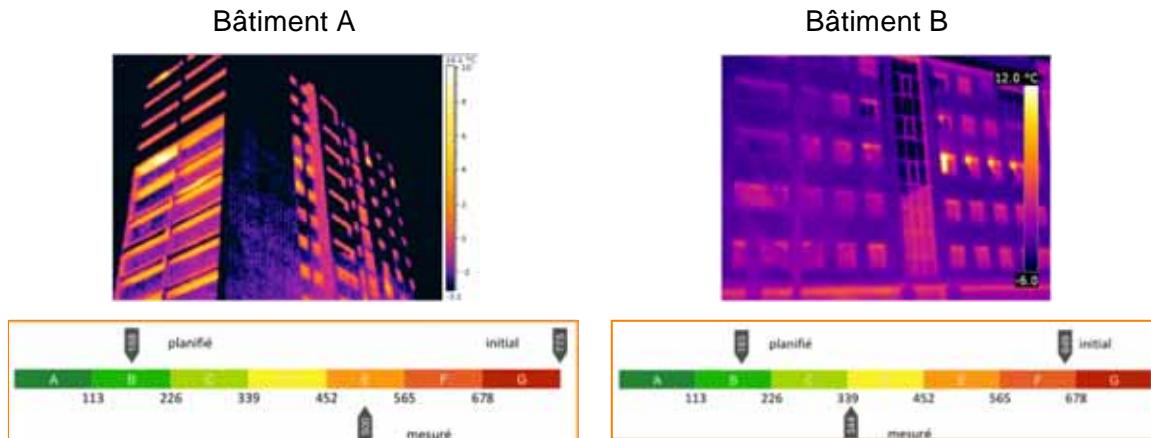


Raisons et remèdes de la surconsommation de bâtiments locatifs après rénovation.



Flourentzos Flourentzou, Samuel Pantet

Contact: Flourentzou, EPFL Innovation Park, Lausanne, flourentzou@estia.ch, www.estia.ch

Zusammenfassung

Résumé

Abstract

Les premières rénovations de haut standard énergétique sont déjà en service et nous avons les retours des premières années d'exploitation. Ces retours sont décevants. Dans sa thèse de doctorat, Jad Khoury a montré que sur les 9 opérations de rénovation de haut standard énergétique à Genève, les économies d'énergie mobilisées varient entre 30 et 65% de l'économie théorique. Cette situation est grave. Les premières réalisations de rénovation de haut standard énergétique risquent de fonctionner comme un boomerang contre les investissements en rénovation et contre la dynamique qui est en train de s'instaurer, compromettant ainsi la stratégie énergétique de la confédération des cantons.

L'analyse de la consommation après rénovation de deux bâtiments locatifs (rénovations Minergie), un en ventilation double flux et un autre en ventilation modulée simple flux, a montré que, malgré une exécution des travaux sur l'enveloppe correcte, les économies d'énergie réalisées suivent la courbe de Khoury. Le bâtiment A consomme 500 MJ/m² après rénovation au lieu de 168 MJ/m², réalisant une économie de 35% au lieu de 78% planifié. Le bâtiment B consomme 344 MJ/m² après rénovation au lieu de 183 MJ/m² planifiés, réalisant une économie de 47% au lieu de 72% selon le dossier Minergie. Le suivi des bâtiments et la simulation selon les conditions réelles d'utilisation, conditions qui diffèrent fortement des conditions standard, expliquent assez précisément ces différences et orientent vers les solutions pour corriger ou éviter cette situation.

Les causes principales sont la température élevée dans les logements (21-25°C) et l'ouverture des fenêtres par les locataires. L'article explique ces phénomènes qui sont liés à la fois au comportement des occupants et aux problèmes de régulation. Il quantifie la consommation excessive liée à chaque phénomène et recommande des mesures pour éviter ce fonctionnement contraire à l'esprit de la rationalité énergétique. Il présente aussi le processus d'optimisation du bâtiment B pendant une année et explique les difficultés pour ramener la température moyenne dans les logements à 21.5°C au lieu de 23.5°C initialement. Il montre ainsi le potentiel maximal d'optimisation en fonction des hypothèses现实的fonctionnement.

1. Contexte

Avec le recul de quelques années de rénovations de haut standard énergétique, dont la plupart sont labélisées Minergie, nous constatons que, contrairement aux villas et aux bâtiments tertiaires qu'en règle générale respectent les valeurs limites et les objectifs de planification, les bâtiments d'habitation collective posent plus de problèmes [1], [2]. Sur le graphique du rapport de l'OFEN [1], nous voyons que les bâtiments de logement collectif dépassent les valeurs prévisionnelles, qu'ils soient neufs ou transformés. Les performances réelles des bâtiments planifiés selon les exigences du MOPEC sans labélisation Minergie divergent encore plus des performances planifiées.

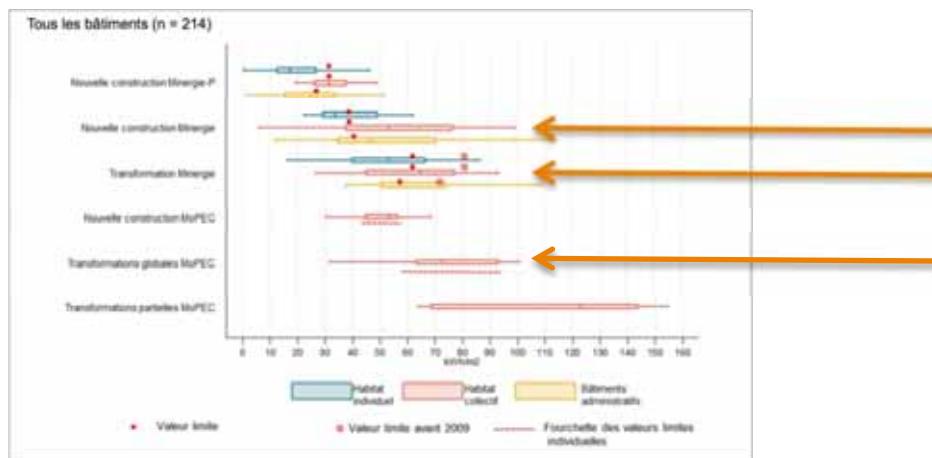


Figure 1. Performances réelles comparées aux performances planifiées de 214 bâtiments analysés dans [1]

Les bâtiments de logements collectifs rénovés selon Minergie consomment entre environ 30 et 90 kWh/m². La médiane de ces consommations se trouve à environ 65 kWh/m². Elle est à comparer aux 60 kWh/m² de la valeur limite Minergie. La valeur planifiée est en règle générale plus basse que la valeur limite. Bien que l'analyse ait été réalisée que sur la base de questionnaires, les auteurs de cette étude émettent l'hypothèse que les différences proviennent du comportement des occupants et des problèmes de réglage des installations.

Une étude de la Cour des comptes du canton de Vaud sur 10 bâtiments cantonaux, [4] [5], a montré que la consommation de chaleur des bâtiments scolaires et administratifs dépasse de manière raisonnable les valeurs planifiées dans la plupart des cas (écart observé de la valeur planifiée entre -17% et +49%). En revanche, la consommation électrique a tendance à augmenter, dépassant largement les objectifs énergétiques. La consommation électrique pour la ventilation a été pointée dans plusieurs bâtiments. La Cour des comptes remarque dans ses constats un concept de comptage de l'énergie lacunaire, avec pour conséquence un manque de suivi des consommations après la mise en service.

Une autre étude réalisée dans le cadre de la thèse de doctorat de Jad Khoury sur 10 bâtiments de logement collectif à Genève a montré que les consommations de tous les bâtiments étudiés dépassent de manière significative les valeurs planifiées [2]. Les dépassements varient entre 43% et 142%, avec un cas dépassant les 310%. Ce travail a montré que les économies réalisées après rénovation n'ont jamais atteint plus de 65% des économies planifiées. Ce qui ressort est que plus les économies planifiées sont importantes, plus le taux de réalisation est important. Nous pouvons résumer que les économies planifiées supérieures à 500 MJ/m² (5 classes énergétiques) sont réalisées à environ 65%, celles entre 300 et 400 MJ/m² à environ 45% et celles entre inférieures à 300 MJ/m² à moins de 35%. Un taux de réalisation des économies de 35% est faible. Néanmoins, 4 cas sur 10 analysés se trouvent dans ce cas de figure. Sur le graphique qui suit, nous pouvons aussi voir que, quelle que soit la consommation initiale et quelle que soit la performance planifiée, les besoins de chaleur se situent autour de 320 ± 50 MJ/m².

À noter que l'indicateur de la première étude est l'énergie pondérée, qui tient donc compte de la contribution des énergies renouvelables, y compris pour l'eau chaude sanitaire, alors que l'indicateur de la deuxième étude est le besoin de chaleur.

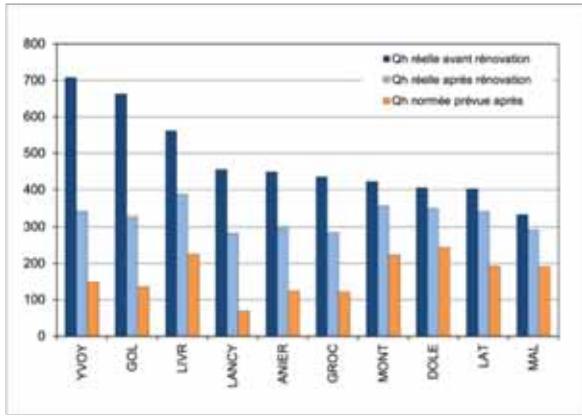


Figure 2. Besoins de chaleur réelle avant rénovation (MJ/m^2) et besoins de chaleur réels et théoriques (planifiées) après rénovation selon [1]. Alors que les besoins de chaleur théoriques devraient se situer entre 75 et 250 MJ/m^2 , en réalité ils se situent autour de $320 \pm 50 \text{ MJ}/\text{m}^2$

Les deux études montrent qu'il y a un problème avec les logements collectifs, mais ils ne rentrent pas en détail dans les raisons des surconsommations par rapport aux performances calculées. Si ces premières expériences se généralisent et si les objectifs ne sont pas atteints, il y a un risque de décrédibiliser la stratégie énergétique et de démotiver encore plus le faible taux de rénovation des immeubles collectifs.

1.1 La précision du calcul SIA 380/1

Il est important de noter que la différence observée entre la performance réelle et la performance dite "théorique", ou performance planifiée, ou encore prévisionnelle, peut être due à un défaut de construction, à une différence entre les conditions d'utilisation réelles et les conditions standard, mais elle peut être aussi due à un problème de validité du modèle de calcul de la SIA 380/1. Il est bien connu que le modèle mensuel est simplifié, avec beaucoup d'hypothèses de calcul implicites. Nous avons observé que le modèle SIA 380/1 a tendance à surestimer la consommation d'énergie de bâtiments énergivores et à sous-estimer la consommation des bâtiments à basse consommation.

Nous présentons le bilan thermique du bâtiment A avant et après rénovation - conditions standard

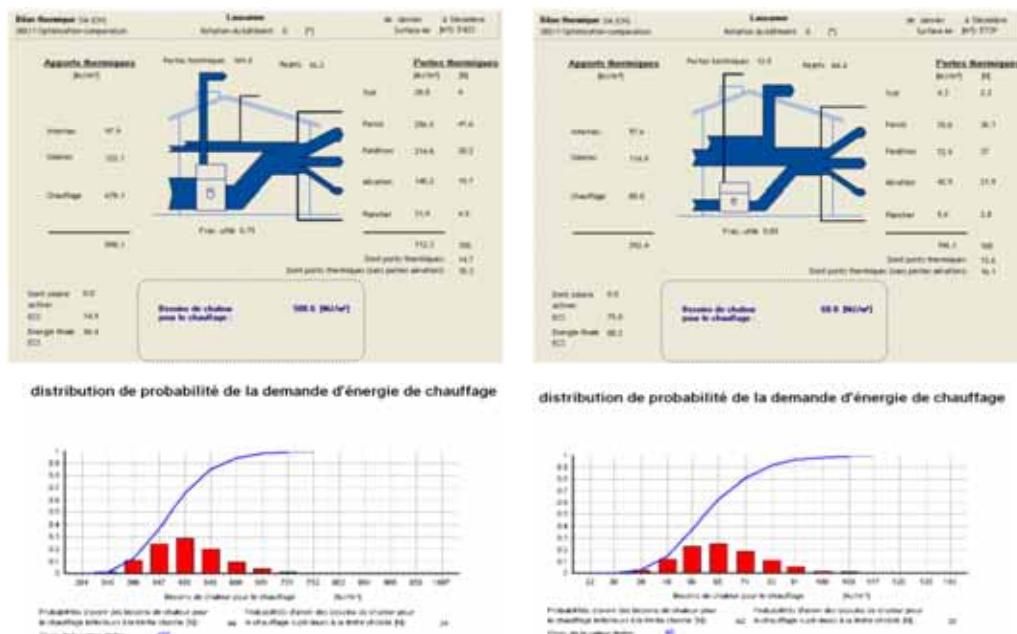


Figure 3. En haut nous avons le résultat du bilan thermique avant et après rénovation et en bas la distribution de probabilités du résultat des besoins de chaleur suite à 2000 simulations monte-carlo variant de manière aléatoire tous les paramètres dimensionnels, physiques et d'utilisation de 5 à 10% [3]

Dans les bilans thermiques avant et après rénovation nous pouvons observer quelques phénomènes intéressants:

- Dans le premier bilan à gauche, le calcul montre un résultat de besoins de chaleur de 508.6 MJ/m². Mais en regardant le graphique du bas avec le calcul d'incertitude, nous avons 30% de chance d'avoir un résultat inférieur à 426 MJ/m² (-82 MJ/m²) et 30% de chances d'avoir plus que les besoins de chaleur affichés. Dans le deuxième cas après rénovation, nous avons un résultat affiché de 68.0 MJ/m², et nous avons 30% de chances d'avoir moins que 50 MJ/m² (-18 MJ/m²) et 30% de chances d'avoir plus que la valeur affichée. Bien que la consommation soit affichée avec une précision d'une décimale, avec ce qui précède, nous devrions être prêts à accepter une degré d'incertitude élevé pour des raisons d'imprécision usuelle des données d'entrée.
- Avant rénovation, la chaudière fournit 744.8 MJ/m² sur un total de 964.6 MJ/m² (77%). Les 33% restant sont fournis par les gains internes et solaires. Après rénovation, la chaudière fournit 80 MJ/m² sur 292 MJ/m² (seulement 27% de la chaleur totale). Les gains gratuits fournissent 212 MJ/m², soit 73% du total. Dans le premier cas, avec des pertes thermiques importantes et des gains proportionnellement faibles, il y a seulement 9.3 MJ/m² de rejets, c'est à dire des gains non utilisés, rejettés sous forme de surchauffe ou de surventilation pour abaisser la température intérieure (4% des gains gratuits). Les rejets dans le deuxième bilan représentent 84.4 MJ/m² soit 40 % des gains gratuits. Les rejets thermiques dans un bâtiment isolé sont du même ordre que la chaleur fournie par la chaudière, or le modèle mensuel les calcule de manière assez approximative.
- Avant rénovation, une augmentation de la température intérieure de 1°C donne des besoins de chaleur de 558.4 MJ/m², au lieu de 508.6 MJ/m² calculés avec les conditions standard (20°C), soit 9.7% de surconsommation. Les pertes passent de 712.3 MJ/m² pour 20°C à 769.1 MJ/m² pour 21°C, soit une augmentation de 8%. L'augmentation des besoins de chaleur est du même ordre que l'augmentation de la différence de température en %. Dans le cas après rénovation, la situation change. La chaudière ne fournit que 27% de l'énergie. Une augmentation de la température intérieure de 1°C donne des besoins de chaleur de 76.7 MJ/m², au lieu de 68.0 MJ/m², soit une augmentation de 13%, alors que les pertes thermiques n'augmentent que de 9%. Une augmentation de la température intérieure n'affecte pas la part d'énergie fournie par les gains internes et solaires, et c'est donc la chaudière qui doit travailler doublement pour fournir toute l'énergie des pertes supplémentaires. Tout ceci n'est pas linéaire, car les rejets interviennent et dépendent également de la température intérieure, mais nous pouvons retenir que la règle couramment utilisée dans le passé qui disait qu'une augmentation de la température intérieure de 1°C augmente la consommation de 6% n'est plus valable pour les bâtiments à basse consommation. Elle dépend du bâtiment, de la part de gains internes et solaires et elle est de l'ordre de 13% par °C supplémentaire.

Ces constats nous mettent en garde sur le sens que nous allons donner aux différences entre les performances réelles et les performances planifiées. Les performances planifiées ne sont que le résultat d'un modèle assez approximatif calculé avec des conditions standard d'utilisation imposées par la norme pour tous les bâtiments de Suisse. Néanmoins, le fait que les bâtiments de logement collectif présentent systématiquement une consommation ou des besoins de chaleur supérieurs nous oblige à analyser plus en profondeur le phénomène.

Pour expliquer ces différences, nous avons analysé deux projets de rénovation Minergie après 2-3 ans d'exploitation. Nous les avons suivis pendant une année et nous avons essayé d'expliquer les différences pour chaque poste du bilan thermique.

Le projet A se trouve dans le canton de Vaud et concerne deux bâtiments identiques de 70 logements chacun, et le projet B à Genève, avec 31 logements. Les deux sont labellisés Minergie et les deux présentent une consommation qui dépasse de manière significative la valeur planifiée.

2. Méthode

Nous avons analysé la consommation réelle de chaleur pour chaque projet (moyenne sur 3 ans) et nous avons réalisé un bilan thermique pour lequel nous avons ajusté les conditions d'utilisation

pour les faire se rapprocher des conditions réelles. Nous avons mesuré la température et la concentration de CO₂ dans trois logements choisis pour être représentatifs quant à l'occupation, l'orientation et la position dans l'immeuble. Nous avons analysé les systèmes de ventilation, mesuré les débits d'air de manière continue pour l'un et de manière ponctuelle pour l'autre, nous avons examiné les températures de distribution, les courbes de chauffage et la consommation d'eau chaude liée à la production de chaleur. Nous avons visité 57 appartements dans le bâtiment A et 12 pour le bâtiment B et nous avons soumis les locataires à un questionnaire oral structuré. Lors des visites, nous avons relevé les fenêtres ouvertes, questionné les locataires sur leurs habitudes d'ouverture des fenêtres et noté la position des vannes thermostatiques. Nous avons également thermographié à plusieurs reprises les bâtiments pour examiner s'il y avait de défauts de réalisation, mais aussi pour dénombrer les fenêtres ouvertes. Le but de toutes ces observations était de justifier les conditions d'utilisation réelle de manière suffisamment crédible pour pouvoir expliquer la surconsommation.

2.2 Les bâtiments.

	Bâtiments A (2 identiques)	Bâtiment B
construction / rénovation	1969/2011	1956/2010
SRE	11'553 m ²	2'482 m ²
Nombre de logements	140	31
Travaux d'assainissement énergétique	Façades, toiture, fenêtres, ventilation double flux.	Façades, toiture, fenêtres, fermeture des balcons, ventilation simple flux modulé hygroréglable.
Besoins de chaleur théor.	68 MJ/m ²	119 MJ/m ²
Rendement chauffage	74% mazout (30 ans)	82% mazout (6 ans)
Electr. pondérée ventilation	7.2 kWh/m ² a	1.0 kWh/m ² a
Débit thermiquement actif	0.4 m ³ /m ² h	1.1 m ³ /m ² h

Tableau 1. Caractéristiques typologiques et constructives des bâtiments rénovés

L'examen visuel et thermographique a montré que les travaux sur l'enveloppe ont été correctement exécutés. Nous n'avons pas détecté de défaut visible ou de pont thermique visible sur l'enveloppe qui n'auraient pas été comptabilisés dans le bilan thermique. Nous pouvons caractériser les travaux sur l'enveloppe comme irréprochables. Les mesures de débit de ventilation mécanique correspondent aussi aux débits planifiés. Il en est de même pour les consommations électriques des systèmes de ventilation.

Le système de chauffage des bâtiments A est en fin de vie, peu isolé et très surdimensionné. Une même chaudière alimente les deux bâtiments, ce qui augmente encore plus les pertes. Nous avons évalué le rendement à 74%. Ce calcul est approximatif, il n'a pas pu être mesuré. Un projet de mise en service d'un chauffage à distance bois, qui remplacera le système actuel, est attendu prochainement.

Le système de chauffage du bâtiment B est une chaudière à condensation, installée 3 ans avant la rénovation (l'ancienne chaudière a lâché juste avant le lancement du projet). Le système est surdimensionné, mais réalisé selon les règles de l'art actuelles. Un système de solaire thermique contribue au préchauffage de l'eau chaude sanitaire. Le rendement du système a été évalué à 82%. Le solaire thermique posait des problèmes techniques non détectés avant l'étude.

3. Résultats

3.3 Consommation avant et après rénovation.

	Bâtiments A		Bâtiment B	
	mazout [l]	IDC [MJ/m ² a]	mazout [l]	IDC [MJ/m ² a]
Moyenne mesurée avant rénovation	238'000	775	42'800	649
Moyenne mesurée après rénovation	153'000	500	22'700	344
Valeur planifiée	52'000	168	12'100	183

Tableau 2. Consommations de chaleur avant et après rénovation et valeur planifiée

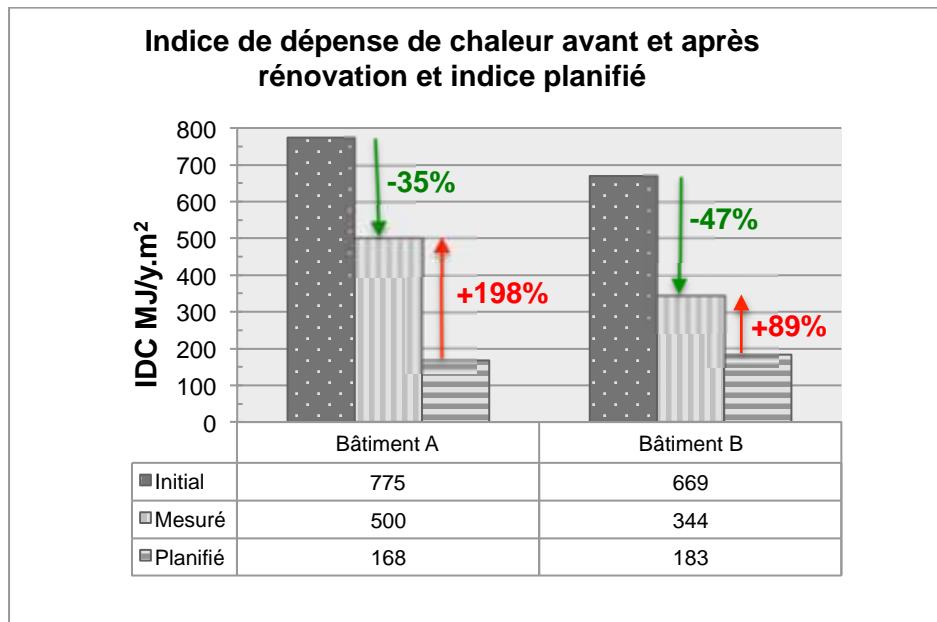


Figure 3. Réduction effective de la consommation après rénovation et différence par rapport la planification.

Malgré une diminution de la consommation, et malgré une exécution irréprochable de l'isolation de l'enveloppe, les consommations sont nettement supérieures aux valeurs planifiées. Les résultats sont similaires que ceux de l'étude Khoury. La différence pour les bâtiments A est même encore plus importante. Ceci peut s'expliquer en partie par le fait que l'installation de chauffage est énergétiquement obsolète, attendant son remplacement avec la mise en service du chauffage à distance.

3.4 Bilans thermiques pour expliquer des différences.

	Bâtiments A			Bâtiment B		
	mazout [l]	MJ/m ² a	%	mazout [l]	MJ/m ² a	
Pertes production	360% P _{max} 3% perte	13	8%	175% P _{max} 3% perte	15	8%
Pertes distribution	+25%	42	25%	+5%	10	5%
Consommation ECS	0.92 l/m ² +54%	91	54%	0.54 l/m ² +24%	44	24%
Gestion des stores	42% obstruction	20	12%	32% obstruction	14	8%
Combinaison 1 & 2	0.62 m ³ /m ² h 23.6°C	33	20%	0.32 m ³ /m ² h 23.6°C	18	10%
Ouvert. fenêtres (2)	18% - 0.62 m ³ /m ² h	52	31%	10% - 0.32 m ³ /m ² h	32	17%
Temp. intérieure (1)	23.6°C	39	23%	23.6°C	86	47%
Total pertes bilan	+172%	290		+120%	219	
Différence mesurée	+198%	332		+89%	161	

Tableau 2. Part de la surconsommation selon le bilan thermique ajusté aux conditions réelles.

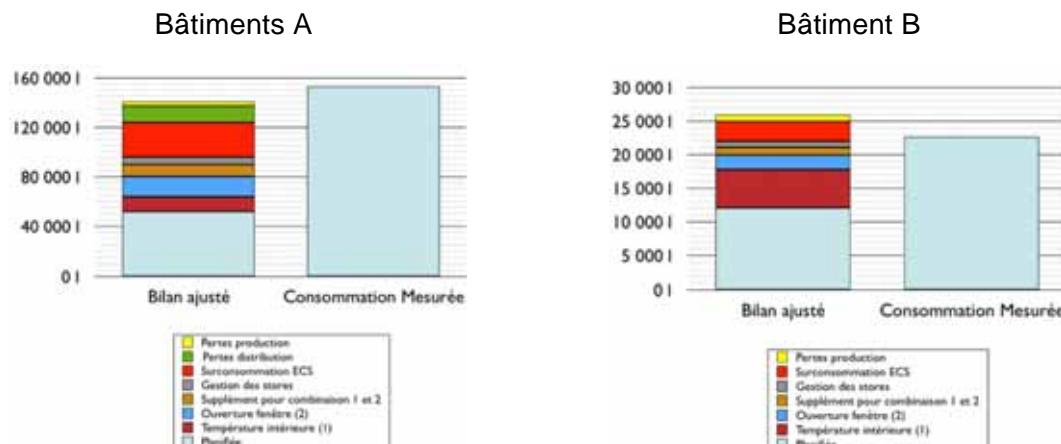


Figure 4. Consommation mesurée et consommation selon le bilan thermique ajusté

Sur le tableau et les graphiques, on voit que l'ajustement du bilan thermique selon les conditions d'utilisation réelles offre un degré de confiance suffisant pour expliquer les différences. Pour le premier projet, le bilan thermique ajusté est encore inférieur de 42 MJ/m² (-8%) et pour le deuxième il donne 58 MJ/m² de plus (+17%). Avec la précision des hypothèses d'ajustement, nous ne pouvons pas avoir des calculs très précis. Il faut compter que les autres paramètres non variés (dimensions et propriétés thermiques) ont aussi des incertitudes.

L'analyse montre que les facteurs les plus importants qui sont responsables de la surconsommation sont la température intérieure très élevée et l'ouverture des fenêtres. La consommation d'eau chaude est aussi plus élevée que les valeurs standard. Les deux projets concernent des bâtiments avec des petits logements (84 et 80 m² par logement en moyenne) et à loyer modéré, avec généralement plus de densité d'occupation. Bien que celle-ci n'ait pas pu être mesurée pour des raisons évidentes, la consommation en litres d'ECS le démontre. Pour le premier bâtiment, les pertes par distribution sont aussi importantes à cause de la vétusté et l'obsolescence du système de production de chaleur qui est en attente du chauffage à distance.

4. Discussion

Parmi les paramètres qui dépendent de la régulation et de l'utilisation du bâtiment par les occupants, nous allons nous concentrer sur la température intérieure et l'ouverture des fenêtres qui cause le plus de surconsommation. L'utilisation des stores avec 35-45% de stores baissés n'affecte pas de manière très significative la consommation (8-12% de consommation en plus). La température intérieure de 23.6°C en moyenne dans les logements et l'ouverture des fenêtres entre 10 et 18% causant un débit supplémentaire de $0.32 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ et $0.62 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ainsi que la combinaison des deux phénomènes sont responsables de 74% de la surconsommation dans les deux cas. C'est sur ces paramètres que nous allons focaliser la discussion. Ce sont ces paramètres que nous avons essayé de maîtriser dans le processus d'optimisation du bâtiment B avec un certain succès, ce qui crédibilise aussi l'analyse.

4.5 Température et qualité de l'environnement intérieur dans les logements.

Nous avons placé des sondes de température, d'humidité et de CO₂ dans 1 ou 2 pièces dans 3 logements par immeuble pendant une bonne partie de la période de chauffage. En parallèle, nous avons visité 57 logements dans les bâtiments A et une douzaine dans le bâtiment B, nous avons posé des questions oralement sur la base d'un questionnaire court et concis (du type, combien de fenêtres vous ouvrez en général et combien de temps, pourquoi vous ouvrez les fenêtres, est-ce qu'il vous arrive d'avoir trop froid / chaud etc.). Sans que les locataires se rendent compte nous avons relevé la position des vannes thermostatiques et la température du logement pour vérifier si les mesures dans les logements témoin étaient représentatives.

Les locataires sont contents de la température de leur logement. Ils ne considèrent pas qu'il fait trop chaud (à part deux cas isolés qui trouvent qu'il fait trop chaud et qu'ils ont toutes les vannes thermostatiques sur 0). La température moyenne sur la période et sur tous les logements observés est de 23.6°C. Cette température est consolidée avec les températures mesurées ponctuellement pendant la visite et avec la mesure de la température dans le système de ventilation du bâtiment A. Elle est aussi consolidée avec la mesure dans tous les logements du bâtiment B une année plus tard lors du processus d'optimisation.

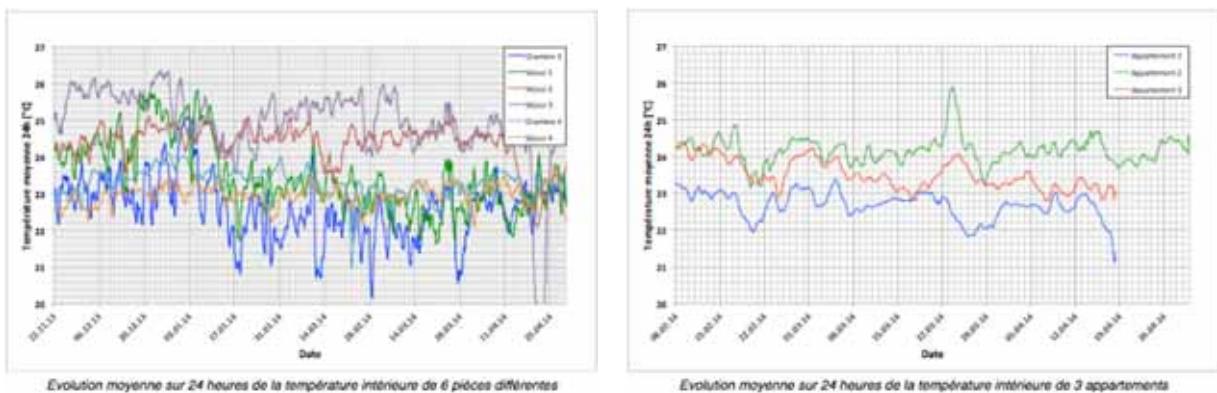


Figure 5. Température moyenne dans les logements des bâtiments A et B: 23.6°C

Il y a 3 raisons pour lesquelles la température est si élevée:

- La courbe de chauffage dans les deux cas était trop importante. 50°C ou 55°C par -5°C extérieur et 35°C par 15°C extérieur. Selon une calorimétrie sommaire que nous avons effectuée, cette température devrait se situer autour de 40°C. Nous avons essayé de placer la courbe sur 40°C par -5°C extérieur dans les bâtiments A et il y a eu une forte réaction de la part des locataires. Nous l'avons remis arbitrairement à 45°C par -5°C extérieur et les réactions se sont tuées.
- La majorité des vannes thermostatiques étaient réglées sur 4 et 5 (65% pour A et 80% pour B) - voir figure 6. Un nombre de locataires a justifié ceci expliquant "sinon le radiateur ne marche pas". Comme au touché les radiateurs sont tièdes, alors qu'avant rénovation ils étaient brûlants, ils croient qu'il y a un dysfonctionnement et au moindre inconfort ils mettent les vannes thermostatiques sur 4 ou 5. Cette situation combinée avec une température de

distribution trop élevée à cause d'une courbe de chauffage trop haute, a pour conséquence des surchauffes à 24-27°C dans certains cas.

- Comme les bâtiments sont très isolés, il n'y a pas d'élément de dissipation et la température pendant l'abaissement nocturne ne baisse pas comme avant. Comme on voit sur les graphiques de la figure 5, l'amplitude entre jour et nuit est moins d'un °C.

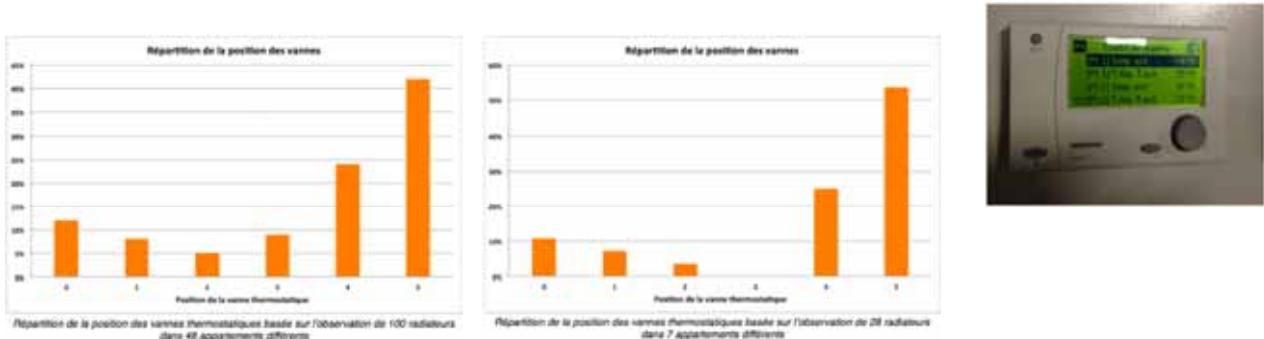


Figure 6. Position des vannes thermostatisques de 100 radiateurs - 48 logements dans les bâtiments A et de 28 radiateurs - 7 logements dans le bâtiment B

L'effet de la température sur la consommation d'énergie, dépend du bâtiment. Il dépend de son niveau d'isolation, de la part d'énergie fournie par le système de chauffage, et de la part d'eau chaude par rapport au chauffage. Les graphiques de la figure 7 montrent que pour les bâtiments A lorsque la température intérieure est de 23.6°C au lieu ce 20°C l'indice de dépense de chaleur augmente de 39 MJ/m², soit de 23% et pour le bâtiment B de 86 MJ/m², soit de 47%. Le premier bâtiment dispose d'un système de ventilation avec récupération et les besoins de chauffage sont très bas, il ne dispose pas de capteurs solaires, alors que le deuxième bâtiment dispose des capteurs solaires pour l'eau chaude (non dépendants à la température intérieure) avec des besoins de chaleur pour le chauffage plus élevés.

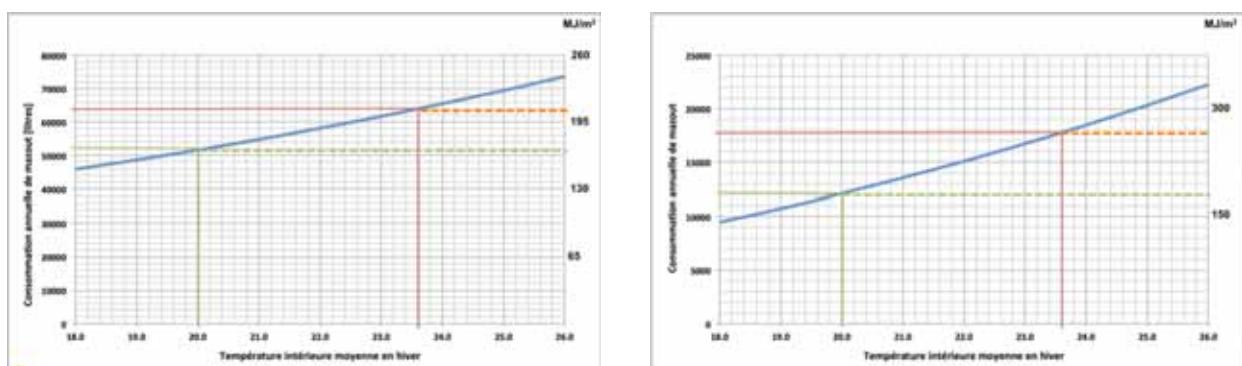


Figure 7. Effet de l'augmentation de la température sur la consommation. Pour le premier bâtiment la consommation totale augmente de 6% sur la consommation totale et de 13% sur la consommation de chauffage, pour le deuxième elle augmente de 13% pour la consommation totale et 17% pour la consommation de chauffage.

Ce qu'est paradoxal est que la norme SIA 380/1 considère la température intérieure de 20°C lorsqu'il y a une régulation par pièce (présence de vannes thermostatiques) et 1°C de plus lorsqu'il n'y en a pas, or une des raisons principales de température trop élevée est la présence de vannes thermostatiques et leur utilisation.

4.6 Ouverture des fenêtres.

Nous avons thermographié à plusieurs reprises les bâtiments et dénombré les fenêtres ouvertes et leur degré d'ouverture. Nous avons croisé ces résultats avec les résultats des questionnaires qui montrent qu'une large majorité ouvre les fenêtres plus de 3 heures (56%) dont 27% les ouvre plus de 12 heures par jour.

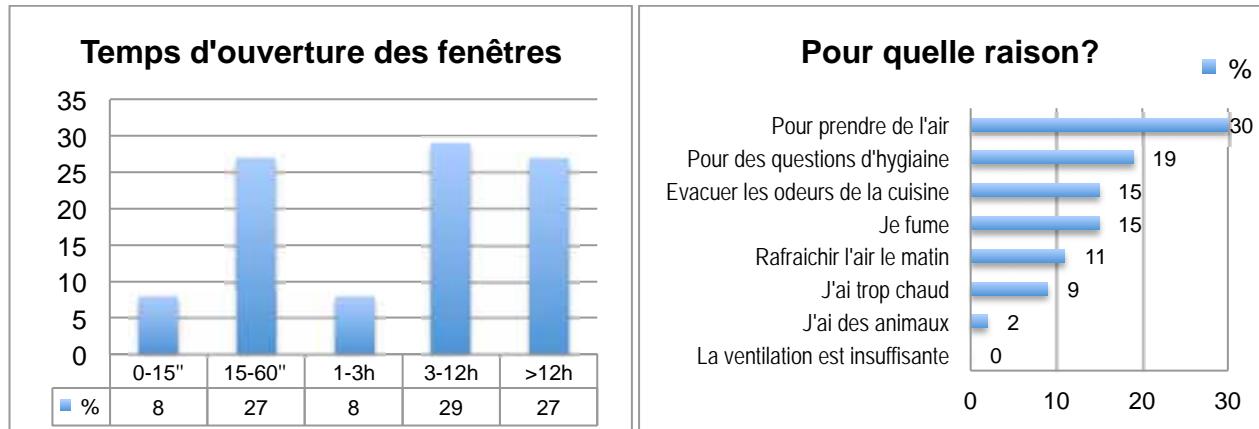
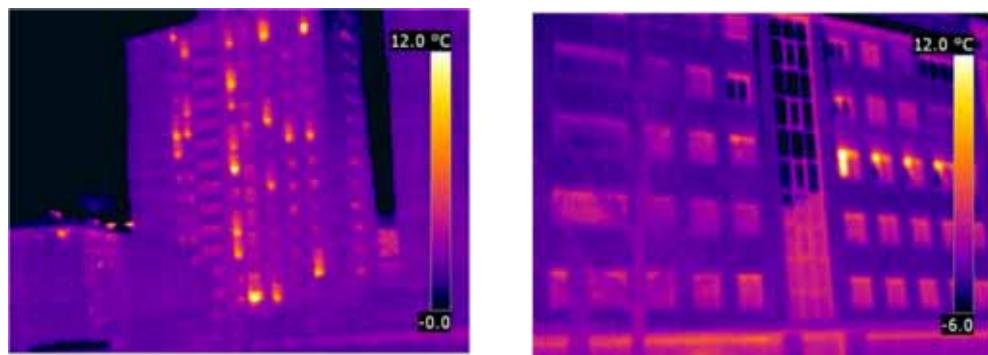


Figure 8. Thermographie des bâtiments A et B et résultat du questionnaire sur l'ouverture des fenêtres.

Lors de plusieurs opérations de comptage des fenêtres ouvertes pour les bâtiments A, nous avons mesuré de manière stable entre 22 et 25% des fenêtres ouvertes pendant la journée et entre 12 et 16% pendant la nuit. Pour le bâtiment B le pourcentage d'ouverture est inférieur à 10%. Ces résultats sont cohérents avec les résultats du questionnaire.

Comme il est difficile de faire une hypothèse précise sur le degré d'ouverture, nous avons pris une hypothèse conservatrice avec ouverture des fenêtres en imposte, avec une température extérieure de 6.5°C, température moyenne de la période de chauffage. Ceci donne avec les dimensions des fenêtres ~100 m³/h par fenêtre. Ceci donne un débit thermiquement actif supplémentaire au débit de ventilation de 0.62 m³/m²h pour les bâtiments A et 0.32 m³/m²h pour le bâtiment B.

Il est important à noter que la qualité d'air dans les logements tant du point de vue de la concentration de CO₂ que du point de vue de l'humidité était mesurée irréprochable. En revanche un nombre significatif de locataires se sont plaints d'odeurs provenant du système de ventilation (57%) pour les bâtiments A avec un système double flux et quelques locataires ont bouché les pulsions tant pour les bâtiments A avec double flux que pour le bâtiment B avec simple hygroréglable.

La consommation supplémentaire pour l'ouverture des fenêtres est de 52 MJ/m² supplémentaires, +31% pour les bâtiments A, et pour le bâtiment B de 32 MJ/m² +17%. Si maintenant nous recalculons les pertes supplémentaires pour la ventilation par les fenêtres avec 23.6°C, nous devons rajouter 20% de consommation supplémentaire pour les bâtiments A et 10% pour le bâtiment B.

Dans les logements A où l'échantillon est plus significatif (47 logements), les réponses des locataires montrent que dans ce type d'immeubles les occupants ressentent un besoin d'ouvrir les fenêtres. 60% des locataires ont répondu qu'ils ouvrent les fenêtres pour prendre de l'air, pour des questions d'hygiène et pour rafraîchir l'air du logement le matin. Seulement 15% ouvrent pour évacuer les odeurs de la cuisine ou parce qu'ils fument. Aucun locataire n'a évoqué une ventilation insuffisante du système double flux.

Il est probable que les locataires des bâtiments A ouvrent plus les fenêtres parce que la pénalité en inconfort est faible. Comme les fenêtres sont de plus petite taille et les pertes du bâtiment très faibles (présence de double flux), les radiateurs compensent largement les pertes par l'ouverture des fenêtres et l'inconfort n'est pas perceptible pour être motivé à fermer la fenêtre.

5. Perspectives

Il serait une erreur sans comprendre d'accuser les locataires de comportement inapproprié responsable des consommations d'énergie plus élevées que les calculs. Derrière le fait que la grande majorité des locataires met les radiateurs sur 4 et sur 5 il y a une ou plusieurs raisons. Le fait que les radiateurs sont tièdes lorsqu'il fait froid dehors et que les locataires les règlent au touché, au lieu de regarder la température intérieure n'est pas une explication suffisante. Il faut s'intéresser au confort ressenti dans un logement isolé où toutes les températures sont homogènes et où il y a absence de source de chaleur identifiable et perceptible. Dans un logement avant rénovation, lorsqu'il fait 18 ou 19°C et le radiateur est à 60-70°C, les occupants peuvent trouver un refuge du froid près du radiateur, ce qui n'est pas possible avec des radiateurs d'un bâtiment isolé. Il y a besoin de plus de recherche pour comprendre la perception du confort dans un logement isolé avec une faible intensité de chauffage. Une anecdote avec la réaction d'une personne âgée, juste rentrée d'hôpital lorsque nous avons baissé la courbe de chauffage, montre qu'il y a besoin de mieux comprendre la thermique de cette nouvelle habitation encore peu connue, de la part des normes, de la part des ingénieurs et de la part des locataires: elle a raconté dans la lettre de protestation, qu'elle a été obligée d'allumer le four de sa cuisinière et se mettre devant pour pouvoir se chauffer, alors qu'elle avait toutes les vannes thermostatiques au maximum. Cependant, la température moyenne dans le bâtiment pendant la période de vives protestations n'a jamais été mesurée moins que 21.5°C à l'extraction du monobloc de ventilation.

Cet effort raté de corriger rapidement la situation de la température intérieure trop élevée nous a conduit de faire les choses plus sérieusement. Après avoir fait corriger les petits dysfonctionnements concernant les capteurs solaires et le réglage de la ventilation, nous avons installé un système de régulation prévisionnel avancé, où la stratégie d'optimisation repose sur un double objectif: ajuster la courbe de chauffage pour faire tendre la température intérieure à l'intérieur d'une place cible (19.5 - 21.5°C) en la mesurant dans 3 logement choisis comme représentatifs et anticiper pour baisser ou augmenter le régime de chauffage selon les prévisions météorologiques.

5.7 Réduction graduelle de la température intérieure grâce à une régulation prévisionnelle à distance.

Dans une première période l'optimisation se faisait selon les mesures sur 3 logements comme c'est l'usage dans ce type de régulation (premier graphique de la figure 9). Comme il s'agissait d'un projet pilote, nous avons insisté d'installer des sondes dans tous les appartements. Cette action a révélé que le hasard a fait que les 3 logements choisis étaient les 3 logements le moins chauffés (deuxième graphique de la figure 9). Alors que le système croyait qu'il a atteint les limites de l'optimisation, il y avait encore des logements avec 26°C de température intérieure. Une deuxième vague de réduction graduelle (environ 0.5°C par semaine) a réduit la température intérieure moyenne de 23.5 à 21.5°C (troisième graphique de la figure 9).

Cette action a réduit la consommation comme prévu selon le bilan thermique. Il a aussi été observé une tendance vers une diminution du nombre de fenêtres ouvertes. Les locataires n'ont pas protesté de la diminution significative de la température intérieure dans les logements. Néanmoins, certains locataires éclairés ont trouvé une façon de pénétrer illégalement dans la chaufferie pour modifier la courbe de chauffage, ce qui a obligé la régie de changer la serrure.

La vrai économie réalisée sera connue après la prochaine saison de chauffage, où nous aurons le système fonctionner sur toute la période. Vu les résultats plutôt satisfaisants, la mesure complémentaire de procéder à un équilibrage hydraulique, mesure assez coûteuse et difficile à réaliser avec le bâtiment en fonction avec 31 locataires, il a été décidé au lieu de prodéder à un équilibrage hydraulique général, de s'intéresser aux logements le plus froids, de discuter avec les locataires, et prodécer à un équilibrage hydraulique que dans ces logements si la raison de la température basse ne vient pas d'un choix des locataires qui ont fermé les vannes thermostatiques. Cette opération se fera aussi pendant la prochaine saison.

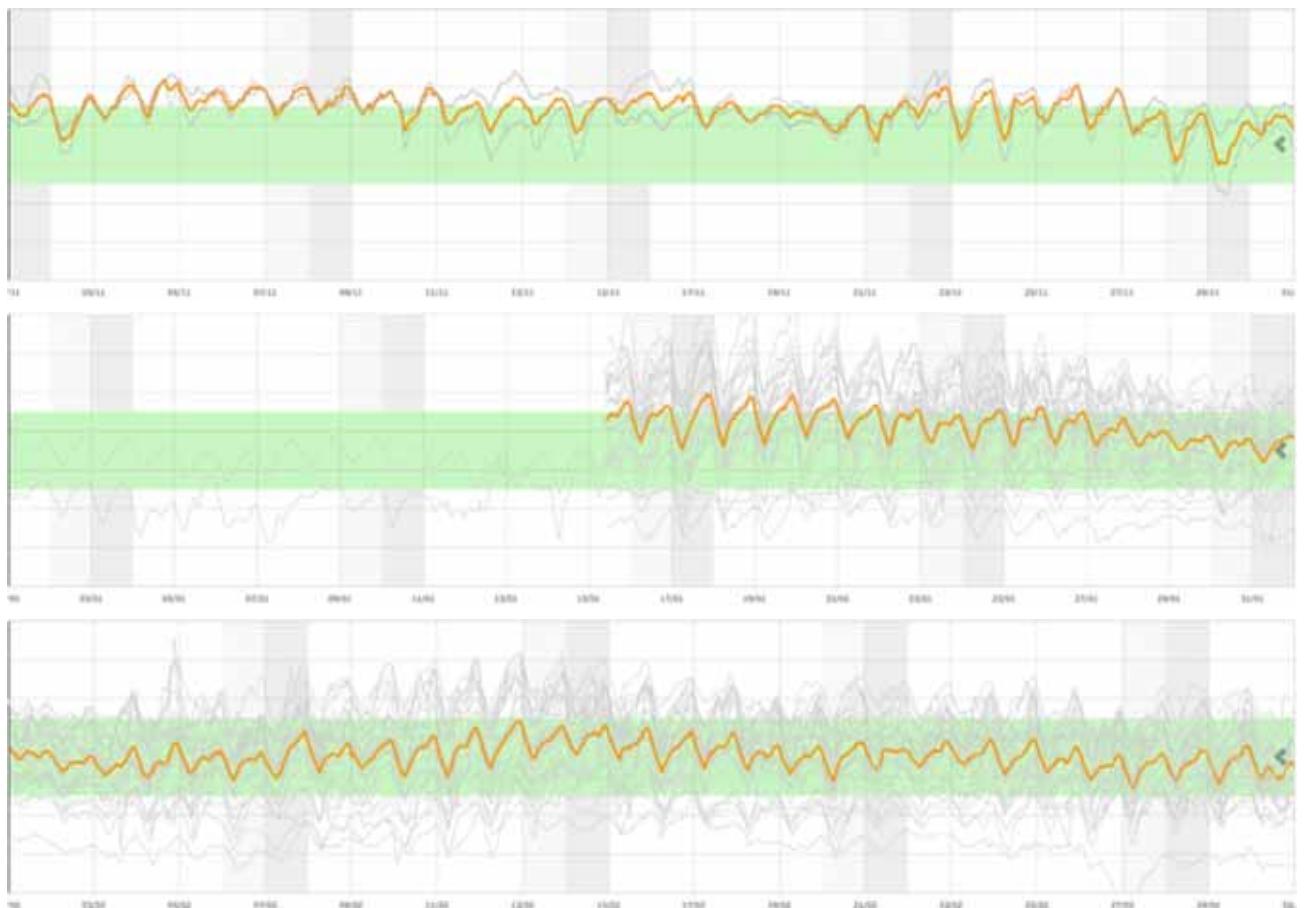


Figure 9. Evolution de la température intérieure dans une période dans 3 logements (jusqu'au 15.01, milieu du deuxième graphique), puis dans tous les logements. .

5.8 Réduction de la consommation d'énergie.

Le graphique montre que la consommation pendant la période de l'analyse (13-14) a augmentée. Suite à la correction du système solaire, en 2014-2015 la consommation a baissé de 32 MJ/m² (9%). La période 2015-2016 était une période d'optimisation, l'économie ne se fait donc que sur la moitié de la période de chauffage et elle a apporté encore 40 MJ/m² d'économie (-12% supplémentaires). La consommation attendue pour 2016-2017 est de 271 MJ/m², soit 47% supérieur à la valeur planifiée et 27% supérieure à la valeur limite Minergie. Cette différence est due à la consommation d'eau chaude sanitaire supérieure à la valeur standard, due probablement à une densité d'occupation élevée, et dû au fait qu'il est pratiquement impossible de baisser la température moyenne dans les logements moins de 21.5°C. Malgré la diminution des ouvertures des fenêtres, il sera impossible de les éviter complètement.

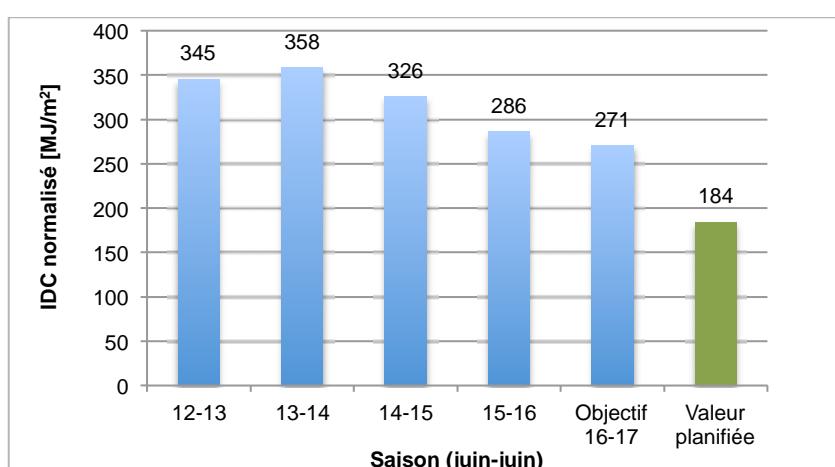


Figure 9. Evolution de la consommation d'énergie entre 2012 et 2016 comparé à la valeur cible

5.9 Besoins de recherche.

Bien qu'une partie des raisons des consommations excessives soient élucidées, notamment les températures élevées, les ouvertures de fenêtres et les courbes de chauffage inappropriées, il reste encore des questions ouvertes.

La différence entre les consommations réelles et les consommations planifiées ne provient pas uniquement d'un "mauvais" comportement et d'un "mauvais" réglage de la courbe de chauffage. Elle provient aussi des conditions d'utilisation irréalistes. Un bâtiment isolé, chauffé à faible intensité de chauffage ne peut pas fonctionner avec moins de 21.5°C de température intérieure. Il n'est pas possible de faire baisser la température d'un bâtiment bien isolé pendant l'abaissement nocturne, même si le chauffage est complètement arrêté. La norme SIA 380/1 devrait prendre acte et augmenter la température intérieure au moins à 21.5°C. Dans le Canton de Vaud, cette action est indirectement intégrée en choisissant comme météo de référence Payerne, un peu plus froide que l'arc lémanique ou le lac de Neuchâtel. De même, un petit tour en ville en hiver, il est facile de se rendre compte que ~40% des stores, rouleaux, volets sont fermés, or la norme prend 100% des gains solaires. Le débit thermiquement actif de 0.7 selon la norme est trop faible et ne tient pas compte des ouvertures des fenêtres. Un débit d'au moins $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ supplémentaires pour l'ouverture des portes et fenêtres devrait être imposé pour tous les systèmes de ventilation. Ces hypothèses devraient être validées sur un échantillon significatif de bâtiments.

Pour mieux optimiser la conception et les choix techniques des bâtiments collectifs basse et très basse consommation, il est nécessaire de comprendre les besoins et les problèmes des locataires dans ce type de bâtiment. Quels sont les facteurs d'inconfort, qu'est qui motive les occupants d'ouvrir les fenêtres et qu'est-ce qu'il les motive à les fermer. Est-ce que tous les types de fenêtres engendrent le même comportement?

Il reste aussi des lacunes de connaissance pour le dimensionnement du système de chauffage après rénovation. Lorsqu'on laisse les anciens radiateurs, quelle est la température de distribution adéquate? Quand est-ce qu'un équilibrage hydraulique est nécessaire après rénovation?

Malgré toutes ces questions ouvertes, nous avons prouvé avec ce projet, que les surconsommations des immeubles locatifs collectifs ne sont pas une fatalité. Un ajustement de la courbe de chauffage, même par essai et erreur pendant 2-3 mois après les travaux, est absolument nécessaire. Même pour un projet de rénovation partielle avec uniquement les fenêtres, ou le toit, il est nécessaire de corriger la courbe de chauffage.

Littérature/références

- [1] Werner Reinmann et al, Standards énergétiques dans le bâtiment – contrôle des résultats 2014-2015, OFEN - bâtiment, projet SI/ 401128-01, Berne, 2016.
- [2] Jad Khoury, Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs, Thèse de Doctorat, Université de Genève, Faculté des Sciences, Genève 2014.
- [3] LESOSAI, mode d'emploi, calcul d'incertitude, www.lesosai.ch
- [4] Cour de comptes du Canton de Vaud, Audit du développement durable dans les bâtiments de l'état de Vaud, rapport 37, <http://www.vd.ch/autorites/cour-des-comptes>, 2016
- [5] Cour de comptes du Canton de Vaud, Audit du développement durable dans les bâtiments de l'état de Vaud, rapport 37, Synthèse, 2016