

# Suivi-évaluation d'une opération à caractère innovant Eden Square



## Références de la commande

Nom de l'organisme financier Anne Marie Soulier DGGALN/DHUP/QC1, Chef de projet Acoustique et qualité sanitaire  
Marc Jaouen DGALN/PUCA, Responsable de programme

Nom des correspondants : Didier MEAUX chef d'unité CeremaOuest/DLRB/Bâtiment et thermique–Marine Ninet  
Cerema Est, Celine Duhau Cerema Est , Stéphane COLLE CeremaOuest

## Références du dossier

Numéro du dossier (référence à rappeler) : C14OB0156 -&-C15B0292

Numéro de référence du service documentation :

## Historique des versions du document

Version	Auteur	Commentaires
v00	Céline Duhau	
v01	Marine Ninet	Version corrigée par Julien Burgholzer.
v02	Marine Ninet	Intégration des commentaires de Didier Meaux. Version du 7.10.14
V03	Didier Meaux	Compilation de l'ensemble des études
V04	Didier Meaux	Prise en compte des remarques de la maîtrise d'ouvrage PUCA et DHUP et des co-rédacteurs de l'étude
V05	Didier Meaux	Version anonymisée

## Affaire suivie par

Prénom NOM - Service

Tél. 0296759316 / fax 0296759300

Mél. Didier.meaux@cerema.fr

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Didier Meaux	27/01/17 (V4)	
Contrôlé par	Les co-rédacteur et maîtrise d'ouvrage PUCA et DHUP		
Validé par			

## Résumé de l'étude :

Le présent rapport fait la synthèse des études réalisées dans le cadre de l'évaluation de l'opération à caractère expérimental « Eden Square » située à Chantepie. Cette opération est constituée de 87 logements en R+4 gravitant autour d'une serre bio climatique. Le rapport aborde les aspects acoustiques, la qualité de l'air intérieur, la sécurité incendie, la qualité d'usage, la maintenance et l'efficacité énergétique. La méthode développée vise à évaluer les objectifs atteints au regard des exigences réglementaires et des dérogations accordées. Elle met en perspective, les dispositions constructives, les résultats mesurés ou observés et le ressenti des occupants.

# Table des matières

<b>1. Synthèse et conclusions.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Introduction et éléments de méthode.....</b>	<b>11</b>
2.1. Historique de l'opération.....	11
2.2. Spécificités de l'opération et études de conception.....	11
<b>2.2.1. Processus de conception.....</b>	<b>12</b>
<i>Etudes complémentaires réalisées.....</i>	<i>12</i>
a) Démarche des bureaux d'études.....	12
b) Maîtrise de la qualité de l'air par la limitation du taux de gaz carbonique (CO2).....	13
c) Maîtrise de l'hygrométrie dans la serre.....	13
d) Définition d'un taux de renouvellement d'air minimum dans la serre.....	13
e) Simulation thermo-aérauliques.....	14
<i>Les limites des études et des simulations.....</i>	<i>15</i>
<b>2.3. Méthodes d'évaluation.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.1. Evaluation du confort et de la performance (thermique, acoustique, visuel).....</b>	<b>16</b>
Confort acoustique.....	16
Confort thermique.....	17
Accès à l'éclairage naturel et confort lumineux.....	17
<b>2.4. Evaluation de la qualité de l'air.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5. Méthode d'évaluation de la qualité d'usage.....</b>	<b>18</b>
<b>3. Desserte et accès, image du bâtiment.....</b>	<b>19</b>
3.1. Piétons/ transports en commun.....	21
3.2. Cycliste.....	21
3.3. Accès motorisé.....	22
3.4. Proximité des lieux publics (écoles, crèches...), et commerces.....	23
<b>4. Organisation spatiale.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. Dimensionnement .....</b>	<b>24</b>
<i>Éléments de conception.....</i>	<i>24</i>
<i>Le ressenti des occupants.....</i>	<i>24</i>
<b>4.2. Protection / sécurité.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3. Sécurité Incendie.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.1. Éléments de conception et mesures compensatoires.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.2. Le retour des occupants.....</b>	<b>27</b>
a)Analyse de l'incendie.....	28
<b>4.4. Accessibilité.....</b>	<b>30</b>
<b>4.4.1. Évaluation qualité d'usage.....</b>	<b>30</b>
<b>4.4.2. Aspect réglementaires.....</b>	<b>31</b>
<b>4.5. Intimité/collectivité.....</b>	<b>31</b>
<b>5. Qualités sensibles de l'espace intérieur.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1. Qualité visuelle.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1.1. Vues sur l'extérieur.....</b>	<b>33</b>

<b>5.1.2. Lumière naturelle .....</b>	<b>33</b>
<i>Éléments de conception.....</i>	33
<i>Le ressenti des occupants.....</i>	34
<i>Les réglementations.....</i>	35
<i>Mesures et études de l'accès à la lumière naturelle.....</i>	35
<i>a) Résultats de la campagne de mesure en logement.....</i>	35
<i>b) Comparaison mesures et simulation.....</i>	36
<b>5.1.3. Lumière artificielle.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2. Qualité acoustique.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.1. Eléments de conception.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.2. Perception des occupants.....</b>	<b>39</b>
<b>5.2.3. Les résultats des mesures.....</b>	<b>41</b>
<b>5.3. Qualité de l'air et perception olfactive.....</b>	<b>42</b>
<b>5.3.1. Eléments de conception.....</b>	<b>42</b>
<b>5.3.2. Le ressenti des occupants.....</b>	<b>42</b>
<b>5.3.3. Les résultats mesures de Qualité de l'Air Intérieur.....</b>	<b>43</b>
<i>Observation de la qualité de l'air dans la serre.....</i>	44
<i>a) Résultats des mesures réalisées dans la serre (période estivale août/septembre 2014).....</i>	44
<i>b) Résultats des mesures réalisées dans la serre (période hivernale (février/mars 2015).....</i>	45
<i>Observation de la qualité de l'air dans les logements.....</i>	47
<i>a) Résultats des mesures de polluants spécifiques réalisées dans les logements (période estivale août/septembre 2014).....</i>	47
<i>b) Résultats des mesures de polluants spécifiques réalisées dans les logements (hiver février/mars 2015).....</i>	48
<b>5.4. Confort hygrothermique.....</b>	<b>50</b>
<b>5.4.1. Eléments de conception.....</b>	<b>50</b>
<b>5.4.2. Le ressenti des occupants.....</b>	<b>50</b>
<b>5.4.3. Les mesures et observation du fonctionnement.....</b>	<b>51</b>
<i>Régulation de la serre.....</i>	51
<i>Analyse du confort hygrothermique dans la serre en été.....</i>	51
<i>Analyse du confort hygrothermique dans la serre en hiver.....</i>	52
<i>Analyse du confort hygrothermique dans les logements.....</i>	53
<i>a) Mesures en saison de chauffe (hiver 2015).....</i>	53
<i>b) Mesures en été (Août/septembre 2014).....</i>	55
<b>5.5. La consommation énergétique.....</b>	<b>56</b>
<b>5.5.1. Eléments de conception.....</b>	<b>56</b>
<b>5.5.2. Le ressenti des occupants.....</b>	<b>57</b>
<b>5.5.3. Les mesures et études complémentaires.....</b>	<b>57</b>
<i>Évaluation de l'effet local tampon.....</i>	57
<i>Analyse globale de la consommation énergétique.....</i>	59
<b>5.6. Aspects et chaleur des matériaux.....</b>	<b>60</b>
<b>6. Perception de la serre.....</b>	<b>61</b>
<b>7. Maintenance et entretien.....</b>	<b>63</b>
<b>7.1. Eléments de conception.....</b>	<b>63</b>
<b>7.2. Le ressenti des occupants.....</b>	<b>63</b>
<b>7.3. Le ressenti du syndic et du gestionnaire.....</b>	<b>63</b>
<b>7.4. L'évaluation des charges.....</b>	<b>64</b>
<b>8. Bilan général de l'opération.....</b>	<b>65</b>

8.1. Synthèse des points positifs et points à améliorer.....	65
8.2. Conclusion.....	69
<b>9. Annexes.....</b>	<b>70</b>
9.1. Reportage photos.....	70
9.2. Proposition technique et choix du panel de logement.....	75
9.3. Questionnaires et synthèses des enquêtes « usage ».....	75
9.4. Protocoles et résultats des mesures acoustiques.....	75
9.5. Protocoles et résultats des mesures d'éclairage naturel.....	75
9.6. Protocoles et résultats des mesures de qualité de l'air intérieure.....	75
9.7. Résultats des mesures de confort réalisées dans les logements.....	75

# 1. Synthèse et conclusions

L'opération Eden square est constituée de 87 logements regroupés autour et desservis par une serre bioclimatique (ou grand atrium). Cette opération est réalisée dans un cadre de promotion privée.

Le permis de construire a été déposé en décembre 2006 par le groupe Launay maître d'ouvrage de l'opération. La maîtrise d'œuvre est assurée par le cabinet Hauvette représenté par l'architecte Pierre Champenois. Innovante par de nombreux aspects et visant une très haute performance énergétique au regard de la norme en vigueur à cette date (l'opération visait le label BBC 2005 soit une amélioration de l'ordre de 40 % de la consommation par rapport à l'objectif réglementaire de la RT2005), l'opération fait l'objet de plusieurs dérogations aux règles de construction et a été autorisée à titre expérimentale. Notamment, elle déroge à l'interdiction du Code de la Construction et de l'Habitation (article R111,10) visant les « cours couvertes ». Du fait de cette interdiction, elle se heurte à l'absence de règles relatives aux atriums en immeubles d'habitation.

Ces dérogations, accordées entre 2007 et 2008, portent sur la sécurité incendie, l'acoustique et l'aération des logements. Elles ont été accordées soit par le préfet (sécurité incendie) soit par le MEEM et le Ministère de la Santé au titre d'une opération à caractère expérimental.

Dans ce cadre défini par l'article R111-16 du CCH, des mesures compensatoires ont été proposées pour assurer aux occupants un niveau de confort et de sécurité équivalent à ceux d'un projet conforme aux règles de construction en vigueur à la date du dépôt de permis de construire.

Un protocole d'expérimentation a été signé entre le Maître d'ouvrage (groupe Launay), le Maître d'œuvre et le MEEM (représenté par le PUCA) définissant un certain nombre d'objectifs de résultats à atteindre et visant l'évaluation plus générale de l'opération.

Les enjeux de cette évaluation sont multiples. Il s'agit notamment de s'assurer de la réalisation et de l'efficacité des mesures compensatoires et également de s'assurer que la conception architecturale et technique des espaces apporte une réponse satisfaisante aux besoins des usagers. Pour cela, le Cerema a développé et mis en place des méthodes de mesures et d'évaluation de la qualité de l'air, de l'acoustique, de l'efficacité énergétique et à la qualité d'usage en focalisant le travail sur les aspects expérimentaux de l'opération à savoir la serre bioclimatique et son interaction avec l'ensemble du bâtiment. Les mesures et enquêtes se sont déroulées sur une période de 3 ans afin de permettre aux occupants de s'approprier les lieux et à la copropriété et au syndic de mettre en place les actions de gestion maintenance des locaux.

## **A/ Respect des règles et des mesures compensatoires**

### Sécurité incendie

Les mesures compensatoires demandées avaient principalement pour objectifs de faciliter l'accès des services de secours à tous les locaux (par l'intérieur et par l'extérieur), de faciliter l'évacuation des personnes, de mettre en place un système de désenfumage performant et efficace évitant tout risque d'accumulation de fumées dans la serre, de limiter les matériaux combustibles et le risque de propagation d'un incendie par les façades dans la serre.

L'enquête réalisée montre que l'ensemble des mesures définies dans le protocole d'accord sont respectées. Les essais et vérifications menées à la livraison du bâtiment et lors des entretiens périodiques ont permis de vérifier le bon fonctionnement des systèmes.

## Acoustique :

Les mesures compensatoires demandées portaient sur la maîtrise des effets de réverbération dans la serre, le renforcement des exigences d'isolement de façade côté serre, la limitation de la transmission du bruit de choc entre les coursives et les logements, le recours à des équipements collectifs à faible nuisance acoustique.

Les exigences de moyens (mise en œuvre de matériaux absorbants et désolidarisation des coursives et de la verrière) ont été respectées.

Les résultats des mesures de temps de réverbération montrent des temps inférieurs à l'exigence fixée avec un temps de réverbération moyen mesuré dans la serre de 1,3 seconde pour un objectif <2 secondes. L'isolement de façade mesuré côté serre  $D_{nT,A,tr}$  est compris entre 34 et 40 dB ce qui est conforme aux exigences.

Les équipements collectifs (ascenseur, dispositifs d'ouverture de la serre et d'ombrages) présentent des niveaux d'émissions  $L_{nAT}$  inférieurs aux objectifs. Cependant, une vigilance particulière s'impose sur l'entretien et le graissage des dispositifs d'ouverture des châssis et d'ombrage.

## Aération et qualité de l'air intérieur :

La plus grande vigilance est portée sur la qualité de l'air intérieur puisqu'une partie du renouvellement d'air des logements transite par la serre. Les mesures compensatoires portent donc sur le renouvellement d'air (exigence de 0,5 vol/h dans la serre) et sur la limitation des sources de pollutions liées aux matériaux de constructions ou aux plantes qui occupent la serre.

La ventilation de la serre est assurée par deux puits de ventilation ouverts en permanence et dimensionnés pour assurer un renouvellement d'air de 0,5 Vol/h. Le dispositif de commande des lanterneaux et des ventelles est asservi à la concentration de  $CO_2$  et à la température intérieure afin de réguler le confort thermique et la qualité de l'air dans la serre. Dans la situation la plus « défavorable » tous les lanterneaux et les ventelles sont fermés et le renouvellement d'air est assuré uniquement par les puits de ventilation, les défauts d'étanchéité et le système de ventilation des logements.

La vérification de l'exigence de renouvellement d'air est réalisée de manière indirecte par la mesure en continue sur l'année du taux de  $CO_2$  dans la serre (indicateur représentatif du confinement).

En complément, deux campagnes de mesures, l'une en conditions estivales, l'autre en conditions hivernales ont été réalisées afin de vérifier l'absence de polluants spécifiques dans la serre et dans les logements.

Les mesures de  $CO_2$  réalisées en continu dans la serre par le dispositif de contrôle et d'asservissement de l'ouverture des lanterneaux sont comprises entre 245 ppm et 556 ppm ce qui semble indiquer un niveau de confinement proche de l'extérieur. Toutefois, l'absence de procédures d'étalonnage et de vérification du capteur et sa maintenance irrégulière entachent ces résultats d'une grande incertitude (pour mémoire le taux de  $CO_2$  dans l'air extérieur est d'environ 380 ppm). Les mesures ponctuelles réalisées lors des campagnes de mesure de la qualité de l'air confirment cependant que le niveau ne dépasse que très rarement 2000ppm dans les logements et que cette concentration retombe à 380ppm en dehors des périodes d'occupation. Le renouvellement d'air est donc satisfaisant.

Il n'existe pas de réglementation définissant pour les logements des niveaux maximums autorisés pour les différents polluants susceptibles d'être présent dans l'air et pas de protocole normalisé. Le protocole de mesure mis en place est donc fondé sur les guides de l'observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI). Les mesures sont comparées à la moyenne des résultats observés par l'OQAI et aux valeurs guides (VGAI) proposées par l'Agence nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). Les types de polluants recherchés sont les aldéhydes (dont formaldéhydes) les hydrocarbures aromatiques polycycliques et halogénés, les esters de glycol, les terpènes, le radon, les particules fines et les moisissures. Ces polluants sont susceptibles d'être relâchés par les matériaux de construction, les produits d'entretiens, les plantes et les produits phytosanitaires présents dans la serre ou sur le sol.

Les résultats obtenus lors des campagnes de mesure conduites sont globalement conformes aux VGAI et

dans la moyenne basse des valeurs observées par l'OQAI. Seules les terpènes présentent une concentration supérieure à la moyenne des valeurs de l'OQAI. Il n'existe pas de VGAI recommandée par l'ANSES pour ce produit dont la présence est liée principalement au bois dans la serre (arbres et arbustes, coursives et volets) ainsi qu'à l'usage des locaux d'habitation. Les enquêtes menées auprès des entreprises chargées de l'entretien des locaux et de la végétation confirment une bonne prise en compte de la qualité de l'air dans leurs pratiques.

## **B/ Efficience et efficacité des mesures compensatoires.**

Les dispositions techniques compensatoires exigées par l'arrêté de dérogation semblent donc respectées. Leur efficacité en ce qui concerne la maîtrise du confort thermique et la qualité de l'air est observée au regard des résultats des mesures réalisées, de la satisfaction des occupants recueillie au moyen des enquêtes qualité d'usage et des observations réalisés sur site. Les aspects économiques ne sont pas pris en considération, seules les questions de coût de maintenance sont abordées.

Toutefois, en ce qui concerne la sécurité incendie, le respect des dispositions ne peut occulter complètement le comportement « atypique » du bâtiment dans l'incendie survenu qui a constitué malheureusement un test « grandeur nature » inattendu. Sur le plan acoustique, on remarquera que le respect des prescriptions et des niveaux exigés n'empêche pas certains occupants de demander un usage calme et respectueux de la serre. Enfin sur le plan de la qualité de l'air, le passage de l'air de renouvellement des logements par la serre implique une vigilance notamment lors des opérations de maintenance ou d'entretien de cet espace intérieur.

### B1/ Sécurité incendie

Les enquêtes menées sur site (avant l'incendie du 19 avril 2015) n'indiquent aucun sentiment d'insécurité de ce point de vue. Cependant, les occupants et le syndic font ressortir un temps d'appropriation des systèmes (notamment des détecteurs de fumée situés sur chaque pallier de porte) nettement plus long que pour une opération de logement collectif classique. Ce constat conduit à privilégier des solutions plus simples ou à réserver ce type de solutions techniques (SSI classe A) à des projets disposant de moyens humains permettant d'assurer une maintenance rapide des systèmes. Les coûts de maintenance observés ne montrent pas d'impact significatif sur les charges, cependant le manque de recul ne permet pas de conclure véritablement sur ce point.

Malheureusement, un acte de vandalisme commis le 19 avril 2015, a provoqué un violent incendie et permis d'observer en situation réelle le comportement et le degré d'efficience des mesures compensatoires.

Étant entendu que la réglementation en matière de sécurité incendie habitation n'est pas conçue pour minimiser les dégâts occasionnés sur un bâtiment et que celle-ci n'anticipe pas les actes de vandalisme, il ressort de cette triste expérience que le dispositif préventif du bâtiment, basé sur la très grande accessibilité aux services de secours, a permis d'assurer la sauvegarde des vies humaines. Toutefois, les pompiers ont noté l'extrême rapidité de propagation du feu et sa violence, facteur préoccupant pour eux en termes de contraintes d'intervention.

Sur le plan de la sécurité des personnes, aucune victime grave n'est à déplorer, notamment parce que la dérogation imposait une accessibilité extérieure maximale du bâtiment aux équipes de lutte contre l'incendie, à leurs véhicules et à leurs matériels. La plupart des occupants ont évacué les locaux par leurs propres moyens avant l'arrivée des pompiers, ce qui confirme l'efficacité des dispositifs de désenfumage et l'intérêt de disposer, comme préconisé par les mesures compensatoires, de plusieurs chemins



d'évacuation. Trois personnes ont été secourues par les pompiers par voie d'échelle, les circulations intérieures étant impraticables depuis les logements qu'ils occupaient. L'accès par voie échelle à l'ensemble des logements constitue indéniablement une mesure déterminante qui a permis l'évacuation des occupants situés à proximité immédiate du foyer d'incendie.

En revanche, les matériaux mis en œuvre au niveau des entrées, des coursives et des façades situées sur l'extérieur du bâtiment, bien que respectant les exigences réglementaires fixées (notamment le classement et la réaction au feu pour un immeuble de ce type), ont contribué à alimenter le foyer d'incendie et à le propager ensuite rapidement à l'intérieur de l'atrium. Les dispositifs de désenfumage et la combinaison du foyer d'incendie avec la configuration en angle ont créé un effet de cheminée favorable à la propagation rapide et violente de l'incendie. Enfin, la configuration des logements situés à chaque angle du bâtiment avec des portes d'entrée situées en retrait par rapport à la façade intérieure a conduit à l'accumulation de gaz chauds à ces endroits. Ainsi, les portes vitrées de ces logements n'ont pas résisté longtemps à l'incendie.

Cette expérience regrettable permet de valider l'intérêt des mesures compensatoires d'accessibilité aux équipes de secours sur un bâtiment compact de ce type. Elle montre également qu'un tel projet architectural nécessite une réflexion poussée et une approche globale allant au-delà des principes définis par la réglementation sécurité incendie en vigueur.

Une sensibilisation des occupants sur les risques et les bons gestes à adopter semble utile compte tenu de la spécificité de l'opération Eden Square. De plus, il semble pertinent de renforcer les exigences sur les matériaux présents à proximité des dispositifs de ventilation et des entrées.

## B2/ Acoustique

Les enquêtes montrent que l'acoustique constitue une préoccupation majeure pour les occupants. Les taux de satisfaction indiquent une exigence forte sur cette thématique et un niveau de satisfaction qui se répartit entre bon et moyen pour les personnes enquêtées.

La barrière physique constituée par les logements et la verrière réduit le niveau sonore de bruit de fonds dans la serre. Ainsi, la perception relative du bruit, le rapport « signal/bruit de fond », est amplifiée dans la serre. De plus, la perception des effets de réverbération liés à l'espace clos constitué par la serre est sensible. La serre est perçue et souhaitée par les occupants comme un espace commun de transition entre l'extérieur et son logement. Des consignes demandant aux enfants de ne pas courir sur les coursives sont régulièrement affichées dans les espaces communs pour préserver le calme du lieu. De même, de nombreux occupants réservent les chambres situées côté serre à des usages de rangement ou de bureaux, cette observation étant à rattacher davantage à des problématiques d'intimité et d'accès à la lumière naturelle qu'à celle du confort acoustique.

Les situations d'inconfort acoustique semblent au regard des résultats de mesures davantage liés à des comportements individuels qu'à des défauts de mise en œuvre :

L'éloignement, la désolidarisation et la nature des revêtements de sol des coursives conduisent à d'excellents résultats en termes de limitation de la transmission du bruit de choc entre les passerelles et les logements ( $L'_{nT,w} \leq 45$  dB pour une exigence maximale de 58 dB). Cependant, les enquêtes qualité d'usage mettent en avant des bruits de pas et les courses de enfants sur les passerelles métalliques en tant que situations gênantes.

Il ressort par conséquent de ces constats et observations que les exigences portant sur la maîtrise de la réverbération dans la serre et le renforcement de l'isolement de façade constituent des réponses nécessaires aux besoins des usagers du bâtiment. Le comportement acoustique des cheminements est également à prendre en compte dans les choix techniques et architecturaux. Par ailleurs, les conditions « d'urgence » (lié au rapport signal/bruit de fond) des bruits dans le système logements/serre est un phénomène pouvant être approfondi.

## B3/ Qualité de l'air intérieur et confort thermique:

La problématique de l'aération est indissociable dans le cas présent des problématiques d'efficacité énergétique et de confort thermique.

Les campagnes de mesure démontrent que les puits de ventilation sont suffisamment dimensionnés pour assurer un niveau de qualité de l'air à l'intérieur de la serre et dans les logements comparables à celui observé dans des logements classiques.

Les enquêtes auprès des occupants révèlent une sensibilité importante aux odeurs de cuisine, de cigarettes ou d'engrais en provenance de la serre. Cependant ces situations sont ressenties comme des gênes passagères malgré tout bien acceptées par les personnes interrogées. Elles montrent néanmoins la migration effective des polluants entre la serre et les logements et la nécessité de maîtriser les sources de pollution dans la serre, et ce tout au long de la vie du bâtiment et notamment lors des opérations d'entretien des espaces verts des boiseries et des façades côté serre.

Le confort thermique dans la serre est apprécié en été (grâce notamment aux brises soleil, à la sur-ventilation et l'irrigation des plantes) comme en hiver. Cependant des vitesses d'air excessives sont relatées comme source d'inconfort. Ces problèmes sont souvent à associer à des dysfonctionnements des systèmes de ventilation ou des dégradations volontaires commises sur les ventelles (accessibles depuis l'espace public).

L'effet «espace tampon » et préchauffage d'air neuf par la serre dépasse en moyenne les performances simulées lors des études. Le coefficient moyen  $b$  (coefficient de prise en compte des locaux non chauffés selon les règles THU), caractérisant cet effet d'un point de vue performance thermique observée sur la période hivernale est de 0,5 pour une valeur simulée dans les calculs réglementaires et les simulations thermiques dynamiques de 0,6. Autrement dit la serre bioclimatique permet de réduire les déperditions par les parois et la ventilation de 50% pour les parois et entrées d'air situées côté serre. A l'échelle du bâtiment, les gains générés se situent autour de 15% à 20% sur l'ensemble des postes de consommations réglementés par la RT 2005.

Sur ce point, les suivis réalisés montrent l'efficacité et la cohérence du projet au regard des objectifs fixés par les exigences réglementaires. Mais ils montrent également que la maîtrise de la qualité de l'air et du confort hygrothermique du bâtiment sont fortement dépendants de l'entretien/maintenance des systèmes de régulation de la serre et de l'implication des intervenants (paysagiste).

## **Évaluation globale de l'opération par une approche qualité d'usage**

L'approche par la qualité d'usage menée au moyen de questionnaires en vis-à-vis complétés par des questionnaires distribués par courrier permet à la fois de recueillir des impressions et des expressions des occupants et de les confronter au « sentiment général » des occupants. Le taux de réponse important au questionnaire (30/87 logements), complété par les enquêtes en vis-à-vis (6/87) montrent que les occupants sont sensibles à la question de l'évaluation de l'opération Eden Square.

Les réponses obtenues donnent une perspective intéressante sur les exigences formulées, les dispositions techniques et architecturales et la qualité perçue par les usagers.

Globalement très satisfaits de la qualité des espaces, de la performance thermique et du confort de leur logement et de la serre, ils sont plus partagés sur la qualité acoustique, la qualité de l'air dans la serre, l'éclairage naturel des pièces de vie côté serre, le rapport à l'intimité ou encore la maintenance et son coût.

Ils apprécient la serre en tant qu' « espace zen et calme assurant une transition douce entre le monde extérieur et son logement ».

### **Conclusions**

En conclusion, les réponses techniques apportées lors de la réalisation de l'opération Eden Square sont conformes aux prescriptions réglementaires ou aux mesures compensatoires définies par l'arrêté de dérogation sur les aspects sécurité incendie, acoustique et qualité de l'air.

Les suivis réalisés montrent toutefois que l'association d'un espace de type atrium de grand volume et d'un ensemble de logement constitue un ensemble sensible nécessitant de développer une approche systémique lors de sa conception, prenant en compte l'ensemble des interactions possibles tout au long la vie du bâtiment et notamment en incluant les aspects entretien maintenance. Ils montrent qu'une réflexion sur la nature et la fonction de ce nouvel espace créé est à mener afin que celui-ci ne puisse pas devenir une source de conflit entre les occupants ou avec le voisinage. Ce point pourrait d'ailleurs faire l'objet d'une étude complémentaire.

La question de l'entretien/maintenance des dispositifs, difficile à traiter sur le plan réglementaire, doit être clairement posée et intégrée au processus de conception, car en dépend une grande partie des résultats qualitatifs obtenus en matière de qualité de l'air et de confort thermique notamment et leur pérennité dans le temps pour cet immeuble. Ces problématiques d'entretien/maintenance à long terme doivent être aussi évaluées en termes de coûts globaux associés pour l'acquéreur et les occupants.

Pour certains aspects techniques comme le comportement en cas d'incendie, le recours à des études d'ingénierie et de modélisation (aujourd'hui facilitées par les outils type « Building Information Model » (BIM)) s'impose sans doute pour l'étude de certains comportements systémiques de ce dispositif bâti.

En définitive, compte tenu des observations et constats réalisés et en l'état actuel des textes réglementaires, nous recommandons pour les projets de logements avec atrium un examen au cas par cas et une autorisation subordonnée à l'autorité administrative. La mise en place de mesures compensatoires semble indispensable pour garantir aux occupants un niveau de sécurité et d'usage équivalent à celui des projets conformes aux règles.

Un accompagnement et suivi du projet est recommandée pour les projets futurs.

## 2. Introduction et éléments de méthode

### 2.1. Historique de l'opération

Eden square est une opération de 87 logements destinés à la promotion privée.

Le permis de construire a été déposé en décembre 2006. Il fait l'objet de plusieurs dérogations aux règles de construction. Ces dérogations portent sur la sécurité incendie, l'acoustique, l'accès à l'extérieur des pièces principales et l'aération des logements. Elles ont été accordées soit par le préfet soit par le MEDDE et le ministère de la santé au titre d'une opération à caractère expérimental.

Des mesures compensatoires ont été définies pour assurer aux occupants un niveau de confort et de sécurité équivalents à ceux d'un projet conforme aux règles de construction.

Un protocole d'expérimentation a été signé entre le Maître d'ouvrage (groupe Launay) et le MEDDE (représenté par le PUCA) visant à prendre en charge l'évaluation de l'opération.

#### **L'opération**

3 niveaux de logements de type T1 au T5 duplex forment un carré autour d'une Serre bioclimatique.

Tous les logements sont traversant et ceux du dernier niveau sont des duplex. La plupart des logements (hormis côté nord) disposent d'une terrasse ou d'un balcon.

Principaux intervenants sont :

- **Maître d'ouvrage** : Groupe LAUNAY - Rennes (35)
- **Maître d'œuvre** : Christian HAUVETTE - Pierre CHAMPENOIS Architectes - Paris (75)
- **Bureau de contrôle** : SOCOTEC - Cesson Sevigne (35)
- **B E structure** : CASTEL SA - Saint-Gregoire (35)
- **B E Thermique Fluide HQE** : ICOFLUIDES - Saint gregoire (35)
- **B E Acoustique** : ACOUSTIQUE YVES HERNOT - Bruz (35)

Le projet a été livré fin 2012.

Les enjeux de cette évaluation sont multiples. Il s'agit notamment de s'assurer de l'efficacité des mesures compensatoires, de s'assurer que la conception architecturale et technique des espaces apporte une réponse satisfaisante aux besoins des usagers.

Pour cela, on s'intéressera dans le cadre de cette étude principalement à la qualité de l'air, à l'efficacité énergétique et à la qualité d'usage en focalisant notre travail sur les aspects expérimentaux de l'opération à savoir la serre bioclimatique et son interaction avec l'ensemble du bâtiment.

### 2.2. Spécificités de l'opération et études de conception

L'atrium présente l'aspect d'un jardin couvert abritant les espaces communs (coursive, escaliers).

L'architecte Christian Hauvette revisite ainsi le concept développé en son temps par Charles Fourier au XIXème et mis en œuvre par l'industriel Jean Baptiste Godin avec le familistère de Guise.

Au-delà des aspects dérogatoires ou expérimentaux que nous détaillerons par la suite, l'opération présente un caractère innovant affirmé par la volonté d'intégrer des espaces habituellement extérieurs (jardin d'ornement) à l'intérieur du bâtiment. L'atrium abrite ainsi deux fonctions : la fonction de desserte du bâtiment réalisée par les coursives et la fonction de jardin d'agrément. Le dôme vitré crée un climat intermédiaire entre l'extérieur et l'intérieur des logements. De l'avis même de ses occupants, cet espace à part crée une transition douce entre le monde extérieur et le domicile.

Sur le plan énergétique l'opération atteint le niveau BBC Effinergie, notamment grâce à la serre mais aussi grâce à une production d'eau chaude sanitaire solaire et à une chaufferie gaz collective. En 2005, l'isolation par l'extérieur ou la mise en place de rupteurs de pont thermiques n'étaient pas des pratiques

courantes. Il était donc nécessaire d'explorer de nouvelles voies pour construire les bâtiments passifs ou à énergie positive de demain.

Des simulations thermiques dynamiques couplées à des simulations aérodynamiques dynamiques (computational fluid dynamics CFD) ont montré un gain moyen potentiel de 3°C en hiver grâce à l'espace tampon créé par la serre. Ce résultat est modélisé dans les calculs réglementaires par la prise en compte d'un coefficient d'échange  $b$  de 0,6. Le préchauffage de l'air neuf entrant après avoir transité par la serre n'est pas valorisé faute de modèle de calcul de performance.

En 2005, l'utilisation de ce type d'outil constituait également une innovation pour un bureau d'études.

### **2.2.1. Processus de conception**

La phase d'études de conception a démarré début 2006. Le bureau d'étude Icofluide a été associé à l'équipe de maîtrise d'œuvre dès le démarrage du projet. Le bureau de contrôle SOCOTEC a également été désigné très tôt. Sa participation a permis de mettre très tôt en avant les difficultés techniques et réglementaires du projet. Il faut souligner que le projet initial prévoyait la réalisation d'une salle commune au dernier niveau du bâtiment destinée à créer un lieu de rencontre pour la copropriété. Afin de ne pas mettre un point final au projet, l'option d'une salle commune a rapidement été abandonnée. En définitive, la poursuite ne tient qu'à la ténacité et à la bonne entente du tandem MOa / Moe. Un accueil a priori favorable des autorités et administrations centrales (SDIS et PUCA) a également été décisif. Le projet s'est poursuivi avec quelques périodes de découragement et de doutes.

#### **Etudes complémentaires réalisées.**

Durant la phase de conception du projet et avant de s'engager dans une démarche de dérogation, les échanges entre le CEREMA (ex CETE), la maîtrise d'ouvrage et l'administration centrale avaient permis d'identifier les points sensibles de cette opération et de définir les études complémentaires à réaliser. Le bureau d'études Icofluides avait donc été chargé de compléter les études courantes.

#### **a) Démarche des bureaux d'études**

La motivation initiale du projet était de réduire les consommations énergétiques du bâtiment. Cependant avant de traiter cette question, l'équipe de maîtrise d'œuvre a dû s'intéresser aux problématiques de qualité et du renouvellement d'air dans la serre, du confort thermique dans la serre et dans les logements et à la sécurité incendie.

En l'absence de norme ou de réglementation fixant les seuils ou valeurs limites à ne pas dépasser pour des paramètres représentatifs du confort thermique, acoustique ou de la qualité, ceux-ci ont été proposés à partir de données issues d'un benchmark ou de situations réglementées pour d'autres usages que le logement.

Afin de ne pas multiplier les études de cas, la démarche adoptée a consisté à déterminer les situations critiques pour les étudier à l'aide des modélisations.

Les polluants susceptibles d'être présents ou générés par le fonctionnement de la serre qui ont été étudiés sont les suivants :

- Le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>
- L'hygrométrie

La détermination des taux de renouvellement d'air utiles dans la serre permet d'aborder ensuite la question de la performance énergétique.

En 2006 les outils de simulation thermiques dynamiques et les outils de CFD étaient peu connus des bureaux d'études. Une phase d'appropriation a donc été nécessaire.

Ainsi, la question du confort thermique a été étudiée grâce à une simulation thermo aérodynamique (STD) ce qui constituait en soit une pratique peu courante en 2006.

### ***b) Maîtrise de la qualité de l'air par la limitation du taux de gaz carbonique (CO2)***

L'étude bibliographique réalisée en phase étude par le bureau d'étude Icofluides a produit les éléments suivants :

- Le CO2 ne présente de dangers avérés pour la santé qu'à partir de concentrations de 20 000ppm
- Les réglementations applicables à l'époque en France ou au Canada recommandent des taux de CO2 inférieurs à 2500 ppm et 3500ppm.
- Les observations réalisées mentionnent des taux dépassant régulièrement 4000 ppm voir 7000 ppm dans les salles de classes ou les cinémas.
- La production de CO2 liée à la respiration des plantes conduit dans des serres horticoles à taux de 700 ppm.

Le bureau d'étude a donc conclu que, malgré la complexité des phénomènes en jeu et leur évolution au cours de l'année et des saisons, le CO2 présent dans la serre ne devrait pas poser de problème pour la santé des occupants.

Nous verrons par la suite qu'en l'état actuel des connaissances sur le sujet, le taux de concentration ne peut être retenu comme seul indicateur de la qualité de l'air intérieur. En revanche, le CO2 est un bon indicateur du confinement d'un local et de la qualité du renouvellement d'air.

L'autre problématique étudiée était celle d'une hygrométrie excessive

### ***c) Maîtrise de l'hygrométrie dans la serre***

L'humidité excessive n'est pas en soi un problème pour la santé, mais elle conduit à la prolifération de micro-organismes tels que les acariens et de champignons (moisissures) qui sont responsables de nombreuses allergies et maladies respiratoires tels que l'asthme, les rhinites, les otites, les bronchites. De même, un air trop sec est susceptible de produire un dessèchement des muqueuses et des phénomènes d'irritation.

Il est donc recommandé pour la santé de maintenir un taux d'hygrométrie entre 30% et 60% dans les logements.

Sur ce point l'étude réalisée se contente de lister les paramètres susceptibles d'influencer le taux d'hygrométrie dans la serre comme l'évapotranspiration des plantes, l'arrosage, le climat extérieur et bien entendu les mécanismes de régulation de la ventilation de la serre. Elle indique que sous certaines conditions, l'air extérieur atteint 100% d'humidité relative et que par conséquent l'air de la serre pourra aussi atteindre par moment de telles concentrations sans nuire à la santé des occupants.

La conclusion retenue est que l'hygrométrie et les variations d'hygrométrie dans la serre ne seront pas très différentes de celles observées à l'extérieur. Aucune mesure particulière n'est donc préconisée sur ce point.

### ***d) Définition d'un taux de renouvellement d'air minimum dans la serre***

Pour déterminer un taux minimal de renouvellement d'air à maintenir en permanence dans la serre, l'étude s'appuie d'une part sur les besoins en renouvellement d'air imposé par la réglementation relative à l'aération des logements d'autre part sur les études européennes conduites par des médecins et toxicologistes.

Les besoins minimums imposés par la réglementation pour assurer le renouvellement d'air dans les logements conduit à une valeur de 0,35V/h (volume total de la serre de 11 000m<sup>3</sup>) et les études Européennes préconisent un taux minimum de renouvellement d'air de 0,5 V/h.

Ce sera donc ce dernier taux qui sera retenu et pris en compte dans les simulations thermo-aérauliques dynamiques.

## e) Simulation thermo-aérauliques

Les objectifs à travers ces simulations thermo-aérauliques étaient :

- D'évaluer le confort thermique dans la serre en situation hiver pour déterminer les gains obtenus
- D'évaluer le confort thermique d'été pour déterminer les mesures à prendre pour limiter le risque d'inconfort
- De déterminer les gains potentiels obtenus grâce à la serre,
- De déterminer les taux minimums de renouvellement d'air obtenu dans les conditions de gradient thermique défavorables,
- De proposer des dispositions techniques permettant d'améliorer les conditions de confort.

Ces modélisations ont cherché à prendre en compte l'effet de la végétation sur la température et les vitesses d'air ainsi que l'inertie thermique.

Ces études concluent que dans des conditions défavorables de température et de vent, l'ouverture d'un seul ouvrant de 3m<sup>2</sup> suffit à assurer un renouvellement d'air de 0,5Vol/h dans la serre. Elles concluent également à une faible efficacité d'un double vitrage au niveau de la serre.

Le graphe ci-contre montre les gains moyens obtenus grâce à la serre sur la période de chauffe. Il est équivalent un coefficient d'échange de 0,6 (réduction des déperditions de parois du côté serre de 40%). Ce coefficient sera repris dans l'étude thermique réglementaire RT 2005 après validation en phase étude par le CEREMA.

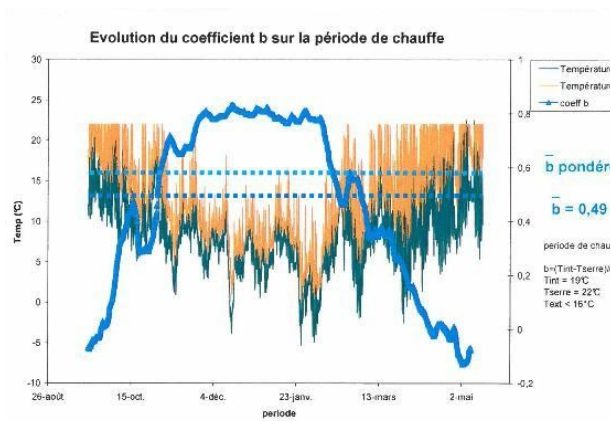


Illustration 1: calcul du coefficient d'échange (source Icofluides)

L'étude du confort thermique d'été montre qu'une surface d'ouverture de 50m<sup>2</sup> minimum est nécessaire en période estivale pour maintenir un écart de température entre la serre et l'extérieur inférieur 3°C. Une telle ouverture génère des vitesses d'air proche de 1m/s à certains endroits de la serre. Ces vitesses sont susceptibles d'améliorer la sensation de confort thermique et dans le même temps de créer un inconfort lié à l'effet de courant d'air.

Dans les conditions extrêmes simulées (météo observée un 13 juillet à 16h00) la température de rayonnement à l'intérieur de la serre s'élève fortement atteignant jusqu'à 66°C localement. Dans les mêmes conditions la température d'air atteint 37°C au dernier niveau avec une forte stratification (7°C d'écart entre le RDC et niveau 3). L'inconfort résultant de telles conditions serait vraisemblablement difficilement supportable.

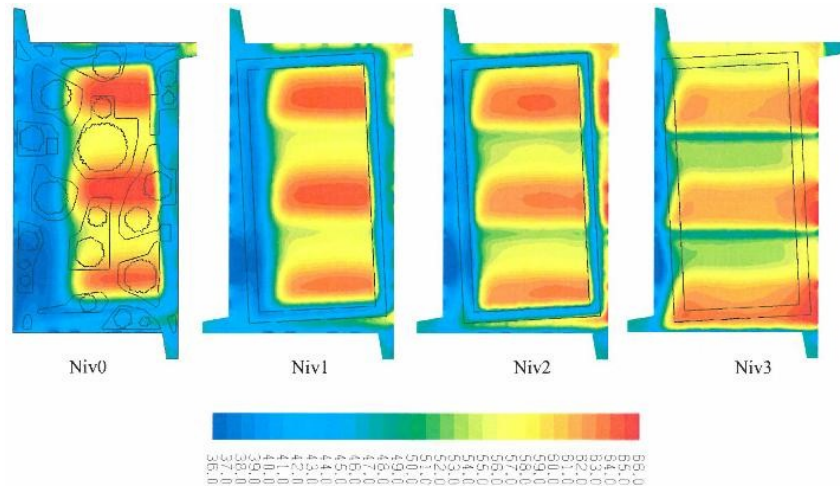


Figure 8: 13 Juillet 16h – Température de l'air (en haut) et de température de rayonnement (en bas) dans les plans horizontaux à chaque niveau de la serre

Illustration 2: modélisation de l'effet de stratification des températures (source icofluides)

Enfin, l'influence de la végétalisation est modélisée de manière très incomplète. Seuls les phénomènes liés à l'absorption et à la transmission du rayonnement solaire sont pris en compte. Les phénomènes d'évapotranspiration ne sont pas modélisés alors qu'ils sont susceptibles d'améliorer nettement la sensation de confort. Dans ces conditions, la végétation semble apporter d'après le bureau d'étude une contribution modérée au confort thermique d'été de l'ordre de 0,5°C.

### **Les limites des études et des simulations**

En premier lieu, la problématique des polluants susceptibles d'être apportés dans la serre tels que produits de nettoyages, traitements phytosanitaires, biocides, particules fines ou allergènes n'a pas été étudiée faute de données ou de connaissances du bureau d'étude fluide dans ce domaine. Toutefois, le dialogue et les échanges avec le ministère débouchera sur des recommandations relatives à l'entretien de ces espaces. Ces recommandations sont mentionnées dans les protocoles expérimentaux ainsi que dans le protocole de dérogation signé avec les ministères.

Dans la pratique, la prise en compte de cette problématique s'est traduite par le choix d'essences de plantes robustes, adaptée au climat et notamment à la luminosité de la serre et connues pour ne pas présenter de caractéristiques allergènes.

Les études et simulations aérauliques n'abordent pas avec les outils et scénarii adéquates la question du risque incendie (non demandé compte tenu des démarches engagées auprès du SDIS). En effet, les études CFD se « contentent » de s'assurer que la ventilation est bien assurée en tout point de l'atrium et qu'il n'existe pas de zone morte. Aucune simulation d'incendie n'a été réalisée afin de comprendre le comportement du projet en cas d'incendie. Aujourd'hui des simulations permettent de déterminer en fonction de scénarii de feu probables le comportement d'une structure, la propagation du foyer ou des fumées et leur dangerosité (température, stratification, ...). Dans le cas présent l'analyse des services de secours s'est basée sur une analyse de risque. Elle conduit à dimensionner largement les systèmes de désenfumage, à identifier des échappatoires et des solutions de secours pour les équipes d'intervention. Cette démarche présente l'intérêt d'être relativement simple à mener et de déboucher sur des exigences réalisables et pérennes.

Sur le plan aéraulique, les études CFD sont réalisées en condition de vent nul. Or sous certaines conditions ou orientation de vent, les systèmes de ventilation naturels sont notablement modifiés et les flux sont susceptibles de s'inverser. Ces simulations théoriques, ne prennent pas en compte certaines optimisations d'usage tels que :

- Le paramétrage des systèmes de gestion des ouvrants imposant de privilégier les ouvertures sous le vent par rapport aux ouvertures au vent pour réduire le risque de casse en cas de vent fort et éviter le risque d'inversion du flux de ventilation
- La fermeture des ouvrants en cas de précipitation n'ont pas été pris en compte dans la simulation CFD.



- L'ouverture des ouvrants pour déshumidifier la serre ou évacuer un excès d'humidité.

Ces quelques réflexions montrent les limites des simulations réalisées et la nécessité de s'assurer de la cohérence (voir de l'exactitude) des paramètres d'entrée et des scénarii saisis jusqu'à la mise en œuvre effective.

Il est donc essentiel dans un tel processus de disposer d'un double contrôle et d'une réflexion collégiale pour réduire le risque d'erreurs. Il est également essentiel de s'assurer de la transmission des informations en phase d'exploitation.

## **2.3. Méthodes d'évaluation**

La méthode générale développée et mise en œuvre dans cette étude repose sur une confrontation entre données objectives obtenues par des mesures ou/et par l'analyse des documents de l'opération (CCTP, DOE, plans...) et des données subjectives fournies par des enquêtes auprès des usagers. Cette méthode permet de mettre en perspectives les exigences ou mesures compensatoire ou dispositions architecturales, les résultats obtenus et la satisfaction des occupants. Les mesures et enquêtes sont réalisées sur des locaux représentatifs de l'opération et à différents moments de l'année (été et hiver) afin d'observer l'opération sous tous ses aspects.

Le choix du panel d'étude est détaillé dans le document « programmation 2014 Proposition technique et financière Ligne de programme : CPT2 : Qualité d'usage -opération Eden Square » joint en annexe.

Les locaux retenus en définitive pour ces suivis sont donc le meilleur compromis possible entre rigueur méthodologique, contraintes techniques et financières et enfin la disponibilité des occupants.

Pour donner un caractère plus représentatif aux auditions des occupants, une enquête est également distribuée à l'ensemble des occupants de l'opération. Environ 30 % des occupants y ont répondu ce qui témoigne du fort intérêt des occupants.

### **2.3.1. Evaluation du confort et de la performance (thermique, acoustique, visuel)**

L'évaluation du confort porte sur la serre et sur un panel de logements situés à différents niveaux et susceptibles de subir une influence différente.

Les n° des logements ont été rendus anonymes, cependant le niveau d'étage est conservé.

#### **Confort acoustique**

Le confort acoustique est mesuré à la réception de l'opération. Les mesures sont réalisées dans la serre (mesure de temps de réverbération essentiellement), dans les logements et entre la serre et les logements. Elles ont pour objectifs de vérifier la qualité réglementaire et les mesures compensatoires. Les protocoles utilisés sont ceux définis par la réglementation en vigueur (R.111-4 du CCH) et adaptés aux spécificités de la serre. Ainsi la norme NF P90-207 (octobre 1992) relative aux salles sportives est utilisée pour la mesure du temps de réverbération dans la serre. Les protocoles et les résultats de mesure sont reportés en annexe.

### **Confort thermique**

Le confort thermique est mesuré en continu (sur l'année) dans la serre grâce à des capteurs de température et d'hygrométrie qui assurent le pilotage des systèmes de ventilation/ rafraîchissement de la serre. Ces capteurs sont positionnés en partie haute de la serre et sont par conséquent représentatifs des conditions extrêmes.

Des capteurs complémentaires ont été positionnés à chaque niveau afin de mesurer l'effet du gradient thermique.

Deux campagnes de mesure ont été réalisées dans des logements en conditions estivales (du 27 août au 16 septembre 2014) et en conditions hivernales (25/02/15 au 1/04/16).

Les conditions de confort thermique sont évaluées au regard des normes NF EN 15251 et ISO 7030 pour les logements. Le confort thermique dans la serre ayant fait l'objet de simulations thermiques dynamiques (CFD), l'analyse consiste à comparer les résultats des mesures aux simulations.

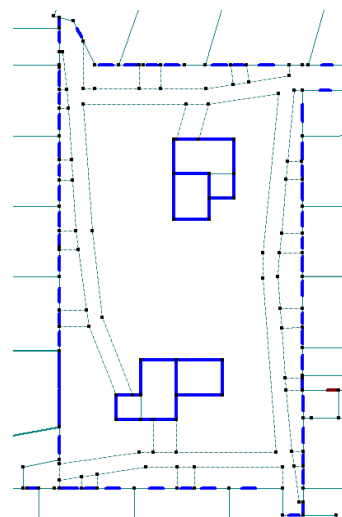


Illustration 3: représentation schématique de la serre

### **Accès à l'éclairage naturel et confort lumineux**

Les visites sur sites et les enquêtes ont montré que la serre avait un impact significatif sur cet aspect. En habitation, les réglementations abordent et réglementent cet aspect pour améliorer le confort et l'usage des locaux aux personnes malvoyantes. Ces exigences concernent essentiellement les espaces communs. A noter que le permis de construire ayant été déposé en décembre 2006, cette opération n'étant pas soumise à l'arrêté du 1<sup>er</sup> août 2006 relatif à l'accessibilité des bâtiments d'habitation collectifs. Pour les locaux d'activités, le code du travail définit des niveaux d'éclairement requis au poste de travail. L'accès à la lumière extérieure étant jugée comme un critère de qualité, les référentiels HQE proposent des valeurs seuils basées sur l'indicateur de facteur de lumière de jour (FLJ).

Les outils et méthodes d'évaluation mis en œuvre dans le cadre de cette étude sont basés d'une part sur des mesures ponctuelles de luminosité réalisées dans la serre et dans les logements et d'autre part sur une modélisation de la serre réalisée sous le logiciel Pléiade Comfie et utilisant le moteur de calcul « radiance ». Les mesures sont réalisées en extérieur, dans la serre et dans les logements pour apprécier l'effet d'affaiblissement lumineux de chacun des différents vitrages et éléments architecturaux. Elles sont réalisées dans la mesure du possible dans des conditions proches du ciel CIE (le ciel CIE est un ciel couvert uniforme dont les luminances aux quatre points cardinaux sont égales et trois fois plus faibles que la luminance zénithale). La comparaison des mesures et du modèle permet d'affiner la précision du modèle et de donner une perspective de plus long terme aux mesures ponctuelles. Les méthodes et les résultats détaillés sont présentés en annexe dans le rapport de travail de fin d'étude de Franck Duboscq.

## 2.4. Evaluation de la qualité de l'air

La qualité de l'air est évaluée grâce aux méthodes et outils développés pour l'observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI). L'objectif de ces campagnes de mesure est de vérifier la qualité de l'air intérieur dans la serre et dans les logements, d'évaluer les effets éventuels de migration des polluants et d'évaluer globalement l'efficacité des dispositifs de ventilation et de renouvellement d'air dans la serre et dans les logements. Deux campagnes de mesures ont été réalisées, l'une en été l'autre en hiver. Ces campagnes sont complétées par une mesure de la concentration de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) réalisée en continue et permettant de piloter l'ouverture des lanterneaux situés en toiture.

Les indicateurs de qualité de l'air retenus sont ceux couramment observés dans le cadre des campagnes de mesure de l'OQAI (aldéhydes et formaldéhydes, COV donc les COV aromatiques, terpènes, le CO<sub>2</sub>). Les mesures de CO<sub>2</sub> réalisées dans les logements et dans la serre permettent d'évaluer le niveau de confinement et d'observer l'efficacité des dispositifs de ventilation au regard de leur usage.

De plus, mesures de concentration de particules fines et moisissures ont été réalisées pour évaluer l'impact de la végétation présente en abondance dans la serre. Une mesure de la concentration a été effectuée.

Le détail des protocoles de mesures et les résultats sont reportés en annexe.

## 2.5. Méthode d'évaluation de la qualité d'usage

L'approche par la qualité d'usage permet d'obtenir une vision globale d'une opération de construction exprimé par le ressenti des occupants. Non objectives par nature, la qualité des informations recueillies par ce biais dépend de la méthode de questionnement (directive, semi-directive ou libre), de la représentativité de l'objectivité du panel de personnes audité.

Les méthodes développées ici sont basées sur des questionnaires semi-directifs et enquêtes papier dont les thématiques sont centrées autour des qualités sensibles (acoustique, confort thermique et visuel, olfactif), de la relation du bâtiment avec son environnement et des interactions entre la serre, les logements et ses occupants. Les différentes questions s'inspirent librement des questionnaires développés pour l'OQAI et des méthodes propres au Cerema (qualité d'usage et évaluation des opérations prébat). Ils poursuivent différents objectifs :

- Obtenir un retour des occupants sur les dispositifs et dispositions compensatoires visant à atteindre un niveau de qualité et de confort équivalent à celui d'une opération non innovante,
- Fiabiliser et interpréter les mesures de qualité de l'air et de confort thermique réalisées dans les logements,
- Interroger les occupants sur le niveau d'acceptation et de satisfaction de la serre et de ses dispositifs de régulation,
- Connaître leur ressenti général.

Les enquêtes semi-directives étant très prenante pour les occupants (plus de 2 heures d'enquêtes au total par personne interrogée), celles-ci ont été complétées par des enquêtes papier distribuées à chaque occupant pour permettre une analyse plus représentative et plus fine. Les résultats peuvent ainsi être, interprétés notamment au regard de la situation du logement dans l'opération (niveau/orientation). Le taux de réponse des enquêtes papier de plus de 30 % des logements. Les comptes rendus d'auditions sont versés en annexe.

La trame d'enquête qualité d'usage sert de fil directeur à ce rapport.

### 3. Desserte et accès, image du bâtiment

L'opération se situe sur la commune de Chantepie, commune limitrophe de Rennes au Sud-Est. Plus précisément, le projet s'inscrit sur la ZAC des Rives du Blosne, dans le quartier de Neuf Journaux.

En 2005 la municipalité de Chantepie lance un concours d'architecture pour concevoir et construire un bâtiment emblématique à l'extrémité de la ZAC des Neufs Journaux. Le projet de par son ampleur (hauteur plus importante) et sa qualité architecturale devait constituer un point de repère et une identité pour la ZAC. Le projet Eden Square est retenu pour son caractère innovant, pour sa performance énergétique et pour le lien qu'il crée avec l'espace rural voisin.

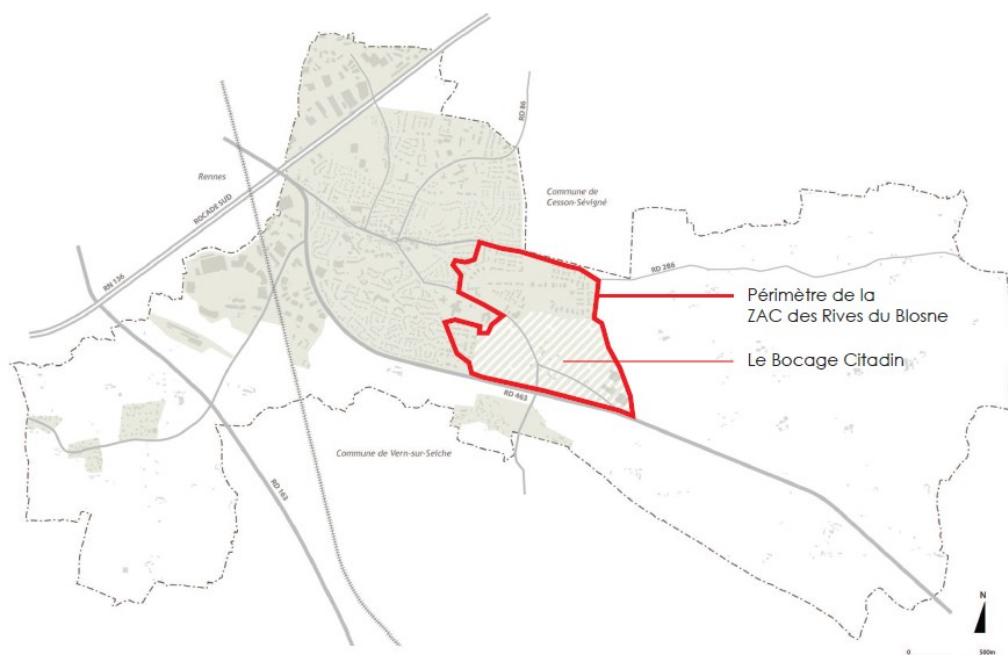


Illustration 4: Orientations d'aménagement – Agence DBW (Source : PLU de Chantepie)

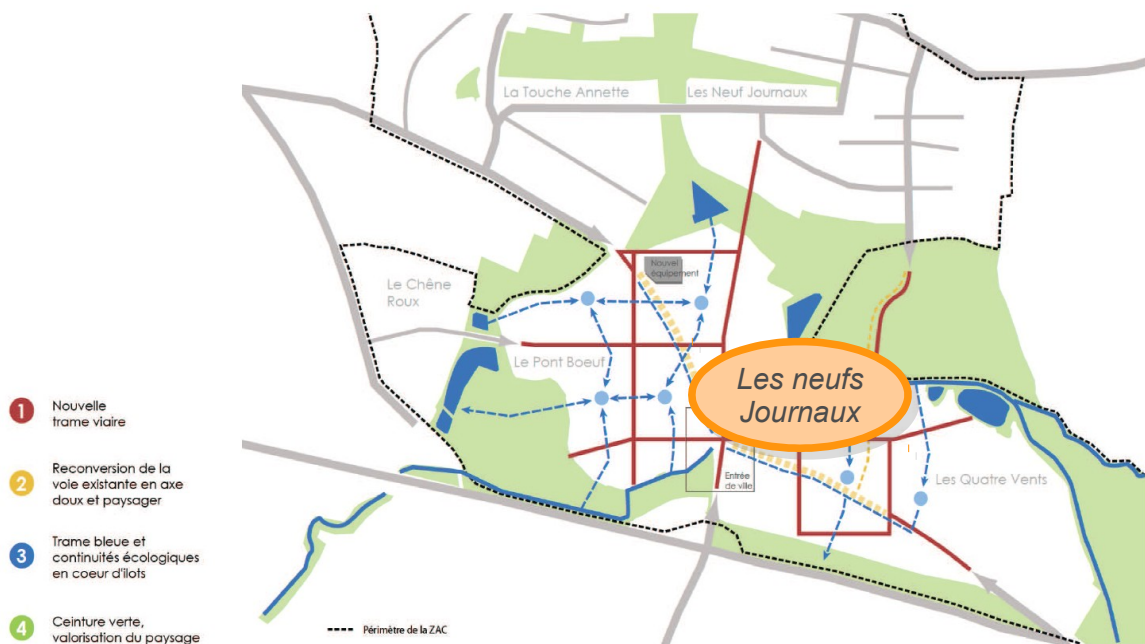


Illustration 5: Orientations d'aménagement – Agence DBW (Source : PLU de Chantepie )

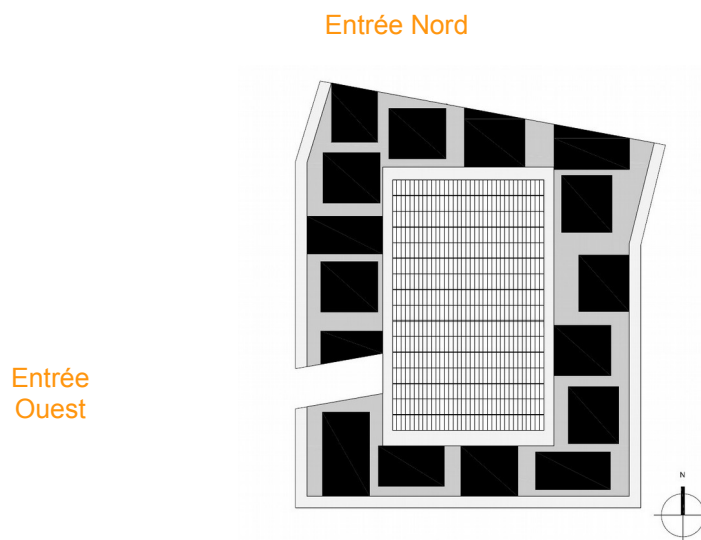


Illustration 6: Perspective schématique et plan masse de l'opération. Localisation des deux entrées dans le bâtiment. (Source : documents architecte – cabinet Hauvette et Associés)

### 3.1. Piétons/ transports en commun



Une grande majorité des occupants sondés trouvent les accès piétons au bâtiment suffisamment larges et praticables par tous les temps.

Les circulations entourant le bâtiment sont de plusieurs types : allée bétonnée en retrait par rapport à la rue, allée en gravier, grande place en pavés bétonnés.

Côté ouest, le bâtiment dispose d'un recul important par rapport à la rue avec l'intégration d'une grande place à l'allure essentiellement minérale (quelques plantations seulement).



Illustrations 7: abords du bâtiment

L'arrêt de bus de la ligne 1 (direction Rennes) se situe à proximité du bâtiment et cet arrêt est desservi selon des pas de temps suffisamment courts – 8 à 10 minutes de 7h15 à 18h40 - pour être utilisés par plusieurs résidents. Une autre ligne de bus s'arrête également à proximité.

### 3.2. Cycliste

Il existe un local vélo à l'extérieur du bâtiment côté nord mais il ne peut contenir qu'une dizaine de vélos. Les résidents ne disposent donc pas de lieu pratique pour parquer leurs bicyclettes, certains les entreposent sur leurs balcons alors que d'autres se sont résignés à les vendre. Des vélos sont parfois entreposés dans les coursives mais plusieurs vols ont déjà eu lieu.

L'utilisation de vélos est possible compte tenu des aménagements de la ville de Chantepie, cependant, quelques grands axes sont à traverser pour se rendre au centre-ville de Rennes.

D'une manière générale, même si l'environnement extérieur est adapté à l'usage du vélo (aménagements spécifiques), le bâtiment lui-même ne facilite pas ce mode de transport.

### 3.3. Accès motorisé

Le bâtiment est bien desservi par des axes routiers mais le stationnement paraît plus problématique :

- Le stationnement extérieur semble insuffisant aux résidents, ce qui entraîne des stationnements « anarchiques » notamment devant l'accès au parking souterrain
- Le parking souterrain comporte des emplacements numérotés et quelques boxes fermés. Ce parking a été vandalisé à plusieurs reprises (départs de feu, extincteurs vidés), ce qui engendre un sentiment d'insécurité chez certains occupants.



Illustration 8: niveau sous-sol, box fermé versus stationnement « ouvert »



Illustration 9: stationnement au sous-sol, absence de marquage au sol, déchets au sol

### 3.4. Proximité des lieux publics (écoles, crèches...), et commerces

Les écoles et crèches sont trop loin (entre 1,5 et 2 km) pour pouvoir s'y rendre à pied.

Quant aux commerces, un petit centre commercial a ouvert récemment à proximité, il comporte pour le moment un coiffeur et un centre d'esthétique alors que les personnes sondées auraient préféré des commerces de première nécessité (boulangerie, supérette). Il faut néanmoins ajouter que le quartier n'est pas encore achevé, certains bâtiments sont actuellement en construction.

#### **DESSERTE ET ACCES AU BÂTIMENT – LES POINTS CLES**

##### **Les plus :**

- Cheminements piétonniers pratiques par tous temps
- Bonne desserte par les transports en commun (bus)
- Proximité des axes routiers

##### **Les moins :**

- Pas de local vélo de taille suffisante
- Accès au parking souterrain compliqué suite aux stationnements anarchiques devant l'entrée
- Éloignement des lieux publics et commerces



# 4. Organisation spatiale

## 4.1. Dimensionnement

### Éléments de conception

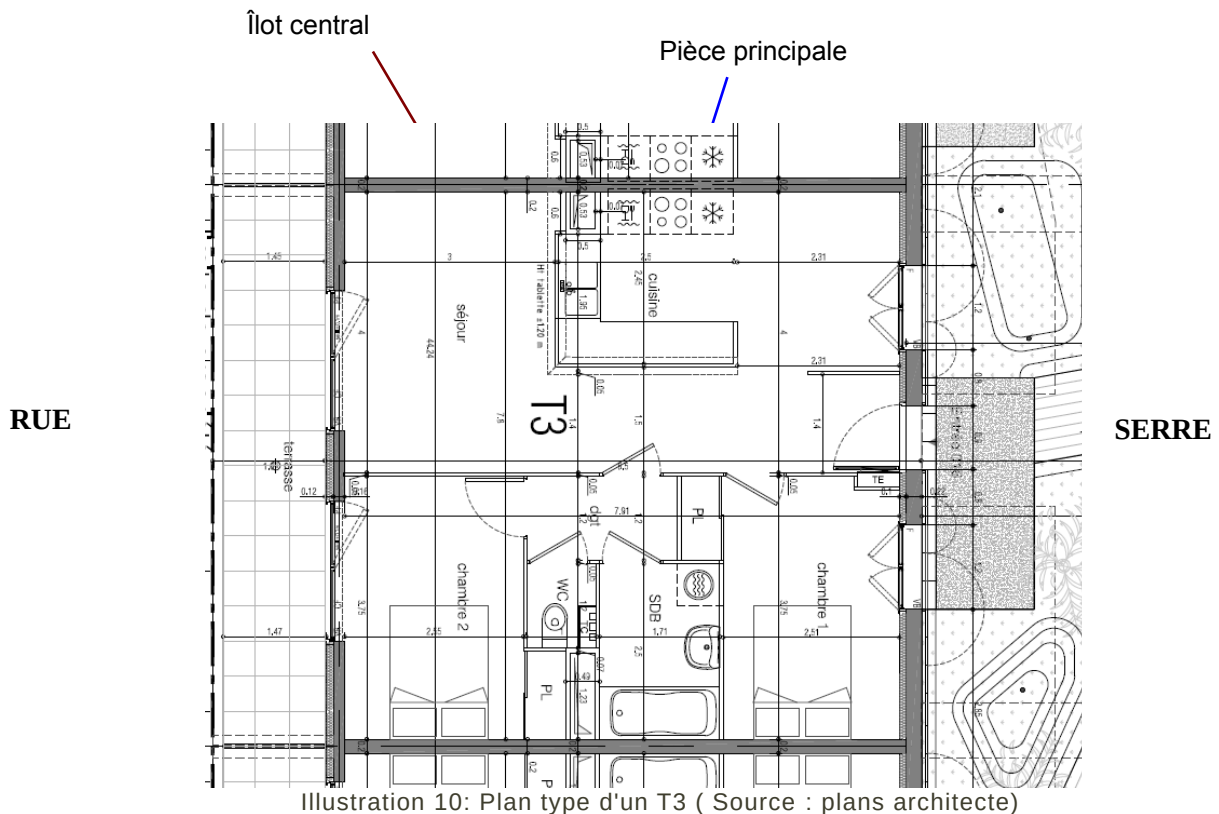


Illustration 10: Plan type d'un T3 ( Source : plans architecte)

### Le ressenti des occupants

**Dimensionnement  
des logements**



**75%**

75% des occupants interrogés sont satisfaits des dimensions de leur logement. Pourtant, le manque de placard de rangement revient assez souvent. Certains résidents ont également soulevé le problème d'aménagement de la pièce à vivre ; celle-ci est plutôt grande (plus de 40m<sup>2</sup>) et comporte un îlot central avec une cuisine ouverte. En conséquence, les espaces restants de part et d'autre de cet îlot sont assez limités et difficilement aménageables. D'après les plans, et certains occupants l'ont aménagé de cette manière, la table de cuisine se trouve côté serre ; cet espace manque donc de convivialité puisque non seulement il se trouve à côté de la porte d'entrée mais, de plus, pour les niveaux inférieurs (surtout le rez-de-chaussée), il manque de lumière naturelle.

Avec leurs 9,5 m<sup>2</sup>, les chambres sont quelques fois jugées un peu petites.



82% des sondés trouvent la serre et les espaces communs agréables et praticables pour tous les usagers. Attention néanmoins à contenir les végétaux au sol de la serre pour ne pas gêner la circulation des occupants.

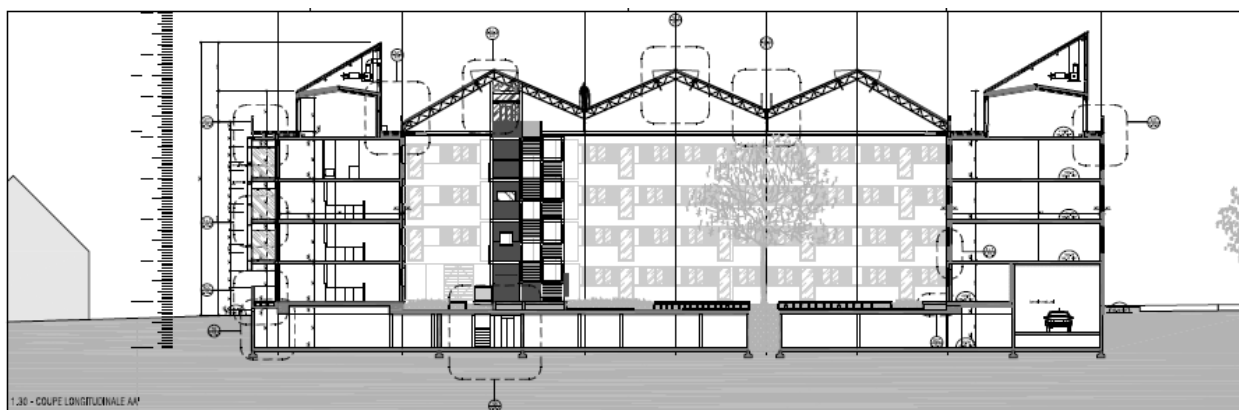


Illustration 11: Coupe longitudinale de la serre (Source : plans architecte)

## 4.2. Protection / sécurité

La plupart des occupants trouvent la résidence suffisamment sûre. Par contre, plusieurs personnes souhaiteraient un accès sécurisé par un badge entre le garage souterrain et la serre suite à plusieurs intrusions.

Les ventelles situées aux entrées du bâtiment offrant une ouverture suffisante pour passer un bras permettait aux personnes étrangères à la résidence d'accéder au bâtiment en appuyant sur la commande située à proximité de la porte.

Le dispositif de commande a donc été déporté pour éviter ce désagrément.



Illustration 12: entrée nord du bâtiment

## 4.3. Sécurité Incendie

### 4.3.1. Éléments de conception et mesures compensatoires

Les principes fondamentaux de la sécurité incendie en habitation sont de permettre aux occupants d'évacuer leur logement en toute sécurité ou de recevoir des secours. Cela conduit à un ensemble de mesures permettant d'assurer la stabilité du bâtiment, de sécuriser les cheminements d'évacuation, et de limiter la propagation d'un incendie. Ces mesures sont graduées en fonction de l'importance de l'opération. Compte tenu de la dimension de l'opération R+3 Duplex, celle-ci aurait dû respecter les exigences de moyens définies par l'arrêté du 31 janvier 1986 pour les bâtiments classés en 2ème famille de plus de 8 m. Pour ce type de bâtiment les escaliers sont soit à l'air libre, soit encloués et équipés d'une trappe de désenfumage pour sécuriser l'évacuation des occupants et l'intervention des services de secours. La hauteur du bâtiment doit permettre un accès depuis l'extérieur au moyen d'échelles à main. Le tableau ci-après synthétise les articles non respectés de l'arrêté de 1986 et les mesures compensatoires prévues.

Article non respecté		Mesures compensatoires demandées	Situation observée
6	les coursives ne sont pas coupe-feu ½h	Non superposition des coursives d'un niveau sur l'autre, Deux issues sont possibles depuis chaque logement Les coursives sont éloignées de la façade	Superposition partielle des coursives Les autres points sont respectés
8	les escaliers situés dans la serre ne sont pas encloués	Désenfumage de la serre asservi à une détection (surface 1/15) Tous logements sont accessibles par voie échelle ou échelle à main Les matériaux de façade sont M2 ou bois Respect d'un C+D de 1,10m minimum côté serre Allèges de fenêtre sur coursive CF 1h Sur les coursives les revêtements des plafonds sont M2 ou bois	Tous ces points sont respectés, souvent bien au-delà du minimum
19	Les parois entre logement et la serre ne sont pas coupe-feu ½ h (présence de fenêtres)	Désenfumage asservi à une détection Deux escaliers	Respecté avec détection par SSI classe A. plusieurs détecteurs situés à chaque niveau
97	les cages d'ascenseurs ne sont pas coupe-feu ½ h		

### 4.3.2. Le retour des occupants

97% des résidents déclarent ne pas avoir reçu de consigne particulière sur la conduite à tenir en cas d'incendie.

Des capteurs de fumée ont été placés au-dessus des portes palières. En 2013, des personnes fumant sur leur palier ont déclenché plusieurs fois le système d'alarme incendie de manière intempestive. Seule une personne du syndic peut faire arrêter cette alarme, ce qui complique et rallonge le délai pour l'éteindre. Il faut toutefois souligner que certains résidents, présents lors du déclenchement de cette alarme, ne l'ont même pas entendue depuis l'intérieur de leur logement.

Par ailleurs, les extincteurs du garage ont été vidés plusieurs fois par malveillance et n'ont pas été remplacés rapidement ; ce qui pose la question de la sécurité incendie dans le garage en l'absence d'extincteur en bon état de fonctionnement.

L'exploitation des questionnaires papier conduit aux résultats suivants :

70 % des personnes ayant renseigné le questionnaire répondent à la question sur la sécurité.

68 % des personnes qui s'expriment considèrent que la sécurité incendie du bâtiment est équivalente à celle de toute autre opération. Les autres personnes se positionnent de manière quasi équivalente entre meilleure sécurité et moins bonne sécurité.

Ce résultat montre avant tout une difficulté des personnes interrogées à exprimer une opinion sur ce sujet. Il montre également qu'il ne s'agit pas d'un sujet qui influence le choix de son lieu d'habitation.

Il est important de préciser que les réponses à ce questionnaire sont antérieures à l'incendie qui s'est déclaré dans les locaux.

### ***a)Analyse de l'incendie***

Un acte de vandalisme commis en avril 2015 a malheureusement permis d'observer en situation réelle l'efficacité et le bien fondé des mesures compensatoires.



Illustration 14: photographie de l'incendie le 19/04/2015 à 22h source SDIS 35

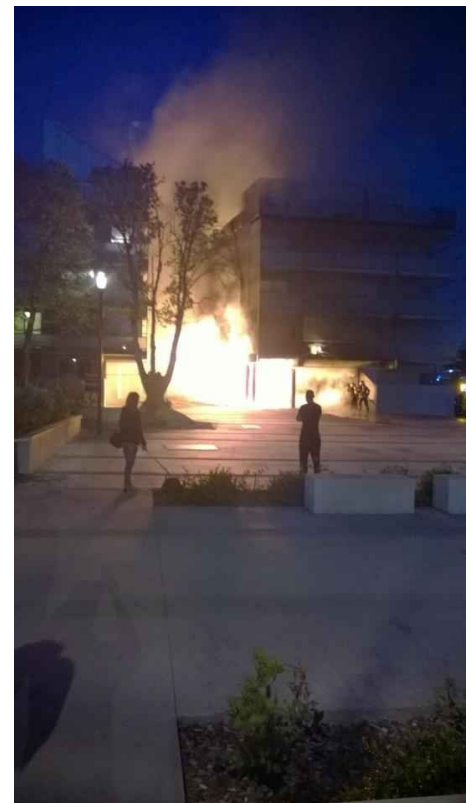


Illustration 13: photographie de l'incendie le 19/04/2015 à 22h source SDIS 35

L'incendie volontaire a pris naissance à l'entrée Ouest du bâtiment. Un scooter, des palettes et des accélérateurs de flamme ont été utilisés pour faire démarrer l'incendie. Les vêtements et le plancher constitué de lames de bois ajourées de 25mm d'épaisseur situés dans une alcôve protégeant l'entrée du bâtiment ont rapidement pris feu. Le pouvoir calorifique des matériaux apportés (scooter palettes...) et des matériaux de construction présents ont conduit à un développement rapide et violent de l'incendie. L'effet d'alcôve, les dispositifs de désenfumage et la paroi vitrées située juste à l'entrée du bâtiment ont permis à l'incendie de pénétrer rapidement dans le volume de la serre. Les isolants polyuréthanes situés sur les façades aveugles de part et d'autre du bâtiment se sont ensuite également enflammés (côté droit, début de pyrolyse pour le côté gauche).

8 appartements donnant sur l'angle du bâtiment ont été touchés par l'incendie, certains étant totalement dévastés.

Étant entendu que la réglementation en matière de sécurité incendie habitation n'est pas conçue pour minimiser les dégâts occasionnés sur un bâtiment et que celle-ci ne prend pas en compte les actes de vandalisme, il ressort de cette triste expérience que le bâtiment a fonctionné convenablement pour la préservation des vies des habitants.

Malgré la violence de l'incendie, aucune victime sérieuse n'est à déplorer. La plupart des occupants ont

évacué les locaux par leurs propres moyens avant l'arrivée des pompiers ce qui confirme l'efficacité des dispositifs de désenfumage et l'intérêt de disposer de plusieurs chemins d'évacuation. L'accès par voie échelle à l'ensemble des logements constitue indéniablement une mesure déterminante pour permettre l'évacuation des occupants situés à proximité immédiate du foyer d'incendie.

Bien que respectant les exigences réglementaires fixées, les mesures visant à éviter ou ralentir la propagation du sinistre et notamment la réaction au feu des matériaux mis en œuvre au niveau des entrées, des coursives et des façades situées sur l'extérieur du bâtiment ont contribué à alimenter le foyer d'incendie. Les dispositifs de désenfumage et la configuration en angle ont créé un effet de cheminée favorable à la propagation rapide et violente de l'incendie. Enfin, la configuration des logements situés à chaque l'angle du bâtiment avec des portes d'entrée située en retrait par rapport à la façade intérieure a conduit à l'accumulation de gaz chauds à ces endroits. Ainsi, les portes vitrées de ces logements n'ont pas résisté longtemps à l'incendie.

Cette expérience regrettable permet de valider l'intérêt des mesures compensatoires d'accessibilité aux équipes de secours sur un bâtiment compact de ce type. Elle montre également la nécessité d'aborder le projet de manière globale notamment en prenant en compte le fonctionnement des dispositifs de ventilation et leur impact sur la propagation d'un incendie.

Toutefois certaines mesures peuvent être prises pour renforcer la sécurité incendie de projets similaires :

- Renforcer les exigences de comportement au feu des matériaux mis en œuvre près des entrées et issues de secours et des dispositifs d'amenées d'air (ventelles),
- Éviter les configurations en cul de sac ou en alcôve au niveau de l'entrée des logements et susceptible de créer des poches de gaz chauds,
- Renforcer les caractéristiques des portes et baies donnant sur la serre.
- Renforcer les exigences de résistance au feu des coursives ( mesures imposées par l'arrêté du 19 juin 2015),
- Limiter le potentiel calorifique des matériaux présents dans la serre et notamment à des dispositifs d'admission d'air et de désenfumage

Des matériaux et technologies simples, fiables et ne nécessitant que peu d'entretien sont à privilégier.

## 4.4. Accessibilité

### 4.4.1. Évaluation qualité d'usage

Un détail saute aux yeux lorsqu'on arrive pour la première fois dans le bâtiment : aucune indication ne permet de se repérer dans le bâtiment, on trouve très peu de numéros d'appartements ou de noms près des entrées individuelles. Deux personnes ont rapporté la difficulté pour les camions de déménagement de s'approcher suffisamment du bâtiment.

Accessibilité



72%

72% des sondés trouvent le bâtiment accessible pour les handicapés, néanmoins, 3 remarques ont été soulevées sur la lourdeur des portes d'entrées nord et sud au bâtiment. Une personne pense également que la circulation sur les platelages de la serre pourrait être sécurisée par une rambarde pour éviter aux fauteuils roulants le risque de tomber dans la terre des végétaux.



Illustration 15: circulations intérieures en platelage bois, risque de chute pour un fauteuil ?

#### 4.4.2. Aspect réglementaires

Le permis de construire ayant été déposé en décembre 2006, l'Arrêté du 1<sup>er</sup> août 2006 (remplacé par l'Arrêté du 24 décembre 2015 relatif à l'accessibilité aux personnes handicapées des bâtiments d'habitation collectifs et des maisons individuelles lors de leur construction) n'est pas applicable à cette opération. C'est donc l'arrêté du 24 décembre 1980 qui s'applique.

Les espaces intérieurs des logements, salle de bain, séjour et cuisine ne sont par conséquent pas adaptés au sens de la réglementation.

A l'entrée de chaque logement un ressaut de 3 cm est chanfreiné par la mise en place d'un solin en bois et les logements duplex situés aux derniers niveaux ne disposent pas d'une unité de vie au niveau accessible.

On souligne cependant, les efforts réalisés pour rendre les terrasses et balcons accessibles pour la plus grande satisfaction des occupants

#### 4.5. Intimité/collectivité

La moitié des personnes sondées ayant une ou plusieurs fenêtres côté coursive soulignent la nécessité d'avoir des rideaux occultant dans ces pièces pour préserver une certaine intimité. Cette gêne concerne surtout les habitants du rez-de-chaussée.

Une solution préconisée *par un occupant* était de poser un film adhésif protecteur sur la vitre mais l'occupant s'est vite rendu compte que la lumière naturelle en provenance de la serre était appauvrie et il a préféré le retirer.



Illustration 16: vue sur l'intérieur des logements depuis la serre

Par ailleurs, pendant les premiers mois après la livraison, le bâtiment était devenu le lieu de promenade et de découverte « du dimanche » pour des personnes non résidentes. Le phénomène est moins marqué depuis la fermeture de l'accès au dernier niveau (logements duplex) par un verrou.

## **ORGANISATION SPATIALE – LES POINTS CLES**

### **Les plus :**

- La serre : sentiment de la moitié des occupants d'être « au vert », de passer par un jardin lorsqu'ils rentrent chez eux, comme un sas « zen » entre le monde extérieur (et ses dangers) et leur intérieur
- Dimensionnement de la serre et des espaces de circulation agréables et praticables

### **Les moins :**



- La moitié des usagers ne ressent pas vraiment de différence par rapport à un logement classique ou souligne que les problèmes de voisinage, d'incivilités et de relations avec le syndic sont les mêmes
- Difficulté pour les nouveaux venus ou les visiteurs de se repérer dans le bâtiment
- Difficulté d'aménagement de la pièce principale due à l'implantation de la cuisine en îlot central



# 5. Qualités sensibles de l'espace intérieur

## 5.1. Qualité visuelle

### 5.1.1. Vues sur l'extérieur

Appréciation des vues sur l'extérieur (côté rue et côté serre)	 75%
	 25%

Les fenêtres côté serre de certains occupants donnent sur les escaliers ou sur les ascenseurs, leur vue est donc « bouchée » par ces éléments, ce qui explique leur manque d'appréciation positive.

### 5.1.2. Lumière naturelle

#### Éléments de conception

- Choix de simples vitrages pour maintenir un facteur solaire et un facteur de transmission lumineuse élevé
- Et auto nettoyant pour les maintenir sur la durée
- Mise en place de store automatiques de couleur claire pour réduire les apports de chaleur en cas de fort ensoleillement sans trop réduire les apports lumineux,
- La forme de la toiture qui permet de ne pas trop réduire le facteur de lumière de jour (FLJ)





*cas similaire à l'opération	Toit plat	Toit en pente	Toit pyramidal*	Toit en dent de scie
				
Estimation de l'atténuation du FLJ	37%	45%	46%	90%

TABLEAU 1: INFLUENCE DE LA FORME DE TOIT SOURCE :J. HUMUS, S.SH. AHMAD, A. ZAIN-AHMED. ANALYSING THE IMPACT OF ROOF OBSTRUCTIONS ON DAYLIGHT LEVELS IN ATRIUM BUILDINGS: PHYSICAL SCALE MODEL MEASUREMENTS UNDER REAL SKY CONDITIONS. IPCBEE VOL 6 (2011).

Compte tenu des contraintes mécaniques, étanchéité, acoustiques et architecturales, les deux formes possibles étaient un toit pyramidal ou un toit en dent de scie. La toiture en dent de scie aurait conféré un caractère plus industriel au bâtiment et aurait conduit à une plus forte atténuation de la lumière naturelle.

Fonctionnement des stores de la serre : les stores sont gérés de manière automatique. Dès que l'ensoleillement est important et que la température intérieure de la serre dépasse les 26°C, les stores se baissent automatiquement.

### ***Le ressenti des occupants***

Assez logiquement, les usagers du rez-de-chaussée ont souvent moins de lumière naturelle que ceux des étages supérieurs, surtout côté serre. Pour ces pièces-là, 30% des occupants trouvent la lumière naturelle insuffisante. La satisfaction des occupants est inversement proportionnelle à l'étage qu'ils occupent.

Le manque d'éclairage naturel dans les pièces orientées côté serre conduit souvent les occupants des niveaux inférieurs à délaisser ces espaces en leur affectant à des usages de débarras, dressing, chambres d'amis ou bureau. L'aspect luminosité n'est cependant pas le seul argument avancé pour expliquer ce comportement, le rapport à l'intimité et parfois l'acoustique étant également évoqués.

**Qualité de la lumière naturelle  
dans les logements**



**30%**



Illustration 17: vue intérieure de la serre, niveau RDC par un jour ensoleillé – lumière naturelle fortement affaiblie par la végétation et l'emprise des coursives pour les logements de plain-pied.

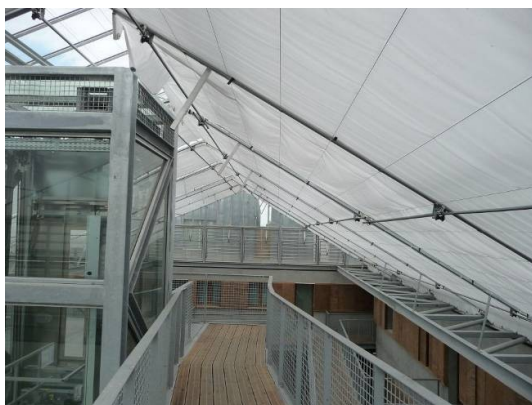


Illustration 18: store de la serre bioclimatique

La quasi-totalité des occupants trouvent la lumière naturelle agréable dans la serre par temps ensoleillé mais 1/3 la trouve plutôt désagréable par temps couvert.

**Qualité de la lumière naturelle  
dans la serre**



**33%**

## Les réglementations

Sur l'aspect confort visuel, les exigences réglementaires ne sont pas précisées. De plus, elles se répartissent entre plusieurs textes du code de l'urbanisme et du code de la construction.

Ainsi, l'article R111-17 (*Décret n° 76-276 du 29 mars 1976 Journal Officiel du 30 mars 1976 date d'entrée en vigueur 1 avril 1976 et Décret n° 77-755 du 7 juillet 1977 Journal Officiel du 10 juillet 1977 date d'entrée en vigueur 1 janvier 1978*) imposait un accès à l'ensoleillement 2 heures par jours au moins 200 jours dans l'année pour la moitié des pièces principales. Difficile à vérifier ces exigences sont désormais réduites à une exigence de distance par rapports aux locaux voisins.

Le code de la construction vise également à imposer un accès à lumière naturelle (Art R111-10) puis plus récemment la RT 2012. Les dispositions architecturales de l'opération Eden square ne sont pas en contradiction avec les règles en vigueur sur ce point. Cependant les enquêtes qualité d'usage ont mis évidence l'intérêt d'approfondir cet aspect par des mesures et études complémentaires.

## Mesures et études de l'accès à la lumière naturelle

Plusieurs campagnes de mesures de luminosité ont été réalisées dans la serre et dans les logements. La difficulté de maîtriser totalement le niveau de luminosité naturelle et l'impossibilité de le rendre parfaitement constant durant toute la durée de la campagne de mesure expliquent certainement l'absence de protocoles normalisés pour la mesure de l'accès à l'éclairage naturel. Des outils et méthodes de simulation aujourd'hui largement répandues permettent de caractériser la qualité d'un bâtiment ou d'un local sur cet aspect. Cependant, la fiabilité des résultats dépend de la précision du modèle géométrique utilisé pour réaliser les calculs. L'interface graphique Alcyone et le moteur de calcul radiance intégré au logiciel Pléiade COMfie ne permettent pas de modéliser finement la serre et ses masques architecturaux (escaliers, ascenseurs, coursives et surtout la végétation)

Les outils et méthodes d'évaluations mise en œuvre dans le cadre de cette étude sont basés sur des mesures ponctuelles de luminosité réalisées dans la serre et dans les logements, une modélisation de la serre et réalisée sous le logiciel Pléiade Comfie utilisant le moteur de calcul radiance.

### *a) Résultats de la campagne de mesure en logement*

Les résultats des mesures réalisés dans les logements durant 3 semaine en été sont dans des conditions non maîtrisées. Il est en effet impossible de vérifier l'action des occupants sur les dispositifs d'occultation. Toutes les mesures sont réalisées côté serre, les séjours sont des espaces traversant donc exposé à la lumière extérieure et la lumière provenant de la serre. Cependant compte tenu de la profondeur des pièces et de la position du capteur, la mesure est principalement influencée par la lumière provenant de la serre.

local niveau	Chambre T5 niveau 3 (orienté Ouest)	séjour T3 RDC	séjour T3 niveau 1 (orienté est)	séjour T3 niveau 2 (orienté nord)
niveau maximal mesuré en lux	2 377	51	319	3 914
Niveau moyen mesuré en lux	274	5	24	72
% de temps > 100 lux	38%	0%	2%	7%

**TABLEAU 2: RÉSULTATS DE MESURES EN CONTINU DANS LES LOGEMENT EN SEPTEMBRE 2014**

Ces résultats montrent clairement l'influence de la situation du logement par rapport à son orientation et surtout son niveau d'étage. En considérant que le niveau d'éclairage minimum requis pour permettre une activité de type lecture est de 100 lux. Seules les pièces situées au niveau le plus élevé disposent d'un éclairage suffisant pour permettre ce type d'activité.

**b) Comparaison mesures et simulation**

Le 24 avril 2015, une campagne de mesure du niveau d'éclairage dans la serre est réalisée afin de caler le modèle de simulation. Les appartements tests ne sont pas situés dans la zone détériorée par l'incendie. Des mesures sont réalisées à chaque niveau. Le calage du modèle est d'abord réalisé sur le niveau 3 afin de s'affranchir des effets de masques liés aux végétaux, aux coursives et aux cages d'ascenseur. Le modèle est ensuite affiné au niveau des étages suivants.

Les mesures sont réalisées dans des conditions proches d'un ciel CIE (ciel couvert homogène dans toutes les directions) pour permettre la comparaison calcul/mesure

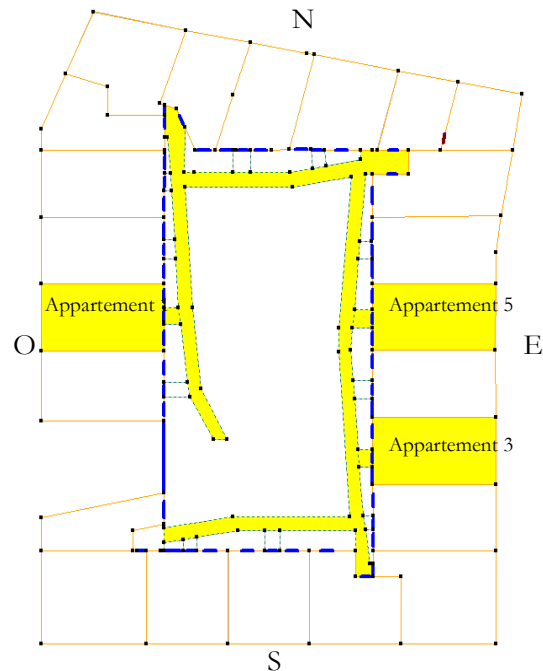


Illustration 19: situation des logements pris en référence

R+3	appartement 1			appartement 3			appartement 5		
	ECL (Lux)	FLJ (%)	FLJ (%) modèle	ECL (Lux)	FLJ (%)	FLJ (%) modèle	ECL (Lux)	FLJ (%)	FLJ (%) modèle
fenêtre gauche	11600	32,2%	42,3%	11100	30,8%	35,5%	12700	35,3%	40,4%
fenêtre droite	11400	31,7%	38,2%	10800	30,0%	34,6%	13900	38,6%	40,0%
porte	11400	31,7%	39,3%	11100	30,8%	40,5%	13500	37,5%	43,5%
sol de porte	11100	30,8%	35,1%	11300	31,4%	35,1%	13300	36,9%	39%
palier béton	12800	35,6%	41,0%	12300	34,2%	41,4%	13200	36,7%	43,7%
sol palier béton	12400	34,4%	38,1%	11800	32,8%	36,7%	13100	36,4%	40,7%
coursive intérieure	13500	37,5%	45,2%	13700	38,1%	43,2%	14000	38,9%	44,0%
sol coursive intérieure	13200	36,7%	42%	13400	37,2%	40,7%	13600	37,8%	42,8%
coursive extérieure	15600	43,3%	48,3%	15000	41,7%	44,8%	15500	43,1%	46,4%
sol coursive extérieure	15200	42,2%	44,8%	14600	40,6%	43%	15100	41,9%	45,1%

TABLEAU 3: NIVEAUX R+3 ÉCLAIREMENTS MESURÉS DANS LA SERRE ET COMPARAISON AU MODÈLE

R+1	appartement 1			appartement 3			appartement 5		
	ECL (Lux)	FLJ (%)	FLJ (%) modèle	ECL (Lux)	FLJ (%)	FLJ (%) modèle	ECL (Lux)	FLJ (%)	FLJ (%) modèle
fenêtre gauche	2400	6,7%	12,0%	1950	5,4%	8,6%	1600	4,4%	9,9%
fenêtre droite	1900	5,3%	8,4%	1800	5,0%	7,6%	2200	6,1%	12,5%
porte		0,0%	6,4%	900	2,5%	4,5%	1070	3,0%	6,7%
sol de porte	1200	3,3%	9,0%	1200	3,3%	5,2%			
palier béton		0,0%		950	2,6%	4,2%	2300	6,4%	6,5%
sol palier béton	1350	3,8%	6,3%	1300	3,6%	5,2%	3260	9,1%	9,8%
coursive intérieure	1100	3,1%	8,8%	910	2,5%	3,0%	3490	9,7%	9,1%
sol coursive intérieure	1600	4,4%	13,8%	1560	4,3%	4,6%	5050	14,0%	14,0%
coursive extérieure		0,0%	20,0%	1150	3,2%	2,5%	7210	20,0%	19,0%

TABLEAU 4: NIVEAUX R+1 ÉCLAIREMENTS MESURÉS DANS LA SERRE ET COMPARAISON AU MODÈLE

Ces résultats montrent tout d'abord que le niveau d'éclairage obtenu dans la serre est très supérieur au niveau minimum exigés par la réglementation accessibilité de 2006 pour les bâtiments d'habitation (x10 au niveau R+1). Le niveau d'éclairage n'est bien évidemment pas le seul critère qui définit la qualité lumineuse d'un espace, on peut néanmoins considérer que celle-ci est très largement supérieure à celle obtenue dans une circulation fermée et éclairée uniquement par une lumière artificielle, y compris lorsque le ciel est couvert (type CIE).

Ces résultats montrent également une forte diminution du niveau d'éclairage lorsque l'on descend dans les niveaux inférieurs. Au rez-de-chaussée, la végétation empêche tout rayonnement direct.

On observe également un écart relatif entre mesure et modèle qui croît lorsque l'on descend dans les niveaux. Ce résultat montre combien il est difficile de disposer d'un modèle fiable pour un environnement aussi complexe. Par ailleurs, le temps nécessaire pour modéliser finement l'environnement et le manque de modèles numériques adaptés rendent ce type de démarche difficiles à mettre en œuvre en phase conception. En phase conception, le recours à des modèles plus simple voir à des recommandations et bonnes pratiques semble la démarche la plus adaptée.

Les facteurs d'influences prépondérants sont :

- La forme du toit et le type de vitrage
- Le rapport hauteur/largeur
- La taille des baies des logements (à concilier avec d'autres exigences sécurité incendie et intimité)
- La nature et les propriétés réfléchissantes des matériaux mis en œuvre dans la serre.

### 5.1.3. *Lumière artificielle*

Dans la serre, la lumière artificielle est activée par des détecteurs de présence et réglée par des minuteurs. Si les usagers sont plutôt satisfaits de l'éclairage artificiel dans les coursives, ils sont plus nombreux à trouver cet éclairage désagréable au niveau des portes palières. Des tubes type néons ont été installés au-dessus de chaque porte d'entrée vitrées ; lorsqu'ils sont activés par le détecteur, la lumière pénètre jusqu'au fond de la pièce principale de l'appartement. Cette gêne était tellement importante la nuit pour certains usagers qu'ils ont désactivé cette lumière.



Illustration 20: éclairage artificiel au-dessus des portes palières allumé en pleine journée...

## 5.2. *Qualité acoustique*

Dans cette résidence comme ailleurs, les occupants sont particulièrement attentifs à leur confort acoustique et souvent critiques.

La réglementation acoustique fixe des objectifs vérifiés par des mesures acoustiques le cas échéant. Seul le traitement de la réverbération dans les circulations communes est traité par une exigence de moyens. Cette réglementation vise à assurer un niveau de confort acceptable dans des conditions normales d'utilisation des locaux. Elle fixe des objectifs pour la protection vis-à-vis des bruits extérieurs, vis-à-vis des logements voisins et vis-à-vis des équipements individuels ou collectifs.

Cet aspect a fait l'objet de toutes les attentions dès les premières phases de conception et en réception. Nous reprenons ici la même trame de présentation consistant à mettre en perspective les éléments de conception, le ressenti et les mesures. Un rapport spécifique à l'acoustique est joint en annexe, seuls les éléments de synthèse sont rappelés ici.

### 5.2.1. *Éléments de conception*

Les spécificités de l'opération portent sur l'atrium (ou serre) la relation entre la serre et les logements.

En effet, selon que l'on considère cet espace comme extérieur ou intérieur, les exigences d'isolement à appliquer passent de 30 dB à 40dB voire 53 dB (en présence de deux portes séparatives). De plus, la

nature et les dimensions de cet espace ne permettent pas d'appliquer les exigences de correction acoustique (exigences de moyens) définies par la réglementation habitation.

Les éléments de performance imposés dans le cadre des mesures compensatoires et mis en œuvre dans la phase de conception sont les suivants :

- Réalisation d'études acoustiques poussées avec modélisation de la réverbération dans l'atrium
- Définition d'un objectif de temps de réverbération < 2 secondes dans la serre
- Désolidarisation des coursives et passerelles/logements
- Renforcement de l'isolement de façade entre la serre et les logements à 35dB(A).
- Validation des performances dans le cadre d'une certification Habitat et environnement et mise en place de vérifications par le CEREMA et le bureau d'études acoustique (Cabinet Hernot Rennes)

Le rapport acoustique de suivi et de mesure atteste de la mise en œuvre effective des dispositions prévues:

- Des baies vitrées avec isolement renforcé
- Des entrées d'air acoustiques côté serre
- Mise en œuvre de matériaux absorbants en sous-face des coursives et sur la partie intérieure des Volet bois.

Vis à vis du bruit extérieur ou de la transmission du bruit entre logements, le bâtiment est soumis à la réglementation applicable aux bâtiments d'habitation (Isolement  $D_{nT,A,tr} \geq 30d(A)$  / à l'extérieur et isolement  $D_{nT,A,tr} \geq 53$  dB entre logements).

### **5.2.2. Perception des occupants**

Les occupants avaient le choix dans leurs réponses entre 3 possibilités : pas gênés, moyennement gênés ou très gênés. 30 personnes se sont exprimées sur ces questions. Les auditions viennent compléter les réponses obtenues.

Vis-à-vis des bruits extérieurs les personnes interrogées disent entendre des bruits d'enfants qui jouent. Les bruits provenant des niveaux supérieurs ou inférieurs sont plus perçus que les bruits provenant des logements voisins. Le lave-linge, ou la musique un peu forte provenant des logements étudiants sont souvent évoqués pour parler de la gêne en provenance des logements voisins.

Pour les bruits venant des usagers de la serre, les enfants qui courent ou qui crient ainsi que les talons sont les sources le plus citées.

Le bruit des bouches d'extraction de la VMC gênait plusieurs personnes avant une intervention technique. Seuls 3 occupants s'en plaignent encore.



Illustration 21: mur rideau sur la façade ouest du bâtiment.  
Ventelles en position ouverte au niveau 1

Enfin concernant les bruits des équipements les ventelles qui se bloquent et les moteurs de stores sont évoqués sans pour autant qu'ils soient considérés comme une gêne.




Perception en %			
Confort acoustique vis-à-vis des bruits extérieurs	47 %	47 %	7 %
Bruit provenant des autres logements	37 %	33 %	30 %
Bruit provenant des usagers de la serre	43 %	23 %	33 %
Bruit provenant des équipements de la serre	53 %	40 %	7 %

TABLEAU 5: SYNTHÈSE OPINIONS RELATIVES À L'ACOUSTIQUE

Ces résultats expriment un niveau de satisfaction correct des occupants par rapport à la protection des bruits provenant de l'extérieur (voirie) ou des équipements de la serre (50 % d'opinions positives, plus de 90 % d'opinions positives ou neutres).

Les résultats des sondages concernant les bruits provenant des logements voisins ou de la serre sont assez proches (40 % d'opinions favorables, 70 % d'opinion favorables ou neutres) avec une perception légèrement plus positive des bruits provenant de la serre par rapports aux bruits provenant des voisins.



### 5.2.3. Les résultats des mesures

Des campagnes de mesure ont été réalisées par le bureau d'études (Cabinet Hernot), par le CEREMA (ex Cete) et par l'organisme de certification Cerqual. Ces mesures ont été réalisées à la réception de l'opération en 2012. Elles sont réalisées par échantillonnage.

Toutes concluent à la conformité de l'opération vis-à-vis des exigences fixées pour cette opération.

Le tableau ci-après synthétise les résultats des mesures réalisées dans les logements :

Type de mesure <small>* minimum à atteindre pour un bruit aérien et maximum à ne pas dépasser pour un bruit d'équipement ou un bruit d'impact, tolérance de 3dB admise pour tenir compte des incertitudes de mesure</small>	Niveau d'exigence* (dB)	Nombre de mesures réalisées	Valeur minimale relevée en dB	Valeur maximale relevée dB
Isolement aux bruits extérieurs (voiries)	30	5	29	31
Isolement bruit aérien/ serre	35	10	34	41
Isolement aux bruits aérien intérieurs	53	11	54	60
Isolement au bruit d'impact entre logements	55	5	57	50
Isolement au bruit d'impact par rapport à la passerelle	58	12	38	49
Niveau de bruit d'équipement intérieur (VMC et WC)	30	8	30	23
Niveau de bruit d'équipement dans la serre (ascenseurs)	$L_{nAT} \leq 55$	1	45 ( cycle 1)	45

TABLEAU 6: SYNTHÈSE RÉSULTATS DE MESURE ACOUSTIQUE D'APRÈS MESURES CERQUAL ET CEREMA

Ces résultats indiquent un bon isolement au bruit aérien entre la serre et les pièces de vie des logements et des résultats conformes aux exigences réglementaires habituelles sur les autres points.

On notera également la mesure d'isolement au bruit d'impact entre les logements et les passerelles est très bonne alors que ce point est relevé comme un point négatif par les occupants. Les mesures de temps de réverbération dans la serre ont nécessité la mise en œuvre d'un protocole de mesure spécifique. Celui-ci est basé sur la norme NF P90-207 (octobre 1992) relative aux salles sportives, en raison de la similarité de volume de ce type de local avec la serre bioclimatique. Les résultats obtenus sont conformes aux modélisations et aux objectifs fixés avec un temps de réverbération moyen  $TR < 2$ secondes.

La mise en perspective des résultats des mesures et de l'appréciation des occupants indiquent que le renforcement de l'exigence d'isolement acoustique entre la serre et les logements était légitime et qu'il correspond à une véritable attente des occupants de la résidence. Le niveau de bruit de fond mesuré dans la serre est relativement bas (29 dB mesurés en journée et certainement autour de 20dB la nuit) explique en partie la forte attente des occupants vis-à-vis du bruit provenant de la serre. Le lieu est perçu comme particulièrement calme « sas zen » entre l'extérieur et l'intérieur de son logement.

### **5.3. Qualité de l'air et perception olfactive**

La qualité de l'air est un point particulièrement sensible sur cette opération puisqu'une partie de l'air qui assure la ventilation des logements transite par la serre. Elle a fait l'objet de nombreuses études et préconisations en phase conception et de nombreuses mesures de qualité de l'air à présent.

#### **5.3.1. Eléments de conception**

En phase conception les études suivantes ont été réalisées :

- Détermination des sources et quantité de polluants générés par la végétation de la serre,
- Étude et dimensionnement des ouvertures nécessaires pour maintenir une bonne qualité de l'air et assurer le renouvellement d'air dans la serre,
- Modélisation des mouvements d'air dans la serre et vérification qu'un balayage convenable en tout point de la serre sans vitesse excessive est assuré.

Ces études ont conduit à la préconisation et à la réalisation des équipements et dispositions suivantes :

- Installation de puits d'aération permettant d'assurer un renouvellement d'air de 0,5Vol/heure dans la serre,
- Répartition des entrées d'air sur plusieurs façades,
- Gestion différenciée des ouvertures,
- Installation d'un capteur de qualité de l'air (CO<sub>2</sub>) pilotant l'ouverture des ventelles et lanterneaux.
- Gestion des ouvertures en fonction de la direction du vent,
- Choix de matériaux sains et de plantations non allergisantes,
- Préconisation d'une utilisation responsable des produits phytosanitaires et des engrais,
- La ventilation des logements est assurée par un système de type VMC hygro B et 50% de l'air entant transite par la serre.

#### **5.3.2. Le ressenti des occupants**

Concernant la qualité de l'air les questions posées sur le questionnaire papier portaient d'une part sur la sensation d'inconfort au regard de la qualité de l'air avec une réponse à 2 choix « oui / non », et d'autre part sur les habitudes d'aération en dissociant le côté serre et le côté extérieur.

27 à 28 personnes se sont exprimées sur le sujet.

Elles sont globalement satisfaites du confort olfactif dans leur logement. La serre ne semble pas poser de problème particulier. Aucun des occupants du rez-de-chaussée (moins ventilé et plus proche de l'humus) ne se déclare gêné.



Toutefois, les occupants déclarent percevoir une sensation de moiteur et des odeurs de terre mouillée qui ne les dérangent pas outre mesure.

Les usagers se plaignent de mauvaises odeurs persistantes lors de l'épandage d'engrais. Les odeurs de cuisine et de fumée de cigarettes sont les raisons d'insatisfaction qui reviennent le plus souvent.

Concernant l'aération par ouverture des fenêtres, la moitié des occupants ouvrent leurs fenêtres côté serre.

Ceux qui ne le font pas avancent trois raisons différentes : odeurs de renfermé de la serre, bruits ou

interdiction de laisser sortir les chats (stipulé dans le règlement intérieur, mais difficilement applicable notamment pour les animaux venant de l'extérieur).

Perception en %		
Satisfaction/ confort olfactif	71 %	29 %
Ouverture des fenêtres côté Serre	56 %	44 %
Ouverture des fenêtres côté rue	93 %	7 %

synthèse perception du confort olfactif

### 5.3.3. Les résultats mesures de Qualité de l'Air Intérieur

Les résultats détaillés des mesures de QAI sont présentés en annexe (5 rapports présentant les résultats des mesures en été et en hiver et les protocoles de mesures utilisés, un rapport de mesure et d'étude de la contamination fongique potentielle).

La réalisation de deux campagnes de mesure en été et en hiver permet d'identifier d'éventuels changements de comportement en matière d'aération que ce soit au niveau de la serre ou des logements. Les résultats sont donc représentatifs du fonctionnement annuel du bâtiment.

Les mesures sont réalisées dans la serre et sur 3 logements, une comparaison est faite avec l'air extérieur lorsque cela est pertinent.

Des questionnaires d'enquêtes et des contrôles des systèmes de ventilation sont systématiquement réalisés afin de pouvoir interpréter et contextualiser les résultats.

Une enquête a également été réalisée auprès des entreprises chargées de l'entretien des espaces verts et des systèmes d'arrosage.

Les résultats des mesures sont comparées aux valeurs seuils recommandées par l'ANSES (VGAI) ainsi qu'à la moyenne des résultats obtenus sur des périodes semblables lors des campagnes de mesures de l'observatoire de la qualité de l'air intérieur.

## Observation de la qualité de l'air dans la serre

### a) Résultats des mesures réalisées dans la serre (période estivale août/septembre 2014)

Composé		Rue	Serre	VGAI	Campagne 90 logements OQAI (T1)		Campagne nationale logements OQAI (T1)	
					MG chambre	MG extérieur	Médiane intérieur	Médiane extérieur
Hydrocarbures aromatiques monocycliques	Benzène	1,5	0,8	2	2	1	2,1	< 1,1
	Toluène	2,7	3,2	-	17	4	12,2	3,5
	Ethylbenzène	1,9	3	-	-	-	2,3	1
	m+p xylène	2,9	3,8	-	-	-	5,6	2,4
	o-xylène	1,5	1,5	-	-	-	2,3	1,1
	1,2,4- triméthylbenzène	0,95	1,1	-	-	-	4,1	1,4
composé		Rue	Serre	VGAI	Campagne nationale logements OQAI (T1)			
					Médiane intérieur		Médiane extérieur	
Hydrocarbures aliphatiques halogénés	Tétrachloro-éthylène	<0,2	<0,2	250	1,4		<1,2	
	Trichloro-éthylène	<0,2	<0,2	2	1			
Hydrocarbures aromatiques aliphatiques halogénés	1,4 dichlorobenzène	<0,3	<0,2	-	4,2		1,8	
Hydrocarbures aliphatiques halogénés	1 méthoxy propan-2-ol	<0,2	<0,2	-	1,9		<0,5	
	2-butoxy éthanol	<0,3	<0,3	-	1,6		<0,4	
Terpènes	Limonène	<0,5	3,9	-	12		1	
	Alpha-Pinène	1,9	14	-	6		1	

TABLEAU 7: SYNTHÈSE RÉSULTATS MESURE DE POLLUANT DANS LA SERRE ÉTÉ 2014 (CONCENTRATIONS EN MICROGRAMMES/M<sup>3</sup>)

b) Résultats des mesures réalisées dans la serre (période hivernale (février/mars 2015))

Composé		Rue	Serre	VGAI	Campagne 90 logements OQAI (T1)		Campagne nationale logements OQAI (T1)	
					MG chambre	MG extérieur	Médiane intérieur	Médiane extérieur
Hydrocarbures aromatiques monocycliques	Benzène	1,4	0,7	2	2	1	2,1	< 1,1
	Toluène	5,8	4,6	-	17	4	12,2	3,5
	Ethylbenzène	3,9	3,2	-	-	-	2,3	1
	m+p xylène	2,3	1,5	-	-	-	5,6	2,4
	o-xylène	1,2	0,8	-	-	-	2,3	1,1
	1,2,4- triméthylbenzène	0,5	0,3	-	-	-	4,1	1,4
Composé		Rue	Serre	VGAI	Campagne nationale logements OQAI (T1)			
					Médiane intérieur	Médiane extérieur		
Hydrocarbures aliphatiques halogénés	Tétrachloro-éthylène	<0,2	<0,2	250	1,4	<1,2		
	Trichloro-éthylène	<0,2	<0,2	2	1			
Hydrocarbures aromatiques aliphatiques halogénés	1,4 dichlorobenzène	<0,2	<0,2	-	4,2	1,8		
Ethers de glycole	1 méthoxy propan-2-ol	<0,2	<0,2		1,9	<0,5		
	2-butoxy éthanol	<0,3	<0,3		1,6	<0,4		
Terpènes	Limonène	2,3	2,2	-	12	1		
	Alpha-Pinène	<0,8	23	-	6	1		

TABLEAU 8: SYNTHÈSE RÉSULTATS MESURE DE POLLUANT DANS LA SERRE HIVER 2015 (CONCENTRATIONS EN MG/M3)

Par ailleurs les résultats de la campagne de mesure de radon sont inférieurs à 19 Bq/m<sup>3</sup> alors que les recommandations de l'OMS sont de 100 Bq/m<sup>3</sup> et celles du code de la santé publique de 400 Bq/m<sup>3</sup>.

De même la campagne de mesure de contamination fongique réalisée en septembre 2015 dans la serre et dans un logement ne montre pas de signes de contamination.

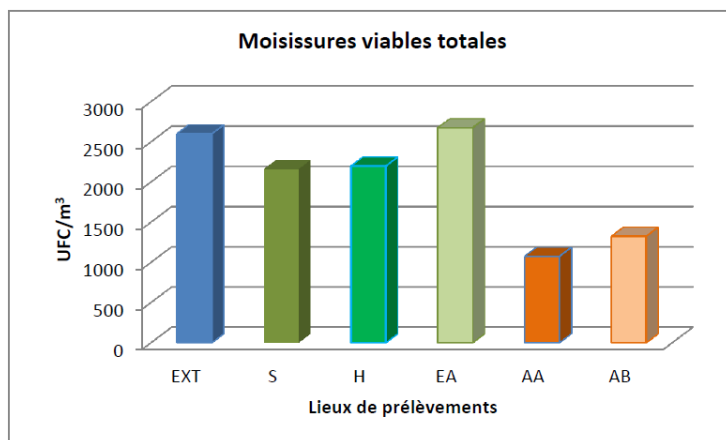


Illustration 22: principaux résultats des mesures de contamination fongique

Enfin, la mesure de CO<sub>2</sub> réalisée en continu dans la serre et les mesures complémentaires réalisées ponctuellement sont très proches des concentrations observées en milieu extérieur.

On observe les variations quotidiennes de la concentration en CO<sub>2</sub> dans la serre correspondant à la respiration des plantes et aux actions de régulation de la température et de l'hygrométrie de la serre.

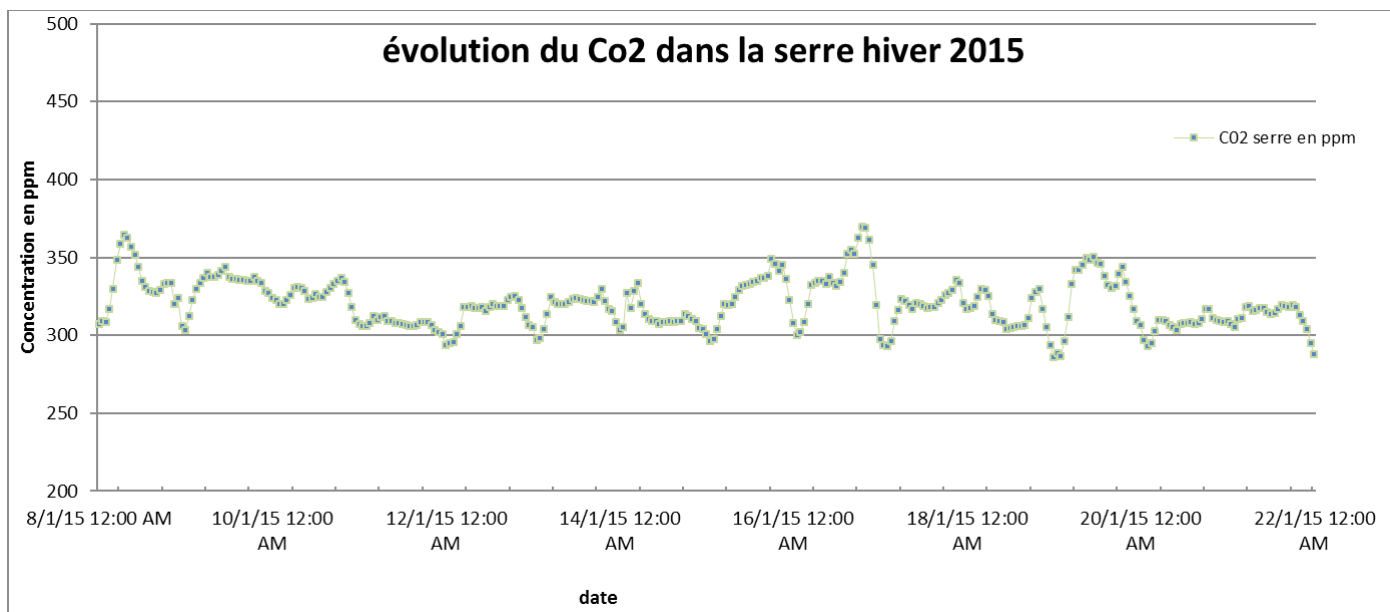


Illustration 23: Variation de la concentration de C02 dans la serre en hiver

L'ensemble de ces mesures et observations confirment que les dispositifs prévus pour assurer renouvellement d'air permettent d'atteindre un objectif de qualité de l'air comparable à celui de l'air extérieur (taux de CO<sub>2</sub> compris entre 300 et 380ppm) lorsque ceux-ci fonctionnent correctement.

Les concentrations inhabituelles observées pour la famille des terpènes sont liées à la présence de bois en grande quantité (arbre, humus, passerelle, volet...). Elles n'ont pas d'effet connu sur la santé.

Ces résultats confirment également que les entreprises en charge de l'entretien maintenance des espaces verts appliquent les recommandations relatives au maintien de la qualité de l'air et l'utilisation de produits phytosanitaires. Cette vigilance doit se maintenir dans le temps. L'entretien maintenance des dispositifs de ventilation et le maintien d'une grande vigilance lors de travaux de gros entretiens sont les conditions sine

qua non au maintien de la qualité de l'air à l'intérieur de la serre et dans les logements.

### **Observation de la qualité de l'air dans les logements**

**a) Résultats des mesures de polluants spécifiques réalisées dans les logements (période estivale août/septembre 2014)**

		T3 A1		T3 B1		T3 C1		VGAI	Campagne 90 logements OQAI (T1)		Campagne nationale logements OQAI (T1)	
		SEJ	CH	SEJ	CH	SEJ	CH		MG chambre	médiane extérieure	Médiane intérieur	médiane extérieur
Aldéhydes	Formaldéhyde	11	13	22	15	15	12	10	25	SO	19,6	SO
	Acétaldéhyde	7,8	7,8	9,4	6,3	4,4	4,1	160	15	SO	11,6	SO
	Hexaldéhyde	15	17	18	16	14	15	-	17	SO	13,6	SO
Hydrocarbures aromatiques monocycliques	Benzène	0,41	0,56	0,72	1,4	0,96	-	2	2	1	2,1	< 1,1
	Toluène	5,7	6,1	9,6	4,8	3,5	-	-	17	4	12,2	3,5
	Ethylbenzène	3,1	3,9	3	2,9	1,8	-	-	-	-	2,3	1
	m+p xylène	4,4	5,4	3,9	3,9	3,1	-	-	-	-	5,6	2,4
	o-xylène	2	2,5	1,7	1,7	1,6	-	-	-	-	2,3	1,1
	1,2,4- triméthylbenzène	5,5	4,9	5,2	4,1	2,5	-	-	-	-	4,1	1,4
Hydrocarbures aliphatiques halogénés	Tétrachloro- éthylène	<0,2	0,29	<0,2	-	<0,24	<0,2	250	-	-	1,4	<1,2
	Trichloro- éthylène	<0,19	<0,22	<0,19	2	1	-	2	-	-	4,2	1,8
Hydrocarbures aromatiques aliphatiques halogénés	1,4 dichlorobenzène	<0,23						-	-	-	4,2	1,8
Hydrocarbures aromatiques aliphatiques halogénés	1 méthoxy propan-2-ol	<0,19						-	-	-	1,9	<0,5
	2-butoxy éthanol	<0,26						-	-	-	1,6	<0,4
Terpènes	Limonène	18	21	7,4	7,9	8,3	-	-	-	-	12	1
	Alpha-Pinène	31	46	20	17	15	-	-	-	-	6	1

Illustration 24: résultats de mesure de polluants en logement période estivale

**b) Résultats des mesures de polluants spécifiques réalisées dans les logements (hiver février/mars 2015)**

		T3 A2		T3 B2		T3 C1		VGAI	Campagne 90 logements OQAI (T1) MG chambre	médiane extérieure	Campagne nationale logements OQAI (T1) Médiane intérieur	médiane extérieur
		SEJ	CH	SEJ	CH	SEJ	CH					
Aldéhydes	Formaldéhyde	15	17	16	15	19	15	10			25	19,6
	Acétaldéhyde	15	15	6,5	4,9	9,6	6,8	160			15	11,6
	Hexaldéhyde	58	53	14	12	28	27	-			17	13,6
Hydrocarbures aromatiques monocycliques	Benzène	0,81	0,77	1,1	0,51	0,47	0,47	2	2	1	2,1	< 1,1
	Toluène	4,1	4,6	7,3	5,7	4	4	-	17	4	12,2	3,5
	Ethylbenzène	2,4	2,4	2,8	3,1	3,1	3,4	-	-	-	2,3	1
	m+p xylène	1,8	1,8	1,4	1,6	1,8	1,8	-	-	-	5,6	2,4
	o-xylène	0,94	1	0,77	0,88	0,92	0,93	-	-	-	2,3	1,1
	1,2,4- triméthylbenzène	3,4	3,1	1,7	2,4	2,7	2,6	-	-	-	4,1	1,4
Hydrocarbures aliphatiques halogénés	Tétrachloro- éthylène	<0,2						250	-	-	1,4	<1,2
	Trichloro- éthylène	<0,19						2	-	-	1	
Hydrocarbures aromatiques aliphatiques halogénés	1,4 dichlorobenzène	<0,23						-	-	-	4,2	1,8
Hydrocarbures aromatiques aliphatiques halogénés	1 méthoxy propan-2-ol	0,96	1,1	0,29	0,61	<0,19	<0,19	-	-	-	1,9	<0,5
	2-butoxy éthanol	<0,26						-	-	-	1,6	<0,4
Terpènes	Limonène	24	23	19	23	64	60	-	-	-	12	1
	Alpha-Pinène	120	140	50	83	83	65	-	-	-	6	1

Illustration 25: résultats des mesures de polluant en logement période hivernale

Les mesures de polluant réalisées dans les logements sur les deux périodes (été et hiver) sont globalement inférieures aux valeurs moyens observées lors des campagnes de mesure de l'OQAI. Ces résultats indiquent un fonctionnement correct des dispositifs de ventilation et/ou des pratiques de ventilation par ouverture de fenêtre analogues à celles à celles observées pour d'autres opération.

On observe cependant en période hivernale une concentration en terpènes très supérieure aux valeurs couramment mesurées.

Ce résultat est caractéristique de la présence de bois et d'humus en abondance dans la serre. On observe ainsi clairement un transfert de polluant depuis la serre vers les logements qui s'additionne à des sources internes au logement.

Ces substances n'ont pas d'effets toxicologique connu et l'ANSES ne fournit aucune VGAI. Elles sont cependant susceptibles de se dégrader en aldéhydes, molécules connues pour leurs effets irritants sur les voies respiratoires.



## Résultats des mesures de confinement

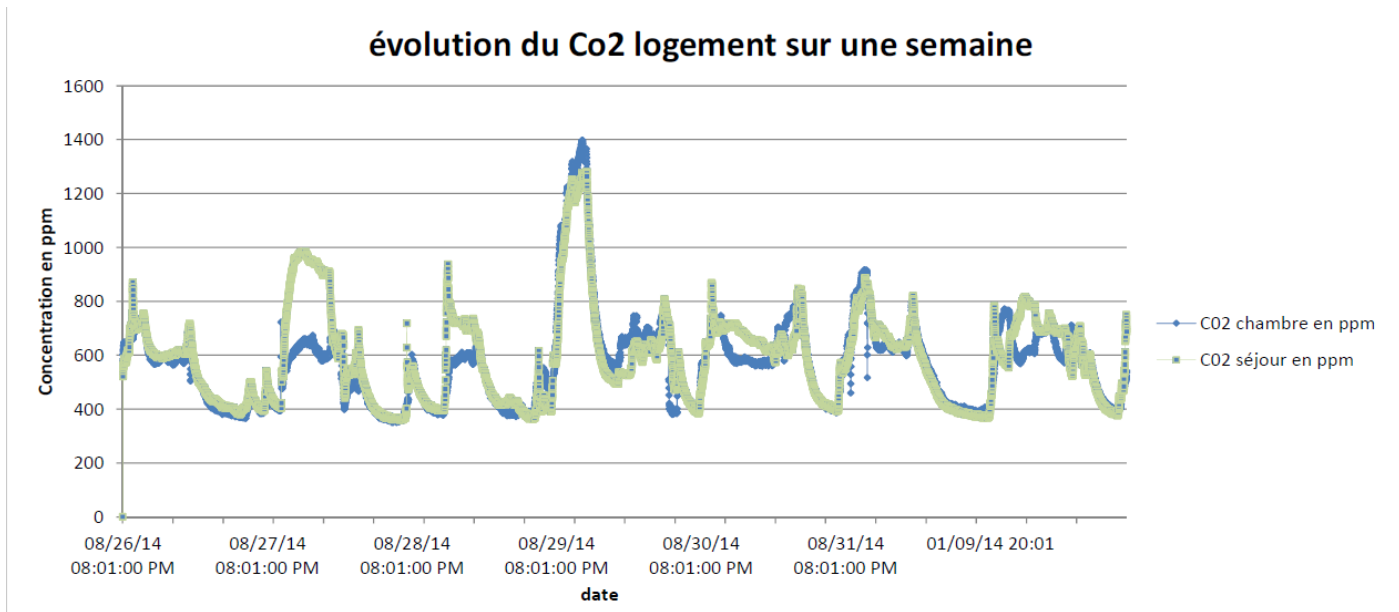


Illustration 26: variation de la concentration en C02 en logement

Indice de confinement		0   1   2   3   4   5					
		nul	faible	moyen	élevé	très élevé	confinement extrême
mesure à prendre		nettoyage régulier des bouches de VMC et entrée d'air				ouverture des fenêtres et vérification du fonctionnement de la VMC par un spécialiste	
résultat sur la période pour la chambre	niveau moyen mesuré en ppm	indice de confinement	durée de mesure en jour	durée supérieure à ou comprise entre en % du total			
	581			0	26	1000ppm	1000 à 1300
	645	0	11	2,5%	2,1%	0,4%	0,0%
	593	0	26	4,9%	3,8%	1,0%	0,0%
	656	0	11	3,5%	1,5%	2,0%	0,0%
				5,4%	3,3%	2,0%	0,0%

Illustration 27: exemple de tableau de synthèse des mesures de confinement

Les résultats des mesures de confinement sont reportés en annexe.

Les mesures réalisées en été et en hiver donnent des résultats semblables.

En période d'occupation, les concentrations de CO<sub>2</sub> ne dépassent que très rarement les 2000ppm.

Les périodes où l'on observe les concentrations les plus élevées sont caractéristiques des périodes de sur-occupation (soirée).

En période d'inoccupation, on observe une décroissance rapide de la concentration et une stabilisation à des valeurs proches de celle observées à l'extérieur. Ces résultats confirment que les systèmes de ventilation sont suffisants. Cependant les logements instrumentés sont pour la plupart faiblement occupés (1 ou 2 personnes pour un T3, 4 personnes pour le T4).

## 5.4. Confort hygrothermique

### 5.4.1. Éléments de conception

Nous avons évoqué dans la partie études complémentaires les simulations thermo-aérauliques qui ont conduit à prévoir les dispositions suivantes :

- Deux puits d'aération de 5m<sup>2</sup> donnant sur la serre
- Une toile de couleur clair permettant d'atteindre un facteur solaire de 55%
- Une gestion automatisée du confort thermique dans la serre.
- Des plantes vertes y compris des arbres de grande hauteur et un dispositif d'irrigation et de brumisation assurant l'arrosage de ces plantes.

Le système de gestion automatisé assure la gestion des ouvrants de la serre, la gestion des protections solaires. Le système est paramétré essentiellement en fonction de la température intérieure. Le paramétrage sera présenté ultérieurement.

Le système d'irrigation est géré de manière indépendante pour assurer uniquement le bon arrosage des plantes.

### 5.4.2. Le ressenti des occupants

Entre 26 et 30 personnes se sont exprimées sur le confort thermique de leur logement à travers les questionnaires. 3 choix étaient possibles oui non ou intermédiaire et les questions portaient sur les 3 saisons.

90% des usagers sont satisfaits de leur confort hygrothermique en hiver, certains sont même surpris d'avoir peu utilisé leur chauffage.

Les avis sont un peu plus partagés en été où certains souffrent de la chaleur dans leur logement (une personne émet un avis défavorable).

La majorité des personnes interrogées trouvent que la serre remplit son rôle de « tampon » entre l'extérieur et les logements ; il y fait plus frais qu'à l'extérieur en été et moins froid en hiver. Pour certains, néanmoins, l'ouverture des ventelles provoquent des courants d'air désagréables dans la serre par temps froid. Ils estiment que le confort thermique d'hiver pourrait être amélioré dans la serre par une meilleure gestion des ouvertures.

La régulation de l'arrosage automatique a également nécessité un effet d'apprentissage pour éviter que les personnes sortant de leur logement le matin ne soient arrosées.




Perception en %			
Satisfaction/confort été	80%	17 %	3 %
Satisfaction/confort hiver	88%	8 %	4 %
Satisfaction/mi- saison	93%	4 %	4 %

TABLEAU 9: SYNTHÈSE PERCEPTION DU CONFORT THERMIQUE

### 5.4.3. Les mesures et observation du fonctionnement

#### Régulation de la serre

Gestion du fonctionnement de la serre est assurée par un automate utilisé pour l'optimisation du confort hygrothermique dans les serres horticoles.

Il gère en fonction des paramètres extérieurs (température, pluviométrie, vitesse et direction du vent) et des paramètres intérieurs (température au niveau 3 de la serre, hygrométrie et taux de CO<sub>2</sub>). D'autres paramètres sont mesurés tels que l'hygrométrie extérieure, l'ensoleillement global ou la luminosité dans la serre ou bien encore les états calculés pour chaque ouvrant ou chaque protection solaire.

Le tableau suivant récapitule les consignes de fonctionnement et leur action observée :

action observée	consigne calculée aération 1 (en °C) correspond à l'ouverture des lanternaux en partie haute	consigne calculée côté gauche aération 2 (en °C) correspond à l'ouverture ventelles bases	consigne calculée thermique haut écran 1 (en °C)	Consigne d'aération CO <sub>2</sub>	mesure présence pluie pluie (0 ou 1)	valeur déshumidification (en %)	
début de l'action	22°C	24°C	26°C	800ppm jusqu'au 23/09/14 puis 1500 après	fermeture des ouvrant 100%	80% HR intérieure	aération haute à 0
action à 100%	24°C	26°C	26°C		fermeture des ouvrants 100%	100% HR intérieure	aération haute à 49%
observation fonctionnement	fonctionnement cohérent	fonctionnement cohérent	fonctionnement cohérent	non cohérent avec le statut qui ne devrait prendre pour valeur que 0 ou 1 ( 1 si dépassement de la valeur)	non cohérent avec le statut qui ne devrait prendre pour valeur que 0 ou 1 ( 1 si dépassement de la valeur)	fonctionnement cohérent	

**TABLEAU 10: RÉCAPITULATIF DES CONSIGNES DE RÉGULATION DE LA SERRE**

Le fonctionnement de la serre semble globalement correspondre à la programmation réalisée. On note toutefois un fonctionnement qui ne semble pas cohérent sur les consignes liées au taux de CO<sub>2</sub> ou à la présence de pluie. La programmation répond à une problématique de conditions climatiques « été ». Elle ne correspond pas à une optimisation des performances « hiver ». L'entreprise titulaire du lot électricité ne connaissait pas le système utilisé de type « Sentinelle » produit par la société Anjou Automation. Son installation et son paramétrage ont donc été sous-traités. De plus l'ergonomie du système ne permet pas une régulation simple et optimisées. Les paramètres ont par conséquent été calés par tâtonnement sans autre moyen de mesure que l'insatisfaction des occupants de la résidence. Les enquêtes et les résultats de mesure de température et d'hygrométrie semblent toutefois indiquer que le niveau de confort atteint en été est acceptable. Le seul point d'inconfort évoqué est, en effet, l'excès de courant d'air à certaines périodes. Dans la serre, le niveau maximal de température d'air relevé au niveau 3 de la serre durant la période du 1er août au 25 septembre 2014 ne dépasse pas 28,2°C. En été 2015 le seuil des 30°C est dépassé, mais le système et notamment les écrans solaires ne fonctionnent plus suite à l'incendie.

L'analyse des mesures sur l'ensemble de la période met en évidence plusieurs pannes prolongées du système. La robustesse ou le positionnement des capteurs de température et d'hygrométrie extérieurs ne semble pas adapté. Heureusement la régulation est fonction des capteurs situés dans la serre qui semblent plus robustes.

#### **Analyse du confort hygrothermique dans la serre en été.**

L'analyse du confort est effectuée à partir des mesures de température relevées par le capteur situé au niveau du plancher haut du R+3 (juste sous la verrière) les mesures sont donc pénalisantes du point de vue de l'analyse du confort d'été. On notera également une panne de l'enregistrement des données du 30 septembre 2014 au 8 janvier 2015 (période non pénalisante pour l'analyse des données), et un dysfonctionnement du système de régulation à partir du 29 avril 2015 liées à l'incendie qui s'est produit dans la serre. L'analyse est donc effectuée sur la période du 30/07/2014 au 30/09/2014. Les périodes

identifiées comme périodes nocturnes sont celles qui présentent un niveau d'éclairement inférieur à 100 lux (mesure au niveau supérieure de la serre).

	Période du 30/07/2014 au 3/09/2014			Période nocturne (du 30/07/14 au 30/09/2014)	
	durée en heures	durée en jours	% du temps	durée en heures	durée en jours
Durée totale	1493	62,21		844	35,17
temp>26°C	133	5,54	9 %	0	0
temp>30°C	12	0,5	1 %	0	0
temp>35°C	0	0		0	0

**TABLEAU 11: ANALYSE DU CONFORT D'ÉTÉ DANS LA SERRE L'ANNÉE 1**

	Période du 1/06/15 au 19/08/2015			Période nocturne 1/06/15 au 19/08/2015	
	durée en heures	durée en jours	% du temps	durées en heures	durée en jours
Durée totale	1908	79,5		679	28,29
temp>26°C	4011	17,13	21,5%	7	0,29
temp>30°C	147	6,13	7,7 %	0	0
temp>35°C	0	0	0	0	0

Tableau 12: analyse confort d'été dans la serre année 2

On notera que ces résultats ne sont pas représentatifs du comportement de la serre en période de canicule puisque durant les années de mesure aucune période de canicule ne s'est présentée. De plus, l'analyse est effectuée à partir de la mesure de la température de l'air sans prendre en compte le rayonnement solaire, l'hygrométrie ou la vitesse d'air qui contribuent également au confort ressentie.

Ces résultats sont cohérents avec les simulations thermiques réalisées puisque celles-ci estimaient le nombre d'heure d'inconfort ( $T^{\circ}\text{intérieure} > 26^{\circ}\text{C}$ ) inférieur à 50 heures avec des hypothèses de calculs (scénario de fonctionnement, fichier météo) nécessairement différentes de celles présentes lors des mesures.

Ces résultats semblent également montrer l'apport des dispositifs de régulation (sur-ventilation et mise en place d'un écran solaire) puisque le nombre d'heures d'inconfort observées en 2015, alors que le dispositif était en panne suite à l'incendie, est nettement supérieur à celui observé en 2014.

En période nocturne aucune heure d'inconfort n'est observée en 2014 et seulement 7h en 2015.

### **Analyse du confort hygrothermique dans la serre en hiver.**

Le graphique ci-après montre l'efficacité de la serre du point de vue du confort thermique d'hiver. La température reste en effet toujours positive. En intersaison la serre agit comme un système de chauffage passif. Ces résultats sont conformes aux prévisions.

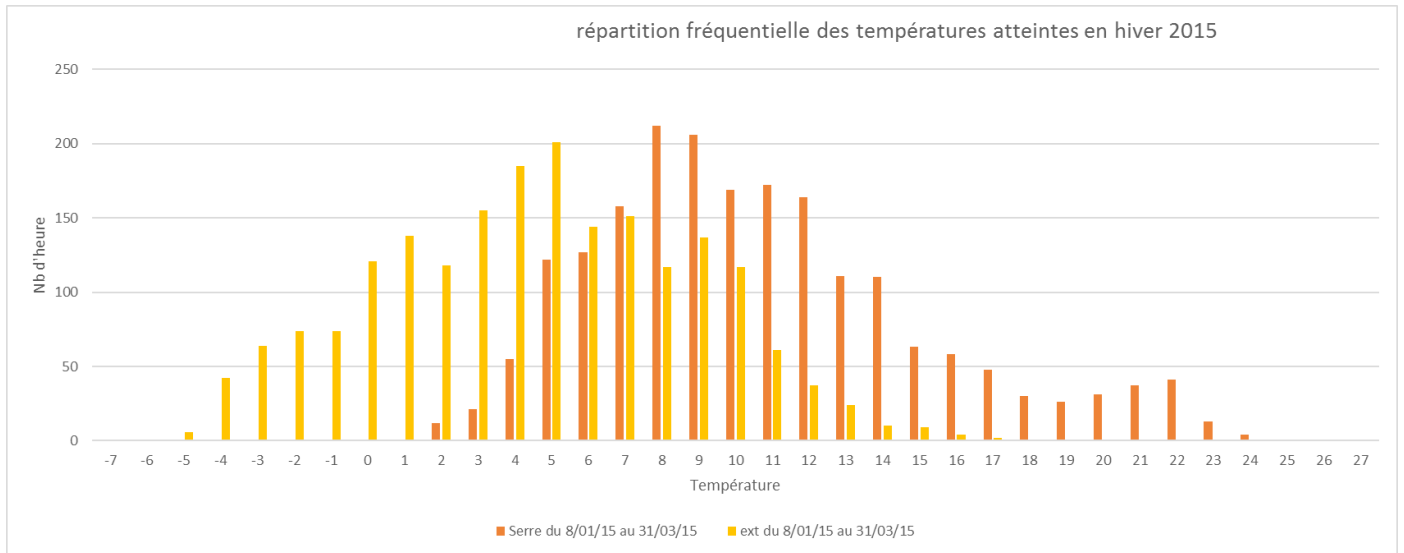


Illustration 28: répartition des températures en hiver dans la serre

### **Analyse du confort hygrothermique dans les logements**

#### ***a) Mesures en saison de chauffe (hiver 2015)***

<b>Référence pièce :</b>	T3_B2_Chambre	<b>Référence pièce :</b>	T3_B2_Séjour
<b>Période de mesure :</b>	Du 25/02/15 au 25/03/15	<b>Période de mesure :</b>	Du 25/02/15 au 25/03/15

**TABEAU 13: EXEMPLE DE DIAGRAMME DE CONFORT OBTENU EN HIVER 2015**

L'ensemble des diagrammes de confort est reporté en annexe. L'exemple présenté ci-dessus est représentatif de l'exigence de confort observée dans les logements. Les températures basses observées correspondent à des ouvertures de fenêtre.

	Température moyenne observée en hiver en °C février/avril 2015	
	Séjour	Chambre/bureau
T3 n°A2	20,9	20,9
T3n°B2	23	21,3
T4n°B1	21,2	21,3
T3 n°C1	20,0	20,3

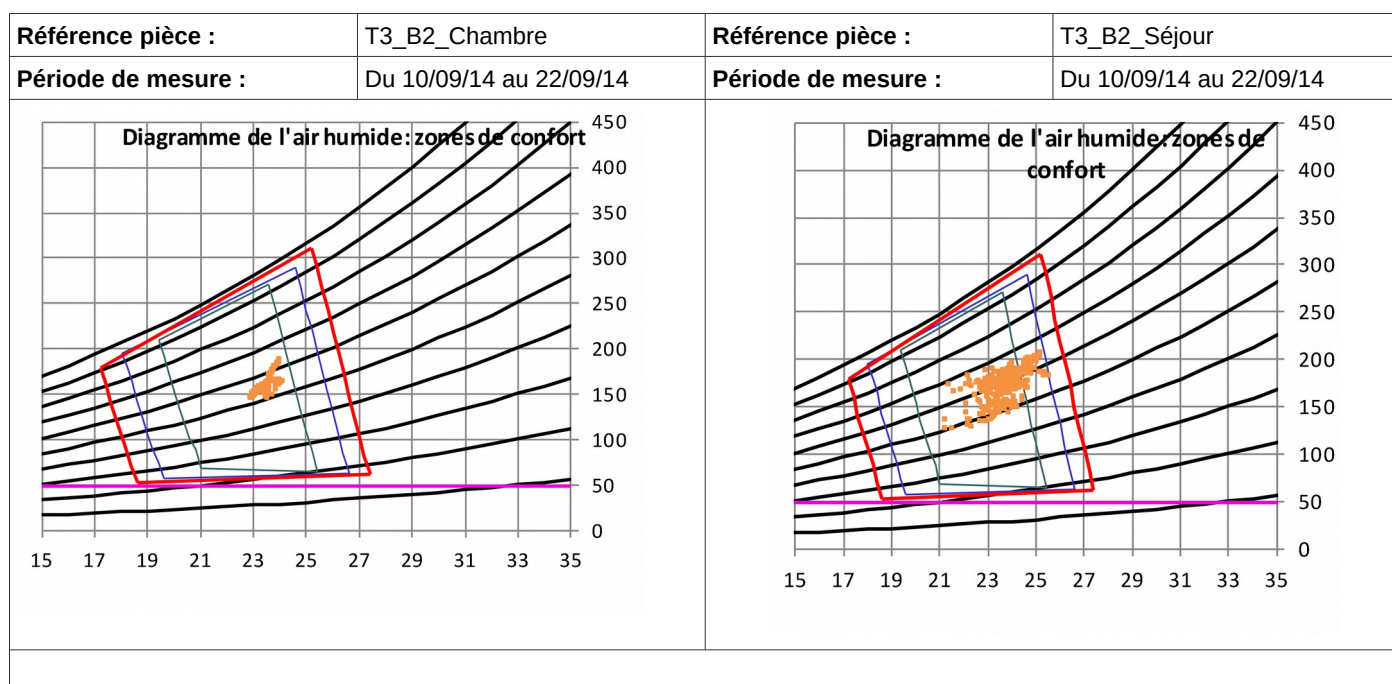
**TABLEAU 14: RÉCAPITULATIF DES TEMPÉRATURES MOYENNES OBSERVÉES DANS LES LOGEMENTS**

Ces résultats indiquent une exigence de confort supérieure à 19°C. Ils montrent également une grande stabilité des températures obtenues.

Pour un des logements, les occupants déclarent ne pas chauffer et ouvrir les fenêtres fréquemment et de manière prolongée.

Les températures obtenues dans ce logement restent néanmoins très confortables et relativement stables. L'hygrométrie reste également très stable et dans une plage de confort et de qualité de l'air optimale.

*b) Mesures en été (Août/septembre 2014)*



**TABLEAU 15: EXEMPLE DE DIAGRAMME DE CONFORT OBTENU DANS LES LOGEMENTS EN ÉTÉ**

logement	étage	Température moyenne observée en été en °C		Température max observée durant les heures les plus chaudes °C	
		Séjour	Chambre/bureau	Séjour	Chambre/bureau
T3 A1	RDC	22,5	22,3	24,2	23,5
T3 B2	R+1	22,8	23,2	24,3	25
T4 B1	R+1	22,9	22,8	28,3	28,3
T3 C1	R+2	23,6	23,6	24,5	24,1
T5 D1	R+3 attique	24,7	23,2	29,3	27,8

**TABLEAU 16: RÉCAPITULATIFS DES TEMPÉRATURES MESURÉES EN ÉTÉ 2014 DANS LES LOGEMENTS**

On notera que le séjour du logement T5 D1 est situé au-dessus de la serre.

Les résultats obtenus en fin d'été ne présagent pas du comportement du bâtiment en période de canicule, puisqu'aucun phénomène de ce type ne s'est présenté durant la période de mesure.

Cependant les températures maximales observées les jours les plus chauds sont conformes aux valeurs couramment observées en logement ( $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ) dans les logements situés dans les niveaux inférieurs et/ou orientés Sud.

Dans le logement du dernier niveau, orienté Est, la température maximale mesurée au niveau R+3 (sous la verrière) est inférieure à la température mesurée au-dessus de la verrière (niveau R+4). Ce résultat et sa cohérence par rapport à l'ensemble des mesures, semble indiquer un très bon comportement du bâtiment sur le plan du confort thermique d'été.

De même, les températures moyennes mesurées sur la période indiquent également un très bon niveau de confort. Elles montrent également un écart important ( $+1,5^{\circ}\text{C}$ ) entre les deux pièces du logement n°313. Ce résultat montre l'importance de l'inertie thermique et de l'exposition (surface de baies et orientation).

Les températures élevées mesurées dans le logement n°101 les jours les plus chauds semblent liées à l'orientation du logement Est/Ouest et à la gestion des protections solaires durant ces journées. La température moyenne observée sur ce même logement sur l'ensemble de la période est en effet comparable à celle observée sur les autres logements.

## 5.5. La consommation énergétique

L'objectif de cette évaluation consiste d'une part à vérifier les hypothèses de calcul thermique et notamment la prise en compte de l'effet local tampon de la serre et d'autre part à évaluer l'impact global de la serre sur l'ensemble des postes de consommation et notamment les consommations de chauffage et d'éclairage.

### 5.5.1. Éléments de conception

L'opération ne fait l'objet d'aucune dérogation à la réglementation thermique (RT2005). De plus, cette opération s'inscrit dans une démarche HQE avec certification et vise à ce titre le label BBC Effinerie.

La pertinence du principe constructif trouve sa justification dans le fait de permettre des économies d'énergies significatives. En effet, la serre agit comme un local tampon réduisant l'écart de température entre les logements et l'extérieur et permettant un préchauffage d'air neuf.

Objectifs visé		Principaux moyens mis en prévus	Résultat obtenu/observé	
enveloppe	U <sub>bat</sub>	0,67 W/m <sup>2</sup> .K W/m <sup>2</sup> K	Béton banché isolé par l'extérieur sur l'extérieur (R=3,40 m <sup>2</sup> .K/W ), béton banché et isolation par l'intérieur côté serre (R =3,05 m <sup>2</sup> .K/W ) attiques en ossature bois (R=6,42 m <sup>2</sup> .K/W ), menuiseries performantes (U <sub>j/n</sub> de 1,90 et 1,3 ), valorisation de la serre b=0,6	Parfaite cohérence entre matériaux saisis et DOE. B calculé à 0,5
	Q <sub>4pa surf</sub>	1 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	Démarche de maîtrise de l'étanchéité à l'air et mesures en cours de chantier et à réception	3 mesures réalisées à réception résultats compris entre 0,43 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> et 0,88 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>
système	Cep <sub>projet</sub>	48,2 Kwhep/m <sup>2</sup> <sub>shon</sub> (Cep BBC à 55 Kwhep/m <sup>2</sup> <sub>shon</sub> )	Enveloppe performante, chaudière gaz collective à condensation, 168m <sup>2</sup> de panneaux solaires, VMC simple flux hygro B	Parfaite cohérence entre matériaux saisis et DOE. Quelques bouches d'entrés d'air en hygro A.

TABLEAU 17: COHÉRENCE ÉTUDE THERMIQUE/MOYEN MIS EN ŒUVRE

Les économies ont été prises en compte dans les calculs thermiques réglementaires par l'application d'un coefficient moyen b de 0,6 caractérisant les échanges thermiques entre les logements et la serre. Ce coefficient est calculé à partir des données de simulation thermiques dynamiques en considérant une température intérieure dans les logements stable à 19°C et en utilisant les températures horaires déterminées dans la serre et à l'extérieur (fichier météo moyen).

$$b = (T_{int} - T_{serre}) / (T_{int} - T_{ext})$$

Cela revient à prendre en compte 60 % des déperditions par les parois entre la serre et les logements. L'effet de préchauffage de l'air neuf est pas pris en compte de manière forfaitaire dans les calculs réglementaires par l'application d'un coefficient b =0,8. Ce point aurait nécessité une démarche de type titre V opération pour prendre en compte cette performance.



## 5.5.2. Le ressenti des occupants

La performance thermique du logement devient un critère de choix de sa résidence. Certains déclarent avoir emménagé à Eden square pour réduire leur facture énergétique.

Les usagers pensent globalement que la serre remplit son rôle d'espace tampon et de préchauffage de l'air neuf entrant.

Ils ne disposaient pas pour la plupart de facture énergétique leur permettant de comparer, la mise en place de la facture énergétique ayant nécessité quelques interventions notamment pour identifier les références compteurs d'énergie permettant une individualisation des charges.

Certains locataires ne chauffent quasiment pas leur logement. Certains laissent même leurs fenêtres ouvertes en permanence en hiver par habitude et pour questions de qualité de l'air (volonté particulière).

Les dispositifs de gestion par programmation sont peu souvent utilisés.

## 5.5.3. Les mesures et études complémentaires

### Évaluation de l'effet local tampon

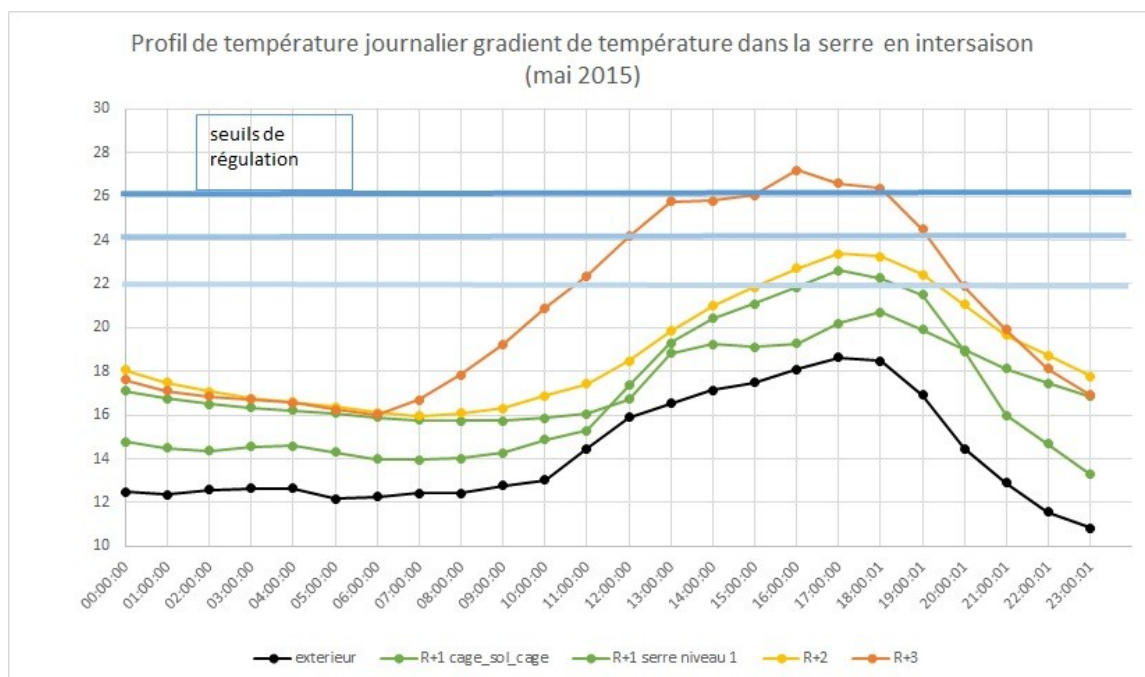


Illustration 29: gradient thermique dans la serre en intersaison

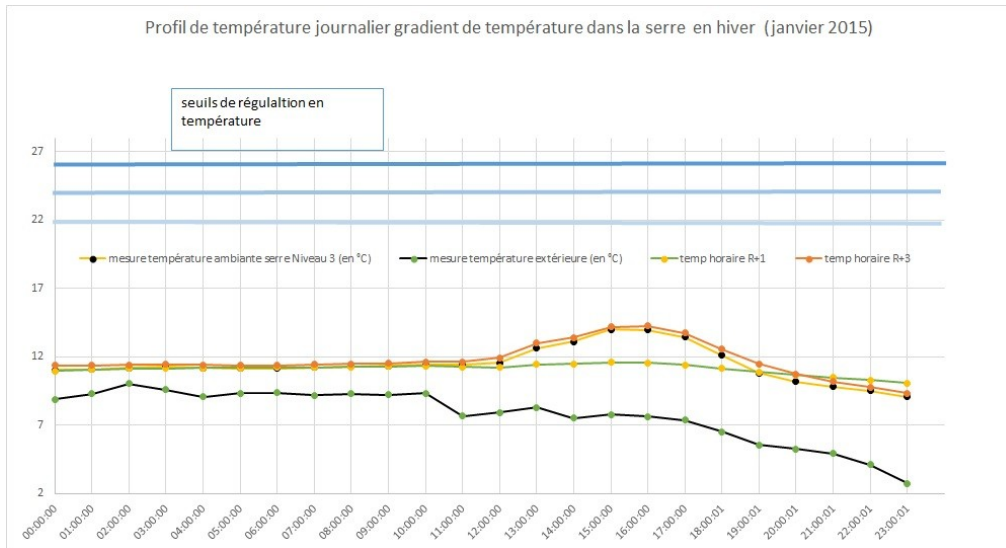


Illustration 30: gradient thermique mesuré dans la serre en hiver 2015

L'analyse des profils de température horaire permet de vérifier un delta de température de 2 à 5°C en permanence entre la température extérieure et la serre. Ce delta de température tend à augmenter avec le rayonnement solaire notamment à l'intersaison et en été.

Ils mettent également en évidence un gradient de température pouvant dépasser 8°C entre le RDC et le niveau R+3 juste sous la serre durant les périodes d'ensoleillement.

Le positionnement du capteur de température actionnant la régulation thermique de la serre en partie haute de celle-ci est donc judicieux.

En dehors des périodes de fort ensoleillement et particulier en hiver, le gradient thermique dans la serre ne dépasse pas 1 à 2°C.

En considérant la température au niveau R+3 de la serre comme représentative de la température moyenne de la serre, le coefficient moyen  $b$  calculé sur l'hiver 2015 est de 0,5.

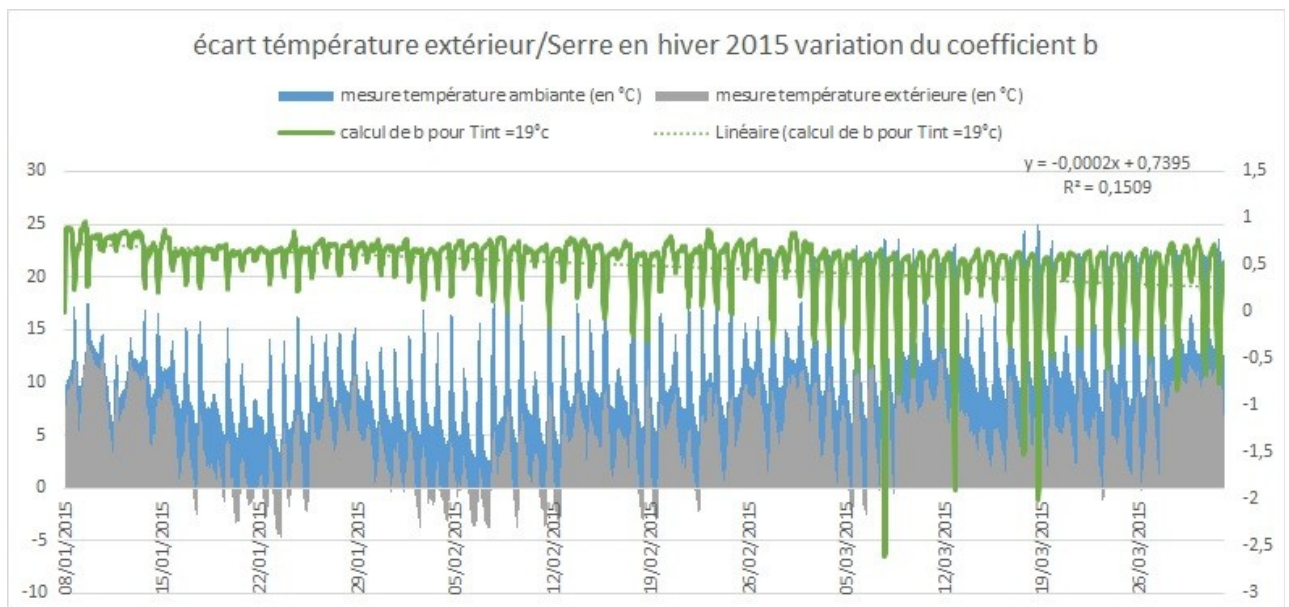


Illustration 31: vérification du coefficient moyen d'échange

Si l'on considère la température intérieure des logements à 21°C au lieu de 19°C, le coefficient  $b$  obtenu est de 0,58.

Les hypothèses de calcul sont par conséquent vérifiées expérimentalement.

### Analyse globale de la consommation énergétique

L'évaluation du confort lumineux dans les logements nous conduit à penser que la serre bio climatiques est susceptible d'entraîner une augmentation des consommations liées à l'éclairage des pièces donnant sur cet espace. Nous avons donc réalisé une simulation afin d'en évaluer plus précisément l'impact.

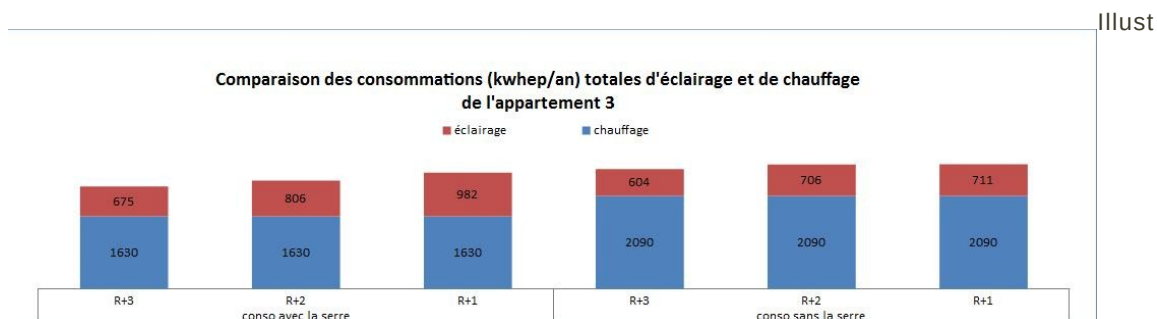


Illustration 33: Impact de la serre sur les consommation d'éclairage artificiel

	conso avec la serre en Kwhep/m <sup>2</sup> SU			conso sans la serre en Kwhep/m <sup>2</sup> SU		
	R+3	R+2	R+1	R+3	R+2	R+1
chauffage	25,0	25,0	25,0	32,1	32,1	32,1
éclairage	10,4	12,4	15,1	9,3	10,8	10,9
gain	6,0	5,5	2,9			

Illustration 34: Comparaison des gains chauffage/éclairage

Les graphiques et tableaux ci-dessus montrent que les gains diminuent lorsque l'on redescend dans les étages inférieurs. Ils restent cependant positifs jusqu'au R+1.

Ils montrent également que l'impact de la serre n'est pas négligeable sur les consommations d'éclairage et qu'il y a lieu d'être vigilant sur point.

Pour être complète, l'analyse devrait prendre également en compte les consommations d'éclairage des parties communes. Toutefois, l'approche par simulation n'est dans ce pas pertinente car elle nécessite de prendre de nombreuses hypothèses sur les formes du bâtiment de référence et son accès à la lumière naturelle. Une approche statistique à partir de données de consommation semble plus adaptée. Ces résultats obtenus sur la base des consommations calculées par les logiciels réglementaires (consommation conventionnelle forfaitaire) nécessiteraient une vérification par des mesures des consommations.

## 5.6. Aspects et chaleur des matériaux

Aspects et chaleur  
des matériaux



75%

50% des usagers trouvent que les matériaux utilisés dans la serre sont « bien » et 25% les trouvent très bien même si certains regrettent l'ossature métallique des passerelles qui donne un aspect « prison » et qui résonne lors du passage des usagers.

Dans les logements, les matériaux sont jugés plutôt agréables mais la peinture murale blanche non lessivable n'est pas facile à entretenir et le revêtement de sol (PVC) leur paraît de qualité médiocre puisque les meubles y laissent facilement des marques.



Illustration 35: structure métallique et végétation dans la serre

## 6. Perception de la serre

Les points positifs qui reviennent le plus souvent sont le sentiment d'être au calme, d'être dedans/dehors, l'aspect luminosité, le côté « naturel », le confort thermique et le cachet architectural que la serre apporte au bâtiment.

Quelques personnes regrettent que la convivialité ne soit pas plus mise en avant. Les bancs sont peu utilisés. Un occupant avait mis une chaise longue devant son entrée mais un courrier du syndic de copropriété lui a rappelé qu'il était interdit de mettre des meubles ou autres éléments devant les portes d'entrée. D'autres personnes sont plus attachées au calme et regrettent le bruit que font les enfants lorsqu'ils jouent ou courent dans la serre.






Illustration 36: éléments d'appropriation des espaces communs



Illustration 37: Vue depuis le dernier niveau depuis les coursives : peu d'éléments de convivialité

Un peu plus de la moitié des sondés trouve des désagréments à la serre. Les motifs de mécontentement les plus mentionnés sont les odeurs (cuisine, cigarettes), les bruits (enfants, ventelles), les chats qui se promènent et laissent des excréments. Certains voient également un effet pervers au côté novateur du bâtiment qui attire les curieux pour des « visites ».

La perception globale de la serre reste très positive du point de vue des occupants

			
<b>Perception globale de la serre</b>	58%	35 %	6%

# 7. Maintenance et entretien

## 7.1. Éléments de conception

Les spécificités liées à la maintenance de l'opération ont été anticipés au stade des études.




En effet, des recommandations sont formulées dans les dérogations afin que les opérations de maintenance et d'entretien des espaces verts notamment ne dégradent la qualité de l'air.

Ces recommandations sont prises en compte et relayées dans les documents et contrats passés avec les entreprises chargées de la maintenance.

Pour certains lots, (lot CVC notamment) l'année de parfait achèvement a été prolongée d'une année pour ajuster les réglages et paramétrage des organes de régulation de la serre.

## 7.2. Le ressenti des occupants

Plus de la moitié des occupants pensent que les charges de copropriété sont plus élevées que dans un immeuble classique avec espaces verts. En cause, d'après eux, l'entretien des espaces verts et le coût des incivilités : pose de caméras dans la serre et le parking, réparation des ventelles brisées. Certains pensent que l'efficacité énergétique du bâtiment, grâce au rôle tampon de la serre, permet d'avoir des charges liées au chauffage moins élevées que dans un immeuble classique.

			
<b>Entretien maintenue</b>	13%	21 %	67%

## 7.3. Le ressenti du syndic et du gestionnaire

De nombreux problèmes ou difficultés sont rencontrées pour assurer une maintenance efficace du bâtiment et de ses systèmes. Ces problèmes sont souvent liés à des incivilités (extincteurs vidés, ventelles brisées, déclenchement des dispositifs incendie...). Ils sont le fait de personnes extérieures à la résidence et parfois de leur occupant. Ils témoignent de l'attrait que procure le bâtiment et sa serre et également des difficultés à concilier les différents usages souhaités pour la serre (espace de jeux pour les enfants et de rencontre / espace préservant le calme et l'intimité). Le syndic déclare être d'avantage sollicité pour cette résidence que pour toutes les autres dont il assure la gestion.

Les interventions de maintenance souvent inhabituelles pour les entreprises nécessitent une adaptation de leurs méthodes d'intervention et parfois le recours à de la sous-traitance (gestion des organes de régulations de la serre, ré enclenchement du SSI classe A, entretien des espaces verts à base de procédés biologiques et traitement).

Un certain nombre d'actions de maintenance non réalisées ou réalisées tardivement (graissage des guides et moteur commandant l'ouverture des lanterneaux ou les protections solaires, nettoyage des vitres de la verrière...) témoignent des difficultés d'adaptation et de l'impact potentiel du concept sur les coûts de maintenance.

## 7.4. L'évaluation des charges

Avec une prévision de charge pour 2013/2014 de 118415 € chauffage et eau compris cela revient en moyenne à 113 € par mois et par logement ou environs 16€/m<sup>2</sup> de SHON. Selon une étude de la FNAIM menée sur les charges dans les immeubles à Paris et région parisienne, elles s'élevaient à 2292 € / lot ou 29,10 € par m<sup>2</sup> assuré.

En une première approche, on peut donc affirmer que l'opération ne génère pas à ce stade de surcoûts flagrants.

Un recul de 3 ans de fonctionnement ne permet toutefois pas d'évaluer de manière satisfaisante l'impact du concept sur les charges de copropriété.

### Par lot

€/lot	Paris
Ch Collectif	489,43
Eau	246
Salaires	383,2
Assurances	188,3
Ascenseurs	150,61
Honor. Forfaitaires	164
Autres Honoraires	52,28
<b>TOTAL mai 2014</b>	<b>2292,82</b>

### Par m<sup>2</sup> assuré

€/m <sup>2</sup> assuré	Paris
Ch Collectif	9,06
Eau	2,05
Salaires	7,11
Assurances	2,81
Ascenseurs	2,46
Honor. Forfaitaires	2,99
Autres Honoraires	0,96
<b>TOTAL mai 2014</b>	<b>29,10</b>

TABLEAU 18: CHARGES DE COPROPRIÉTÉ OBSERVÉES EN RÉGIONS PARISIENNE ( SOURCE FNAIM)



# 8. Bilan général de l'opération

## 8.1. Synthèse des points positifs et points à améliorer

Le tableau ci-après synthétise pour chacune des thématiques étudiées les aspects positifs, les points à améliorer ou les points de vigilance.

Thématique	Points positifs	Points à surveiller ou améliorer	A retenir
Sécurité incendie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respect des exigences réglementaires et dérogatoires,</li> <li>Désenfumage des parties communes</li> <li>accessibilité du bâtiment aux services de secours</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Propagation de l'incendie notamment par le biais des systèmes de désenfumage</li> <li>Stabilité comportement au feu des passerelles et de la structure de la verrière</li> <li>Réaction au feu des matériaux situés aux entrées et près des dispositifs de désenfumage</li> <li>Effet d'alcôves et de dièdre (cheminée) à limiter</li> <li>maintenance des dispositifs sécurité incendie SSI classe A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le dimensionnement et le positionnement des dispositifs de désenfumage ont permis d'assurer le désenfumage de l'atrium</li> <li>le dispositif de sécurité incendie ( SSI Classe A) nécessite une sensibilisation des occupants et des services de gestion maintenance</li> <li>réfléchir en termes de scénario d'incendie aurait pu conduire à la sécurisation des abords publics du système de désenfumage</li> </ul>
Qualité de l'air intérieur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualité de l'air intérieur est comparable à celle observées dans d'autres logements,</li> <li>Jugée satisfaisante par les occupants</li> <li>Renouvellement d'air dans la serre satisfaisant en toute saison</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Produits phytosanitaires et engrais utilisés pour les plantes</li> <li>Travaux d'entretien et de réparation dans la serre</li> <li>Traitement des eaux d'arrosage,</li> <li>Réglage et maintenance des dispositifs de gestion du renouvellement d'air dans la serre.</li> <li>Diffusion des odeurs (cuisine) par la serre ou les balcons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le dimensionnement des dispositifs d'amenée d'air est satisfaisant</li> <li>l'entretien des espaces vert a un impact important sur la qualité de l'air et sa perception</li> </ul>
Acoustique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respect des exigences réglementaires et dérogatoires,</li> <li>bon comportement de la verrière en cas d'intempérie (pas de gêne remontée)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Très fortes attentes des occupants sur cet aspect</li> <li>Nature et comportement des matériaux utilisés pour les coursives</li> <li>calage de l'exigence de maîtrise de la réverbération dans l'atrium / attentes des occupants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Renforcement des exigences réglementaires est justifié</li> <li>réfléchir en termes d'émergence du bruit et pas seulement de niveau de bruit</li> </ul>
Confort thermique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bon confort thermique en toute saison dans les logements</li> <li>Températures maîtrisées dans la serre grâce aux dispositifs de sur-ventilation /occupation/ humidification</li> <li>fonctionnement du dispositif de déshumidification</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise au point, gestion et optimisation des paramètres de régulation de la température dans la serre,</li> <li>Gestion maintenance des dispositifs et capteurs</li> <li>Température atteinte au niveau R+3 les jours les plus chauds,</li> <li>l'ouverture intempesive des dispositifs de sur ventilation et vitesses d'air atteintes notamment en hiver</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le dispositif fonctionne, mais le comportement de la serre reste très sensible</li> <li>le cahier des charges d'entretien maintenance des dispositifs et la compétence de l'entreprise en charge de la gestion maintenance sont des déterminants</li> </ul>
Accès à l'éclairage naturel	<ul style="list-style-type: none"> <li>La serre et les coursives bénéficient d'un très large accès l'éclairage naturel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eclairage naturel des pièces de vie situées dans les niveaux inférieurs côté serre est insuffisant,</li> <li>ce paramètre influence fortement les choix d'occupation et d'aménagement des pièces des logements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La forme et l'orientation, de la verrière ainsi que la réflectance des matériaux présents dans la serre sont à prendre en considération</li> <li>le choix des essences et l'entretien des espaces verts ont également un fort impact sur le niveau d'éclairage naturel</li> </ul>

Thématique	Points positifs	Points à surveiller ou améliorer	A retenir
Performance énergétique	<ul style="list-style-type: none"> <li>La serre joue son rôle d'espace tampon en hiver</li> <li>les résultats mesurés sont conformes aux calculs des STD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le paramétrage des dispositifs de régulation de la température et de l'hygrométrie dans la serre en hiver</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'optimisation des paramètres de régulation de la serre est un processus complexe nécessitant de prendre en compte tous les aspects du confort thermique (température d'air, rayonnement, vitesse d'air, usage) pour tous ses occupants, <b>plantes y compris</b></li> <li>le couplage système d'arrosage et système de gestion de la température est souhaitable</li> </ul>
Qualité d'usage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les occupants apprécient le calme et la qualité de vue offert par le bâtiment</li> <li>ils apprécient globalement l'accessibilité du bâtiment et des espaces ainsi que leur qualité architecturale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La surface des chambres et de l'espace séjour (côté serre) est jugée trop faible</li> <li>La luminosité apportée par les portes vitrées et l'éclairage artificiel la nuit</li> <li>Les dégradations des ventelles situées à proximité des entrées</li> <li>l'attractivité que procure le lieu pour les curieux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La fonction et l'usage possible de l'espace offert par la serre est une source d'interrogation, voire de conflit entre les occupants.</li> <li>La sensibilisation des occupants et le maintien de règles de vie commune est essentiel au partage de l'espace offert par la serre.</li> </ul>
Entretien maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les recommandations de maintenance ont été retranscrites dans les documents de consultation des entreprises</li> <li>L'entreprise en charge de l'entretien des espaces est très sensible à la qualité de l'air dans la serre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La gestion maintenance des dispositifs de gestion régulation de la serre, des dispositifs de désenfumage, le remplacement des ventelles cassées pose des problèmes d'adaptation et de réactivité pour les entreprises qui en ont la charge.</li> <li>Des actions de maintenance telles que le nettoyage des vitrage de la verrière, le graissage des moteurs et dispositifs de commandes d'ouverture de la verrière et de mise en place des dispositifs d'occultation ne sont pas mises en places ou tardent à l'être</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'impact de l'ensemble des actions de maintenance nécessaire au bon fonctionnement de l'opération sur les charges de copropriété est à approfondir</li> </ul>



## 8.2. Conclusion

Le bilan général de l'opération est très positif du point de vue de l'atteinte des objectifs réglementaires et des objectifs définis dans le cadre du processus de dérogation.

Les exigences complémentaires formulées dans le cadre de ce processus répondent indéniablement à des attentes fortes (explicites ou implicites) des occupants notamment sur les aspects qualité de l'air, acoustique, confort thermique ou efficacité énergétiques.

Cependant, le concept architectural induit une très forte interaction entre les espaces communs et les espaces privatifs sur de nombreux aspects (sécurité incendie, acoustique, qualité de l'air confort thermique, intimité...). La sensibilité des occupants est donc considérablement accrue par rapport à une opération conventionnelle.

Aussi, la réussite d'un tel projet tient autant à la capacité de l'équipe de conception à prévoir les situations à risques et à concevoir les dispositifs robustes et pérennes permettant de maintenir des conditions de vie souhaitées qu'à la capacité des usagers (syndic, copropriété, entreprises de maintenance, occupants) à s'approprier le bâtiment et à le maintenir en parfait état. Sur ce point, l'opération Eden Square a clairement montré ses spécificités et la difficulté pour les usagers à s'approprier le bâtiment.

Seule une approche globale incluant naturellement les aspects usages et maintenance permet d'obtenir un projet viable et pérenne. L'évolution récente des outils de conception et de modélisation (BIM) favorise et fiabilise ce type d'approche.

En revanche, l'organisation des textes réglementaires thématique par thématique est encore peu propice à ce type d'approche et il existe un risque de concurrence entre les différentes exigences ou objectifs réglementaires.

La mise en place d'une procédure globale de dérogation intégrant l'ensemble des aspects de l'opération semble par conséquent le moyen le plus approprié pour garantir aux futurs occupants un projet répondant à leurs attentes.

L'évaluation technique réalisée ici met en perspective les exigences réglementaires, la conception et la satisfaction des occupants par le prisme de la qualité d'usage. Cette méthode permet un regard à la fois précis et globale de l'opération. Pour cette opération les voies d'approfondissement pertinentes portent sur les aspects économiques et psycho-sociologiques. En effet, quelques indicateurs tels que le délai de commercialisation, le turn-over des locataires ou les conflits d'usage de la serre, semblent devoir être approfondis afin d'évaluer l'acceptabilité de l'innovation et de déterminer si le concept est viable économiquement et socialement.

# 9. Annexes

## 9.1. Reportage photos



Rampe d'accès au parking souterrain



Boites aux lettres



Entrée principale du bâtiment (ouest) : un recul important par rapport à la rue et difficulté d'accès des camions de déménagement



Vue intérieure de la serre bioclimatique : une sobriété déconcertante pour un bâtiment de logement



Végétation qui empiète sur les circulation du RDC



Store automatisé de la serre : affaiblissement important de la luminosité intérieure



Store automatisé de la serre



Circulations verticales dans la serre : une structure métallique assez imposante



Eclairage des espaces communs (au-dessus des portes palières)  
allumé en plein jour



Des contrastes importants dans la serre



Intimité des logements : fenêtre entre-ouverte, rideaux occultant



Une végétation intérieure luxuriante





Une végétation basse non adaptée



Aménagement d'une terrasse au dernier étage



Environnement extérieur de l'opération Eden Square



Vue extérieure de la toiture vitrée : facilité d'entretien ?

**9.2. Proposition technique et choix du panel de logement**

**9.3. Questionnaires et synthèses des enquêtes « usage »**

**9.4. Protocoles et résultats des mesures acoustiques**

**9.5. Protocoles et résultats des mesures d'éclairage naturel**

**9.6. Protocoles et résultats des mesures de qualité de l'air intérieure.**

**9.7. Résultats des mesures de confort réalisées dans les logements**

**9.8. Diaporama de présentation**