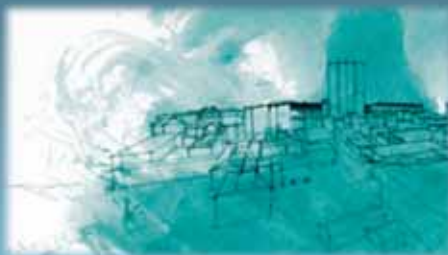


**Raisons et remèdes de la  
surconsommation de bâtiments  
locatifs après rénovation**

Estia

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



Status Seminar 2016

Flourentzos Flourentzou

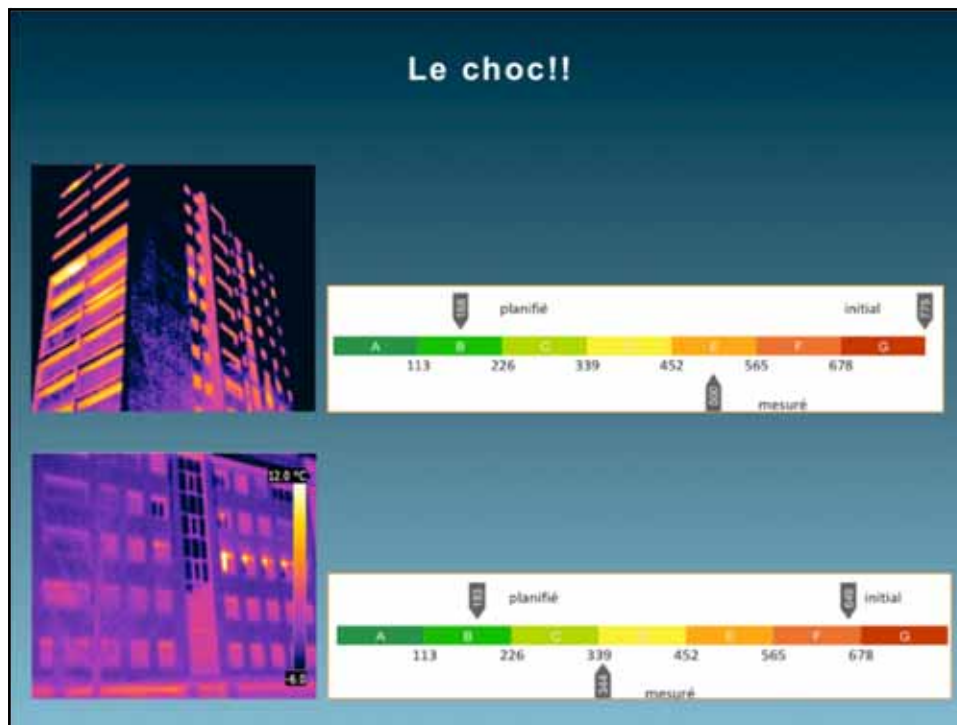
Samuel Pantet

Estia SA – EPFL innovation Park

Lausanne

[www.estia.ch](http://www.estia.ch)

L'étude a été commandée par les propriétaires des bâtiments, soucieux de traduire les efforts d'investissement en économies d'énergie réelles. Le Service de l'Energie du canton de Vaud a financé partiellement les propriétaires du bâtiment vaudois, et l'OCEN les propriétaires du bâtiment Genevois pour réaliser ces analyses, dans le but de partager les enseignements de l'opération. Cet article fait partie de l'effort de communication des résultats.



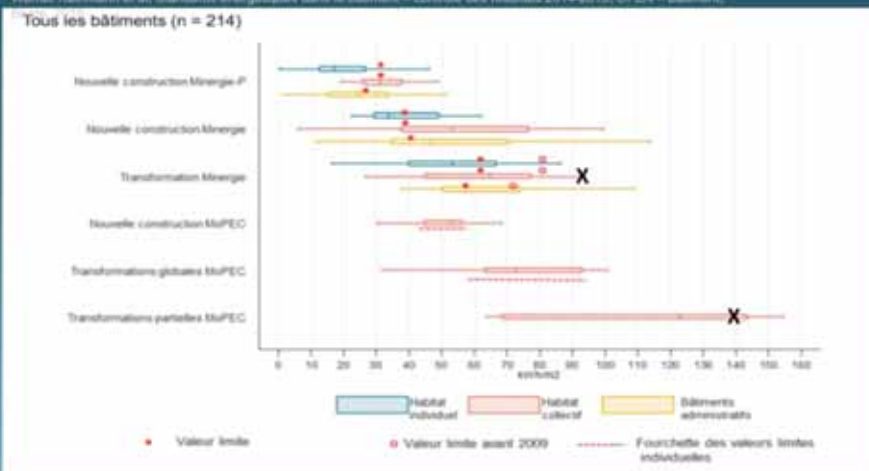
Le premier bâtiment consommait avant rénovation 775 MJ/m<sup>2</sup>. Après rénovation, pendant la période de l'étude, il a consommé 500 MJ/m<sup>2</sup> au lieu de 168 MJ/m<sup>2</sup> prévu.

Le deuxième bâtiment consommait 649 MJ/m<sup>2</sup> avant rénovation et 344 après, au lieu de 183 MJ/m<sup>2</sup> prévus.

Les résultats sont décevants. Le premier bâtiment reste en classe E après rénovation au lieu de classe B prévu, et le deuxième en classe D.

## Les immeubles locatifs consomment toujours plus que planifié

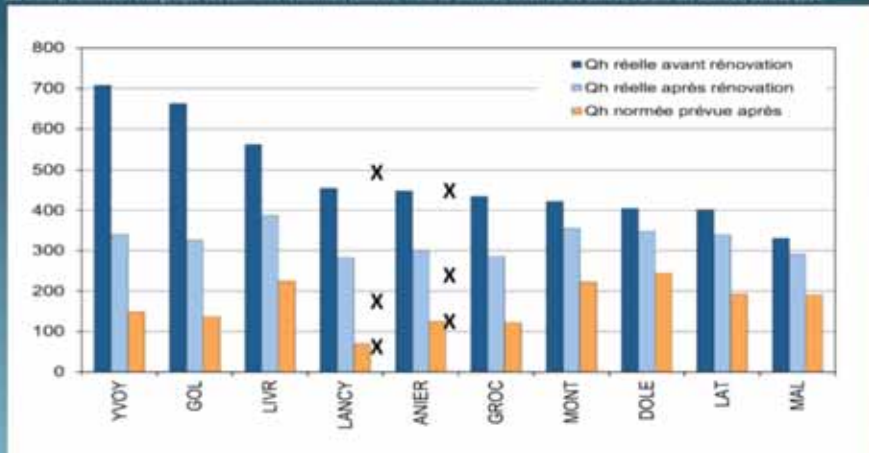
Werner Reinmann et al. Standards énergétiques dans le bâtiment – contrôle des résultats 2014-2015, OFEN – bâtiment.



Si on analyse les résultats de l'étude financé par l'OFEN, on observe qu'il y a un problème avec les bâtiments de logement collectif, qu'ils soient neuf au rénovés, Minergie ou Minergie P. Les deux bâtiments examinés se situent dans la partie supérieure des consommations. Ceci peut s'expliquer que dans les deux cas la chaufferie n'a pas été encore rénovée et elle reste très surdimensionnée, alors que dans la majorité des rénovations, elle est remplacée au moment de la rénovation de l'enveloppe.

## C'est plutôt un cas général!

Jad Khoury, Renovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs, Thèse de Doctorat, Université de Genève, Faculté des Sciences, Genève 2014

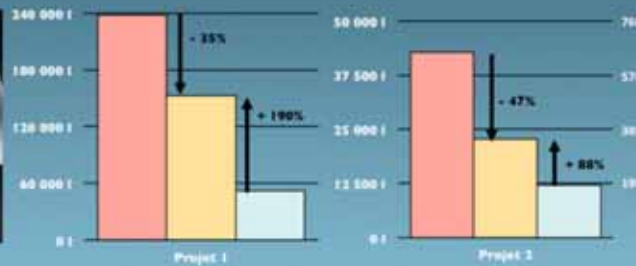


Si nous évaluons les besoins de chaleur pour le chauffage et nous comparons avec les 10 bâtiments analysés par Jad Khoury, on observe la même tendance. Les besoins de chaleur réels après rénovation sont légèrement inférieurs à des cas similaires.

Le problème donc de ces deux bâtiments est un problème général.

**Réduction de  $\frac{1}{3}$  et  $\frac{1}{2}$  au lieu de  $\frac{2}{3}$  de la conso (ou)  
Surconsommation de 3 et de 2 fois la valeur planifiée**

	Projet 1		Projet 2	
	Consommation de mazout [litres]	IDC [MJ/m <sup>2</sup> ]	Consommation de mazout [litres]	IDC [MJ/m <sup>2</sup> ]
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



Nous pouvons voir le verre à moitié vide:

Surconsommation de deux fois pour le premier bâtiment par rapport à la consommation prévisible

Ou moitié plein:

La consommation a été réduite de  $\frac{1}{3}$  pour le premier bâtiment et de  $\frac{1}{2}$  pour le deuxième au lieu de  $\frac{2}{3}$  prévu.

## Modèle de calcul de la valeur planifiée

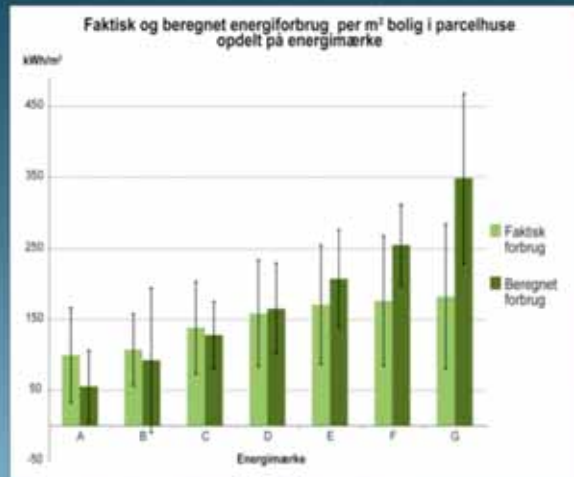


- Valeur précise 508.6, mais 30% de probabilité d'avoir moins de 486
- Valeur précise de 68.0, mais 30% de probabilité d'avoir plus
- Avant rénovation 71% de la chaleur fournie par la chaudière
- Après rénovation 61% de la chaleur fournie par les gains gratuits

Avant de tirer des conclusions sur les cause de l'écart de performance, il est important d'être conscient de la précision possible avec le modèle simple de la SIA 380/1. Une analyse de sensibilité Monte Carlo avec Lesosai montre que pour la première simulation avant rénovation, il y a une probabilité de 30% d'avoir moins de 486 MJ/m<sup>2</sup> alors que le calcul donne un résultat précis de 508.6 MJ/m<sup>2</sup>. Pour le calcul après rénovation, il y a une chance de 30% de consommer plus que la valeur indiquée.

Une autre observation intéressante sur les bilans est d'observer qu'avant rénovation 71% de l'énergie provient de la chaudière. Les erreurs sur les gains internes ou solaires sont marginaux, tout comme les pertes par les rejets sur les gains gratuits. Après rénovation, 61% de la chaleur provient des gains solaires et internes et seulement 39% de la chaudière. Les rejets (ouvertures des fenêtres et surchauffes à cause de trop de gains) sont du même ordre que l'énergie fournie par la chaudière (la performance attendue), or le modèle qui calcul la part de rejets et un modèle trop simple et empirique.

## Au Danemark les bons bâtiments consomment plus et les mauvais moins que prévu par les calculs!



Une étude Danoise montre que l'écart entre consommation calculée et consommation mesurée est positif concernant les anciens bâtiments énergivores, et négatif en ce qui concerne les nouveaux bâtiments de haut standard énergétique.

Si nous observons aussi la dispersion des données, nous pouvons bien trouver des bâtiments parmi les mauvais bâtiments de très haut standard énergétique qui consomment plus que les meilleurs bâtiments, théoriquement de classe G.

Les hypothèses et modèles de calcul n'y sont pas pour rien, mais aussi le niveau du confort. Mais quelqu'un peut se demander si le changement de niveau de confort a été demandé par quelqu'un, surtout pour des bâtiments historiques.

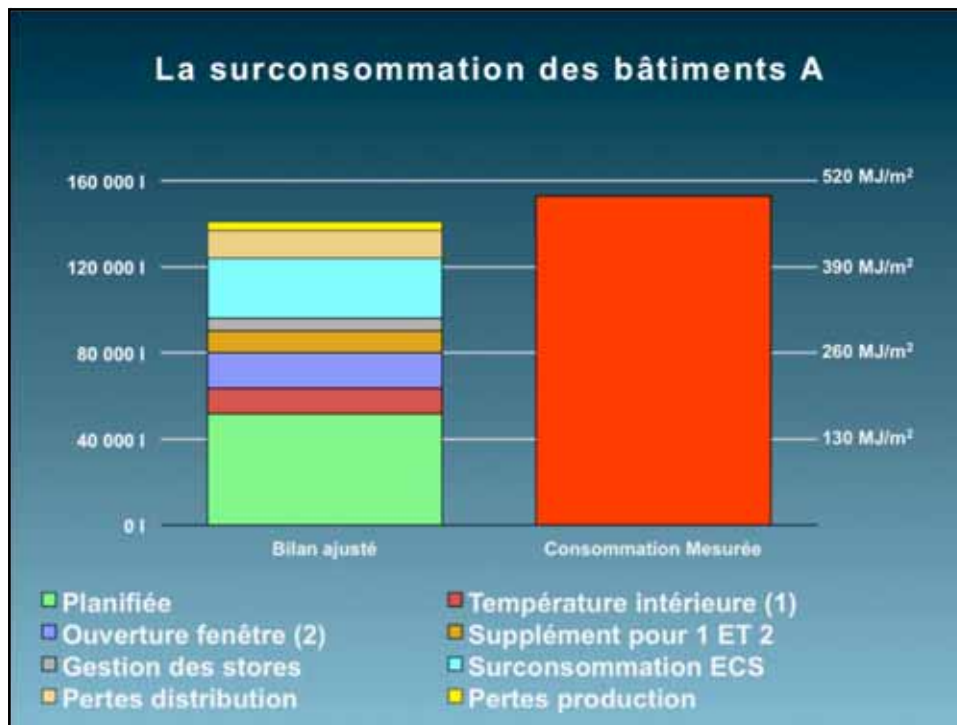


## Les rénovations

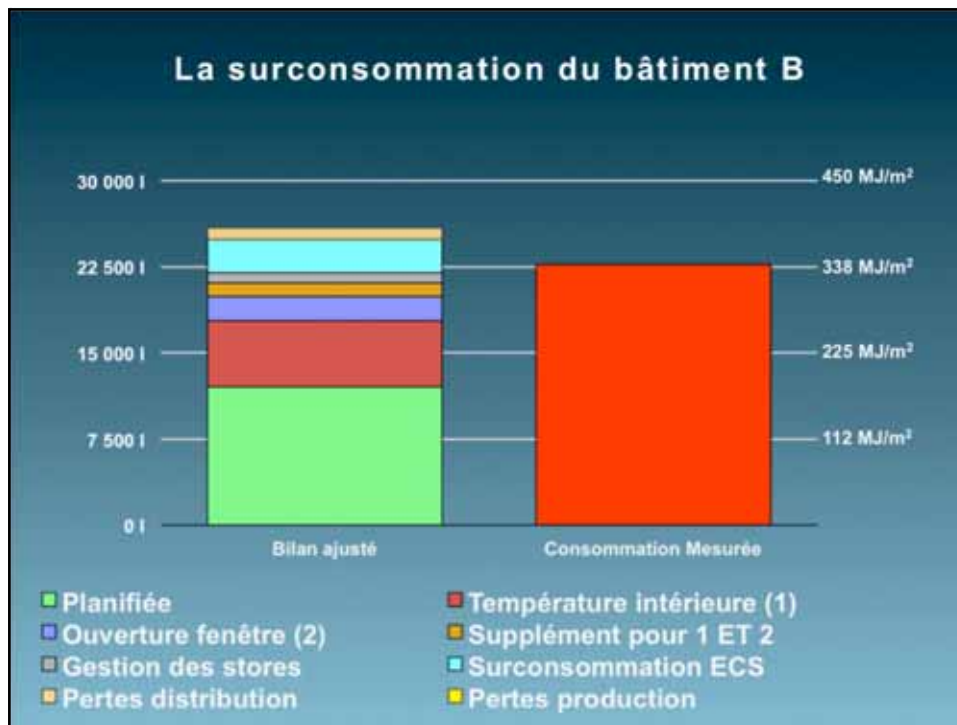


	Bâtiments A (2 Identiques)	Bâtiment B
construction / rénovation	1969/2011	1956/2010
SRE	11'553 m <sup>2</sup>	2'482 m <sup>2</sup>
Nombre de logements	140	31
Travaux d'assainissement énergétique	Façades, toiture, fenêtres, ventilation double flux.	Façades, toiture, fenêtres, fermeture des balcons, ventilation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

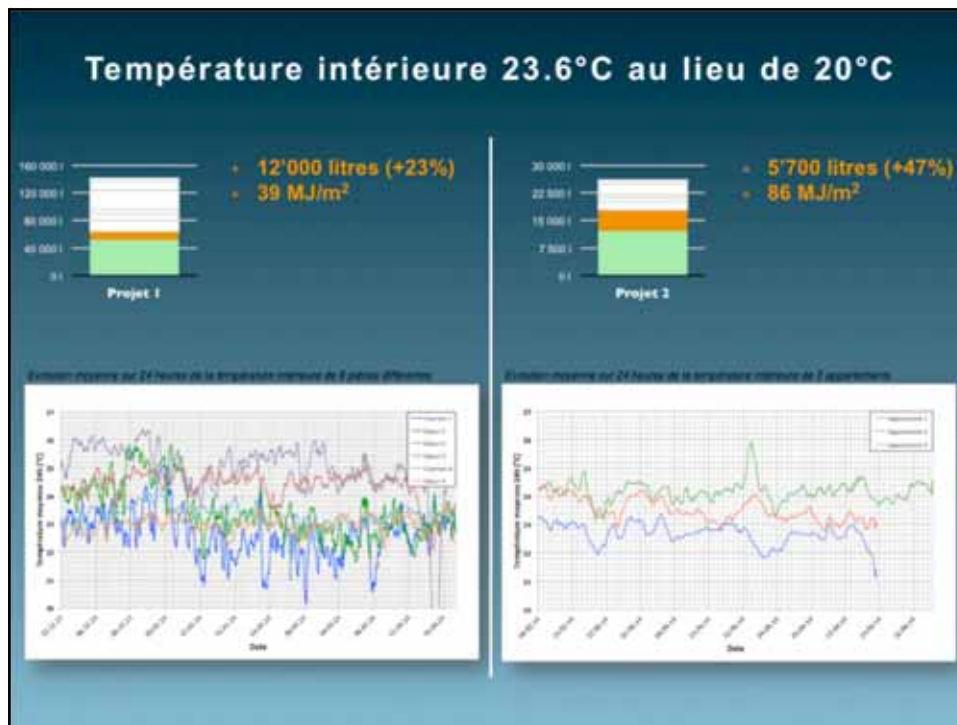
Ce transparent montre les caractéristiques principaux des bâtiments analysés. Il est important de noter que les chaufferies des deux bâtiments n'ont pas été rénovées, Pour le premier bâtiment, dont la chaufferie est vraiment vétuste et la distribution pas isolée, il y a un projet en élaboration pour le connecter à un réseau de chauffage à distance, travaux qui devrait réduire drastiquement la consommation d'énergie. Le deuxième projet a une chaudière rénovée quelques années juste avant la rénovation pour cause de dysfonctionnement de l'ancienne chaufferie.



Un bilan thermique ajusté peut expliquer en grande partie la consommation excessive. Un peu moins de la moitié de la consommation excessive de ce bâtiment est due à la température intérieure trop élevée et à l'ouverture des fenêtres.

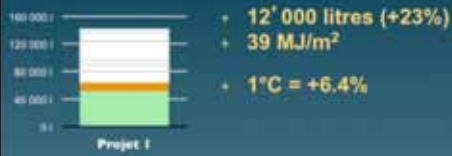


Ce bilan ajusté arrive aussi à expliquer en grande partie les causes des surconsommations. Ici c'est pareil. La température intérieure et l'ouverture des fenêtres sont en grande partie responsables de la surconsommation.

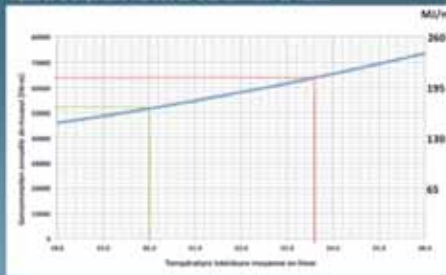


Si on analyse la température intérieure, on voit que la température moyenne dans les deux cas est de 23.6°C au lieu de 20°C. Ceci cause 12'000 l de surconsommation pour le premier bâtiment et 5'700 l pour le deuxième. C'est 39 MJ/m<sup>2</sup> (+23%) et 86 MJ/m<sup>2</sup> (+47%) respectivement. Pour le premier cas c'est moins parce que le bâtiment est plus isolé et il dispose d'une récupération de chaleur. Son facteur de forme est aussi bien plus favorable.

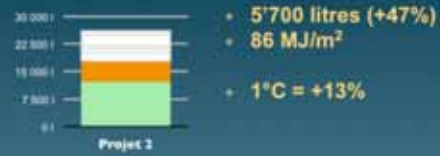
## Température intérieure 23.6°C au lieu de 20°C



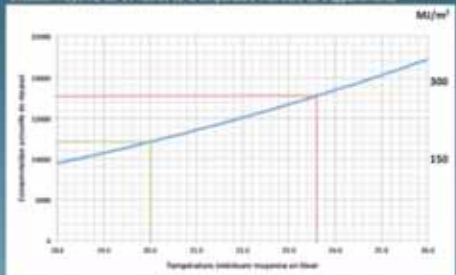
Impact de la température intérieure sur la consommation de gaz



Chaque degré = +6.4% de la consommation totale  
ou +13% de la consommation pour chauffage

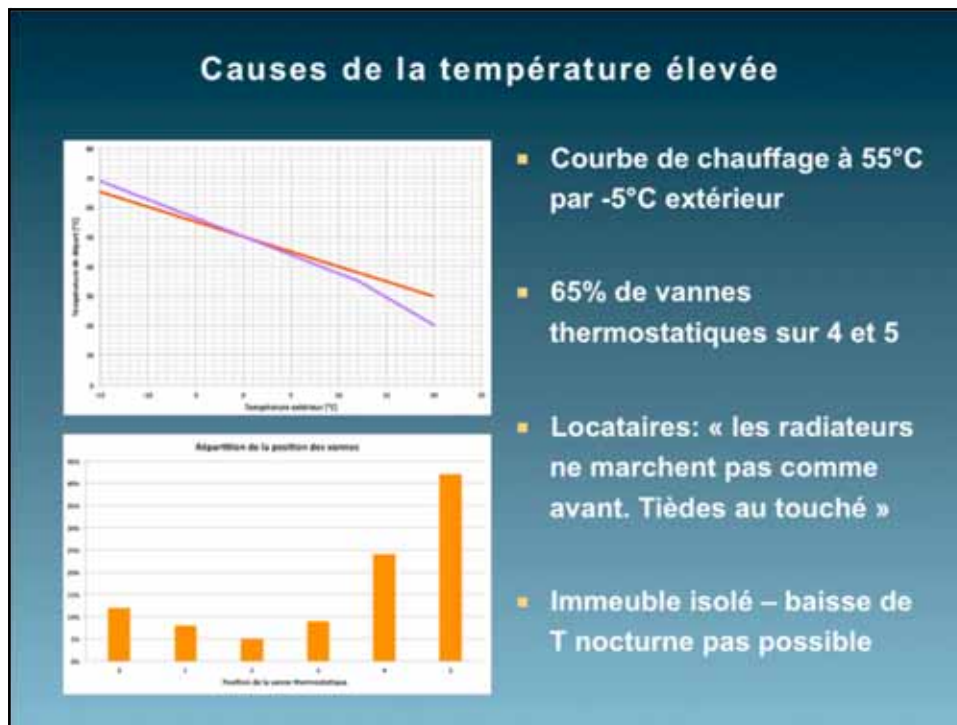


Évaluation moyenne sur 24 heures de la température intérieure de 3 appartements



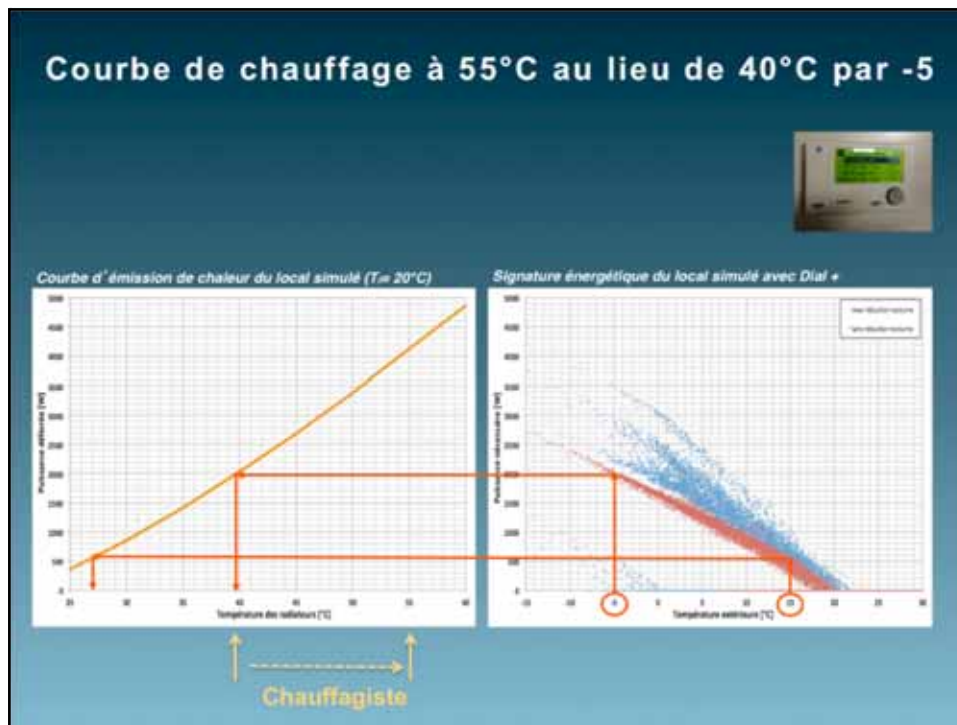
Chaque degré = +13% de la consommation totale  
ou +17% de la consommation pour chauffage

Nous pouvons retenir que pour chaque °C nous avons environ 15% de besoins de chaleur supplémentaires (+2%)



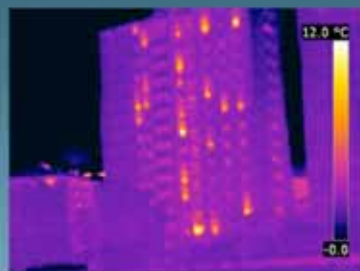
Les causes de la température intérieure trop élevée sont multiples et interdépendantes. D'une part les chauffagistes mettent la courbe de chauffage trop haut et d'autre part la majorité des locataires mettent les vannes thermostatiques sur 4 et sur 5. Les uns cherchent à éviter des appels des locataires mécontents, les autres ne comprennent pas le fonctionnement d'une vanne thermostatique ils pensent que le chauffage ne fonctionne pas avec des radiateurs « tièdes ».

Il y a une autre raison objective. Un bâtiment non rénové avec une réduction nocturne de la température, très rapidement se refroidi, ce qui fait que la moyenne entre 22 la journée et 18 la nuit se situe autour de 20°C, proche des conditions standard d'utilisation de la norme. Une bâtiment isolé, surtout un muni d'un double flux avec récupération de chaleur, n'arrive pas à baisser sa température durant la nuit, dont une température de 22 la journée et de 21.5 la nuit donne une température toujours voisine à 22.



Nous avons fait une simulation dynamique d'un logement situé au nord et nous avons mis en parallèle la température de l'eau qui devait circuler dans le radiateur. Cette température ne devrait pas dépasser les 40°C lorsque dehors il faut -5°C, or le chauffagiste a réglé la courbe de chauffage sur 55°C. Même avec toutes les marges de refroidissement de l'eau de la chaudière jusqu'au radiateur, cette température ne devrait jamais dépassé les 45°C.

## Ouverture des fenêtres



En moyenne, 18% des fenêtres sont ouvertes en imposte.

**Surventilation de 0.62 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>**

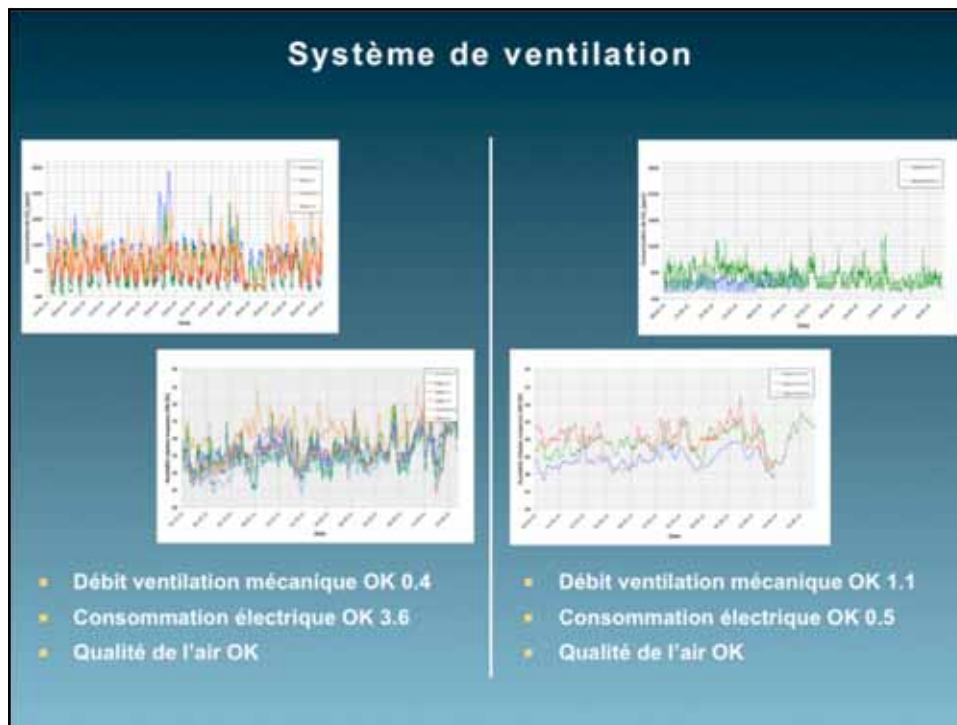


En moyenne, 8 fenêtres (10%) sont ouvertes en imposte.

**Surventilation de 0.32 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>**

Nous avons compté à l'aide de thermographies répétées le nombre des fenêtres ouvertes. Pour le premier bâtiment nous avons en moyenne 18% de fenêtres ouvertes

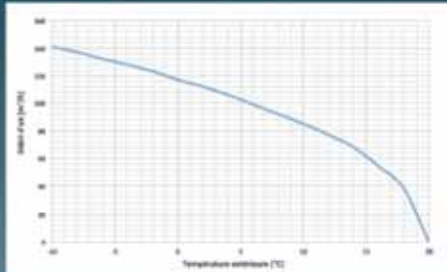




Une analyse approfondie du fonctionnement, des consommations électriques, des débits d'air ont montré que les deux systèmes de ventilation, double flux sur la première colonne du graphique, et simple flux hygrorégulé sur la deuxième, fonctionnent correctement et il n'y a aucune dérive, ni du point de vue des pertes de chaleur, ni de la consommation électrique. Par ailleurs, la qualité de l'air a été vérifiée avec des mesures de CO2 et d'humidité pendant plusieurs semaines dans les logements et nous avons mesuré une bonne qualité de l'air sans aucun reproche.

## 56% de gens ouvrent au moins 3-12 heures par jour

Débit d'air par une fenêtre de 130cm x 130cm ouverte en imposte en fonction de la température extérieure.



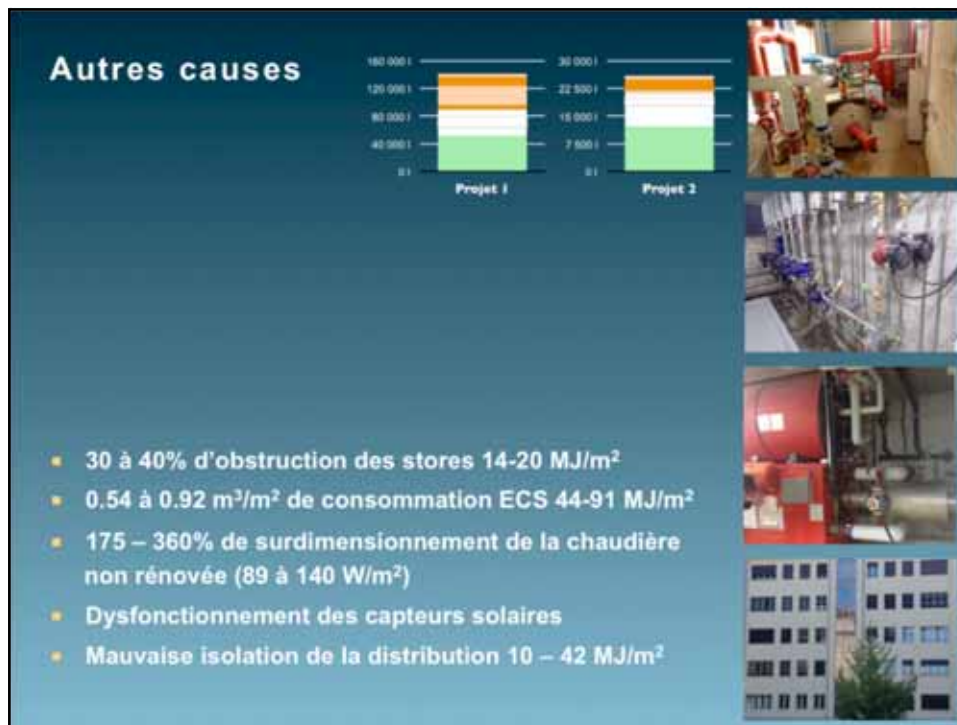
- Pour prendre de l'air 30%

mais aussi

- questions d'hygiène 19%
- évacuer odeurs cuisine 15%
- ils fument 15%
- rafraichir l'air le matin 11%
- ils ont trop chaud 9%
- ils ont des animaux 2%
- ventilation insuffisante 0%

— Ils les ferment lorsqu'ils ont trop froid

56% de logements qui ouvrent entre 3 et 12 heures par jour, font qu'il y a en permanence entre 10 et 20% des fenêtres de l'immeuble qui sont ouvertes, même pendant les jours les plus froids de l'hiver. Sur le transparent on voit les raisons. Le problème est que dans un immeuble isolé avec peu de pertes thermiques, avec des radiateurs surdimensionnés et une température de distribution élevée, les locataires n'ont quasi jamais froid pour penser de fermer les fenêtres. C'est un système où un locataire a beaucoup de raisons pour ouvrir une fenêtre mais peu pour la fermer.

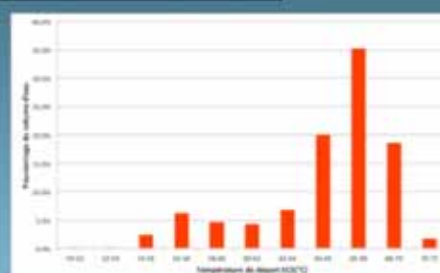


Il y a d'autres raisons autres que la température élevée dans les logements et l'ouverture des fenêtres qu'expliquent la sur-consommation. Mais il faut réunir toutes ces causes ensemble pour peser autant que les deux premières. Néanmoins, une régulation et un optimisation point par point peut contribuer à la réduction global de la consommation.

## Rendement de production ECS mesuré en été: 55%

Un compteur de chaleur a été installé entre le 15 juillet et le 7 septembre 2016 sur la production d'ECS. A cette période de l'année, le chauffage est éteint et tout le mazout consommé est destiné au chauffage ECS. Voici un tableau regroupant les principales informations:

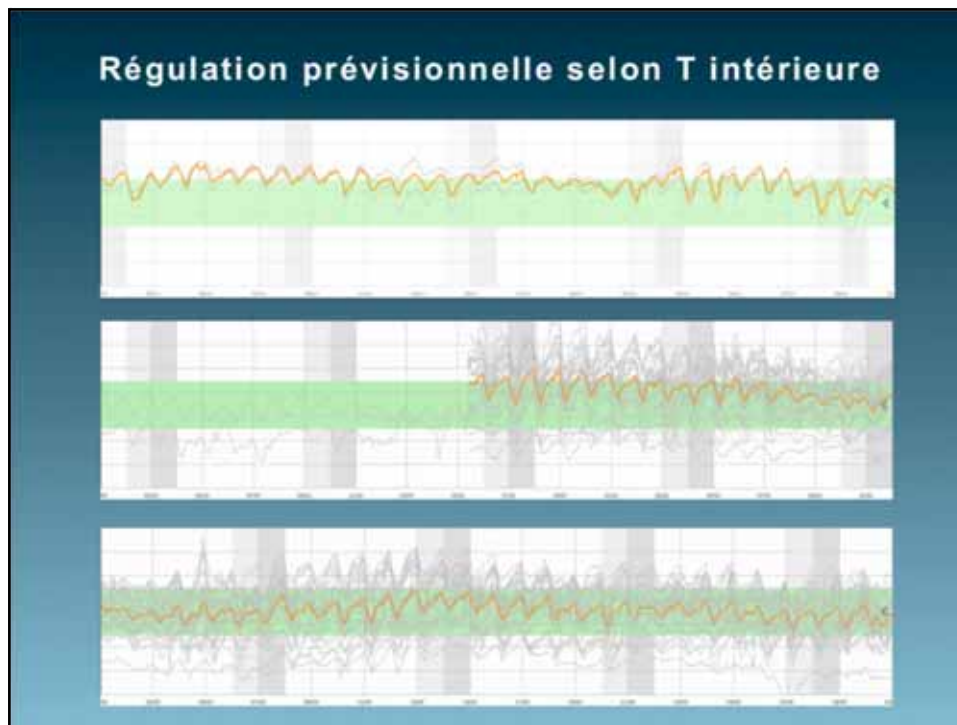
Volume d'ECS consommé	156,5 m <sup>3</sup>
Consommation de mazout sur la période	798 litres
Energie mesurée pour la préparation ECS	4'556 kWh
Température de production ECS typique	entre 64°C et 70°C



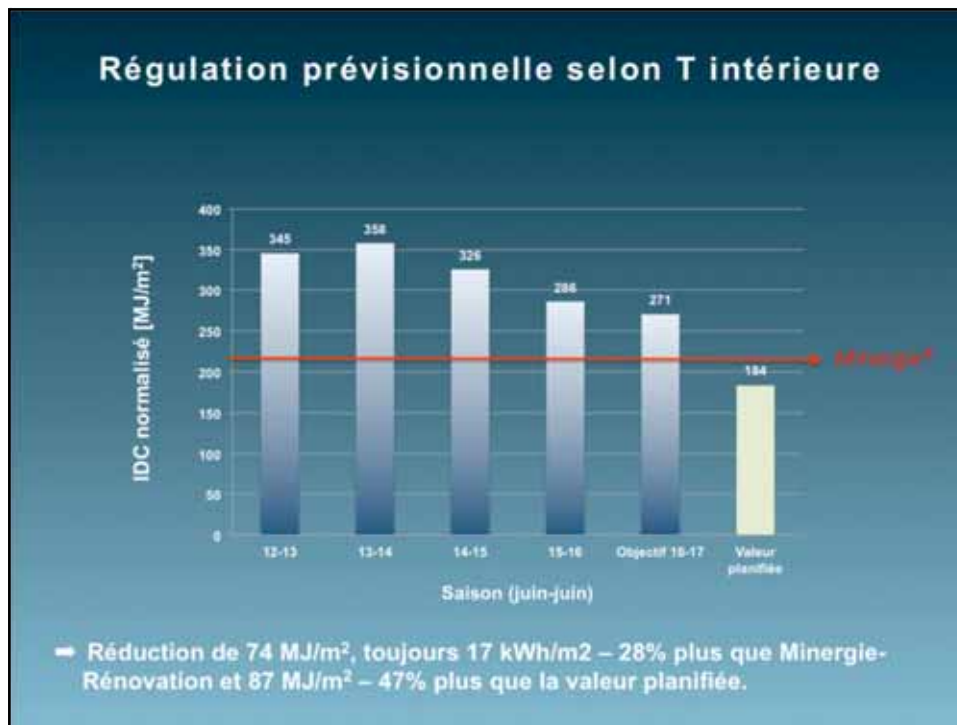
Nous nous sommes intéressés au rendement de la chaudière en été. Le premier graphique montre le pourcentage du temps où l'eau est tiré à chaque température dans le ballon de stockage. Le graphique de droite montre le pourcentage du temps où l'eau est distribué à chaque température. On peut voir facilement que la grande majorité du temps l'eau est tiré à une température >30°C et pour le 20% du temps elle est même >54°C. Pour ce qu'est la température de distribution, l'eau est surchauffé avec plus de 75% du temps à >64°C. Dans ces conditions, le rendement de production de chaleur pour l'ECS a été mesuré que 55%. Ces mesures montrent qu'il est possible l'améliorer la part d'énergie solaire et améliorer le rendement de la chaudière en diminuant la température de distribution.

## Le cercle vicieux

- Le chauffagiste règle la courbe de chauffage trop haut pour satisfaire tous les locataires et « ne pas avoir des appels ».
  - Les locataires règlent les vannes sur 4-5 dès qu'ils sentent le moindre courant froid « parce que les radiateurs sont tièdes »
  - Ils laissent la fenêtre ouverte parce qu'ils n'ont jamais froid
- ⇒ Un mauvais réglage entraîne de mauvais comportements, avec pour conséquence 144 et 156 MJ/m<sup>2</sup> de surconsommation (+86% et +85%)
- ⇒ Ceci a été observé avec des petits assainissements énergétiques



Suite à une année d'observation, le deuxième bâtiment a été optimiser afin de réduire la température dans les logements. Un système de régulation prévisionnel avec des sondes de température dans chaque logement a été installé. Initialement la courbe de chauffage a été corrigée sur la base de la température dans 3 logements. On voit déjà une première baisse de température moyenne. Après 7 semaines de suivi, des sondes de température ont été installées dans presque tous les logements. On peut observer que les 3 logements initiaux ont été par hasard le 3 logements le plus froids. On voit que la majorité des logements été au dessus de la zone de confort cible de 19-21.5°C (zone verte). Un deuxième tour d'optimisation a réduit la température moyenne de l'ensemble des logements. Nous avons une réduction générale moyenne de 2°C et une disparité beaucoup plus réduite entre les logements les plus froids et les logements les plus chauds.



Sur ce graphique nous pouvons observer une première réduction de la consommation en 2014-2015 avant la réduction de la température dans les logements. Elle est due à l'optimisation et à la résolution des problèmes techniques du système de capteurs solaires thermiques. En 2015-2016 la réduction est grâce à la réduction de la température dans les logements. Mais cette réduction était effective que pendant la moitié de la saison de chauffage. La réduction attendue sur une saison de chauffage entière est celle indiquée comme objectif 2016-2017 si aucune autre mesure n'est prise. Avec cet optimisation on atteint une réalisation des objectifs en termes de réduction des besoins de chaleur qu'attend le 80% des économies planifiées au lieu de ~50% avant optimisation et 42% en moyenne selon l'étude de Jad Houry.

Une série d'autres mesures ont été planifiées pour se rapprocher encore plus à la valeur planifiée:

- Optimisation du bruleur de la chaudière pour réduire son littrage
- Réduction de la température de stockage de l'ECS de 67°C à 58°C
- Arrêt du circulateur d'ECS de 23 heures à 6 heures.
- Réduction des heures de fonctionnement des ventilateurs hybrides en les faisant

## Conclusion

### **1/3 modélisation, 1/3 réglages, 1/3 comportement**

- Les conditions standard de la SIA 380/1 pour logements collectifs correspondent à la réalité des anciens bâtiments, mais pas à celle des bâtiments isolés et étanches de haut standard énergétique:
  - Une valeur réaliste de T intérieure dans les logements collectifs rénovés est 21.5 °C avec régulation avancée et 22 °C standard.
  - Le voilage de stores en hiver se situe entre 30 et 40%.
  - Il y a minimum 0.2-0.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h de débit thermiquement actif supplémentaire par les fenêtres, quel qu'il soit le système de ventilation, surtout avec fenêtres oscillobattantes.
  - Les besoins d'ECS sont supérieurs à 75 MJ/m<sup>2</sup> pour petits logements.
- Il y a un sérieux problème de réglage de la courbe de chauffage après travaux
- Une partie du comportement des occupants dépend de leur perception du confort, mais une autre partie dépend du bâtiment et de ses réglages.

Comme conclusion, nous pouvons attribuer

1/3 de l'écart de performances aux hypothèses trop optimistes de la norme 380/1 qui ne correspondent pas aux conditions réalistes d'utilisation d'un immeuble de logements.

1/3 aux problèmes de réglage de la courbe de chauffage qui induit une température trop élevée dans les logements.

1/3 au comportement des locataires, qui mettent les vannes thermostatiques sur 4 et sur 5 et qui ouvrent trop les fenêtres. Le comportement des locataires est aussi lié aux problèmes de régulation. Si la courbe de chauffage est correctement fixée, une vanne thermostatique sur 5 ne devrait pas donner plus de 23°C, et une fenêtre ouverte refroidirait plus rapidement le logement pour être fermée.



## Recommandations: $\frac{2}{3}$ potentiel d'optimisation

### $\frac{1}{3}$ conception, $\frac{1}{3}$ réglages, $\frac{1}{3}$ suivi-information

- Même si les calculs normatifs se font avec les conditions standard, planifier les objectifs avec conditions: 22°C, débit thermiquement actif +0.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h, facteur de voilage 40%, rendement ECS 70%.
- Mettre dans le cahier de charges le dimensionnement du chauffage et le calcul de la température de distribution prévisible. Vérifier la mise en service.
- Prévoir un équilibrage du réseau hydraulique avant mise en service.
- Mesurer la température intérieure pendant la première année et ajuster la courbe de chauffage pour avoir une moyenne < 21.5°C.
- S'il y a une ventilation contrôlée, éviter les fenêtres oscillo-battantes dans les pièces de séjour et limiter l'ouverture à 5 cm.
- Prévoir un mandat d'optimisation après mise en service, avec objectifs déclarés en avance sur la température intérieure, la qualité de l'air et la consommation et un protocole de suivi et de contrôle.
- Informer les locataires sur la bonne conduite de manière simple, concrète et spécifique pour leur bâtiment (vannes thermo, T intérieure, ouv. Fenêtres)

Même si toutes les mesures d'optimisation qui sont listés dans ce transparent sont réalisées, le tiers de l'écart de consommation qui est lié aux conditions d'utilisation trop optimistes dans les calculs ne sera pas réalisé. Il est impossible d'imposer une température moyenne de 20°C dans un immeuble isolé, comme il est impossible d'interdire l'ouverture des fenêtres ou d'imposer une automatisation des stores pour gagner tous les gains solaires passifs. Mais 2/3 de la surconsommation est possible à éviter avec une optimisation du bâtiment sur une ou deux années d'exploitation et une anticipation des problèmes déjà à la planification (spécifications de la courbe de chauffage, choix des fenêtres et leur typologie d'ouverture, équilibrage du réseau hydraulique avant la mise en service). Nous recommandons aussi de simuler la consommation après travaux et d'évaluer le potentiel d'économie avec des conditions d'utilisation plus réalistes que les conditions standards pour ne pas créer des attentes trop optimistes.