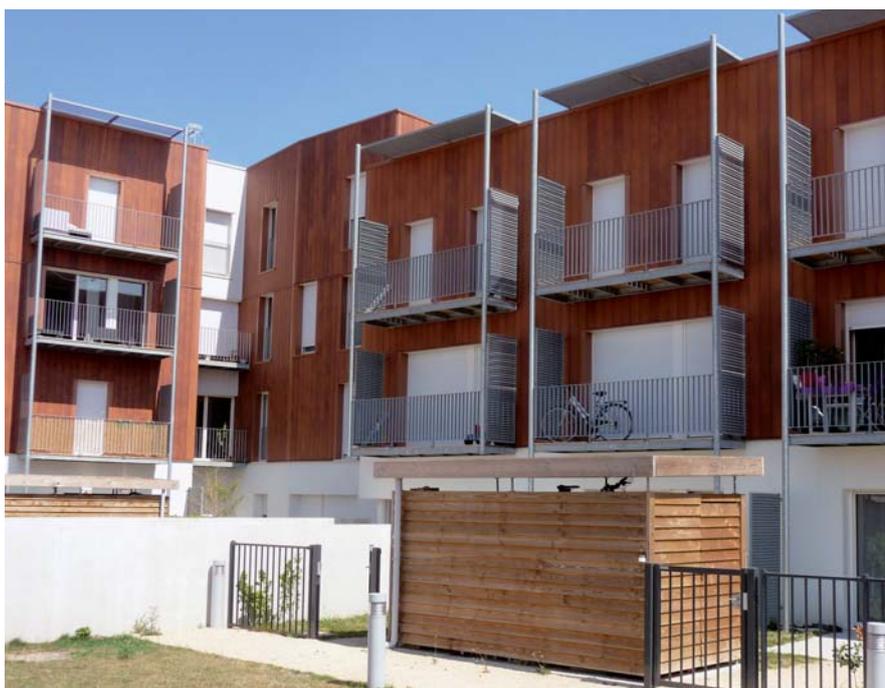
Chiffre clé : Les mêmes données techniques aboutissent à un écart de 44% entre la RT 2012 et le PHPP (44 kWh/m² Shab avec la RT 2005 et 64 kWh/m² avec le logiciel PHPP).



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

La construction passive exige un travail de conception très en amont qui a été sous-estimé sur cette opération. Il s'en est suivi un besoin permanent d'échange entre les équipes qui a retardé le projet d'une semaine par mois pendant le chantier. Les architectes ont dû à ces occasions revoir leurs plans de détail, ce qui a aussi occasionné des coûts supplémentaires pour les entreprises (non répercutés dans les marchés).

Cette expérience confirme l'importance, pour les projets passifs, des plans de détail réalisés avant l'engagement du chantier et la nécessité d'un strict contrôle du chantier pendant toute la phase travaux.



Vaucluse Logement

Le 1^{er} BePOS de la Région PACA en habitat social



Identité, contexte et motivations

Initialement, Vaucluse Logement souhaitait réaliser une opération permettant d'obtenir la double certification Qualitel et Habitat & Environnement (H & E) avec le label THPE (Très Haute Performance Énergétique). Mais le projet architectural, très compact de par la configuration du terrain, a permis d'être plus ambitieux, en allant jusqu'au BBC, et donc de prétendre à une opération BBC-Effinergie, anticipant ainsi sur la RT 2012. L'ajout de panneaux photovoltaïques a permis de construire un bâtiment à énergie positive et de candidater au programme régional AGIR.

Ce programme de vingt-quatre maisons individuelles sur trois bandes en duplex a été encouragé par la commune de Jonquières et la Communauté de Communes des Pays de Rhône et Ouvèze (cette dernière a garanti 50% de l'emprunt du bailleur).

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : bois et béton avec un bardage bois ou un enduit selon les bâtiments, ITE.
- › **Chauffage** : chaudière individuelle gaz à condensation (26,5 kW) avec radiateurs et distribution bitube à basse température.
- › **Ventilation** : hygroréglable type B.
- › **ECS** : ballon d'eau chaude (286 L) chauffé par des capteurs solaires individuels (2,25 m² par logement) en toiture et appoint apporté par la chaudière individuelle.
- › **PV** : 691 m² de PV intégrés à la toiture sur les 3 bâtiments (soit puissance installée de 99,36 kWc) – production revendue.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : octobre 2012
 3 bâtiments R+1 et R+2 orientés plein sud
 24 logements individuels avec garage :
 11 T3 de 69 m², 11 T4 de 79 à 83 m² et
 2 T5 de 102 m²
 Surface habitable : 2003 m²
 Prix de location :
 - T3 : de 441 à 479 € CC
 - T4 : de 498 à 521 € CC
1 837 € TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	448	10%
Construction.....	3 231	70%
Charges foncières.....	904	20%
Total	4 584	

Le coût de construction est donné hors installation photovoltaïque qui n'a pas fait l'objet du même budget.

L'installation PV a coûté 435 989 € HT (373 593,60 € d'installation + 62 395,90 € d'honoraires) dont 50% a été financé par les fonds propres et 50% par l'emprunt, soit 218 € par m² shab.

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	830	18%
Subventions.....	687	15%
Prêts.....	3 067	67%
Total	4 584	

Performances conventionnelles

	Bât. A	Bât. B
Ubat (W/m ² .K).....	0,358	0,377

Consommations d'énergie (RT 2005)

	Bât. A	Bât. B
<i>(en kWh_{ep}/m²)</i>		
Chauffage	22,2	18,2
ECS	8,5	9,8
Part ECS solaire.....	69,5%	68,5%
Ventilation.....	2,6	3,1
Autres auxiliaires	6,2	6,8
Eclairage	10,2	9,6
Cep hors PV.....	49,7	47,4
Perméabilité à l'air <i>(en m³/h.m²)</i>	0,60	0,60

La Magnanerie à Jonquières (84)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Un document de bienvenue a été donné à chaque locataire (recto verso d'un format A4). Il fournit quelques explications simples sur le chauffage (présence de robinets thermostatiques), l'eau chaude (local fermé et inaccessible dans le logement pour le ballon et les canalisations), la ventilation (piles des bouches de cuisine et de WC à changer une fois par an, nettoyage des entrées d'air et des bouches de VMC à assurer).

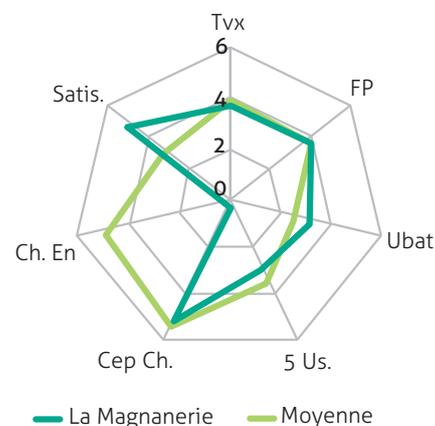
Une enquête exhaustive a été réalisée auprès des vingt-quatre ménages en mars 2013, six mois après leur entrée dans les logements. Douze réponses ont été traitées.

Des notes de satisfaction ont été attribuées pour chaque question. Les locataires sont très satisfaits de leur logement (note de 9 sur 10) et il est noté une bonne isolation thermique des logements. La qualité de l'isolation phonique dépend des ménages et certains estiment que les panneaux solaires sont bruyants. Certains ménages estiment que le réglage des robinets thermostatiques est trop compliqué et le système d'eau chaude solaire reste incompréhensible pour certains.

Consommations et dépenses énergétiques

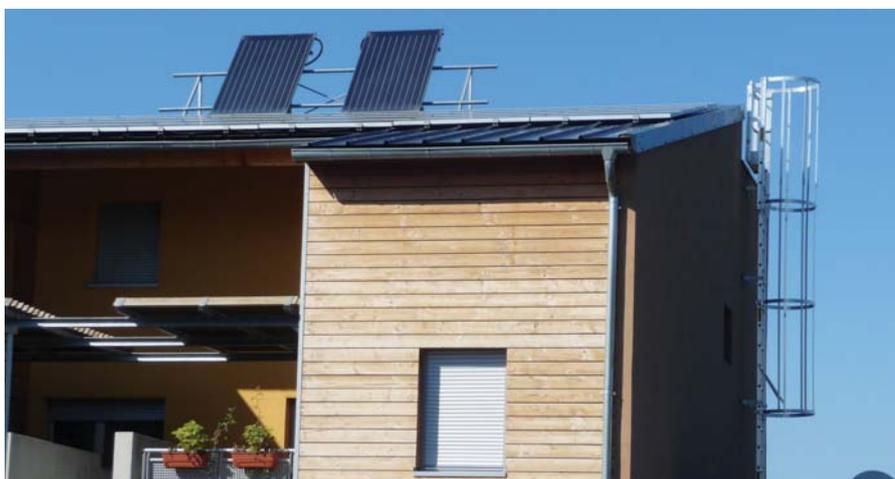
Selon les études, la consommation énergétique prévisionnelle est largement inférieure à la production PV prévue. Pour chaque logement, Vaucluse Logement a en effet installé l'équivalent de 28,8 m² de panneaux, ce qui revient à 0,34 m² de panneaux PV installé par m² habitable (4,15 kWc par logement). La production PV devrait être de 154 kWh par m² installé, soit une production estimée à 106 400 kWh par an ou 53 kWh/m².

Les charges énergétiques individuelles ne sont pas connues du bailleur (électricité et gaz par abonnement individuel). Les autres charges facturées par le bailleur aux locataires sont de 39 € par mois pour un T3, 48 € par mois pour un T4 et de 56 € par mois pour un T5.



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Les principaux problèmes sont liés à l'intégration des panneaux solaires en toiture et des problèmes d'étanchéité qui peuvent survenir. L'entreprise qui a posé les panneaux PV ayant déposé son bilan, l'entretien est maintenant assuré par une autre entreprise, ce qui rend la maintenance plus délicate. La pose des chauffe-eau solaires a également généré des problèmes car c'était la première fois que l'entreprise retenue en posait.



France Loire

Les structures locales au service du bâtiment passif



Identité, contexte et motivations

Le projet de Saint-Doulchard a débuté dans les années 2007/2008. La Communauté d'agglomération Bourges Plus souhaitait lancer une opération de logement social collectif à haute performance énergétique afin de faire émerger des compétences chez les professionnels locaux.

Bourges Plus a alors proposé à France Loire et à la Chambre des Métiers et de l'Artisanat du Cher de s'associer pour réaliser un bâtiment qui rassemblerait les techniques les plus innovantes en matière d'économies d'énergie.

Le point de départ était la construction d'un bâtiment basse consommation (BBC) avec une structure bois. La Chambre des Métiers et de l'Artisanat du Cher en association avec un expert en construction bois, a organisé des formations adaptées à la préparation du projet pour que les entreprises et les maîtres d'œuvre soient en capacité de répondre à l'appel à candidatures.

Ce projet a alors été lancé dans le cadre d'une procédure de conception – réalisation permettant d'associer l'équipe d'architectes qui conçoit l'immeuble et le groupement d'entreprises qui le construit pour réaliser un bâtiment passif. Ce projet a été certifié par La Maison Passive.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS



- › **Structure** : ossature bois + ITE laine de verre 100 mm et ITI 50 mm de laine de verre.
- › **Chauffage** : chaudière gaz à condensation de 24 kW, alimentant dans chaque logement une batterie à eau chaude située dans le réseau de soufflage de la ventilation et un sèche-serviettes dans la salle de bains.
- › **ECS** : solaire (45m² de capteurs solaires placés en toiture qui alimentent un ballon tampon de 1 500 litres) et appoint gaz naturel.
- › **Ventilation** : centrale de traitement d'air double flux avec échangeur à contre-courant installée dans chaque logement (moteur collectif, caissons individuels).

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : juillet 2013
 1 bâtiment R+2
 21 logements : 9 T2 de 45 m² et 12 T3 de 64 m²
 Surface habitable : 1 173m²
1 763 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires	170	6%
Construction	1 930	72%
Charges foncières	570	21%
Total	2 669	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres	420	16%
Subventions	708	27%
Prêts	1 541	58%
Total	2 669	

Performances conventionnelles

Ubat (W/m².K)0,148
 (mur extérieur étages)

Consommations d'énergie (logiciel PHPP) (en kWhep/m²)

Chauffage	17,7
ECS	20,6
Auxiliaires ventilation	10,9
Autres auxiliaires	1,5
Eclairage	3,4
Cuisson	14,1
Electricité spécifique	51
Total	119,2
Perméabilité à l'air	0,54 (vol/h à n50)

Résidence Aléna à Saint-Doulchard (18)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Des actions de sensibilisation des locataires ont été menées visant à expliquer le logement passif (choix architecturaux et techniques), le fonctionnement du bâtiment l'été (usage des volets ou des stores, ouverture des fenêtres la nuit ou tôt le matin) et l'hiver.

Consommations et dépenses énergétiques

Les pertes conductives et aérodynamiques de l'immeuble (évaluées avec le logiciel PHPP) s'élèvent respectivement à 28,4 et 8,8 kWh/m², soit un besoin thermique de 37,2 kWh/m². Les apports internes et solaires ont été estimés respectivement à 9,8 et 13,4 kWh/m², soit un besoin de chauffage résiduel de 14 kWh/m².

Ce projet montre comment la hiérarchisation des postes de consommation prévisionnelle a évolué par rapport aux bâtiments conventionnels. L'électricité spécifique et celle nécessaire à la cuisson représentent 55% des consommations, et l'ECS 17%. Les dépenses liées au fonctionnement du bâtiment et aux communs représentent donc moins d'un tiers des consommations globales.

Une mission de suivi de deux ans des consommations et du comportement du bâtiment a été mise en place afin d'accompagner le maître d'ouvrage et les locataires dans l'appropriation des spécificités du projet et de valider les résultats théoriques des études de conception.

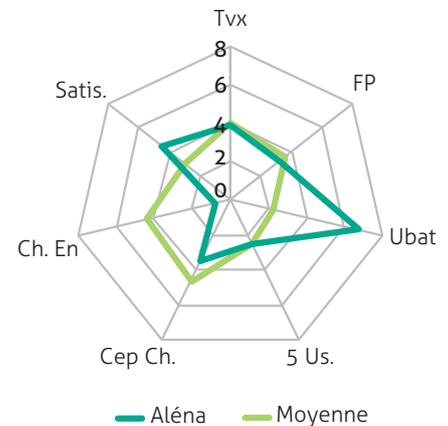
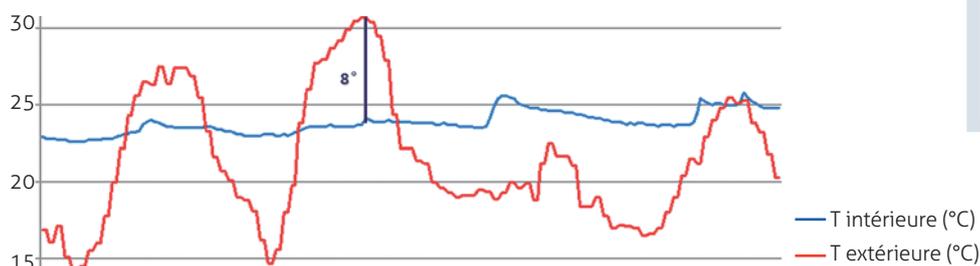
Le bilan de la première année (juillet 2013 - juillet 2014) a permis de relever les consommations suivantes :

- ▶ **chauffage** : 19 159 kWh de gaz soit 16,3 kWh/m²,
- ▶ **ECS** : 13 915 kWh soit 11,9 kWh/m².

Ces consommations sont très légèrement inférieures aux prévisions. Il faut noter que la régulation de la température de chauffage de chaque logement est encadrée entre 17°C et 23°C via un thermostat à plage limitée. Par contre, la monotone de chauffage des logements l'hiver (période de décembre à février 2014) indique une température moyenne supérieure de 21°C. Ce besoin de chaleur plus important que celui retenu par le modèle PHPP (20°C) n'a pas empêché la très bonne performance thermique du bâtiment.

Le suivi des températures est aussi extrêmement positif pour le confort d'été. Lors de la période chaude allant du 2 au 5 juillet 2014, la température intérieure du bâtiment n'a que très peu varié alors que le thermomètre extérieur dépassait 30°C.

Température intérieure et extérieure du 2 au 5 juillet 2014



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Ce projet permet de relever plusieurs points de vigilance dans le cadre d'opérations de bâtiments passifs :

- ▶ veiller à l'étanchéité de l'enveloppe en réduisant au maximum le nombre de gaines techniques et réseaux,
- ▶ limiter le plus possible la longueur des canalisations de chauffage et surtout d'ECS, source de perte de chaleur malgré le calorifugeage,
- ▶ veiller au bon phasage des travaux en collaboration avec les différents maîtres d'œuvre pour une bonne étanchéité du bâtiment.

Chiffre clé : Le chauffage et l'ECS représentent une dépense de 7 € par mois et par logement.

Habitat 62/59 Picardie

Un projet européen qui dessine des modèles de bâtiment passif



Identité, contexte et motivations

Comme l'opération La Clairière du Foyer rémois, cette opération d'Habitat 62/59 Picardie fait partie du projet européen *Buildtog* qui réunit l'association Eurhonet (European Housing Network, regroupant 28 bailleurs européens), un architecte et le bureau d'études thermiques de BASF, afin de construire des immeubles labellisés Passivhaus d'une trentaine de logements. Ce bâtiment a la même trame que celui de Bétheny.

Habitat 62/59 Picardie a lancé plusieurs opérations en passif (un bâtiment collectif à Arras et de l'individuel à Oye Plage près de Dunkerque) et en BePOS (15 logements à Loos en Gohelle) pour se préparer à la future RT.

Sur cette opération, la ville de Béthune a fourni le terrain, qui permettait une expérimentation en passif compte-tenu de son orientation. L'opération est lauréate Prebat et labellisée Qualitel BBC Effinergie. La labellisation par La Maison Passive est en cours.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : 2013
 2 bâtiments collectifs (Nord R+4 et Sud R+3) de 49 logements (T2, T3 et T4)
 Surface habitable : 3 616 m²
1 917 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....94412%
 Construction.....5 98779%
 Charges foncières.....6509%
Total.....7 581

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....2 24530%
 Subventions.....4706%
 Prêts.....4 86664%
Total7 581

Performances conventionnelles

	Bât. Sud	Bât. Nord
Ubat (W/m ² .K).....	0,333	0,368
Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWhep/m ²)		
Chauffage.....	4,9	5,4
ECS.....	23,9	28,6
Aux. ventilation.....	9,1	13,7
Autres auxiliaires.....	0,6	0,5
Eclairage.....	5,5	6,5
Total.....	43,96	54,7
Perméabilité à l'air ..<0,60.....<0,60 (vol/h à n50)		

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : béton avec ITE (30 cm de Néopor© de BASF – polystyrène expansé et graphité, $\lambda = 0,032$ W/m.K), toiture végétalisée sur dalle béton avec 20 CM Elastopor© ($\lambda = 0,024$ W/m.K).
- › **Menuiseries** : triple vitrage ($U_g = 0,6$ W/m².K) avec stores électriques orientables, porte palière certifiée PassivHaus.
- › **Chauffage et ventilation** : VMC DF individuelle et appoint chaudière gaz condensation.
- › **ECS** : chaudière gaz à condensation (une pour chaque cage d'escalier).

Résidence René Dumont à Béthune (62)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Un livret d'accueil simple avec des recommandations a été remis aux locataires, rédigé par Habitat 62/59 Picardie et BASF. Des réunions avec les locataires ont également été tenues dans les logements avant leur entrée dans le logement.

Consommations et dépenses énergétiques

Un comptage des consommations d'énergie est opéré. Habitat 62/59 Picardie dispose des consommations de gaz et d'eau chaude sanitaire des ménages pour la période allant du 24 juillet 2013 au 28 janvier 2014, soit 6 mois qui représente approximativement 50 % de la saison de chauffe.

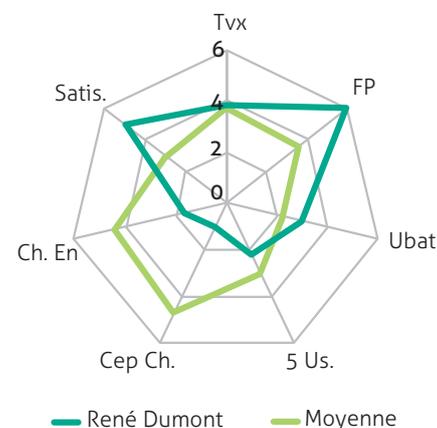
Sachant que certains logements ne sont pas encore occupés, les données ont été calculées pour l'équivalent de 13 logements dans le bâtiment sud et de 30 logements dans le bâtiment nord.

Consommation d'énergie des logements de la résidence René Dumont
(en kWh/m² Shab)

	Chauffage		ECS	
	Conso réelle 24/07/2013 – 28/01/2014 en kWh	Conso. extrapolée sur l'année	Conso réelle 24/07/2013 – 28/01/2014 en kWh	Conso. extrapolée sur l'année
Bât. Sud	8,7	17	9,7	19
Bât. Nord (cage 2)	10	20	7,9	16
Bât. Nord (cage 3)	9,2	18	8,4	17
Total	9,3	18,5	8,7	17,5

La consommation annuelle d'énergie pour le chauffage et l'ECS peut être estimée à 36 kWh/m² Shab.

Chiffre clé : Les charges énergétiques sont de **13,6 € TTC par mois et par logement.**



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Un article de la Voix du Nord de juin 2013 présente les locataires de la résidence comme particulièrement satisfaits.

Cependant 3 des 10 PLS n'arrivent pas à être loués. La présence dans le même bâtiment de 34 PLUS et 5 PLAI avec les mêmes niveaux de prestation les rend peu attractifs dans une ville qui connaît un certain déclin. De plus, le bâtiment se situe sur une ancienne friche assez éloignée du centre-ville.

Le projet a mis l'accent sur l'importance des carnets de détails d'exécution et sur les moyens à mettre en œuvre pour traiter les liaisons sensibles (ponts thermiques, tours de fenêtres...). L'entreprise doit, avec l'aide de la maîtrise d'œuvre, réaliser un carnet de détails précis et complet.

Habitat de la Vienne

Un PLU précurseur pour des maisons à énergie positive



Identité, contexte et motivations

Ce projet de deux maisons individuelles émane de la volonté d'Habitat de la Vienne et de la commune de Saint-Benoît de concevoir une opération de grande qualité, à faible consommation d'énergie et à énergie positive. Pour Habitat de la Vienne, ce projet s'inscrit également dans sa charte développement durable.

Il faut noter un contexte propice à ce type de projet, porté au niveau du Grand Poitiers et inscrit dans le PADD (Projet d'Aménagement et de Développement Durable) de son PLU : « A travers son Contrat Local Initiative Climat, Grand Poitiers s'est fixé une ambition : respecter les objectifs du protocole de Kyoto d'ici 2010 et atteindre le facteur 4 d'ici 2050, c'est-à-dire une division par quatre de la consommation énergétique. [...] la collectivité entend bien encourager les acteurs à réaliser des projets d'aménagement et de construction qui, du point de vue efficacité énergétique et utilisation des énergies renouvelables, relèvent d'une ambition atteignant, voire dépassant, le cadre national. »



STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : béton cellulaire de 250 mm renforcé par un isolant 160 mm ($U = 0.130 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).
- › **Menuiseries** : triple vitrage.
- › **Chauffage et ECS** : VMC DF (rendement : 84%) renforcée par une batterie chaude alimentée par le ballon de stockage (750 L) chauffé par capteurs solaires (83% apports) avec appoint électrique et échangeur.
- › **PV** : 63 m² PV pour les deux maisons soit une puissance installée de 8,5 kWc (respectivement 4 et 4,5 kWc) - production revendue.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : septembre 2013
 2 maisons individuelles : 1 T3 de 67 m² et 1 T4 de 86 m² avec garage de 20 m², jardin et terrasse
 Surface habitable totale : 153 m²
 Prix de location :
 - T3 : 470 €
 - T4 : 488 €
2 675 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	74	13%
Construction.....	335	60%
Charges foncières.....	149	27%
Total	558	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	153	27%
Subventions.....	142	25%
Prêts.....	262	48%
Total	558	

Performances conventionnelles

	T3	T4
Ubat (W/m ² .K).....	0,203	0,196
	(Réf. 0,442)	(Réf. : 0,434)

Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWhep/m²)

Chauffage	3,4	2,7
ECS	13,3	12,9
Aux. Ventilation	8,3	6,7
Autres auxiliaires	3,6	3,0
Eclairage.....	5,9	6,2
Cep hors PV	34,5	31,5
Production PV	- 109,9	- 99,6
Cep BBC 2005	- 75,4	- 68,1

La Vallée Mouton II à Saint-Benoît (86)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Dans le cadre du suivi des consommations mis en place par Habitat de la Vienne, les locataires sont en contact direct avec un ingénieur thermicien. Ce suivi, s'il n'est pas généralisable pour un grand nombre de logements, permet d'avoir un réglage de l'installation et un dialogue continu avec les locataires.

De plus, pour assurer une performance maximale, Habitat de la Vienne a fourni aux locataires des appareils électro-ménagers performants – réfrigérateur/congélateur, table à induction, four encastrable, lave-vaisselle et lave-linge avec double entrée eau chaude/eau froide – sans augmentation de loyer.

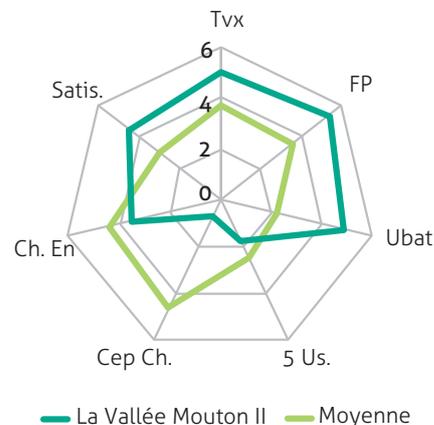
Consommations et dépenses énergétiques

Habitat de la Vienne s'est engagé à réaliser un suivi sur cinq ans des performances de ces deux maisons, réalisé directement par un de ses ingénieurs thermiciens. Il concerne le relevé des compteurs (eau, électricité, calories), le contrôle du bon fonctionnement des équipements, l'affinement des réglages et l'échange avec les locataires sur leurs consommations, leurs modes d'utilisation des installations et la réponse à leurs questions.

Bilan des consommations d'énergie sur la période de septembre 2013 à août 2014

Energie (kWh)	T3	T4
Chauffage	1 329	1 281
ECS	1 000	2 123
VMC	486	645
Eclairage	32	33
Auxiliaires	93	85
Appareils domestiques	2 041	2 262
Consommation totale	4 980	6 429
Production	3 830	4 573

Chiffre clé : La facture énergétique globale annuelle (inclus usages domestiques) est de 650€ pour le T3 et 800 € pour le T4 (baisse de charges attendue pour la deuxième année).



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Les différences entre performances conventionnelles et réelles proviennent à la fois de problèmes liés aux réglages des équipements, et aux usages qui en sont faits. Cette opération permet ainsi de tirer des enseignements sur les erreurs à éviter en phase de conception et d'exploitation. Ainsi, en phase conception, il conviendra de ne pas sous-estimer la part de la consommation des appareils électriques. En effet, le suivi des consommations montre qu'elles représentent une part très importante du bilan énergétique (41% pour le T3 et 35% pour le T4). Il faudra également envisager la grande variabilité des consommations (notamment d'ECS et de chauffage) en fonction du mode de vie des ménages. En phase exploitation, il sera nécessaire de procéder la première année à un suivi pour optimiser les réglages des installations et corriger les éventuels défauts. Il faudra également accompagner les utilisateurs pour leur expliquer le fonctionnement des équipements et leur faire acquérir des réflexes de bonne gestion des équipements.

3F

Une opération Zéro Energie au sein d'un écoquartier

Identité, contexte et motivations

Depuis 2008, 3F a engagé des actions de formation de ses chargés d'opération sur le développement durable et les performances énergétiques. Le BBC a d'abord été expérimenté par palier puis, depuis 2010, toute construction est en BBC et, depuis 2013, en RT2012 – 10 %. 3F souhaitait s'engager dans une opération très performante et innovante, notamment en ce qui concerne l'énergie, en vue de se préparer et d'anticiper la réglementation de 2020.

Cette opération se situe sur l'écoquartier de la ZAC de Bois-Badeau. Lauréat du programme Nouveaux Quartiers Urbains de la Région Ile-de-France en 2009 et labellisé EcoQuartier par le Ministère en 2011, il bénéficie d'un réseau de chaleur bois.

Compte-tenu de l'orientation des bâtiments, cette opération permettait des performances intéressantes. Avec un bilan énergétique positif à +4.5kWh/m², cette opération est bien plus qu'un bâtiment à énergie positive. Elle se présente comme une résidence « zéro énergie » c'est-à-dire dont l'objectif est de limiter la consommation d'énergie des logements à 65 kWh/m²/an, ces 65 kWh étant compensés par une production d'énergies renouvelables.

Conduite en procédure conception-réalisation, cette opération bénéficie de la certification Qualitel « Habitat et Environnement Profil A » et du label BBC Effinergie (sauf pour le bâtiment C : THPE 2005).

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : murs en béton armé (voiles porteurs 16 cm) et bardage bois (red cedar).
- › **ITE** : 30 cm de laine de roche.
- › **Menuiseries** : triple vitrage bois aluminium.
- › **Chauffage** : système mixte (eau chaude du réseau de chaleur urbain + ventilation DF).
- › **Ventilation** : DF couplé à un système U bio de récupération de chaleur (80 %) d'Aldes (circulation eau chaude couplée à la ventilation double flux).
- › **ECS** : réseau de chaleur urbain + capteurs solaires (55 m²)
- › **PV** : 1 196 m² de PV en sur-toiture, orientés sud (production annuelle prévisionnelle de 149 000 kWh) – production revendue.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : mai 2013
 6 bâtiments collectifs de R+2 à R+4
 54 logements : 4 studios de 33 m², 10 T2 de 48 m², 21 T3 de 66 m², 15 T4 de 82 m² et 1 T5 de 96 m²
 Surface habitable : 3 608 m²
 Prix de location : de 285 € (PLAI) à 303 € (PLUS) pour un studio à 706 € (PLAI) à 756 € (PLUS) pour un T4
2 521 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	1 290	.....11%
Construction.....	7 806	.....68%
Charges foncières.....	2 443	.....21%
Total	11 540	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	1 718	.....15%
Subventions.....	2 494	.....22%
Prêts.....	7 328	.....63%
Total	11 540	

Performances conventionnelles

Ubat (W/m ² .K)	0,35 – 0,45
Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWh/m ²)	
Chauffage	10
ECS	22
Aux. Ventilation et autres, éclairage.....	30
Cep hors PV.....	61,2
PV	128
Perméabilité à l'air (en m ³ /h.m ²).....	0,38 – 0,57





Le Bois Badeau à Brétigny-sur-Orge (91)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Un livret gestes verts «Vous êtes résident d'un bâtiment avec objectif *Zéro Energie*», qui reprend des consignes simples, a été remis aux locataires à leur arrivée. Un dispositif d'accompagnement a également été mis en place avec l'appui d'une association spécialisée, sur une durée de plusieurs mois après l'entrée dans les lieux.

Afin de suivre au mieux leurs consommations et de les adapter en continu, les logements sont équipés d'un système de comptage permettant de mesurer la température intérieure ainsi que les consommations suivantes : eau froide, eau chaude, électricité, chauffage (consommation moyenne par logement).

Ces informations sont accessibles sur une tablette installée à l'entrée du logement (écran tactile, installé par 3F dans chaque logement), permettant ainsi aux locataires de visualiser leurs consommations en temps réel. En juillet 2014 (après avoir fonctionné correctement lors de leur installation), les tablettes fournies par Schneider ont rencontré quelques soucis de fonctionnement.

Consommations et dépenses énergétiques

3F a mis en place un système d'instrumentation avec Schneider Electric afin de valider les performances annoncées pour le bâtiment et les équipements, de rendre le bailleur et le locataire acteurs de la maîtrise des énergies (alertes sur les dérives de consommation et possibilité de réaction rapide des acteurs) et de bénéficier d'un retour d'expérience (base de données et aspects comportementaux).

Ce système comprend 265 points de comptage sur les aspects eau froide, chauffage, ECS (appoint et solaire), réseau de chaleur (boucle), électricité, espaces communs, température intérieure des logements, température extérieure et PV. Une plateforme en ligne rendra les données disponibles à chaque acteur (exploitant technique, chef de secteur, habitant, observatoire des charges...).

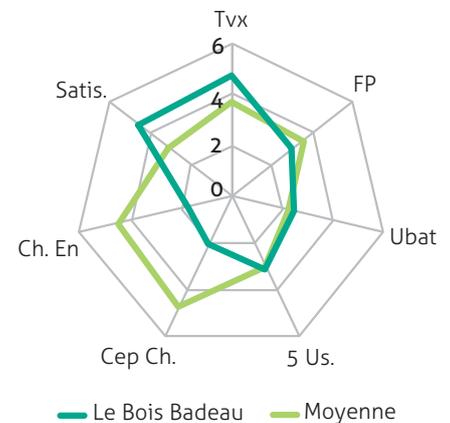
Les calculs des consommations conventionnelles seront ainsi confrontés aux consommations réelles des bâtiments, dans le cadre de campagnes de mesure conduites durant plusieurs années suivant la livraison des logements. L'instrumentation n'a pas encore donné de résultat.

Chiffre clé

Les charges énergétiques d'un logement (chauffage + ECS) s'élèvent en moyenne à 2,75 €/m² Shab.

Charges mensuelles
(dont chauffage et ECS)

	(en €)
Studio	91
T2	132
T3	181
T4	225
T5	264



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

La priorité donnée à l'énergie dans le cahier des charges de Tribu (AMO Développement durable de l'aménageur de la ZAC) peut avoir pour conséquence une moindre attention ou vigilance sur les coûts de construction et de gestion-maintenance-exploitation ainsi que sur d'autres aspects (urbanistiques et sociaux notamment). L'attention des aménageurs (à commencer par les bailleurs sociaux) doit être attirée sur la nécessaire transversalité de l'approche et sur l'intérêt d'un AMO développement durable (à distinguer de l'AMO Energie ou HQE qui s'autoproclame ou est baptisé AMO Développement durable).

Au niveau de la conception des bâtiments pour limiter le recours à certains appareils électriques, une suggestion intéressante d'Olivier Sidler (directeur d'Enertech, AMO Energie de cette opération) concerne l'espace dédié au séchage du linge sur les balcons (abri préservant l'intimité en ce qui concerne le linge). Ceci permet d'éviter l'installation d'un sèche-linge dans les logements.

La Nantaise d'Habitations

Le logement à énergie positive pour tous



CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : septembre 2013
 6 maisons individuelles de 84,29 m²
 Surface habitable : 506 m²
 Prix de location moyen :
 - PLUS : 493 €/mois (et 33 €/mois pour le jardin et l'annexe extérieure)
 - PLAI : 435 €/mois (et 33 €/mois pour le jardin et l'annexe extérieure)
1 798 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	9.....	1%
Construction.....	901.....	75%
Charges foncières.....	291.....	24%
Total.....	1 201	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	254.....	22%
Subventions.....	117.....	10%
Prêts.....	767.....	68%
Total	1 201	

Identité, contexte et motivations

Villavenir Atlantique est un projet de six maisons à énergie positive qui souhaite montrer que tous les modes de construction doivent permettre d'accéder à un coût abordable à « un habitat à énergie durable ». Sous l'égide de la FFB Loire-Atlantique, l'objectif était de construire ces maisons selon un référentiel défini par la FFB, proche de la future RT 2020 et à un coût maîtrisé, afin de démontrer que les produits et les solutions existants sur le marché sont compatibles avec le (futur) label BEPOS et que ces maisons sont reproductibles.

Construites sur un projet de ZAC favorisant le logement abordable dans l'écoquartier Erdre-Porterie, ces six maisons à énergie positive ont été achevées en VEFA par La Nantaise d'Habitations et livrées en septembre 2013. Différentes techniques constructives ont été testées : deux maisons en bois, deux en maçonnerie et deux à ossature métallique.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

Maison en bois :

- › **Structure** : ossature bois avec double isolation (20 cm ouate de cellulose entre montants bois et 10 cm ITI à base de vêtements recyclés).
- › **PV** : 15 m² en toiture-terrasse – production revendue.
- › **Chauffage/ECS/Ventilation** :
 - maison Ouest : COMBINEO/solaire thermique/récupération sur eaux usées,
 - maison Est : Panneaux rayonnants/ballon thermodynamique/VMC simple flux hygro B/récupération eaux usées.

Maison en métal :

- › **Structure** : ossature métallique avec façade préfabriquée, planchers collaborants et isolation intégrée (200 mm laine de verre + 100 mm polyuréthane).
- › **PV** : 25 m² intégrés en toiture – production revendue.
- › **Chauffage/ECS/Ventilation** :
 - maison Ouest : PAC combiné SYSTOVI/ VMC simple flux hygro,
 - maison Est : PAC double service/VMC par insufflation avec préchauffage de l'air.

Maison en maçonnerie :

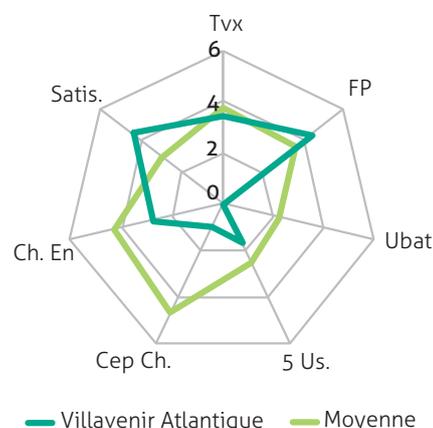
- › **Structure** : mode constructif en maçonnerie isolante avec une forte isolation en laine minérale sur les murs (R > 4,5 m².K/W) et en toiture (R > 11 m².K/W) PV : 9 m² en toiture – production revendue.
- › **Chauffage/ECS/Ventilation** :
 - maison Ouest : VMC DF hygro réglable avec appoint chaudière gaz condensation/chaudière et appoint solaire thermique,
 - maison Est : VMC DF autoréglable avec appoint chaudière gaz condensation/chaudière et appoint solaire thermique.

Villavenir Atlantique à Nantes (44)

.../...

Performances conventionnelles

Calcul RT 2012	Bois ouest	Métal ouest	Maçonnerie
Cep	33,1	34,9	25,1
Cep réel (6 mois)	19,0	34,7	17,9
Perméabilité à l'air.....	0,2 m ³ /h.m ²	0,3 m ³ /h.m ²	0,3 m ³ /h.m ²
Production PV en kWh _{eff} /an	4 254	7 808	2 555
en kWh _{ep} /an.....	10 975	20 145	6 592
Production nette d'énergie	+ 3 622 kWh _{ep} /m ²	+ 12 571 kWh _{ep} /m ²	+ 720 kWh _{ep} /m ²



Prise en charge des locataires/sensibilisation

Un livret a été remis aux locataires à leur entrée dans le logement.

Consommations et dépenses énergétiques

Une mission de deux ans (entre mars 2014 et mars 2016) permettra de suivre les consommations d'énergie des six maisons par usages thermique et électrique (avec un pas horaire) ainsi que les températures intérieures et extérieures. Cette mission vise à « régler, observer, accompagner ». Le premier rapport semestriel a été présenté en novembre 2014 pour la période allant du 1^{er} mars 2014 au 31 août 2014, soit six mois dont près de quatre mois hors période de chauffe.



Chiffre clé : La dépense énergétique globale moyenne (tous usages, y compris domestique) d'une famille de quatre personnes (couple + deux enfants) est de **60 à 70 € par mois**, sur les six premiers mois de suivi (dont 3,5 mois sans chauffage) dont 10 € pour l'abonnement électrique, 20 € pour les usages réglementaires et 40 € pour les usages non réglementaires.

Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Globalement, les ménages sont satisfaits de leur logement, considéré comme « très confortable », notamment grâce aux dispositifs énergétiques performants.

Cependant, **les factures énergétiques s'avèrent beaucoup plus élevées que ce que les locataires avaient imaginé devoir payer.** Cela interroge les messages transmis par le bailleur aux locataires. Un locataire d'une maison en bois note : « Ils avaient une base nettement en-dessous de ce qu'on payait, donc c'était intéressant. Sur le papier c'était entre 250 et 300€ par an de dépenses énergétiques. Je crois qu'ils avaient compté que le chauffage en fait... là on est à 1 100€ ! ». Un autre locataire observe également que sa facture énergétique semble avoir augmentée par rapport à son ancien logement. Les locataires aimeraient savoir si l'expérimentation s'avère probante et si des économies ont bien été réalisées grâce aux dispositifs mis en œuvre.

Rhône Saône Habitat

Un bâtiment performant co-construit avec les habitants



CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : mai 2013
 3 plots d'immeubles (R+4) réunis par la toiture, 38 logements
 Surface habitable : 2 752 m²
2 020 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....475.....11%
 Construction5 084.....81%
 Charges foncières.....691.....6%
 Total6 250

Performances conventionnelles

Ubat (W/m².K)0,539
Consommations d'énergie (RT 2005)
(en kWh_{ep}/m²)
 Chauffage.....14
 ECS.....26
 Auxiliaires ventilation.....3
 Autres auxiliaires.....3
 Eclairage7
 Cep hors PV.....53
 Production PV.....-28
 Cep BBC 2005.....25

Identité, contexte et motivations

La spécificité de l'opération réside dans le fait qu'il y ait eu deux maîtres d'ouvrage, Rhône Saône Habitat et le Village Vertical de Villeurbanne (Coopérative d'habitants pour un projet d'habitat participatif), unis par une même volonté : avoir un bâtiment unique performant énergétiquement.

Le Grand Lyon a été sensible au caractère à la fois social et innovant de l'opération et a proposé le terrain sur la ZAC Maisons Neuves. Un terrain moins bien situé avait été initialement proposé mais les habitants du Village Vertical ont relancé le Grand Lyon à de nombreuses reprises et ont finalement obtenu le terrain qu'ils souhaitaient, situé en face d'un jardin public, à la limite de Lyon (la gare de la Part-Dieu est à environ quinze minutes à pied).

L'opération comprend 38 logements, dont 24 en accession sociale sécurisée et 14 pour la coopérative d'habitants (Village Vertical de Villeurbanne).

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : système constructif bois-béton breveté (« BBC système », dépôt INPI 12/50382).
- › **Chauffage** : chaufferie collective gaz à condensation et bois à granulés – seule la chaudière gaz fonctionne en-dehors de la saison hiver.
- › **ECS** : PAC air/eau (branchée sur circuit VMC).
- › **Ventilation** : VMC type hygro B.
- › **PV** : 260 m² de PV, pour une puissance installée de 36 kWc - production attendue de 37 500 kWh_{ep} par an, soit 28 kWh_{ep}/m² Shon.

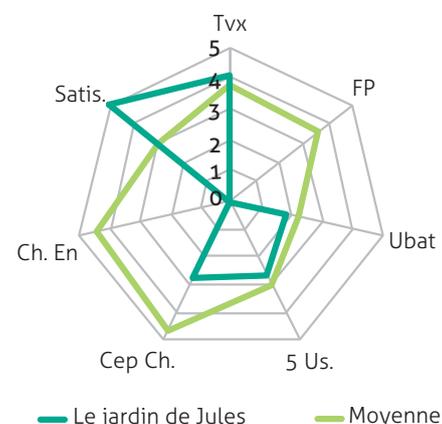
Le Jardin de Jules à Villeurbanne (69)

Sensibilisation des habitants

L'opération est marquée par la présence de la coopérative d'habitants le Village Vertical de Villeurbanne. Le Village Vertical est propriétaire du bâtiment et loue les logements à ses membres.

«*Nous sommes propriétaires collectivement du bâtiment, mais locataires à titre individuel de notre logement*», résume Antoine Limouzin, chargé de mission dans une mairie, qui a rejoint le projet avec sa femme il y a 9 ans.

L'architecture retenue favorise les contacts entre les habitants (tables et chaises à chaque étage pour favoriser le dialogue, buanderie collective et salle commune au rez-de-chaussée, participation collective à la maintenance des espaces communs, potager et composteur commun...).



Chiffre clé : 5 cibles QEB traitées (intégration bio-climatique, matériaux, systèmes énergie eau, maîtrise des confort et réduction des nuisances).

Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Un projet d'habitat participatif appelle un temps de conception et de montage long, avec de nombreux échanges entre les futurs habitants et les cabinets d'architecte (les coopérateurs ont souhaité travailler avec deux architectes locaux).



Sarthe Habitat

Des locataires impliqués pour des logements performants



Identité, contexte et motivations

En 2009, la commune d'Etival-lès-Le Mans (2 100 habitants, à environ 10 km au sud-ouest du Mans) et la communauté de communes du Val de Sarthe se sont rapprochées de Sarthe Habitat afin de mener une opération de construction de logements sociaux locatifs à haute performance énergétique sur une parcelle de 5 210 m² située à 800 mètres du centre-bourg.

Sarthe Habitat a ainsi fait construire dix maisons individuelles à énergie positive « BePOS », répondant à cet objectif mais aussi entrant dans son projet d'entreprise et enfin permettant une expérimentation dans la perspective de la réglementation thermique prévue d'ici 2020.



CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : septembre 2013
 10 maisons individuelles avec garage :
 3 T3 de 76m², 5 T4 (R+1) de 89 ou 90m²
 et 2 T5 (R+1) de 99m²
 Surface habitable : 850 m²
 Prix de location :
 - T3 : 392 €
 - T4 : 458 ou 462 €
 - T5 : 441 €

2 457 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	932.....	43%
Subventions.....	167.....	8%
Prêts.....	1 050.....	49%
Total	2 149	

Performances conventionnelles

Ubat (W/m².K).....0,157
 (Réf. 0,442)

Consommations d'énergie (RT 2005)

(en kWhep/m².Shon)

Chauffage.....	5,0
ECS.....	56,2
Eclairage.....	6,0
Auxiliaires ventilation.....	11,5
Auxiliaires.....	0,4
Cep hors PV.....	79,1
Production PV.....	- 46,4
Cep BBC 2005.....	32,7

Du fait d'une forte consommation d'énergie pour l'ECS, les maisons n'atteignent pas le BePOS.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

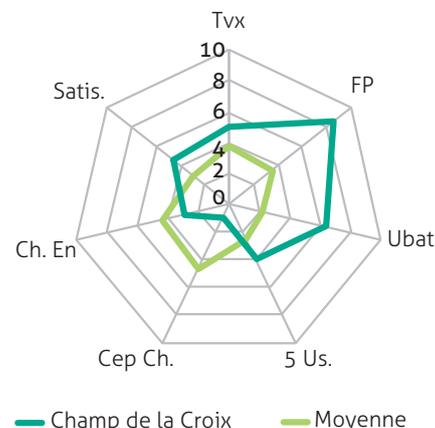
- › **Structure** : mur à ossature bois (30 cm laine minérale) et bardage bois.
- › **Menuiseries** : triple vitrage label Passiv Haus
- › **Chauffage, ECS et ventilation** : système combiné (PAC intégrée, système TRESKO Combinéo) associé à une VMC double flux, et radiateur électrique d'appoint
- › **PV** : 168 m² PV pour les 10 maisons (production attendue de 18 000 kWh) - production revendue

Champ de la Croix à Etival-lès-Le Mans (72)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Sarthe Habitat estime que l'implication de toutes les parties prenantes est une condition de réussite de l'opération. Comme il y avait trois demandes pour un logement, les ménages ont effectué un entretien préalable afin de montrer leur intérêt pour le projet. Si tous les locataires étaient intéressés par la baisse des charges, seuls quelques-uns étaient intéressés par la démarche de développement durable et la qualité environnementale du projet.

Les futurs locataires ont été accueillis en mairie, ont satisfait à une séance de questions – réponses et ont bénéficié d'un temps d'explication lors de la remise d'un livret vert, ce qui a aussi permis de renforcer la cohésion entre les locataires et d'améliorer les relations avec l'agence. Le thermicien a également accompagné les locataires, en amont de l'entrée dans le logement. Enfin, plusieurs outils de sensibilisation et de communication ont été élaborés et mis en place à destination des locataires (vidéo, livret vert et agent de proximité en emploi d'avenir).



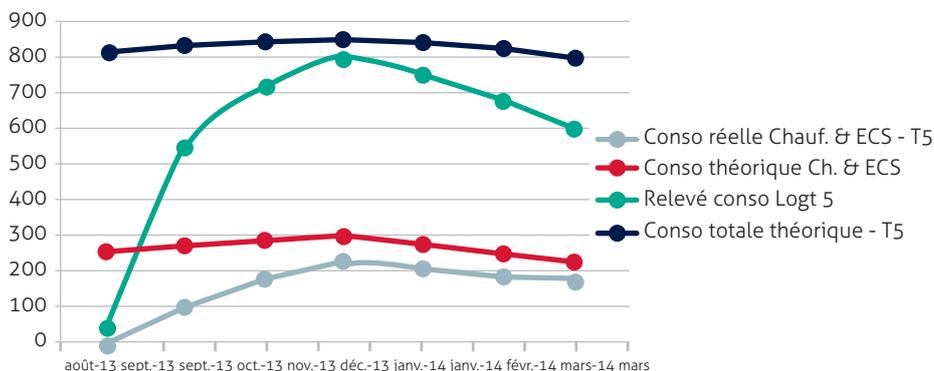
Consommations et dépenses énergétiques

Des systèmes de comptage et de mesure (de consommation, de production, de température...) ont été installés en divers points de l'opération pour inciter les locataires à adopter un comportement vertueux et pour capitaliser les informations afin d'en tirer des enseignements.

Les premiers résultats (septembre 2013 – mars 2014) montrent un bon fonctionnement des maisons, même si l'objectif BePOS n'est pas atteint.

La consommation réelle pour le chauffage et l'ECS est inférieure à la prévision théorique : la consommation électrique est de l'ordre de 200 kWh par mois de chauffage contre 250 à 300 kWh dans le modèle théorique. La consommation électrique totale du logement est de l'ordre de 700 kWh par mois contre 850 kWh dans le modèle théorique.

Comparaison des consommations conventionnelles et réelles d'août 2013 à mars 2014



Chiffre clé : La dépense annuelle en électricité serait de l'ordre de 3 000 € par an pour les dix logements, soit une moyenne de 30 € par mois et par logement (sur dix mois).

Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Même si les consommations réelles sont en-dessous des prévisions, ces maisons n'atteignent toujours pas le niveau BePOS, comme envisagé initialement.

Les locataires sont très satisfaits par leur logement. Ils les considèrent comme très confortables et ne nécessitant aucune modification.

Après six mois de vie dans les logements, les locataires se sentent intéressés et impliqués dans la performance énergétique des logements.

Ils semblent aussi avoir bien accepté le comportement du bâti, à savoir qu'il faut environ trois heures pour augmenter la température de deux degrés et qu'à l'inverse une montée en température due à l'utilisation de la cuisine peut mettre plusieurs heures à redescendre.

Angers Loire Habitat

La simplicité au service des habitants



Identité, contexte et motivations

L'objectif du projet était de préparer la RT 2020 avec un bâtiment basse consommation avec une production locale d'énergie, tout en proposant des logements simples d'utilisation, sains et confortables, « avec des coûts de construction acceptables ». Un autre objectif d'Angers Loire Habitat était de réduire l'impact environnemental global du bâtiment, par une évaluation de l'énergie grise nécessaire. Les caractéristiques finales et les performances obtenues en font un bâtiment à énergie positive.

Le choix du foncier a été effectué par Angers Loire Habitat pour permettre une orientation favorisant les apports solaires. Ces deux bâtiments totalisant vingt-trois logements sont situés dans une ZAC dite « écoquartier ».

Le constat de départ d'Angers Loire Habitat est la nécessité de simplifier l'usage, par une production de logements performants mais nécessitant peu d'actions directes des locataires, en dehors de ce qui est usuel. En effet, peu de locataires s'intéressent à l'optimisation fine de leur consommation d'énergie. C'est pourquoi toutes les solutions qui pouvaient être pilotées ou gérées de manière passive (sans intervention des habitants) ont été mises en œuvre (pièces de vie, notamment séjour, situées en façade sud et espace nuit en façade nord, balcons des étages supérieurs ou brise-soleil pour filtrer le rayonnement solaire en été, logements traversants pour permettre le rafraîchissement naturel lors de l'ouverture des fenêtres).

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : ossature bois avec laine minérale HPE ($R=6,2 \text{ m}^2.K/W$), en massif pour les refends et en pré-murs pour infrastructures (réalisée par des entreprises locales), et 40 cm de ouate de cellulose en toiture.
- › **Système constructif** à ossature bois, avec une importante réduction des ponts thermiques.
- › **Ventilation** : collective à simple flux hygroréglable, basse consommation, avec dispositif de surventilation dans la cuisine.
- › **Chauffage et ECS** : chaudière collective granulés de bois par aspiration avec ballon ECS avec stockage sur la partie primaire (chaudière prévue pour chauffer 12 logements construits à côté : 2 maisons, un bâtiment de 4 logements et 1 bâtiment de 6 logements) et compteurs individuels.
- › **PV** : 180 PV ($1,36 \text{ m}^2$ par panneau monocristallin de 200 Wc) pour production d'électricité (36 kWc) – production revendue.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : mars 2014
 23 logements collectifs répartis sur
 2 bâtiments en R+2
 8 T2 de 48 m^2 , 10 T3 de 64 à 67 m^2 et
 5 T4 de 80 m^2
 Surface habitable : $1\,459 \text{ m}^2$
 Prix de location :
 - T2 : 290 € à 310 € + 65 € de charges
 - T3 : 370 € à 415 € + 113 € de charges
 - T4 : 410 € à 465 € + 113 € de charges
1 751 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	360	12%
Construction.....	2 194	71%
Charges foncières.....	519	17%
Total.....	3 073	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	741	24%
Subventions.....	460	15%
Prêts.....	1 867	61%
Total	3 073	

Performances conventionnelles

Ubat ($W/m^2.K$)0,2970,313

Consommations d'énergie (RT 2005)

(en kWh/m ²)	bât. A	bât. B
Chauffage.....	10,5	9,8
ECS.....	31,7	30,4
Auxiliaires ventilation.....	2,7	2,4
Autres auxiliaires.....	1,4	1,4
Eclairage	4,6	4,6
Cep hors PV.....	50,9	48,6
Production PV.....	- 58,1	- 51,0
Cep RT 2012	- 7,2	-2,4

L'Espéria à Montreuil-Juigné (49)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

L'objectif d'Angers Loire Habitat est de faciliter les comportements écoresponsables des locataires, par des actions de communication et de sensibilisation.

Une communication spécifique et un accompagnement de la relation locative au moment des attributions a permis d'informer les futurs locataires sur les particularités du bâtiment. Plusieurs temps permettent d'accomplir ce travail de sensibilisation : lors de la commercialisation du programme, lors de la signature du bail avec la distribution du « Guide d'usage BBC BePOS », à l'entrée dans les lieux avec un accompagnement personnalisé, et quelques mois après l'emménagement. Cependant, Angers Loire Habitat pense qu'aucun accompagnement spécifique ne sera nécessaire au cours de la vie dans le logement, fidèle à son idée de faciliter l'utilisation des logements pour en faire avant tout des lieux de vie.

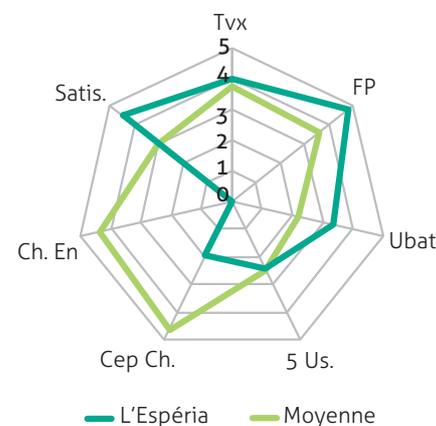
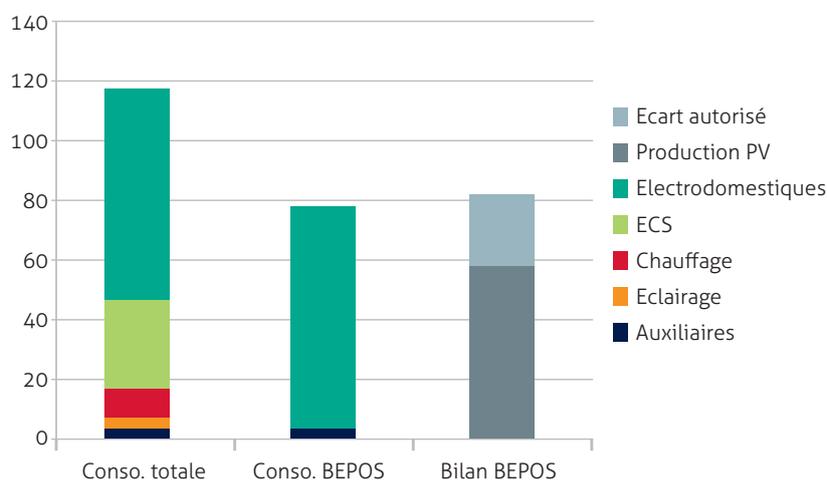
Cette opération, à forte qualité d'usage, inclut des jardins partagés avec un lieu de compostage collectif, et une politique volontariste pour les déchets (tri sélectif en conteneurs enterrés, apport des encombrants en déchetterie, ambassadeurs du tri).

Consommations et dépenses énergétiques

Angers Loire Habitat souhaite que cette opération (livrée en mars 2014) soit une réelle expérimentation avec le temps de retour nécessaire sur les choix réalisés en lien avec les usages des habitants. Aussi, un suivi sera organisé pendant deux ans à la fois par le bailleur mais aussi au travers d'une mission spécifique du concepteur.

Le suivi de la part des concepteurs et de son ingénierie a pour objectif d'évaluer le confort perçu par les habitants (hiver comme été), la qualité d'usage, les relations comportement/confort/température/consommation et la sensibilité des habitants aux économies d'énergie. Un suivi des consommations du bâtiment en temps réel sera réalisé grâce à un système de télégestion.

Bilan BEPOS de l'opération (méthode BEPOS-Effinergie 2012)



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Au-delà de la consommation énergétique, un des objectifs d'Angers Loire Habitat est aussi de réduire l'impact environnemental global du bâtiment. L'énergie grise, nécessaire à la construction du bâtiment (fabrication et transport des matériaux, chantier, rénovation, démolition, élimination en fin de vie...) prend une part de plus en plus importante dans la consommation globale tout au long du cycle de vie du bâtiment.

En partenariat avec l'ADEME et son ingénierie, le BET EVEA, l'impact de l'opération a été évalué. Par rapport à un projet dit en matériaux traditionnels, la consommation d'énergie grise diminue de 15%, notamment grâce à l'utilisation du bois français pour l'ossature. Ce matériau, puits de carbone, permet de diminuer de 35% les émissions de GES et de réduire les déplacements (provenance française des bois sciés et préfabrication en atelier par des entreprises locales).

Angers Loire Habitat a réalisé un memento des préconisations et corrections, afin de capitaliser les enseignements de cette opération.

Le Toit Vosgien

Des matériaux biosourcés pour un bâtiment passif



Identité, contexte et motivations

Comme les autres opérations décrites réalisées par Le Toit Vosgien, la Résidence Jules Ferry s'inscrit dans la stratégie du Toit Vosgien de développer la filière bois et les matériaux biosourcés à travers des opérations passives, notamment avec la Chambre de commerce et d'industrie des Vosges, l'un de ses actionnaires majoritaires.

Cette opération de deux bâtiments dont un de 7 étages ne fait donc pas exception à la règle et a bénéficié des expériences acquises, avec l'ambition de réduire les charges des locataires.

L'opération a reçu le prix d'excellence LQE (Lorraine Qualité Environnement) en 2014 et a été labellisée PassivHaus au mois de mars de la même année.



CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : janvier 2014
 2 bâtiments collectifs (R+2 et R+7) de 26 logements
 19 T3 (76 m²) et 7 T4 (90 m²)
 Surface habitable : 2 074 m²
 Prix de location moyen :
 - T3 : de 351 €(PLAI) à 416 € (PLUS)
 - T4 : de 425 € (PLAI) à 502 € (PLUS)
2 384 €TTC/m² Shab (hono+tvx)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires.....	577	.....11%
Construction.....	4 368	.....83%
Charges foncières.....	298	.....6%
Total.....	5 243	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres.....	1 315	.....25%
Subventions.....	780	.....15%
Prêts.....	3 150	.....60%
Total.....	5 245	

Performances conventionnelles

	Bât. A	Bât. B
<i>Ubat (W/m².K).....</i>	<i>0,36.....</i>	<i>0,32</i>
Consommations d'énergie (RT 2012) <i>(en kWhep/m²)</i>		
Chauffage.....	2,6.....	15,3
ECS.....	18,5.....	27,9
Aux. ventilation.....	7,4.....	6,1
Autres auxiliaires.....	0.....	0,1
Eclairage.....	4,4.....	3,7
Cep.....	32,9.....	53,1
Perméabilité à l'air ..<0,60.....	<0,60.....	<0,60
<i>(vol/h à n50)</i>		

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : ossature bois avec ITE par caissons préfabriqués remplis de paille.
- › **Menuiseries** : triple vitrage.
- › **Chauffage et ventilation** : VMC DF collective à haut rendement (80%) + batterie de chauffe individuelle reliée à une PAC haute température (sondes à 21 m de profondeur) (20%).
- › **ECS** : solaire thermique (50 m² de capteurs – fournissent 50% des besoins en hiver et 100% en été) + récupération chaleur eaux usées (30%) + PAC haute température (20%).

Résidence Jules Ferry à Saint-Dié-des-Vosges (88)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Un livret a été remis aux locataires à leur entrée dans le logement, ainsi que des lampes basse-consommation, en continuité des efforts faits pour l'éclairage des communs.

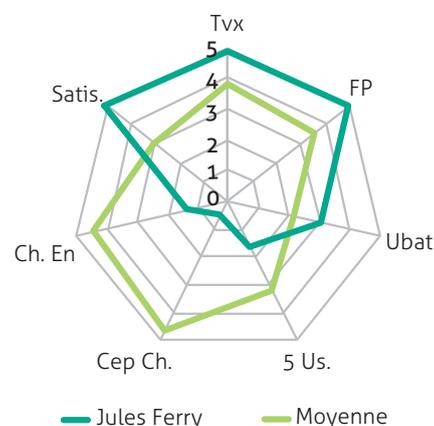
Un système d'affichage instantané dans chaque logement permet au locataire de suivre ses consommations (chauffage, eau froide et eau chaude, prises, éclairage), le niveau de température et d'hygrométrie et la consommation de ses propres appareils électrodomestiques.

Consommations et dépenses énergétiques

95% de l'énergie de chauffage et de l'ECS sont fournis par des systèmes de récupération de chaleur, l'énergie solaire et les sondes géothermiques.

Pour le chauffage, la ventilation et l'ECS, la consommation annuelle par logement est de 800 kWh, soit 23 kWh/m² Shab et par an. Cette consommation est donnée hors consommation d'éclairage et électrodomestique qui peut varier de 48 à 120 kWh/m² par an selon les ménages (taille, comportement, équipements).

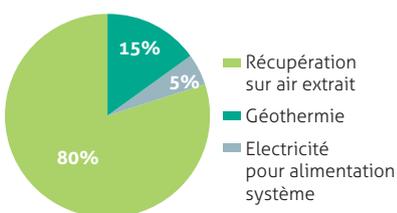
La consommation d'énergie primaire totale moyenne est d'environ 100 kWh/m², c'est-à-dire inférieure à l'objectif de la maison passive (120 kWh/m²).



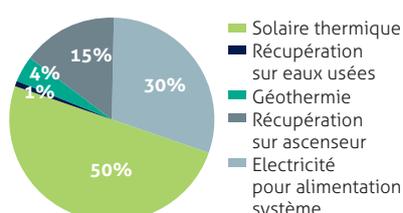
Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Comme sur ses autres opérations, Le Toit Vosgien a fait appel à une équipe architecte-thermicien déjà constituée car il connaît l'importance de travailler ensemble dès l'esquisse du projet, afin de s'assurer de l'atteinte des objectifs de performance thermique du bâtiment et de garantir de faibles charges pour les locataires. Une attention particulière a été portée sur la conception bioclimatique : les apports solaires passifs représentent plus de 30% des besoins de chauffage et 50% des besoins en eau chaude sanitaire. Ces objectifs, ainsi que la bonne intégration dans le tissu urbain existant, ont guidé la composition volumétrique de l'opération.

Répartition des sources énergétiques pour le chauffage



Répartition des sources énergétiques pour l'eau chaude sanitaire



100% d'énergie renouvelable, 95% d'énergie gratuite

Chiffre clé :

Des charges énergétiques de 11 € par mois et par logement, soit un total annuel estimé de 132 €/an (hors électro-domestique variant de 200 à 500 €/an, suivant les choix d'usages des locataires).

Au total, les charges locatives (hors déchets) s'élèvent à 70 € par mois pour un logement de 90 m² dont 16% seulement sont imputables au chauffage et à l'eau chaude sanitaire.

Charges mensuelles pour un logement T4 de 90 m²

- › Chauffage : 3 €
- › Eau chaude : 2 €
- › Ventilation : 2 €
- › Entretien : 4 €

Nantes Habitat

Entre performances énergétiques et performances sociales

Identité, contexte et motivations

Ce projet de Nantes Habitat composé de deux bâtiments, a été lauréat d'un appel à projets Prebat et de l'appel à projets bas carbone d'EDF en 2012. Il est également lauréat de l'appel à projets pour des expérimentations BePOS du PUCA.

L'opération visait initialement une consommation d'énergie primaire inférieure à 50 kWh/m²shon/an, avec une labellisation BBC-Effinergie (2010). Nantes Habitat n'a pas souhaité imposer le BePOS dans son programme, l'enveloppe budget étant primordiale. Cependant, en vue d'une maîtrise des charges énergétiques et locatives, les ambitions de ce projet sont multiples :

- ▶ économique, avec un coût travaux maximum à 1 800 € HT/m² Shab ;
- ▶ technique, par l'atteinte du BePOS si possible et une consommation énergétique contrôlée dans le temps ;
- ▶ sociale, par une conception des logements et des espaces communs qui favorisent une vie collective, le « vivre ensemble ».

Cette opération, qui peut être considérée comme « à énergie positive » au sens de la RT2005, a été réalisée en conception – réalisation, avec le recours à plusieurs AMO (programmation, AMO étanchéité à l'air...). Cette procédure a permis une approche en coût global des solutions énergétiques retenues.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- ▶ **Structure** : béton, planchers et murs de refends tous les 6 mètres et des panneaux bois incluant l'isolation (32 cm de laine de verre croisée).
- ▶ **Menuiseries** : double vitrage ($U_w = 1,40 \text{ W/m}^2.K$).
- ▶ **Chauffage** : Panneaux rayonnants électriques avec système de détection de présence et sèche serviette dans les salles de bain.
- ▶ **ECS** : Système HELIOPAC avec production collective pour les 2 bâtiments : 2 ballons d'ECS de 1 500 L. + 50m² de capteurs solaires souples + 1 PAC.
- ▶ **Ventilation** : VMC collective hygroréglable de type B « basse consommation » (2 caissons par bâtiment), réseaux aérauliques rigides équipés d'accessoires à joints de classe C.
- ▶ **Energies récupérées** : Evacuation eau chaude des douches couplée à un système de récupération d'énergie sur les eaux grises type Power-pipe (préchauffage des chauffe-eau seulement).
- ▶ **PV** : 375 m² de PV sur les 2 bâtiments – production revendue.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : janvier 2014
 2 bâtiments R+4 reliés entre eux
 30 logements : 7 T2, 12 T3, 6 T4, 4 T5 et 1 T6
 Surface habitable : 2 732 m²
 Prix de location moyen pour un T3 : 465 € HC
2 240 €TTC/m² Shab (hono+tvx)
2 635 €TTC/m² Shab (hono+tvx, hors loggia)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires	730	10%
Construction	5 390	72%
Charges foncières	1 327	18%
Total	7 447	

Plan de financement (en k€)

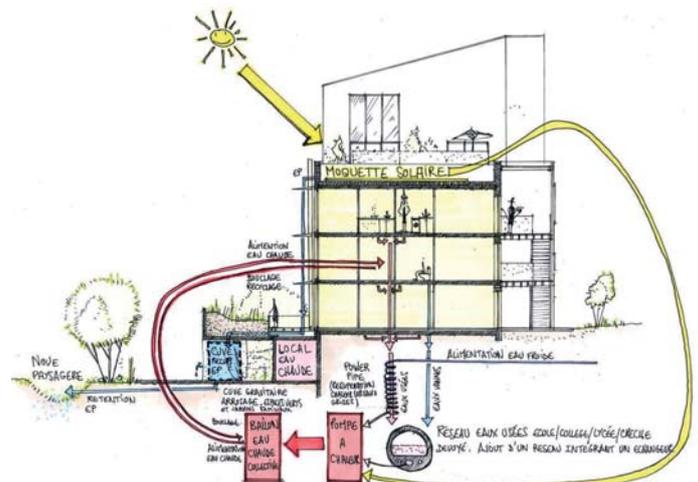
Fonds propres	1 050	14%
Subventions	505	7%
Prêts	5 892	79%
Total	7 447	

Performances conventionnelles

Ubat (W/m².K)0,508.....0,470

Consommations d'énergie (RT 2005)

(en kWh/m ² Shon)	bât. A	bât. B
Chauffage	17,8	15,9
ECS (y.c. powerpipe)	10,5	10,4
Eclairage	4,2	3,6
Auxiliaires ventilation	2,2	2,5
Auxiliaires	0,0	0,0
Cep hors PV	34,7	32,4
Production PV	- 40,8	- 39,8
Cep BEPOS 2012	-6,1	-7,4
	(Max. 53,0)	(Max. 57,5)



Le Grand Carcouët à Nantes (44)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

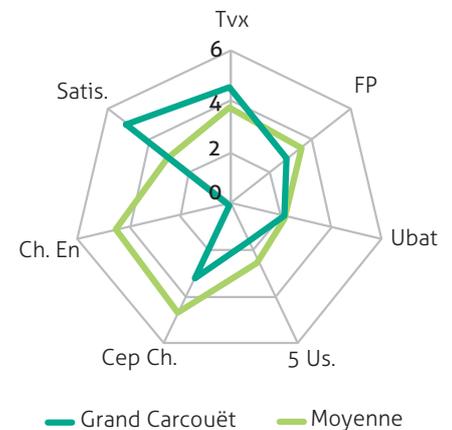
L'objectif affiché de Nantes Habitat est de faire en sorte que le locataire devienne acteur de son logement. Le locataire est donc invité à participer à la vie collective de la résidence.

Nantes Habitat a cherché à adapter son service afin de répondre au mieux à cet enjeu : adaptation de la politique d'attribution (en respect de la politique d'attribution), forte mobilisation du personnel pour les visites de site, implication du personnel via des temps d'échange autour des différents enjeux techniques et sociaux, adaptation de ses missions (par exemple, l'agent d'entretien peut devenir le relais d'information auprès des locataires).

Les futurs locataires ont été sélectionnés en partie sur leur adhésion au projet. Ils ont pu bénéficier de visites guidées avant leur emménagement, de pots d'accueil au moment de leur installation. De nombreuses initiatives sont mises en place pour développer le lien social (réflexion autour d'espaces communs tels que jardins partagés et laverie, ateliers de pratiques artistiques avec un collectif d'artistes...).

Consommations et dépenses énergétiques

Le Grand Carcouët fera l'objet d'un suivi des trente logements par usage, pendant deux ans, pour mieux connaître les modes d'habitation et comparer les consommations relevées et les consommations conventionnelles. Ce suivi sera effectué par le BET Pouget Consultants grâce à différents dispositifs (sondes de températures positionnées dans plusieurs pièces, compteurs pour les consommations de chauffage et ECS, plateforme informatique...). Une enquête sera également envoyée par courrier chaque année aux locataires.



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

Ce projet a permis à Nantes Habitat d'expérimenter la conception-réalisation sur une opération de taille moyenne. Lorsqu'elle est bien menée, cela conduit à une meilleure garantie du respect des engagements financiers (enveloppe prix plus affinée sur laquelle l'équipe de conception-réalisation s'engage) ainsi qu'un gain de temps non négligeable. Faire travailler en équipe l'ensemble des acteurs de la construction dès le début permet également de ne pas pénaliser la performance. L'une des critiques faite au marché de conception-réalisation est de favoriser les grandes entreprises ; cet effet a été modéré dans ce projet car l'entreprise générale s'est fait accompagner d'une entreprise locale CMB pour l'ossature bois.

NEOTOA

**Expérimenter le « passif »
pour trouver les meilleures solutions**



Identité, contexte et motivations

Il s'agit de l'un des deux bâtiments passifs situés à Mordelles, à l'intérieur de l'agglomération de Rennes Métropole, dans le projet d'écoquartier de la ZAC Val de Sermon, avec l'opération La Levantine (cf. infra : Archipel Habitat).

La ville de Mordelles, très engagée dans la construction durable, a proposé à NEOTOA et à Archipel Habitat, ainsi qu'à une coopérative privée de construction, d'intervenir sur la ZAC Val de Sermon avec un double objectif : expérimenter le « passif » afin de rechercher les meilleures solutions techniques garantissant confort et faibles charges pour le locataire.

Les similitudes entre les deux opérations (programme et gabarit sensiblement identiques, la même équipe de maîtrise d'œuvre, même bureau d'études) permettront de comparer deux modes constructifs, deux orientations (imposées par l'urbaniste de la ZAC) et deux aménagements intérieurs différents.

Cette opération a obtenu la certification Passivhaus en novembre 2014, le mois de sa livraison.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : béton armé avec ITE par panneaux PSE graphité 200 mm et isolation pieds de façade (prolongée en soubassement à -1,20m).
- › **Menuiseries** : triple vitrage.
- › Toiture végétalisée.
- › **Chauffage et ventilation** : VMC DF collective (82%) et appoint chauffage avec chaudière collective gaz à condensation et batteries chaudes individuelles, sèche-serviette en salle de bain.
- › **ECS** : solaire (36 m² de capteurs solaires pour 3 ballons) et appoint chaudière gaz à condensation.

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : novembre 2015
 1 bâtiment collectif R+2 orienté E-O
 24 logements : 8 T2, 10 T3, 5 T4 et 1 T6
 Surface habitable : 1 614 m²
 Prix de location moyen :
 - T2 : de 244 € (PLUS) à 308 € (PLAI)
 - T4 : de 423 € (PLUS) à 498 € (PLAI)
1 718 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires	392	.....12%
Construction	2 381	.....71%
Charges foncières.....	588	.....17%
Total	3 361	

Plan de financement (en k€)

Fonds propres	501	.....15%
Subventions	928	.....28%
Prêts	1 933	.....57%
Total	3 362	

Performances conventionnelles

Ubat (W/m ² .K).....	0,376
Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWhep/m ²)	
Chauffage	2,4
ECS	19,2
Auxiliaires ventilation	11,0
Autres auxiliaires	1,0
Eclairage.....	8,2
Cep 5 usages.....	41,78



Le Jardin des Frênes à Mordelles (35)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

NEOTOA met au cœur de son projet d'entreprise la maîtrise des charges par les locataires. Ainsi, des outils de sensibilisation seront produits à travers une approche adaptée au profil du locataire (du consommateur passif au « consom'acteur »).

Dans le cadre de ce projet, une réunion de sensibilisation s'est tenue pour informer les locataires avant leur entrée dans le logement (d'autres se tiendront lors des deux premières années). Un livret d'utilisation a également été distribué et un suivi des consommations est prévu pendant deux ans avec l'Agence locale de l'énergie et du Climat de Pays de Rennes (Alec) pour le Jardin des Frênes comme pour La Levantine. L'Alec du Pays de Rennes accompagnera également un échantillon de locataires.

Consommations et dépenses énergétiques

L'opération étant récente, les données sur les consommations énergétiques réelles n'ont pas encore été consolidées. Ce tableau récapitule les charges énergétiques mensuelles estimées que les locataires peuvent être amenés à payer.

Estimation des charges locatives mensuelles

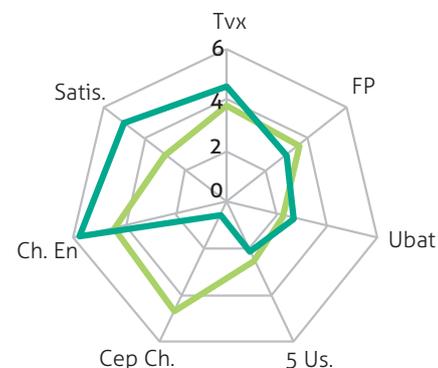
	Eau chaude	Chauffage	VMC	Autres charges	Total mensuel
T2	10	19,11 à 20,74	6,21 à 6,74	33,44 à 36,12	68,76 à 73,6
T3	16,67	25,59 à 27,29	8,32 à 8,87	43,43 à 46,84	94,01 à 99,67
T4	23,33	33,36 à 36,21	10,84 à 11,77	56,94 à 61,65	124,47 à 132,96
T6	46,67	46,7	15,18	78,95	187,5

Cependant, les premiers retours indiquent que ces estimations doivent être revues à la baisse.

Les coûts d'entretien P2 estimatifs sont détaillés comme suit

P2 Chauffage/ECS (HT)	P2 Ventilation (HT)	Total € TTC/Logement/an
1 685,90 €	3 911,15 €	279,85 €

Afin de simplifier au maximum la gestion des équipements de chauffage par les locataires, la gestion des batteries chaudes se fait au moyen de sondes de température : les thermostats d'ambiance ont été supprimés des séjours.



— Le jardin des Frênes — Moyenne

Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

NEOTOA réalise simultanément quatre opérations passives, dont celle-ci (la seule pour laquelle la certification PassivHaus est visée). Le projet de NEOTOA est avant tout la maîtrise des charges, laquelle s'est traduite par le projet EcoSésame qui vise à travailler avec les locataires sur les charges et les comportements économes. NEOTOA est également le premier bailleur certifié SMO en 2012 concernant les chantiers propres. Ses bâtiments sont tous certifiés H&E (engagement exigé par Rennes Métropole), ce qui est considéré par NEOTOA comme un prolongement de l'engagement de l'entreprise en ISO 9001 depuis 2006.

Rhône Saône Habitat

Un bâtiment performant en accession sociale à la propriété au sein de Lyon Confluence



CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

DDate de livraison : juillet 2014
 2 bâtiments collectifs R+7
 84 logements dont 56 en accession sociale (26 T2, 19 T3 et 13 T4) et 26 en VEFA
 Surface habitable : 5 842,10 m²
 Prix de vente moyen des logements : **218 167 € TTC (hors garage)**
soit 3 401 € TTC/m² Shab

Budget initial du coût de construction :

10 165 k€ HT pour de 6 876 m² Shon
 (soit 1 478 € HT/m² Shon)

Performances conventionnelles

Ubat (W/m².K)0,427
Consommations d'énergie (RT 2005)
 (en kWh/m²)
 Chauffage.....20,95
 ECS.....18,80
 Cep 5 usages.....58,20
 Perméabilité à l'air<0,60
 (vol/h à n50)

Taux d'énergies renouvelables : 78%

Identité, contexte et motivations

Cette opération est située dans l'écoquartier Lyon Confluence qui a fait l'objet d'un projet soutenu par le programme européen Concerto, avec une forte attention portée sur les performances énergétiques.

Le projet complet porte sur deux bâtiments abritant respectivement 84 logements dont 58 logements destinés à l'accession sociale sécurisée à la propriété et 26 logements locatifs sociaux cédés en VEFA à Grand Lyon Habitat. Grand Lyon a sollicité deux maîtres d'ouvrage, avant de confier cette opération à Rhône Saône Habitat.

La commercialisation de cette opération s'est déroulée sans difficulté, les logements destinés à l'accession sociale à la propriété étant tous vendus avant la livraison.

L'objectif du projet était de construire avec « des exigences très élevées en termes de performances énergétiques (calculs au niveau du Bâtiment Passif), de développement durable et de qualité architecturale, et maintenir des prix compatibles avec le logement social ». Cette opération est certifiée BBC par Promotelec.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

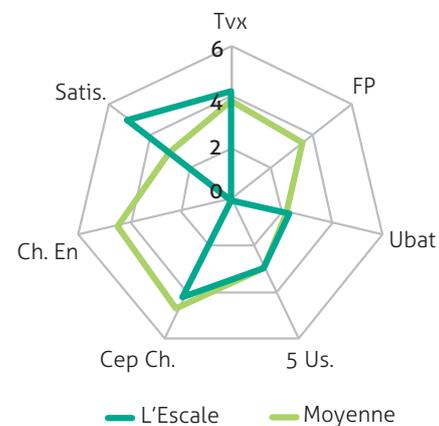
- › **Structure** : béton, ossature bois (panneaux à base de bois massif).
- › **Chauffage et ventilation** : chaufferie bois et VMC DF avec une centrale de ventilation collective dans les combles, une arrivée d'air neuf dans un caisson en faux-plafond de chaque logement et distribution de l'air neuf dans chaque logement par bouches de soufflage, et radiateurs (avec robinet thermostatique dans chaque chambre).
- › **ECS** : solaire (125 m² de capteurs solaires sur toiture (42 % des besoins des 2 bâtiments) et appoint chaufferie bois.

L'Escale à Lyon Confluence (69)

Prise en charge des locataires/sensibilisation

Le BET Fluides – Energétique a fait une présentation de l'opération aux habitants lors de la livraison des logements, en insistant sur l'importance des consommations électrodomestiques (et plus particulièrement celles du sèche-linge), ainsi que sur l'importance du réglage des équipements thermiques la première année de chauffe en donnant le numéro de téléphone de l'Agence Locale de l'Energie pour signaler toute anomalie ou dysfonctionnement.

Il faut noter que les thermostats sont bridés entre 15 et 23°C et seuls les radiateurs des chambres sont équipés de robinets thermostatiques.



Consommations et dépenses énergétiques

L'opération ayant été livrée pendant l'été 2014, aucune donnée sur les consommations réelles n'est encore disponible.



Archipel Habitat

Comparer des opérations pour progresser sur les constructions passives



Identité, contexte et motivations

Répondant à la demande de la Ville de Mordelles, qui souhaitait lancer des expérimentations autour des bâtiments passifs, Archipel Habitat s'est engagé dans cette opération, avec comme objectif majeur la réduction des charges pour ses locataires.

Son objectif est de réaliser un bâtiment dont les usages sont les plus simples possibles pour les habitants. Une deuxième orientation est le choix du bois comme système constructif, cela entraînant un surcoût à l'investissement estimé à 250 €/m².

L'opération se situe dans le projet d'écoquartier de la ZAC Val de Sermon. C'est l'un des deux bâtiments passifs de logement social situé à Mordelles, à l'intérieur de l'agglomération Rennes Métropole, avec l'opération Les Jardins des Frênes, portée par NEOTOA. Tout comme cette dernière, labellisée en novembre 2014, cette opération vise la certification Passivhaus.

STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS

- › **Structure** : béton (dalle et refends) et ossature bois (panneaux préfabriqués) intégrant une isolation ultra-performante (OSB de 12 mm + laine de verre de 200 mm + OSB 9 mm + laine verre de 60 mm) + ITI laine de verre.
- › **Menuiseries** : bois-aluminium triple vitrage.
- › **Chauffage et ventilation** : VMC DF collective (82%) à chaque cage d'escalier (4) et appoint chauffage avec chaudière collective gaz à condensation (60 kW) alimentant des batteries chaudes (hydrauliques).
- › **ECS** : chaudière gaz à condensation et appoint solaire (35,5 m² de capteurs en toiture).

CARTE D'IDENTITÉ

Fiche opération

Date de livraison : début 2015
 1 bâtiment collectif R+2 orienté N-S
 26 logements
 Surface habitable : 1 742 m²
1 999 €TTC/m² Shab (hono+txv)

Prix de revient (en k€ TTC)

Honoraires	381	.....10%
Construction	3 101	.....78%
Charges foncières.....	471	.....12%
Total	3 953	

Plan de financement (en k€)

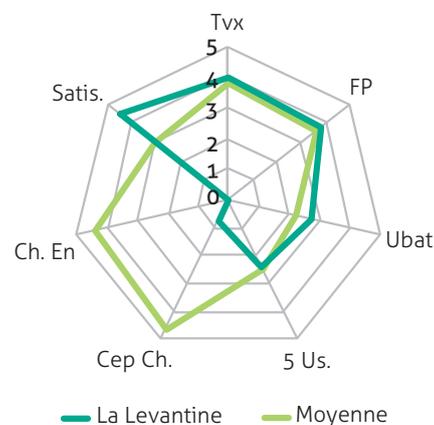
Fonds propres	751	.....19%
Subventions	1 107	.....28%
Prêts	2 095	.....53%
Total	3 953	

Performances conventionnelles

Ubat (W/m ² .K).....	0,366
Consommations d'énergie (RT 2005) (en kWh _{ep} /m ²)	
Chauffage	3,9
ECS	20,9
Auxiliaires ventilation	17,2
Autres auxiliaires	1,1
Eclairage.....	5,7
Cep 5 usages.....	48,8



La Levantine à Mordelles (35)



Prise en charge des locataires/sensibilisation

Comme pour le Jardin des Frênes, un système de suivi dynamique des consommations énergétiques et d'eau sera mis en place, en collaboration avec l'Agence locale de l'énergie du Pays de Rennes.

Pour suivre ses consommations énergétiques, le locataire aura à sa disposition un logiciel, accessible soit par son téléviseur, soit par un portail Internet. Ce dispositif est interactif, il permet au locataire de se fixer des objectifs de consommation inférieurs à la moyenne (constatée pour une famille de même typologie que la sienne).

Consommations et dépenses énergétiques

L'opération ayant été livrée début 2015, aucune donnée sur les consommations réelles n'est encore disponible.



Retours d'expériences, enseignements, points de vigilance et pistes d'évolution

La politique locale du logement à Rennes Métropole est très encadrée. Les subventions d'équilibre des projets ne sont pas plafonnées mais en contrepartie, Rennes Métropole attend des bailleurs qu'ils pratiquent des politiques de loyers bas. De même, les politiques d'attribution sont très encadrées : Rennes Métropole centralise les demandes de logements sociaux depuis 1954 et discute des loyers avec les bailleurs sociaux à partir d'une évaluation établie en fonction des besoins. Dans le cas de bâtiments passifs avec des charges réduites, une négociation entre le bailleur et Rennes Métropole a été menée, pour faire accepter une hausse possible de loyers à mettre en relation avec la baisse des charges.



ANNEXE

Bâtiments passifs, bâtiments à énergie positive

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABACHI Farid, Observatoire de la performance énergétique du logement social : les premiers enseignements, l'Union Sociale pour l'Habitat, 2014, 21 p.

ABACHI Farid, Basse consommation : la performance est-elle au rendez-vous ?, *Réflexions Immobilières* n°70, 4T 2014, pp.31-36

ALESSANDRINI Jean-Marie, NIBEL Sylviane, Bâtiments à énergie positive, compte rendu de l'atelier du 21 janvier 2011 organisé par le PUCA, CSTB, USH, octobre 2011 (rapport final CSTB: ESE/DE/PEB-2011.024RR)

AMARILLO Hubert, Le secteur du bâtiment durable : vers de nouveaux rapports entre les acteurs de l'acte de construire ?, 2013

BERTUCCI Anne-Elisabeth, OGIER Michel, 20 maisons à économie d'énergie, Ouest France, 2010, 144 p.

BUREAU Dominique, La rénovation énergétique des bâtiments. Politiques publiques et comportements privés, Conseil économique pour le développement durable, avril 2013.

CATED (Centre d'assistance technique et de documentation), Solutions photovoltaïques dans le bâtiment, 2009

CHARLOT-VALDIEU Catherine, OUTREQUIN Philippe, Coût global des bâtiments ou des opérations d'aménagement – Mode d'emploi, Le Moniteur, 2013

CHARLOT-VALDIEU Catherine, OUTREQUIN Philippe, La réhabilitation énergétique des logements, Le Moniteur, 2013

Congrès Passi'Bat 2014 – L'essentiel, La Maison Passive, 2014, 391 p.

Construire et habiter basse consommation, Editions PC, 2011, 96 p.

ENGELUND Thomsen Kirsten, ERHORN Hans, Cost-optimal levels for energy performance requirements, Concerted action Energy Performance of Buildings, avril 2011

Fédération des Offices publics de l'habitat, Pour un habitat social positif : 21 innovations d'Offices publics de l'habitat impliqués dans la transition énergétique, 2015

Fédération nationale des sociétés coopératives d'Hlm, Immeubles BBC en accession sociale, retour d'expériences, 2012, 188 p.

FRANCK Richard, JOVER Guy, HOVORKA Franck, L'efficacité énergétique du bâtiment, Eyrolles, 2014, 529 p.

GARNIER Alain, Le bâtiment à énergie positive. Comment maîtriser l'énergie dans l'habitat ? Eyrolles, 2011, 282 p.

HETZEL Jean, Bâtiments et aménagement durable - Bien être, vie urbaine et écoquartier, 2014

LEQUENNE Philippe, RIGASSI Vincent, Habitat passif et basse consommation, Terre Vivante Ed., 2011, 221 p.

RICAUD Alain, LOKHAT Ismaël, Construire une maison à énergie positive, Dunod, 2010, 186 p.

SUBREMON Hélène dir., Usages de l'énergie dans l'habitat : la transition énergétique vue d'en bas, Flux n° 96, Les Cahiers scientifiques internationaux Réseaux et territoires, juin 2014.

VU Brigitte, Le guide de l'habitat passif, Eyrolles, 2008, 159 p.

VU Brigitte, Maison basse consommation (BBC), Eyrolles, mars 2010, 139 p.

Ces ouvrages et références bibliographiques sont disponibles au Centre de ressources de l'Union sociale pour l'habitat.

Maquette et réalisation : 62Avenue, Paris - Impression : DEJALINK - Stains - mai 2015

©Crédits photos : La Calade

Pour les opérations suivantes :

Résidence Jules Ferry/Le Toit Vosgien : Le Toit Vosgien

L'Escale/Rhône Saône Habitat : Rhône Saône Habitat

Les Jardins des Frênes/NEOTOA : Michel Ogier

La Levantine/Archipel Habitat : Archipel Habitat

L'UNION SOCIALE POUR L'HABITAT

14, rue Lord Byron • 75384 Paris Cedex 08

Tél. : 01 40 75 78 00 • Fax : 01 40 75 79 83

www.union-habitat.org



L'UNION SOCIALE POUR L'HABITAT
Les Hlm, habiter mieux, bien vivre ensemble

GROUPE

