



INGENIEURS CONSEILS
26160 Félines sur Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 - sidler@enertech.fr

Les Solutions Techniques de Référence en pratique

Olivier SIDLER

Avril 2015

Diffusion sous licence Créative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)
Attribution : Olivier SIDLER, Enertech, Avril 2015
Pas d'utilisation Commerciale
Pas de Modification
Voir <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Attribution - Pas d'Utilisation
Commerciale - Pas de Modification 4.0
International (CC BY-NC-ND 4.0)

LES SOLUTIONS TECHNIQUES DE REFERENCE (STR) EN PRATIQUE

1 - Comment déterminer les moyens à mettre en œuvre pour rénover à « 50 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an » ?

Déterminer quelles sont les dispositions techniques qu'il est nécessaire de mettre en œuvre pour atteindre réellement une consommation de chauffage de 50 kWh/m²/an n'est pas très simple. Il est hors de question d'utiliser la méthode de calcul réglementaire dont ce n'est pas l'objet ni le rôle. Il s'agit d'une méthode de calcul conventionnelle basée sur de nombreuses hypothèses conduisant à un résultat lui-même conventionnel comme l'est la consommation normalisée des véhicules. Le calcul réglementaire n'est donc pas une prévision de consommation. Il n'est pas non plus possible de faire des calculs simplifiés basés sur les degrés jours car il est nécessaire de tenir compte des apports solaires (qui jouent un rôle important dans le bilan), des apports internes et des charges thermiques exactes. Seuls les outils de simulation thermique dynamique permettent cela.

On peut discuter pour savoir si chaque bureau d'études en France est capable de conduire ce type de calcul (aujourd'hui on en est très loin), mais s'agissant des artisans il existe une certitude : il n'y en a aucun. Inutile donc de fixer l'objectif à atteindre sans fournir simultanément des méthodes simplifiées qui permettront d'arriver aux bons résultats avec une marge d'erreur limitée. Car il n'est pas non plus raisonnable d'envisager, pour la rénovation de chaque maison individuelle, l'élaboration de calcul complexes et sophistiqués.

Signalons qu'aujourd'hui le calcul réglementaire est la seule procédure imposée aux concepteurs lors des rénovations importantes. Cela reste une manière très incertaine d'évaluer une performance, et il faudra un jour songer à l'abandonner...

Une récente mission a permis de comparer les valeurs issues du calcul réglementaire effectué par des bureaux d'études à un calcul de contrôle rigoureux. Il est apparu que dans deux opérations sur trois, le calcul réglementaire est incorrect et la valeur limite de C_{ep} est dépassée (respectivement de +8,6%, +9,4 % et - 2,4 % dans le dernier cas conforme). Les principales causes de divergence identifiées sont un calcul trop imprécis des métrés de la SHON et des parois déperditives (jusqu'à 30% d'erreur !), une sous estimation, voire la négligence partielle, des ponts thermiques (notamment des ponts thermiques structurels), des erreurs sur le calcul des coefficients de déperditions.

La mission a aussi permis de comparer les consommations du calcul réglementaire et les consommations réelles (en comparant bien sûr des usages identiques et en utilisant les mêmes unités). La consommation des cinq usages conventionnels dépasse la valeur issue du calcul réglementaire de 71,3 % sur une opération, de 9,3 % sur la seconde, mais est inférieure de 33,5% sur la troisième. Parmi les causes de divergence on retrouve évidemment de manière récurrente la température ambiante, mais on a aussi pu mettre en évidence le non respect des engagements pris dans le calcul réglementaire sur le niveau d'étanchéité à l'air de l'enveloppe.

On peut donc s'interroger sur le bien-fondé d'une approche qui se veut « ouverte » au sens où chaque concepteur est censé pouvoir « optimiser » les solutions qu'il met en œuvre. Le débat entre obligation de moyens et obligation de résultats est posé. Certes le calcul réglementaire n'est pas une prévision de consommation, mais plutôt que laisser chacun faire une optimisation qui n'en est pas vraiment une, il serait certainement préférable de s'orienter vers des obligations de moyens. On serait alors certain d'atteindre une performance minimale, ce qui, dans le contexte actuel de crise énergétique et climatique, est la moindre des choses....

Les Solutions Techniques de Référence décrites dans ce qui suit s'inscrivent dans cette logique visant à la fois l'efficacité de la performance et de l'action (moins de temps passé pour les artisans).

2 - L'utilisation de la simulation dynamique pour construire des bouquets de solutions – Principes méthodologiques

2.1 Les principes de la méthode

Ce qui suit est un travail important conduit par le bureau d'études Enertech qui en est propriétaire. Il vise à offrir des ensembles de solutions techniques permettant à n'importe quel artisan d'obtenir les résultats recherchés.

Les Solutions Techniques de Référence ont été développées dans le but de simplifier la détermination des caractéristiques d'isolation à mettre en œuvre dans une rénovation thermique visant à atteindre une consommation après rénovation de l'ordre de 50 kWh_{ep}/m²_{shab}/an.

Rénover rapidement et économiquement 16 millions de résidences principales suppose à tout prix de rationaliser l'approche et de ne pas s'égarer dans la tentation de traiter 16 millions de cas particuliers. Il faudra pour cela accepter collectivement quelques règles simplificatrices qui éviteront l'écueil d'une approche individualiste. Celle-ci serait suicidaire et pourrait avoir raison du programme de rénovation.

La simplification qui est proposée ici s'appuie sur une observation simple : pour qu'un pays consomme 50 kWh/m²/an (chauffage seul) après rénovation, il y a deux manières de faire. Soit chaque logement doit impérativement consommer 50 kWh/m²/an. Ceci est pratiquement irréalisable. Soit, tous les logements n'ont pas la même consommation, mais en moyenne la consommation nationale est de 50 kWh/m²/an.

C'est cette seconde option sur laquelle se fonde la méthode proposée dans ce qui suit. A partir de **plus de 6000 simulations dynamiques** (au moyen du logiciel TRNSYS) sur un panel de bâtiments de logements représentatifs du parc ancien, de très nombreuses configurations techniques ont pu être testées en faisant varier les résistances thermiques **additionnelles** mises en œuvre (il s'agit bien de résistance additionnelle et non de la résistance du mur une fois isolé), la nature des systèmes de ventilation, la qualité de l'étanchéité à l'air, la nature de l'isolation (intérieure ou extérieure), la zone climatique, etc.

Les simulations ont été conduites sur quatre bâtiments comprenant des maisons individuelles et de petits bâtiments collectifs. Les résultats peuvent donc s'appliquer indistinctement aux deux.

Cet ensemble de simulations, conduit en 2009 ¹, a permis de faire émerger des bouquets de travaux particuliers qui, mis en œuvre dans toutes les rénovations à partir d'aujourd'hui, permettra d'atteindre l'objectif des « 50 kWh/m²/an ».

L'approche par bouquets de combinaisons techniques cohérentes entre elles apparaît donc comme la seule qui permettra d'atteindre avec une bonne précision les objectifs ambitieux qui sont poursuivis, sans avoir à faire de calcul.

2.2 Les hypothèses faites et utilisées pour les calculs de besoin par simulation

2.2.1 L'échantillon

Comme pour les simulations préparatoires effectuées sur le calcul réglementaire (utilisation de la maison « Mozart »), l'échantillon utilisé ici a été volontairement réduit pour limiter le temps de calcul (il faut 5 minutes pour simuler un bâtiment sur une année). La typologie d'un bâtiment « moyen » (c'est à dire correspondant à la volumétrie traditionnelle d'un pavillon ancien sur R+1, et doté d'une surface vitrée du type 1/6 à 1/5 de la surface habitable) est suffisante. L'échantillon comporte donc une maison individuelle et trois petits immeubles collectifs de caractéristiques très standards (il est à noter que les premiers travaux de simulations menés en 2004 avaient utilisé un échantillon plus large sans apporter une précision supérieure).

2.2.2 Le type d'isolation

L'**isolation** peut être **intérieure** ou **extérieure**. Dans le premier cas les ponts thermiques spécifiques induits par l'isolation intérieure ont été pris en compte.

2.2.3 Le niveau d'étanchéité à l'air

Le niveau **d'étanchéité à l'air** de l'enveloppe une fois rénovée, mesurée à la porte soufflante, peut-être de **n₅₀ = 1,0 ou de 3,0 vol/h** (soit des Q4 en maison individuelle respectivement d'environ 0,25 et 0,8 m³/h/m²),

2.2.4 Les résistances additionnelles des parois opaques

Les **résistances additionnelles** sur les parois opaques valent :

- mur : 2,5 / 4,5 / 6,0 et 7,5 m²/K/W
- plancher bas : 2,5 / 4,5 et 6,5 m²/K/W
- toiture : 7,5 et 10 m²/K/W

2.2.5 Les menuiseries extérieures

Les **menuiseries extérieures** ont des U_w de 1,7 / 1,1 / 0,8 W/m²/K

2.2.6 La ventilation

Trois types de **ventilation mécanique** (la ventilation naturelle ne permettant pas d'atteindre les performances visées) ont été utilisés :

¹ « Rénovation des bâtiments à basse consommation d'énergie » - Décembre 2009 - CARPENTIER C. – Rapport de stage de fin d'étude - Ecole Polytechnique/Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

- ventilation simple flux autoréglable assurant un débit permanent de 0,54 vol/h,
- ventilation hygroréglable assurant un débit moyen de 0,30 vol/h,
- ventilation double flux assurant un débit permanent de 0,54 vol/h et permettant une récupération de chaleur au moyen d'un échangeur d'efficacité 70 %.

Il est à noter que toutes les simulations dynamiques ont été établies sur les seules charges thermiques de la ventilation. La question de la consommation d'électricité des ventilateurs est en pleine mutation et ne peut pas être figée dans le calcul comme le fait le calcul réglementaire. Pourquoi ce choix qui peut *a priori* paraître discutable ?

La puissance absorbée par un ventilateur centrifuge s'écrit :

$$P_{\text{él}} = D * \Delta P / \eta$$

où :

- $P_{\text{él}}$: puissance électrique en [W]

- D : débit [m^3/s]

- ΔP : différence de la pression totale aux bornes du ventilateur [Pa]

N.B. : la pression totale est la somme de la pression statique et de la pression dynamique (qui vaut quant à elle $\rho / 2 * V^2$)

- η : rendement du moto-ventilateur

Comme l'atteste les campagnes de mesure, il apparaît que la consommation est très sensible :

- au niveau du débit d'air. Or il apparaît que les réseaux sont encore aujourd'hui le siège d'un taux de fuite considérable (on peut mesurer au ventilateur le double du débit extrait aux bouches, ce qui multiplie par deux le niveau de consommation du ventilateur !),

- au niveau des pertes de charge des réseaux. Là aussi les réseaux sont souvent très mal réalisés, avec de nombreux étranglements, des sections trop faibles (pour gagner quelques euros...). La profession doit progresser, utiliser des conduits lisses, pratiquer des courbures amples, dimensionner correctement les sections, éviter les bouches et les régulateurs de débit à trop fortes pertes de charge. Ceci devrait contribuer à réduire significativement la consommation des installations,

- au rendement du moto-ventilateur. Celui-ci était jusqu'à il y a peu très faible. Mais l'arrivée de nouvelles technologies (aimants permanents, etc) et de nouveaux aubages devrait là aussi changer rapidement la donne.

La consommation d'électricité reste un paramètre jamais pris en compte lors de la conception des installations. Les mesures ont montré des plages de variation de consommation d'électricité par m^2 habitable allant de 1 à 7 pour des ventilations hygroréglables, et même des ventilations hygroréglables consommant deux fois plus que des ventilations double flux.

Toutes ces observations doivent conduire à la plus grande prudence et ne rien figer dans des certitudes à l'heure actuelle. Les technologies des réseaux (réseaux étanches, régulation à faible ΔP), celles des moto-ventilateurs (introduction des moteurs à aimant permanent), la compétence des artisans et des entreprises ont déjà évolué ou vont le faire très vite dans les années à venir. On doit s'attendre à une baisse très significative de la consommation des systèmes de ventilation.

Voici pourquoi il a paru plus sage de ne pas inclure la consommation des ventilateurs dans l'analyse des besoins thermiques des bâtiments.

2.2.7 Apports internes

En logement, les apports internes sont essentiellement dus à l'électroménager et aux apports humains. Les simulations ont donc été menées heure par heure en utilisant les apports moyens observés sur près de 2000 logements suivis par Enertech ces dernières années (sauf pour les apports humains bien sûr). Ces apports sont connus au pas de temps de 10 minutes et regroupés pour les besoins de ces simulations au pas de temps de l'heure.

2.2.8 Zones climatiques

Les simulations dynamiques ont été effectuées dans les trois principales zones climatiques (les zones H1, H2, H3). Les villes choisies pour leurs données météo sont Lyon (H1), Bordeaux (H2) et Nice (H3).

2.3 Le traitement des résultats de simulation – Les combinaisons de travaux

Dans chaque zone climatique, les résultats obtenus (pour chaque combinaison de travaux) sur les maisons individuelles et les immeubles collectifs ont d'abord été moyennés par type, puis une moyenne nationale a été déterminée par pondération de ces besoins moyens par le nombre de logements de chaque type dans chaque zone climatique, ce qui a permis de caractériser chaque combinaison de solutions par une valeur unique des besoins de chauffage à l'échelle nationale. L'intérêt de cette pondération est de donner un poids à chaque zone climatique dans le résultat final qui tienne compte à la fois de la rigueur du climat et de la taille du parc de logements.

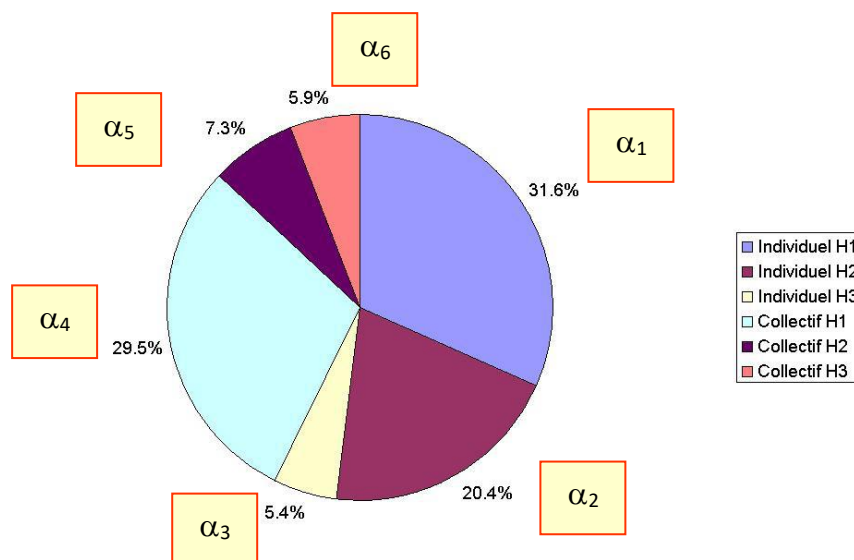


Figure 1 : Répartition des logements français par type de bâtiment et par zone climatique. Données du recensement de l'INSEE de 1999

Le besoin national moyen s'écrit :

$$B = \sum_{i=1}^3 \alpha_i * BMI_i + \sum_{i=4}^6 \alpha_i BC_{i-3}$$

$$\sum_{i=1}^6 \alpha_i = 1$$

Il est à noter qu'il aurait fallu prendre la structure du parc des logements d'avant 1975 pour être tout à fait rigoureux. Mais ce faisant on a donné plus de poids à la maison individuelle (comptée à 57 % en 1999 et seulement à 53% en 1975), ce qui aura pour effet un petit renforcement des dispositions.

On obtient ainsi 432 combinaisons constituant chacune un ensemble de solutions traitant de tous les paramètres (nature de l'isolation, qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, résistance additionnelle de chaque paroi, nature de la ventilation, etc), mais ne conduisant évidemment pas aux mêmes besoins de chauffage. Il est important de bien comprendre que chacune des valeurs obtenues avec ces 432 combinaisons est le résultat de nombreuses simulations.

Ces 432 combinaisons sont regroupées sur 4 graphiques figurant au § 2.4. Les quatre graphiques correspondent aux combinaisons que l'on peut obtenir avec deux types d'isolation (intérieure ou extérieure) et deux niveaux d'étanchéité à l'air de l'enveloppe (1 ou 3 vol/h pour n_{50}).

A partir de ces 432 ensembles, il devient facile de déterminer quels sont les bouquets de solutions susceptibles de satisfaire un niveau de besoins déterminé.

On a distingué deux niveaux de besoins en fonction de la nature de l'énergie du chauffage d'origine (énergie en principe conservée après la rénovation) :

■ *niveau de besoins pour tous les systèmes de chauffage à combustibles*

Le parti pris a été de ne pas tenter de simuler « les systèmes » au moyen des outils de simulation dynamique (ce qui aurait en théorie permis de déterminer directement la consommation de chauffage). Car ceci aurait supposé une grande précision descriptive des installations futures, chose parfaitement impossible quand on connaît la réalité du terrain.

La stratégie a donc été :

- d'imposer un niveau de besoins très exigeant sur l'enveloppe et le renouvellement d'air (ce qui est une assurance et une garantie de performance pour le futur),

- de fixer un rendement global d'exploitation annuel de 70 % pour toutes les installations utilisant des combustibles. Ce rendement est le produit du rendement annuel de génération de chaleur (exprimé sur pcs), du rendement de distribution, du rendement de régulation (qui ne dépasse souvent pas 85%) et du rendement d'émission. Le niveau de 70% n'est pas très aisé à atteindre et nécessite beaucoup de soin pour y parvenir.

Ceci a amené à fixer des contraintes fortes sur tous les systèmes (voir le détail au § 3.2.5) afin d'atteindre avec certitude ce rendement. **Il n'est pas possible d'appliquer un bouquet de travaux sans mettre en place les dispositions qui s'imposent sur les systèmes.**

La conséquence de ces choix conduit à ce que les besoins de chauffage à satisfaire, pour atteindre l'objectif de consommation de 50 kWh/m²/an avec un rendement global annuel de 70%, sont de **35 kWh/m²/an**.

■ *niveau de besoins pour les systèmes de chauffage avec pompe à chaleur*

Seules les pompes à chaleur dont le COP annuel d'exploitation (COE incluant donc les auxiliaires amont, mais pas les auxiliaires aval type pompe de distribution de chauffage) est

supérieur à 3,0 sont acceptées pour l'utilisation des Solutions Techniques de Référence dédiées aux systèmes à combustible examinées ci-dessus. La source froide est indifférente : air extrait, géothermie, nappe phréatique etc.

Le rendement annuel de l'installation en aval de la PAC devra être au minimum de 80%. Il s'agit du produit des rendements de distribution, de régulation et d'émission de chaleur.

Si tous ces critères sont satisfaits, les besoins de l'enveloppe seront les mêmes que ceux des systèmes à combustibles, à savoir 35 kWh/m²/an.

■ **niveau de besoins pour tous les systèmes de chauffage à effet Joule**

A l'origine, les systèmes de chauffage à l'électricité en place lors des rénovations devaient être remplacés, si le propriétaire désirait conserver l'électricité pour son chauffage, par une pompe à chaleur répondant aux critères définis précédemment. Mais cette disposition est très vite apparue trop exigeante, notamment dans les petits logements.

L'alternative proposée, construite sur le chauffage par effet Joule, s'inspire de la stratégie mise en place vis à vis du chauffage électrique depuis la première réglementation thermique de 1974 : les caractéristiques thermiques de l'enveloppe sont plus exigeantes pour tenir compte du rapport énergie primaire/énergie finale propre à l'électricité. La valeur physique de ce coefficient telle qu'elle est utilisée au sein des ministères en France, est de l'ordre de 3,2. On supposera (ce qui n'est pas tout à fait exacte) que le rendement du chauffage par effet Joule dans le logement est de 1, si bien que les besoins de chauffage qu'il faudrait exiger pour des logements chauffés par effet Joule devraient être de 50/3,2....soit 15,6 kWh/m²/an. L'examen des 432 ensembles de travaux montre que c'est totalement impossible. Il a donc été décidé de fixer le niveau de besoins à 25 kWh/m²/an, ce qui est réalisable (même si c'est difficile). Mais ceci conduit à un coefficient énergie primaire/énergie finale de seulement 2,0. Afin de maintenir un certain équilibre entre les fournisseurs d'énergie pour faire en sorte que l'on obtienne un compromis acceptable par tous, il a été nécessaire de réfléchir également au système de production d'eau chaude sanitaire. Car si l'ECS est produite par un ballon électrique ordinaire, l'écart entre hydrocarbures et électricité Joule va devenir inacceptable pour les premiers.

La réflexion s'est aussi élargie au sujet de l'électricité en considérant qu'il n'est peut-être pas très réaliste continuer de raisonner seulement « français », puisqu'on parle de la « plaque européenne » et des interconnexions et échanges multiples qui existent autour de l'électricité. Certes, cette approche arrange la France qui est assez peu vertueuse en matière de rendement de production de l'électricité et de recours aux énergies renouvelables pour cette production, mais cela lui impose aussi d'adopter un raisonnement carbone également européen, lui retirant le droit à la singularité et à la revendication d'une électricité très peu carbonée. Cette approche paraît acceptable et est à la base de ce qui suit.

Construisons le raisonnement sur les hypothèses suivantes :

- Besoins de chauffage pour les combustibles : 35 kWh/m²_{Shab}/an
- besoins de chauffage pour l'électricité Joule : 25 kWh/m²_{Shab}/an
- besoins ECS quelle que soit la source d'énergie : 20 kWh/m²_{Shab}/an

Hypothèses sur les performances des systèmes :

- rendement global chauffage des systèmes à combustion : 70 %
- rendement global ECS des systèmes à combustion : 65 %
- rendement de stockage d'un ballon ECS : 85 %

- COP des ballons thermodynamiques (rapport Costic) incluant les pertes ballon : 1,8
- coefficient physique énergie primaire/énergie finale de l'électricité : 2,60 (rappelons que le coefficient 2,58 est un coefficient conventionnel. La moyenne physique européenne valait 2,64 en 2012 (dernière année de statistiques connues – Source : Energy Balance Sheets – Eurostat 2014) et nous avons supposé qu'elle pouvait valoir 2,60 aujourd'hui (grâce à l'importante pénétration des énergies renouvelables). Cette hypothèse est donc favorable pour la France mais l'oblige aussi à utiliser les contenus carbone européens du kWh.
- coefficient primaire/final des principaux hydrocarbures : 1,15

Solution	Consommation en kWh _{ep} /m ² _{shab} /an		
	Chauffage	ECS	Total
Combustibles classiques (chauffage+ECS)	57,5	35,4	92,9
Effet Joule + Ch eau électrique	65,0	61,2	126,2
Effet Joule + ballon thermodynamique	65,0	28,9	93,9

Figure 2 : Bilan en énergie primaire des différentes solutions

Cette approche a une grande vertu : elle met sur un pied d'égalité les solutions par combustibles classiques et les solutions combinant l'effet Joule associé à des chauffe-eau thermodynamiques.

La règle à respecter est donc simple pour les logements dotés d'effet Joule et qui veulent conserver cette solution : les dispositions de la rénovation doivent donc respecter le tableau de la figure 2 et le chauffe-eau électrique en place doit être remplacé par un chauffe-eau thermodynamique de très bonne qualité. Pour que le COP de ce chauffe-eau soit des meilleurs, il faudra que la « source froide » utilisée par le chauffe-eau soit la plus élevée possible, et que la température de stockage soit raisonnable (55°C devrait suffire).

Il s'agit donc bien là d'une solution d'équilibre et de compromis devant satisfaire tous les fabricants et fournisseurs d'énergie. Relevons que ce raisonnement à l'échelle européenne présente un certain nombre d'avantages dont la France devrait s'inspirer pour faire évoluer son mix de production.

Enfin, il existe une polémique dans la profession sur les performances très controversées des chauffe-eau thermodynamiques. Cette technologie possède beaucoup de vertus, mais suppose une grande rigueur dans la conception des ballons et le choix des températures de fonctionnement, ce qui n'est pas toujours le cas. Dans un avenir proche, il faudra que le COP de ces machines soient d'un niveau minimum de 2,0 (COP réel annuel mesuré selon la méthode du Costic).

2-4 Les Solutions Techniques de Référence (STR)

2.4.1 Cas des systèmes de chauffage par combustible ou PAC – Objectif 50

Dans ce cas, le niveau de besoins de chauffage est de 35 kWh/m²_{shab}/an. L'utilisation des graphiques des figures 8 à 11 regroupant les 432 combinaisons de travaux permet immédiatement de repérer quelles sont les combinaisons qui conduisent exactement au résultat. Rappelons qu'il s'agit ici d'une approche physique (une approche d'ingénieur). On verra plus loin que les tableaux de STR devront être légèrement modifiés pour tenir compte des contraintes des organismes financeurs (qui imposent des valeurs minimales des résistances additionnelles).

On obtient ainsi les dix combinaisons de base des STR satisfaisant exclusivement les équilibres physiques pour les logements dotés de systèmes de chauffage par combustible ou par PAC (COE > 3) :

N° Solution	Isolation Int / Ext	Etanchéité air n ₅₀ (vol/h)	Résist. additionnelles [m ² .K/W]			U _w [W/m ² .K] Menuis.ext.	Ventilation
			Murs	Plancher bas	Toiture		
1	Int	3,0	6,0	4,5	10	1,1	Double Flux
2	Int	3,0	4,5	4,5	10	0,8	Double Flux
3	Int	1,0	4,5	4,5	10	1,7	Double Flux
4	Int	1,0	4,5	2,5	7,5	1,1	Double Flux
5	Ext	3,0	4,5	4,5	7,5	1,7	Double Flux
6	Ext	3,0	4,5	2,5	7,5	1,1	Double Flux
7	Ext	3,0	6,0	4,5	10	0,8	Hygro
8	Ext	1,0	4,5	2,5	7,5	1,7	Double Flux
9	Ext	1,0	2,8	2,5	7,5	1,1	Double Flux
10	Ext	1,0	4,5	2,5	7,5	0,8	Hygro

Figure 3 : Les Solutions Techniques de Référence (STR) pour logements dotés de systèmes de chauffage par combustible ou par PAC (COE>3)

Domaine d'application : toutes les rénovations ne recourant pas aux financements publics pour les travaux – Avril 2015
 Mais en 2015, les organismes financeurs de la rénovation thermique (ECO PTZ, CITE, ANAH) imposent des contraintes minimales aux résistances additionnelles, si bien qu'un certain nombre de bouquets de travaux ont dû être modifiés.

Voici les STR à utiliser en cas de recours à l'argent public pour le financement des travaux :

N° Solution	Isolation Int / Ext	Etanchéité air n ₅₀ (vol/h)	Résist. additionnelles [m ² .K/W]			U _w [W/m ² .K] Menuis.ext.	Ventilation
			Murs	Plancher bas	Toiture		
1	Int	3,0	6,0	4,5	10	1,1	Double Flux
2	Int	3,0	4,5	4,5	10	0,8	Double Flux
3	Int	1,0	4,5	4,5	10	1,7	Double Flux
4	Int	1,0	4,5	3,0	7,5	1,4	Double Flux
5	Ext	3,0	4,5	4,5	7,5	1,7	Double Flux
6	Ext	3,0	4,5	3,0	7,5	1,4	Double Flux
7	Ext	3,0	6,0	4,5	10	0,8	Hygro
8	Ext	1,0	4,5	3,0	7,5	1,7	Double Flux
9	Ext	1,0	3,7	3,0	7,5	1,4	Double Flux
10	Ext	1,0	4,5	3,0	7,5	1,1	Hygro

Figure 4 : Les Solutions Techniques de Référence (STR) pour logements dotés de systèmes de chauffage par combustible ou par PAC (COE>3) – Version compatible avec les exigences des organismes financeurs – Niveaux de besoins : 35 kWh/m²_{Shab}/an

Domaine d'application : toutes les rénovations recourant aux financements publics pour les travaux – Avril 2015

Remarque : dans le cas des menuiseries extérieures, rappelons que les contraintes des organismes financeurs portent à la fois sur la valeur de U_w mais aussi sur celle de S_w qui est le facteur solaire évalué sur la surface en tableau. Il faut respecter :

- U_w ≤ 1,3 W/m².K et S_w ≥ 0,3 ou bien :
- U_w ≤ 1,7 W/m².K et S_w ≥ 0,36

Rappelons aussi que, en complément de ces STR essentiellement destinées à améliorer la qualité de l'enveloppe et de la ventilation, il est nécessaire de respecter aussi toutes les dispositions imposées aux systèmes (voir § 2.5).

Dans la mise en œuvre des STR, la seule règle à respecter est qu'une fois choisi un ensemble de solutions, il faut adopter sans exception toutes les dispositions préconisées.

Pour les artisans et les TPME, il faut seulement apprendre à choisir la bonne solution parmi les dix proposées. Ce choix sera fondé sur les caractéristiques du bâtiment existant, sur les désirs du propriétaire et sur les coûts.

2-4-2 Cas des solutions de chauffage par effet Joule

Dans ce cas, le niveau des besoins de chauffage est de 25 kWh/m²_{Shab}/an. Les émetteurs qui peuvent être utilisés sont les convecteurs électriques et les panneaux radiants (qui sont plus confortables et plus économes).

Les Solutions Techniques de Référence, qui plus est compatibles avec les exigences des organismes financeurs, sont au nombre de 3 :

N° Solution	Isolation Int / Ext	Etanchéité air n ₅₀ (vol/h)	Résist. additionnelles [m ² .K/W]			U _w [W/m ² .K] Menuis.ext.	Ventilation
			Murs	Plancher bas	Toiture		
1	Int	1,0	7,5	6,5	10	0,8	Double Flux
2	Ext	1,0	6,0	4,5	10	1,1	Double Flux
3	Ext	1,0	4,5	3,0	10	0,8	Double Flux

Figure 5 : Les Solutions Techniques de Référence compatibles avec un chauffage par effet Joule déjà en place. Avril 2015 – Besoins de 25 kWh/m²_{Shab} /an.

On se reportera au § 2-5-5 concernant les dispositions particulières imposées pour l'utilisation de ces STR « électriques ». Rappelons également une exigence forte : le chauffe-eau électrique en place devra obligatoirement être remplacé par un ballon thermodynamique avec un COP moyen d'exploitation sur l'hiver au moins égal à 1,8.

2.4.3 Cas des systèmes de chauffage par combustible ou PAC- Solutions de Classe B

Une variante aux cas précédents, que l'on pourrait appeler classe de performance énergétique B, consiste à choisir un niveau de besoins de chauffage un peu dégradé de 40 kWh/m²_{Shab}/an qui conduira à un niveau de consommation (pour combustible et PAC) de 40/0,7 = 57 kWh/m²_{Shab}/an. De la même manière que précédemment on va utiliser les graphiques des figures 8 à 11 pour déterminer les combinaisons acceptables.

La liste des combinaisons est la suivante :

N° Solution	Isolation Int / Ext	Etanchéité air n ₅₀ (vol/h)	Résist. additionnelles [m ² .K/W]			U [W/m ² .K] Menuis.ext.	Ventilation
			Murs	Plancher bas	Toiture		
1	Int	3,0	4,5	4,5	10	1,4	Double Flux
2	Int	3,0	7,5	6,5	10	1,1	Hygro
3	Int	3,0	4,5	3,0	7,5	1,3	Double Flux
4	Int	3,0	6,0	4,5	10	0,8	Hygro
5	Int	1,0	4,5	4,5	10	1,1	Hygro
6	Int	1,0	3,7	3,0	7,5	1,7	Double Flux
7	Int	1,0	4,5	3,0	7,5	0,8	Hygro
8	Int	1,0	7,5	6,5	10	0,8	Auto Réglab.
9	Ext	3,0	6,0	4,5	10	1,7	Hygro
10	Ext	3,0	4,5	4,5	7,5	1,1	Hygro
11	Ext	3,0	3,7	3,0	7,5	1,7	Double Flux
12	Ext	3,0	4,5	3,0	7,5	0,8	Hygro
13	Ext	1,0	4,5	3,0	7,5	1,7	Hygro
14	Ext	1,0	6,0	6,5	10	0,8	Auto Réglab.

Nota : Double flux : échangeur d'efficacité 70%, débit de renouvellement d'air : 0,54 vol/h

Figure 6 : Les STR de classe B pour logements dotés de systèmes de chauffage par combustible ou par PAC (COE>3) – Version compatible avec les exigences des organismes financeurs – Avril 2015

Domaine d'application : toutes les rénovations recourant aux financements publics

2.2 Cas des logements chauffés par effet Joule – Solutions de classe B

Le tableau des solutions proposées pour permettre le maintien de l'effet Joule dans des opérations de classe B est construit sur des besoins de 28 kWh/m²_{Shab}/an :

N° Solution	Isolation Int / Ext	Etanchéité air n ₅₀ (vol/h)	Résist. additionnelles [m ² .K/W]			U _w [W/m ² .K] Menuis.ext.	Ventilation
			Murs	Plancher bas	Toiture		
1	Int	1,0	7,5	4,5	10	1,1	Double Flux
2	Ext	3,0	6,0	6,5	10	1,1	Double Flux
3	Ext	3,0	6,0	4,5	10	0,8	Double Flux
4	Ext	1,0	6,0	4,5	10	1,7	Double Flux
5	Ext	1,0	4,5	3,0	7,5	1,1	Double Flux
6	Ext	1,0	6,0	6,5	10	0,8	Hygro

Figure 7 : STR de classe B compatibles avec un chauffage par effet Joule déjà en place

Domaine d'application : toutes les rénovations recourant aux financements publics - Avril 2015

De la même façon que pour les combinaisons de classe A, les logements chauffés à l'effet Joule et faisant l'objet d'une rénovation de classe B devront procéder au remplacement du ballon électrique par un chauffe-eau thermodynamique doté des mêmes performances que celles décrites précédemment.

Par ailleurs, on observe aussi qu'il est totalement impossible de trouver des solutions utilisant l'effet Joule et une ventilation simple flux autoréglable. Ne pas récupérer la chaleur de l'air extrait fait perdre environ 20 à 25 kWh/m²_{Shab}/an et ne permet plus d'atteindre l'objectif de besoins de 28 kWh/m²_{Shab}/an en classe B. La meilleure des combinaisons associée à de la ventilation autoréglable simple flux exige du triple vitrage, des valeurs de R de 6 dans les murs, 6.5 en plancher bas et 10 en toiture et ne permet d'atteindre que 40 kWh/m²_{Shab}/an alors qu'on vise 28....

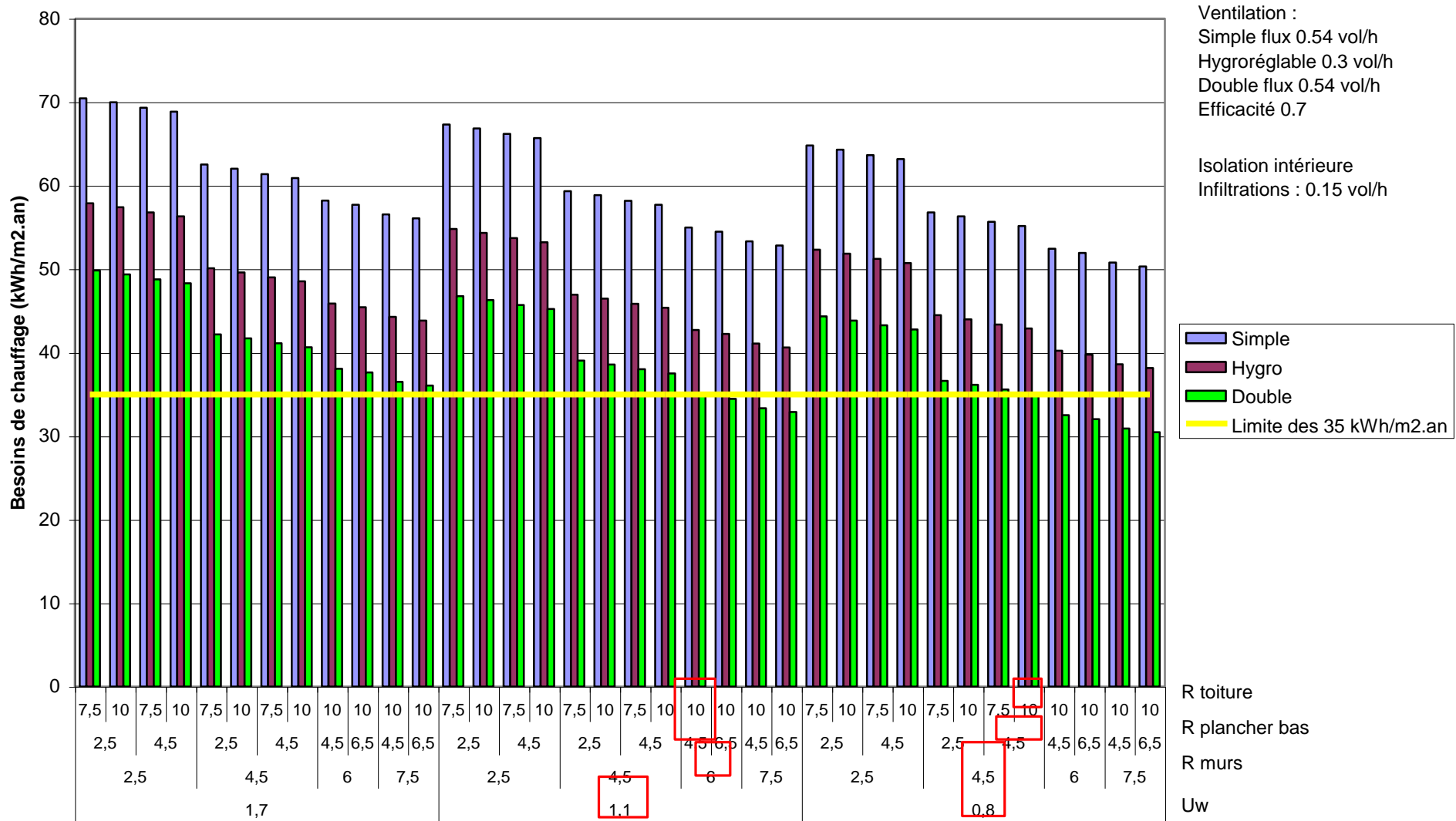


Figure 8 : Besoins de chauffage avec isolation INTERIEURE et ETANCHEITE à l'air $n_{50} = 3$ vol/h

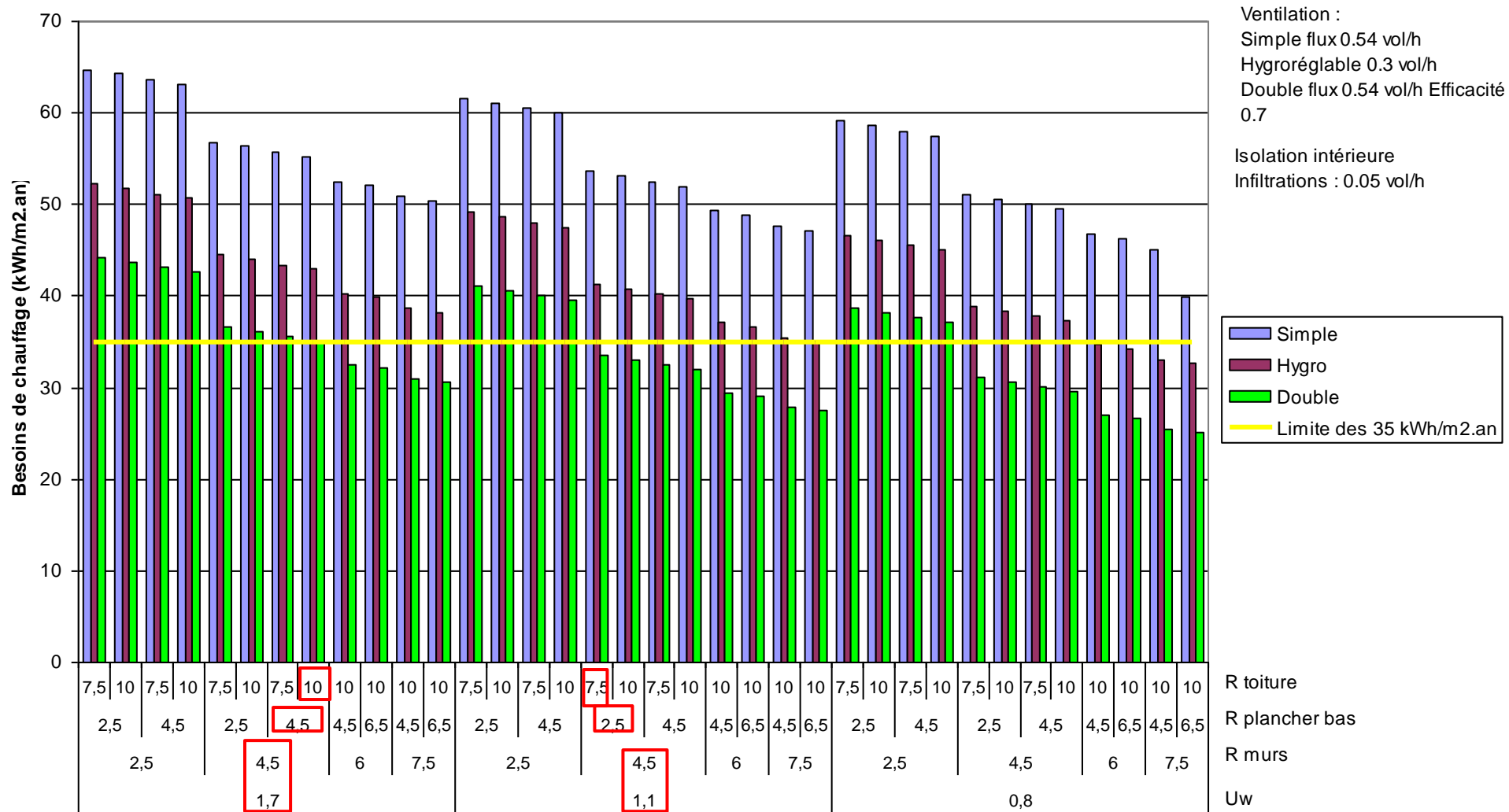


Figure 9 : Besoins de chauffage avec isolation **INTERIEURE** et **ETANCHEITE** à l'air $n_{50} = 1$ vol/h

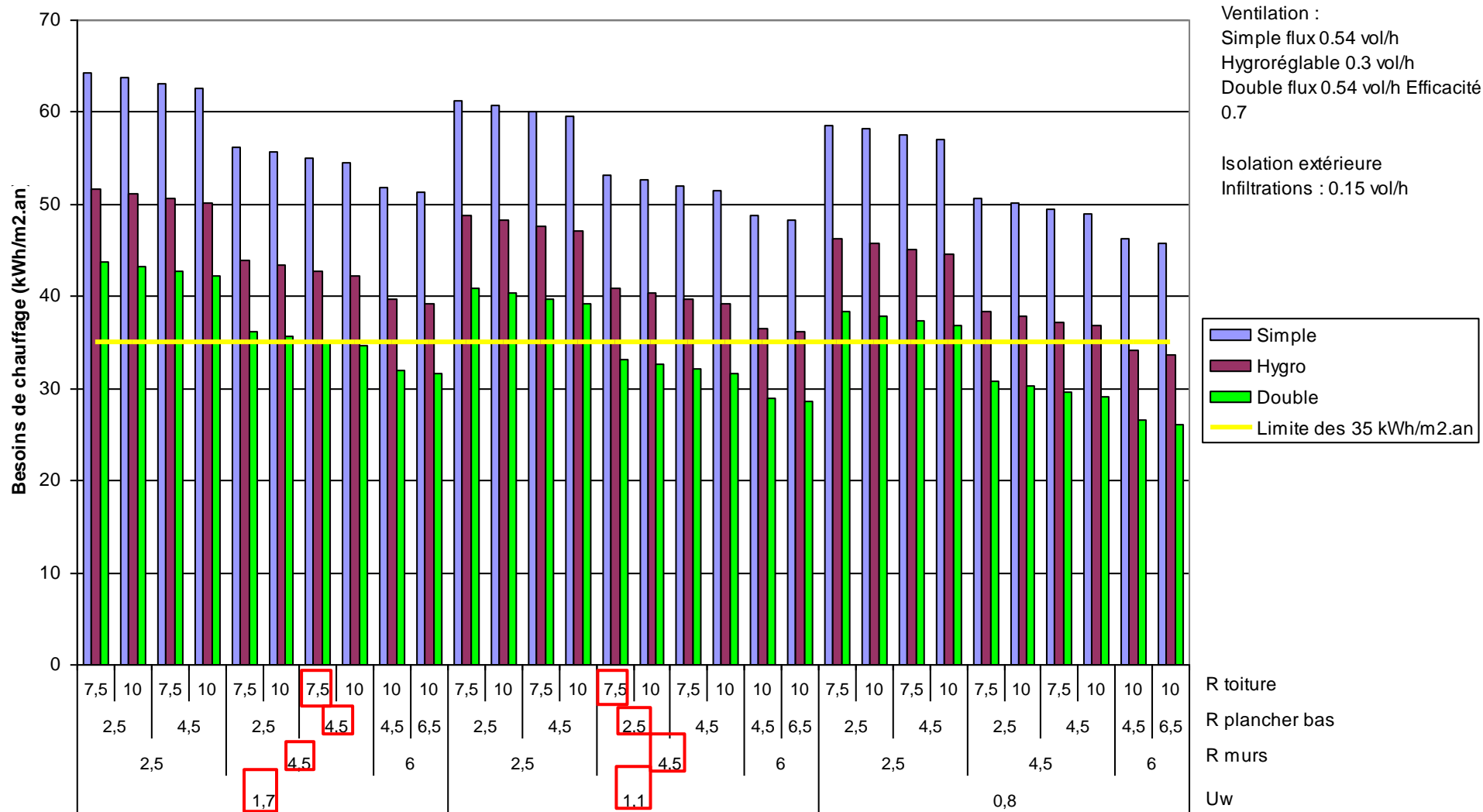


Figure 10 : Besoins de chauffage avec isolation **EXTERIEURE** et **ETANCHEITE** à l'air $n_{50} = 3$ vol/h

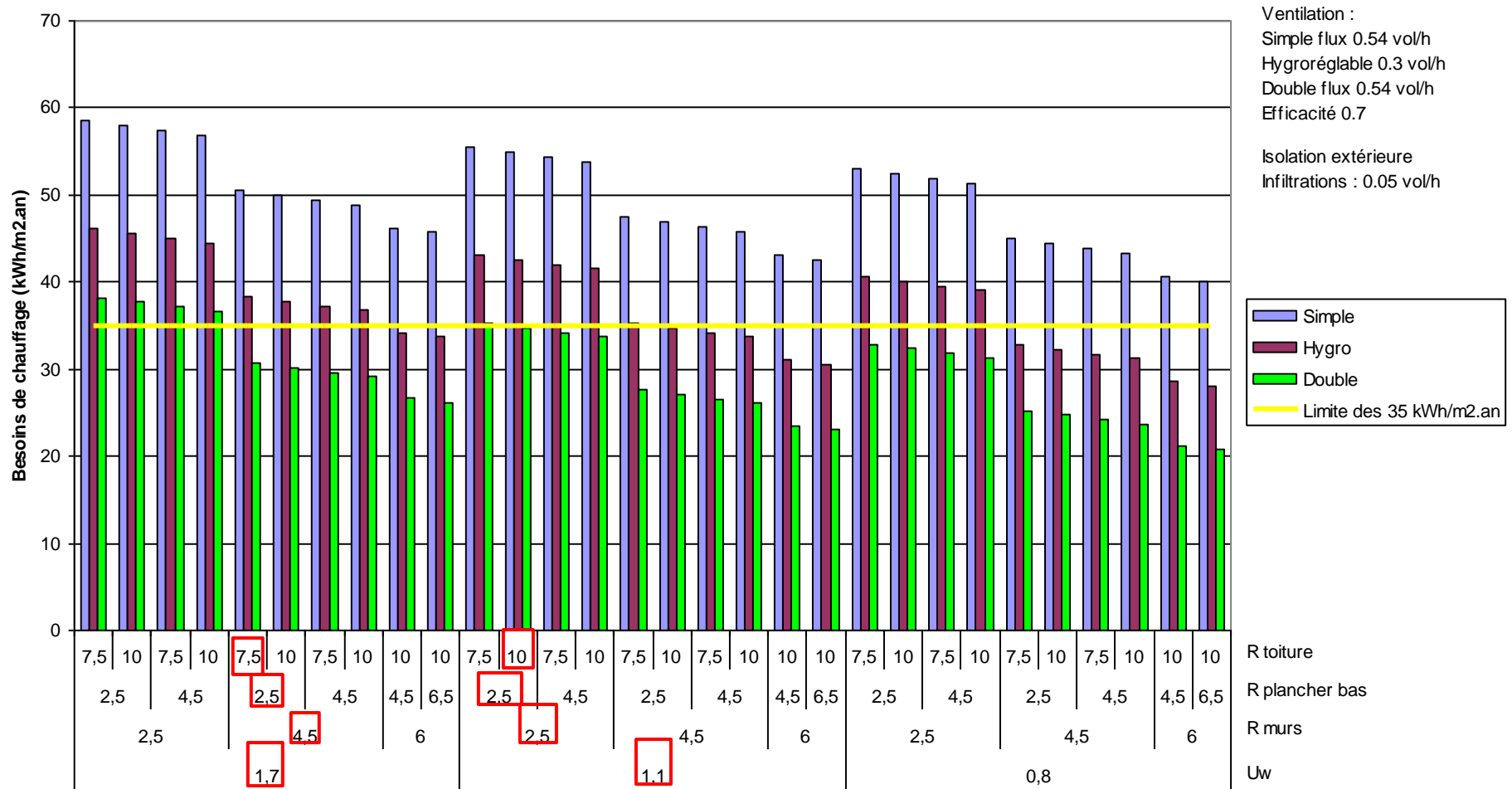


Figure 11 : Besoins de chauffage avec isolation EXTERIEURE et ETANCHEITE à l'air $n_{50} = 1$ vol/h

2-4-3 Les STR et le traitement des cas particuliers

L'application des STR doit pouvoir conserver une certaine souplesse car la rénovation se caractérise par un grand nombre de situations particulières souvent atypiques. Leur donner cette capacité d'adaptation doit donc rester une exigence majeure. Dans cette approche constructive qui se veut avant tout consensuelle, il ne faut jamais perdre de vue quels sont les grands enjeux. Lorsqu'on part d'une consommation de 250 à 400 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an, il n'est finalement peut-être pas si important que cela que le résultat final se situe à 70 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an plutôt qu'à 50 par suite d'une particularité technique ayant interdit la mise en œuvre parfaite d'un bouquet de travaux complémentaires.....

Le but des STR n'est pas de tout bloquer et de rendre impossible une opération de rénovation qui se heurte à une difficulté technique. Car d'expérience, la majorité des rénovations présente des particularités et nécessite que les solutions « s'adaptent » au mieux. L'intervenant doit être convaincu que, dans bien des cas, il ne pourra pas mettre en œuvre la solution parfaite dont il avait rêvé. C'est « le prix à payer » pour conduire à bien un grand programme de rénovation. Mais la philosophie poursuivie ici n'est pas d'en profiter pour en faire le moins possible : c'est au contraire de faire tout ce qu'il est possible d'imaginer et de mettre en œuvre pour aller dans le sens de l'objectif poursuivi (les « 50 kWh »), tout en respectant les équilibres financiers.

Mais dans ces adaptations nécessaires, il faudra toujours conserver à l'esprit que le principal écueil n'est pas tant la dégradation de la performance thermique (si la mesure reste raisonnable) que le risque de créer des pathologies réhivitoires. Ne pas isoler un élément de surface conduit bien sûr à augmenter les déperditions, mais cela provoque surtout l'apparition d'une surface froide qui pourra être le siège de condensations, et donc de dégradations, de pollution intérieure, voire de risques d'accident (humidité au sol). Le principal travail consistera donc à estimer de la manière la plus pertinente possible quels sont les risques réels présentés par les solutions alternatives qui seront mises en œuvre.

2-4-4 Cas particulier des planchers bas impossibles à isoler

Que le bâtiment soit sur cave, sur terre plein ou sur vide sanitaire, les STR prévoient toutes une isolation complémentaire de la dalle basse. Lorsque celle-ci se trouve sur une cave, il n'y a pas trop de problèmes techniques pour réaliser cette isolation. En revanche, lorsque la dalle est sur terre plein ou sur vide sanitaire, il est assez rare que le propriétaire ait justement prévu de refaire les sols en même temps que la rénovation thermique de son logement. Si on veut néanmoins lui imposer de force la destruction de son revêtement de sol et la pose en surface d'un isolant (avec les problèmes des portes et des placards, et ceux des marches d'escalier !), il renoncera immédiatement à la rénovation de son logement. On aura donc tout perdu pour n'avoir pas su s'adapter.

Il a donc été nécessaire d'étudier comment réduire l'impact énergétique d'une absence d'isolation de la dalle basse. Au demeurant, l'absence totale d'isolation de la dalle basse n'est pas qu'un problème de pertes de chaleur et de pont thermique. C'est aussi l'existence dans certains cas d'un risque de pathologie lié à la présence de surfaces froides (le nez de dalle) qui pourraient alors être le siège de condensations....

Deux solutions ont été envisagées. Elles ont fait l'objet d'une étude par simulation dynamique. Les deux conduisent à des résultats sensiblement équivalents :

1 - **placer une isolation verticale sur le mur extérieur** depuis le nez de la dalle jusqu'à la semelle de la fondation. Lorsque l'isolation est intérieure, on prolongera de 0,6 m cet isolant au-dessus du niveau du sol, lorsque c'est possible, afin de traiter le pont thermique

d'about de dalle.

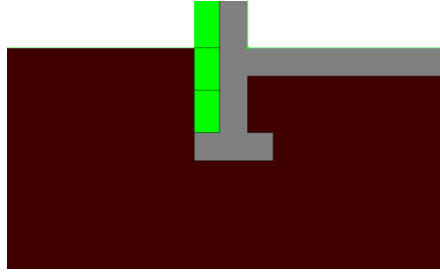


Figure 12 : Coupe verticale d'une isolation périphérique verticale

Cette opération nécessite l'intervention d'une mini-pelle qui est simple et très bon marché, ou pourra même être exécutée au moyen d'une disqueuse (si les abords de la maison sont recouverts d'une petite dalle). Cette isolation complémentaire est donc elle-même assez bon marché. La simulation dynamique a montré que, selon les cas, la part des pertes dues à la non isolation de la dalle basse (ordre de grandeur : 10 à 20 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an) peut être en partie compensée à hauteur de 30 % (ITI) à plus de 50 % (ITE). La dérive de consommation subsistant est donc de l'ordre de 5 à 15 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an. La hauteur d'isolant doit être la plus importante possible (mais on ne peut guère aller sous la semelle de fondation au risque d'une décompression des terres), et la résistance de l'isolant doit être *a minima* de 3,0 m²°K/W (il s'agit d'isolant imputrescible).

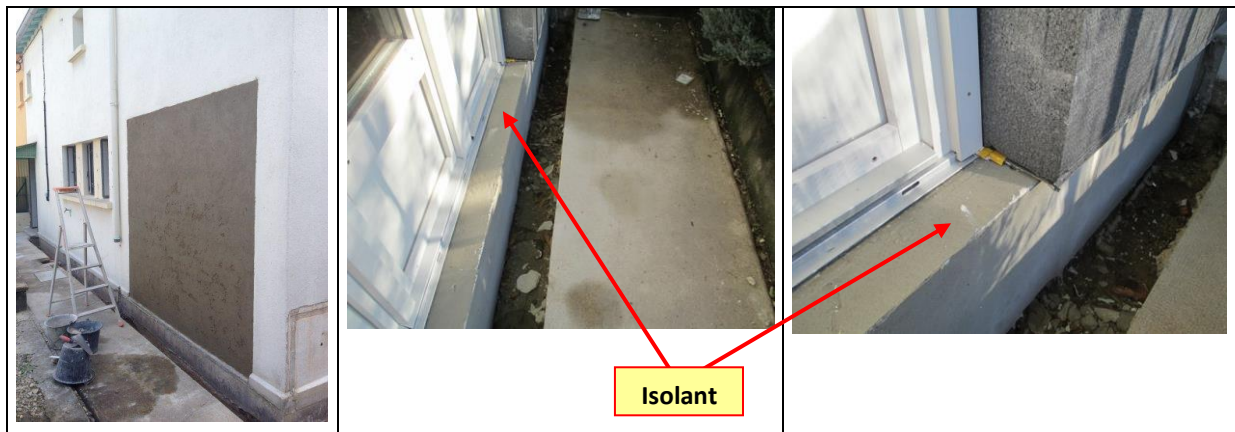


Figure 12 : Exemples d'isolation périphérique verticale

Attention à la nature de l'isolant utilisé. Parmi les isolants imputrescibles il y a le liège. Or plusieurs cas ont signalé la présence assez rapide de fourmis dans ce type d'isolant, avec l'impossibilité de les en déloger et leur capacité à détruire l'isolant. Des fourmis ont également été observées dans des isolations extérieures avec polystyrène expansé, avec les mêmes conséquences fâcheuses.

2 - Placer **une bande d'isolation horizontale en périphérie de la maison**, le long du mur extérieur. L'isolant sera ensuite recouvert d'une chape de 5 ou 6 cm d'épaisseur. Cette bande doit être la plus large possible (au moins 1 m) et sa résistance doit être d'au moins 3 m²°K/W. L'amélioration est similaire à celle de la solution précédente : de l'ordre de 30 à 50 %.

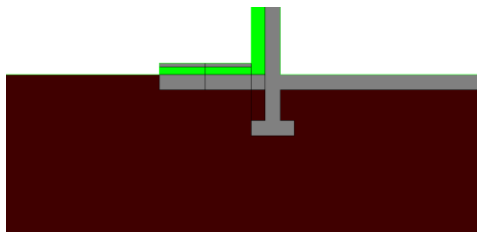


Figure 14 : Coupe verticale sur une isolation



Figure 15 : Exemples d'isolation périphérique horizontale

Ces simulations dynamiques, toujours faites sur fonds propres, n'ont été conduites que sur des exemples ponctuelles et n'ont pas été systématisées à l'échelle du territoire et de toutes les typologies constructives possibles (maisons de plain pied, ou de type R+1).

A défaut d'un budget permettant de poursuivre les travaux de simulation de façon plus large sur l'ensemble du territoire français et sur des typologies variées, on retiendra la formulation suivante en variante des STR.

Formulation des solutions alternatives à l'absence d'isolation de la dalle basse :

« Si l'isolation en sous face d'une dalle sur terre plein s'avère impossible, l'une des deux solutions suivantes doit être mise en œuvre :

- isolation verticale enterrée du mur extérieur jusqu'à la semelle de la fondation au moyen d'un isolant imputrescible dont la résistance additionnelle est d'au moins $3 \text{ m}^2\text{K/W}$. En présence d'ITI, l'isolant enterré dépassera de 60 cm le niveau supérieur de la dalle du RdC. Augmenter de $1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ la résistance additionnelle des STR sur les murs afin de compenser une partie du déficit énergétique,
- isolation extérieure horizontale en périphérie de la construction sur une largeur d'au moins un mètre, au moyen d'un isolant de résistance minimum $3 \text{ m}^2\text{K/W}$ placé sous une chape en ciment. Augmenter de $1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ la résistance additionnelle des STR sur les murs.

Cas particulier des planchers bas sur vide sanitaire

Par extension de ce qui précède, la solution proposée pour traiter le cas des planchers sur vide sanitaire inaccessible consiste à isoler verticalement les murs par l'extérieur (sous le niveau du sol naturel) jusqu'à la semelle de fondation, dans les mêmes conditions et de la même manière que précédemment ($R > 3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$). En complément, on veillera à ce que le débit d'air dans le vide sanitaire soit strictement égal au minimum nécessaire compte tenu de l'humidité du sol et de celle existant dans le vide sanitaire. Si la ventilation du vide sanitaire était trop importante, il ne servirait à rien d'isoler verticalement

ses parois. L'efficacité de cette disposition dépendra ici très fortement du taux de ventilation qu'on sera obligé de maintenir dans le vide sanitaire.

2-4-5 Cas particulier d'un logement isolé à la fois par ITI et par ITE

Cette situation peut se présenter par exemple lorsque la façade principale sur rue est interdite d'isolation par l'extérieure (emprise sur le domaine public) alors que les autres façades sont sur la propriété. Ou encore lorsque certaines façades ont un caractère patrimonial marqué (façade en pierre).

Dans ce cas, les résistances à adopter sont celles définies par les STR choisies en supposant que toute l'isolation sera faite par l'intérieur. C'est une condition assez défavorable pour la réalisation des travaux, mais qui conduira à une performance énergétique encore meilleure.

Exemple : rénovation faite au moyen d'argent public. Taux d'infiltration d'air envisagé après rénovation $n_{50} = 1,0$ vol/h. Ventilation double flux. Chauffage au fioul.

Le tableau de la figure 3 du § 2.4.1 montre que si les murs avaient tous été isolés par l'extérieur, on aurait eu le choix entre les STR n°8 et 9. Mais la présence d'au moins une façade isolée par l'intérieur va conduire à ce que l'on choisisse, même pour les façades isolées par l'extérieur, les résistances thermiques des STR n°3 ou 4. Cela va aussi rendre obligatoire l'adoption de résistances généralement plus élevées pour la toiture, le plancher bas ou les fenêtres. Dans notre exemple, l'adoption de la STR n°8 aurait conduit à :

STR n°8	Isol Ext	$n_{50} = 1,0$	$R_{mur} = 4,5$	$R_{plb} = 3,0$	$R_{toit} : 7,5$	$U_w = 1,7$	Ventilation DF
---------	----------	----------------	-----------------	-----------------	------------------	-------------	----------------

Mais l'isolation d'une façade par l'intérieur conduit à adopter la STR n°3 avec les contraintes renforçant les résistances de plancher bas et de toiture :

STR n°3	Isol Int	$n_{50} = 1,0$	$R_{mur} = 4,5$	$R_{plb} = 4,5$	$R_{toit} : 10$	$U_w = 1,7$	Ventilation DF
---------	----------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-------------	----------------

Ou la STR n°4 qui n'impose finalement un effort supplémentaire que sur les menuiseries extérieures :

STR n°4	Isol Int	$n_{50} = 1,0$	$R_{mur} = 4,5$	$R_{plb} = 3,0$	$R_{toit} : 7,5$	$U_w = 1,4$	Ventilation DF
---------	----------	----------------	-----------------	-----------------	------------------	-------------	----------------

2-4-6 Impossibilité d'isoler la totalité des murs par l'intérieur ou par l'extérieur

Ce cas étrange a été évoqué. Car un certain nombre de propriétaires vont inmanquablement expliquer que chez eux l'isolation des murs ne sera possible ni par l'intérieur ni par l'extérieur. Il reviendra à l'Etat de définir les cas précis qui permettront à certains propriétaires de s'exonérer de l'effort collectif du programme de rénovation. Mais on conçoit parfaitement qu'on n'isolera jamais le Château de Versailles ! Les Monuments « historiques » ne feront jamais partie d'un grand programme de rénovation car ils ne « pèsent » rien dans le bilan énergétique national. La question sera donc de savoir quels sont les bâtiments admis dans cette catégorie et quels sont ceux qui, malgré leurs caractéristiques patrimoniales, n'y seront pas. Il ne paraît pas possible de laisser les propriétaires décider tout seuls car on peut penser qu'une majorité d'entre eux pourrait être tentée de ne rien rénover.

Il faut être clair : si les murs ne sont pas isolés, il n'est plus du tout possible d'atteindre une consommation d'environ 50 kWh/m²/an, et probablement même pas de 100 kWh/m²/an. Et aucune disposition complémentaire ne permettra de compenser cette absence d'isolation.

Mais si les murs ne sont pas isolés alors que toutes les autres parois le sont, menuiseries extérieures incluses, le fonctionnement du logement pourra poser de gros problèmes :

- en premier lieu, ce logement restera inconfortable et l'effet de paroi froide nécessitera de porter la température d'air à un niveau grevant singulièrement la facture de chauffage sans pour autant apporter une qualité de confort satisfaisante,
- plus grave est le risque de condensations superficielles sur tous les murs extérieurs non isolés. Peuvent s'ensuivre des moisissures générant des pathologies respiratoires.

Cela ne semble donc pas être un très bon choix que de ne vouloir isoler aucun des murs extérieurs d'un logement, quelles qu'en soient les raisons. On retiendra qu'aucune disposition ne permettra de compenser cette absence d'isolation, et que le logement « fonctionnera » très mal si ce parti était adopté.

2-4-7 Impossibilité d'isoler un mur par l'intérieur ou par l'extérieur

Ce cas est une variante du précédent. Si seule une façade n'est pas isolée, on peut considérer que l'on est dans la même situation que si le plancher bas n'est pas calorifugé. Mais on a vu que pour ce dernier, les mesures de compensation spécifiques que l'on pouvait mettre en place ne permettraient de toute façon pas de rétablir le niveau de la performance énergétique.

Il en sera malheureusement de même pour un mur extérieur, et ce d'autant plus qu'il n'existe pas, comme pour le plancher bas, de disposition spécifique de compensation (comme l'était l'isolation périphérique).

Pour fixer les idées, supposons une façade de 30 m² de parois opaques dans un logement de 100 m²_{Shab}, doté de 17 m² de menuiseries extérieures. Le déficit des déperditions, en supposant que le U initial du mur vaut 2,5 W/m²/K et celui qu'aurait eu le mur final 0,25 W/m²/K, est de 67,5 W/K. En supposant que l'on passe le U_w des menuiseries extérieures de 1,7 à 0,8 W/m²/K (triple vitrage), on ne récupérerait « que » 15 W/K, soit même pas le quart de ce qu'il faudrait compenser. Le niveau de résistances des autres parois isolées étant déjà très faible, il n'y a donc absolument aucune chance de pouvoir compenser la non isolation d'une seule façade pas isolée. En effet, en supposant qu'il y ait 90 m² de parois verticales déjà isolée et 50 m² de toiture, il faudrait que sur l'ensemble de ces parois (déjà bien isolées) la valeur de U soit réduite de 0,375 W/m²/K, valeur déjà très supérieure à ce que sont les U des murs et de la toiture....

Ce cas, comme le précédent, ferait totalement sortir la rénovation du cadre d'objectif de performance que chacun doit atteindre. Sans aucun espoir de pouvoir compenser d'aucune sorte, et avec néanmoins toutes les pathologies (condensations) et dysfonctionnements (parois froides et inconfort) associés décrits au § précédent.

2-4-8 Intervention dans un bâtiment construit après 1975

Il est possible, même si ce n'est en rien prioritaire, de chercher à rénover un bâtiment datant d'après 1975, c'est à dire comportant déjà une barrière thermique réglementaire.

Il faut rappeler que la priorité est évidemment de rénover les logements d'avant 1975, le reste du parc étant plutôt destiné, pour des raisons de rentabilité économique, à être rénové après, par exemple à partir de 2030 ou 2035.

Toutefois, si cette situation devait se produire, la réponse proposée est construite sur le bon sens. Puisque les STR définissent l'état final de tout bâtiment à l'horizon 2050, il faut considérer que les bâtiments construits après 1975 ont pris un peu d'avance et qu'il suffit

donc de leur fournir la résistance thermique complémentaire qui leur fait défaut pour atteindre le niveau de performance exigé par les STR.

A titre d'exemple, si la demande des STR est d'avoir une résistance additionnelle de $4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ et que le mur comporte déjà 5 cm de polystyrène ($R = 1,25 \text{ m}^2\text{K/W}$), la résistance additionnelle nécessaire ne sera plus que de $3,25 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Ce scénario n'est évidemment pas possible pour les menuiseries extérieures : impossible de « rajouter » quelque chose. Elles devront faire l'objet d'un changement si elles ne présentent pas le niveau de performance suffisant. Même chose pour la ventilation et pour l'installation de chauffage.

Mais cette approche assez simple et logique concernant les parois isolées se heurtent néanmoins à plusieurs problèmes :

1 – il faut avant tout contrôler l'état de l'isolant en place. Il arrive souvent qu'en comblant cet isolant soit hors d'état : il a été piétiné ou bien détruit par des rongeurs. Dans un mur il peut avoir été mis en place de façon un peu anarchique et manquer sur certaines parties. Il peut aussi être complètement détruit par la condensation. Dans chaque cas il conviendra de s'assurer, lors de la visite d'état des lieux, de la possibilité ou non de conserver cet isolant.

2 – il faut vérifier avec beaucoup de soin le fonctionnement au regard de la migration de vapeur du « nouveau mur » une fois l'isolation posée. Il est impossible par exemple de mettre en oeuvre à l'intérieur 12 cm d'isolant sur un isolant de 5 cm déjà en place et muni d'un pare vapeur efficace. Il y aurait de gros risques de condensation sur ce pare vapeur, côté intérieur.

3 - la résistance additionnelle ainsi déterminée sera souvent inférieure à la valeur exigée par les financements de la rénovation (EcoPTZ, CITE, ANAH, etc). Dans ce cas, il faut pour l'instant mettre en oeuvre la résistance imposée par le financement...

Dans le proche futur, il serait souhaitable que l'Etat rende possible l'approche qui précède afin d'introduire un peu de souplesse (justifiée) dans le processus de détermination de la résistance thermique à mettre en oeuvre.

2-4-9 Impossibilité d'intégrer au logement un réseau de soufflage double flux

Il peut arriver, mais l'expérience montre que c'est finalement assez rare, qu'il soit impossible d'intégrer à un logement existant un double réseau de soufflage et d'extraction d'air. Que faire dans ce cas ?

En premier lieu, il est impératif que le logement rénové soit ventilé. Aucune impossibilité ne doit entraver cette obligation. Ne pas ventiler un logement isolé et rendu étanche à l'air conduit à une très forte pollution intérieure dangereuse pour les occupants, et à de nombreuses condensations superficielles pathogènes. Cela constituerait une grave faute professionnelle. Il y aura donc *a minima* une ventilation mécanique simple flux.

Mais une solution de ce type condamnerait l'espoir d'atteindre une bonne performance énergétique puisque la charge thermique due à la ventilation simple flux est de l'ordre de $40 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ en zone H1, au débit de $0,6 \text{ vol/h}$. Ce n'est donc pas la voie à suivre.

Il existe toutefois une solution intéressante si les réseaux ne peuvent pas être mis en oeuvre dans un logement : la ventilation décentralisée. Il s'agit de boîtes murales comprenant deux ventilateurs, un échangeur, une prise et un rejet d'air extérieur, ainsi qu'un orifice de soufflage et un autre d'extraction. Toutes les composantes d'un système double flux se trouvent ainsi concentrées dans ce boîtier de la taille d'une petite armoire de pharmacie domestique. Ces boîtes sont placées dans chaque pièce principale et

fonctionnent indépendamment les unes des autres. Certains modèles peuvent même être couplés avec une pièce humide afin de créer une ventilation par balayage. Il y a donc en principe toujours moyen de mettre en œuvre une ventilation double flux. Certes, il reste à intégrer ces boîtes dans chaque pièce d'une part, et à habiller les prises et rejets d'air en façade. Mais ceci ne paraît quand même pas devoir être bloquant....

Reste une question de fond. L'impératif à respecter est de récupérer la chaleur de l'air extrait par la ventilation. La ventilation est-elle le seul moyen de récupérer cette chaleur, et si ce n'est pas le cas, est-ce que les STR accepteraient ces autres solutions.

La réponse est qu'il existe effectivement des alternatives pour récupérer la chaleur de l'air extrait, et que, oui, les STR peuvent accepter ces solutions alternatives dès lors qu'elles conduisent au même niveau de performance.

La principale alternative actuellement est la pompe à chaleur (PAC) sur l'air extrait.

L'évaporateur de la PAC récupère la chaleur de l'air extrait, et cette chaleur à basse température est valorisée par la pompe à chaleur qui la transforme en une chaleur à plus haute température que l'on peut soit réinjecter dans l'installation de chauffage (si des matériels existent sur le marché pour ce type d'application), soit consacrer à la production d'eau chaude sanitaire. Mais dans ce cas, l'énergie disponible sur l'air extrait est en général beaucoup plus important que les besoins d'ECS si bien qu'une petite partie seulement de la chaleur de l'air extrait peut être valorisée.

Enfin, on peut aussi se demander si, sous certaines conditions techniques qui ne semblent pas encore réunies, l'utilisation de fenêtres pariéto-dynamiques ne conduirait pas également, par une voie différente, à un bilan énergétique équivalent à celui de la récupération de chaleur sur l'air extrait. De quoi s'agit-il ?

Les fenêtres pariéto-dynamiques sont munies d'un triple vitrage un peu particulier en ce sens qu'il est constitué de vitrages laissant passer l'air et lui permettant une circulation « en chicane » depuis l'extérieur jusqu'à l'intérieur.

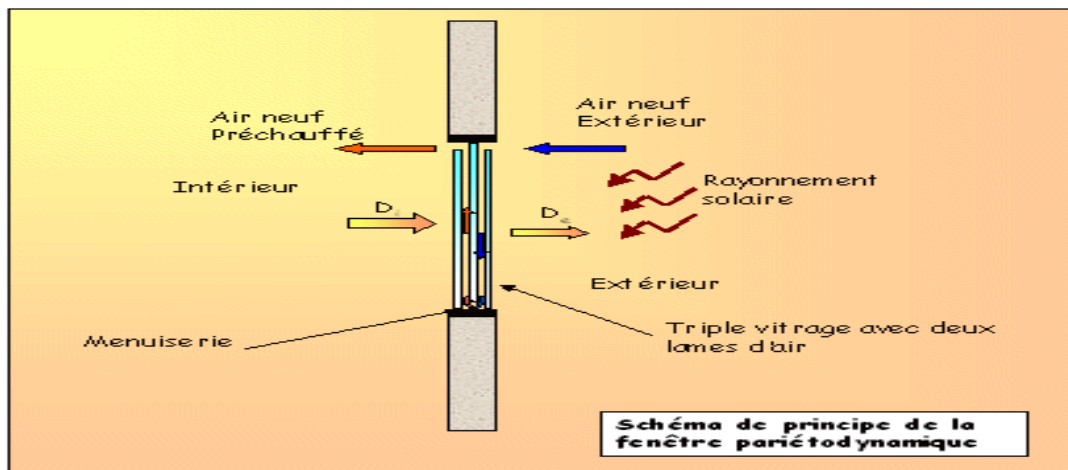


Figure 16 : Schéma de principe d'une fenêtre pariéto-dynamique

Mais en cheminant entre les différentes lames de vitrage, l'air récupère au passage la chaleur qui s'enfuyait par conduction/convection depuis l'intérieur, chaud, vers l'extérieur plus froid. Ce phénomène conduit donc à ce que les pertes de la baie vitrée soient considérablement réduites et se traduisent par une valeur apparente de U_w de l'ordre de $0,2 \text{ m}^2/\text{K}/\text{W}$. Il s'agit donc d'un gain qui peut, dans certaines circonstances favorables, compenser les pertes qu'aurait occasionné une ventilation simple flux sans récupération de chaleur.

Dans la pratique, ce type de menuiserie est mis en œuvre avec une ventilation simple flux auto-réglable et sert d'entrée d'air.

Mais dans l'état actuel de la technologie, il faut un débit d'air assez important par m² de fenêtre pour obtenir la valeur apparente de Uw recherchée, et cette valeur de Uw n'est accessible que sur les fenêtres constituant l'entrée d'air, ce qui n'est pas le cas des pièces humides. On est donc actuellement en « déficit » puisqu'en gros 7 m² de vitrage suffisent pour avoir le débit nominal dans le logement (il faut un débit d'air de 20 m³/h/m² vitrage pour avoir un Uw de 0,2 m²/K/W). Le gain sur ces quelques m² de vitrage ne permet pas de compenser les pertes dues à la non récupération de chaleur sur l'air extrait. Cette solution n'est donc pour l'instant pas prête à se substituer à une ventilation double flux, mais on peut imaginer qu'avec des progrès technologiques conduisant à une meilleure efficacité (un débit d'air par m² de fenêtre moins important qu'actuellement), il soit possible qu'elle le puisse. Elle serait donc alors acceptable au titre des STR.

2-5 Les contraintes à respecter sur l'installation de chauffage

Comme il a été expliqué au § 2.4.1, les STR ont été déterminées à partir d'un niveau de besoin de l'enveloppe supposant lui-même d'avoir précisé le niveau de rendement de l'installation de chauffage. Ce qui a conduit à imposer des performances élevées à celle-ci. **On ne peut donc utiliser les STR sans mettre obligatoirement en œuvre les dispositions spécifiques à l'installation de chauffage.**

2-5-1 Le changement du générateur de chaleur par combustion

Les mauvaises habitudes prises depuis longtemps par la profession en matière de dimensionnement de la puissance du générateur de chaleur a des conséquences très néfastes sur le rendement des installations avant et après rénovation. Qui n'a entendu le dicton mémorable « Qui peut le plus peut le moins » pour justifier la fourniture d'une chaudière de très forte puissance ? Avec pour conséquence immédiate la chute du rendement annuel d'exploitation. Car une chaudière surpuissante voit son taux de charge baisser, donc son temps de fonctionnement aussi. Le nombre de périodes d'arrêt et la durée de ces arrêts augmentent. Or pendant ces arrêts il subsiste d'importantes pertes thermiques (par les parois ou le conduit de fumée du générateur, par les canalisations inactives, etc.). La conséquence directe est la chute du rendement annuel de génération.

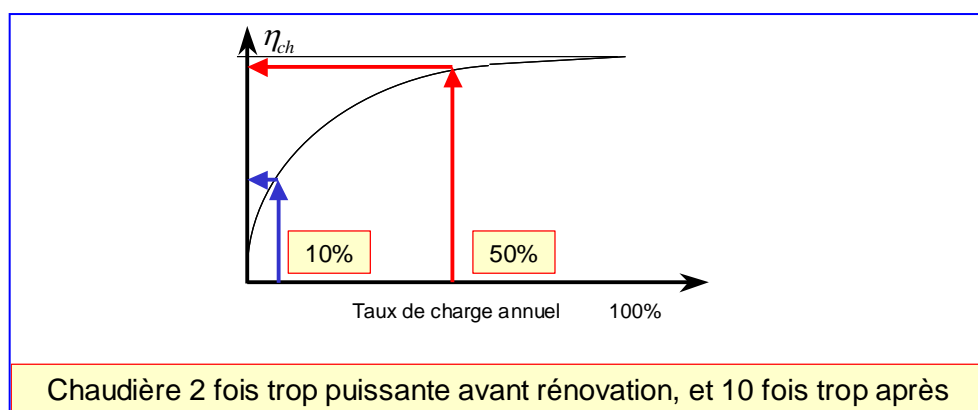


Figure 17 : Evolution du rendement annuel d'exploitation en fonction de la charge

Les chaudières en place ont souvent une puissance double ou triple de la puissance de chauffage nécessaire (pour les chaudières murales la production instantanée d'ECS est l'explication la plus fréquente). Mais une fois le logement rénové, cette surpuissance va être fréquemment d'un facteur 10.

Aucun générateur ordinaire n'est capable de fonctionner en permanence dans une plage allant de 0 à 10 % de sa puissance maximum. La panne sera la réponse du générateur à

cette situation. Mais quand bien même arriverait-il à fonctionner que son rendement annuel d'exploitation serait catastrophique (à cause de l'intermittence considérable) et les performances très loin des objectifs économiques poursuivis.

Il est donc impératif de **changer le générateur de chaleur**. Dans certains cas, on peut également changer d'énergie, sous certaines conditions, lorsque le propriétaire le souhaite.

2-5-2 Règles pour le changement d'énergie

Peut-on adopter n'importe quelle règle pour changer d'énergie ? Non.... Revenir au charbon n'est généralement souhaité par personne. Ca tombe bien !

Passer sur une énergie renouvelable est très souhaitable. Il s'agit en général du bois. Ce changement d'énergie ne pose pas de problème de principe. En revanche, il ne peut pas se faire dans n'importe quelles conditions. La combustion du bois peut donner lieu, lorsqu'elle est de mauvaise qualité, à l'émission de particules fines analogues à celles émises par les véhicules diesel et dont on sait aujourd'hui qu'elles sont à l'origine de nombreux cancers. Passer au bois est donc souhaitable, mais à la condition impérative de mettre en œuvre des appareils à combustion garantissant de faibles émissions particulaires.

En rénovant à basse consommation, on abaisse les besoins entre 30 à 50 W/m², soit environ 4 kW pour un logement de 100 m². La tentation est alors grande de mettre trois convecteurs électriques en place, ce qui réduit le coût des travaux mais ne règle que des problèmes individuels (hormis le coût élevé de l'énergie et de l'abonnement associé). RTE, qui a en charge le réseau de transport de l'électricité, rappelle que le talon d'Achille du système électrique français est son « gradient de puissance » en fonction de la température extérieure.

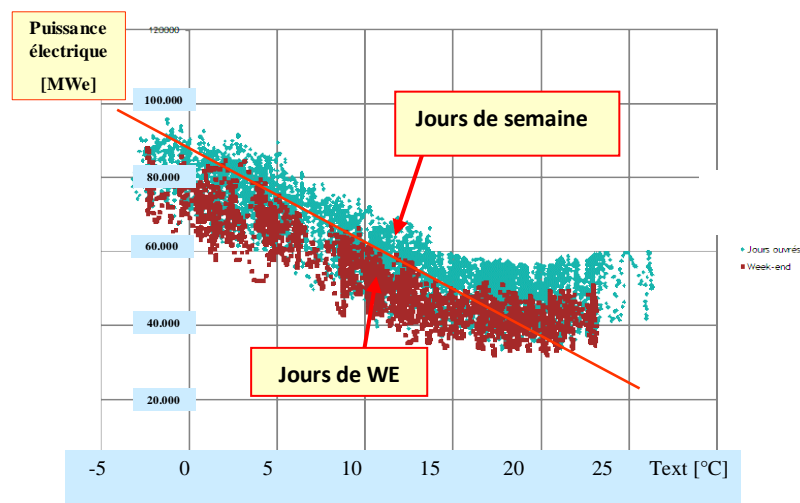


Figure 18 : Puissance électrique appelée sur le réseau français en fonction de la température extérieure

La demande faite par RTE est de tout mettre en œuvre pour réduire la puissance électrique appelée les jours froids, et donc de rénover tous les logements chauffés à l'électricité, mais aussi de **s'interdire de convertir à l'électricité des installations de chauffage qui ne l'étaient pas avant rénovation**. Cet aspect est essentiel dans l'utilisation des STR qui se veut une approche globale. Il est donc convenu que l'usage des STR autorise le maintien d'un système de chauffage par effet Joule, mais s'interdit la conversion à l'électricité d'une installation de chauffage qui ne l'était pas avant rénovation.

2-5-3 Règles propres aux générateurs à combustion et aux pompes à chaleur

Les règles à respecter pour le choix du nouveau générateur en fonction de l'énergie

qui l'alimente sont les suivantes :

Energie	Règles à respecter
Gaz	Pose d'une chaudière à condensation. Température de retour inférieure en permanence à 50°. Réutilisation souhaitable des radiateurs existants (ils seront surdimensionnés et permettront un retour à basse température)
Fioul	Pose d'une chaudière à condensation. Température de retour inférieure en permanence à 50°. Réutilisation souhaitable des radiateurs existants (ils seront surdimensionnés et permettront un retour à basse température)
Bois (ou biomasse)	Générateur à haut rendement et très faible émission de particules. Idéalement, si le choix se porte sur des chaudières automatiques, on préférera les chaudières à condensation si une offre existe à ce moment là et à un prix raisonnable.
Electricité	Utilisation d'une pompe à chaleur (sur l'air extrait, sur pieux géothermiques, sur nappe phréatique, ou sur l'air extérieur, etc). Le coefficient annuel d'exploitation devra être supérieur ou égal à 3. Ce coefficient est le rapport de la quantité de chaleur délivrée en sortie de la pompe à chaleur à l'électricité consommée par le compresseur et tous les auxiliaires en amont propres à la pompe à chaleur (les auxiliaires en aval qui existeraient même si la pompe à chaleur n'était pas là ne sont pas à prendre en compte)

2-5-4 Règles propres aux réseaux de chaleur

Réseau de chaleur	Sans objet. Toutefois, l'échangeur de chaleur du réseau urbain devra obligatoirement être calorifugé avec un isolant dont la résistance sera d'au moins 3 m²K/W .
-------------------	---

2-5-5 Règles pour le chauffage par effet Joule

Comme précisé sur le tableau de la figure 1 au § 2.3, le maintien du chauffage par effet Joule est possible (en respectant les critères spécifiques d'isolation de l'enveloppe, voir § 2.4.2) et on peut donc conserver les convecteurs électriques (mais on pourra néanmoins quand même les remplacer par des émetteurs radiants plus justement dimensionnés et plus efficaces). Mais ceci doit obligatoirement s'accompagner du remplacement du ballon électrique en place, quel que soit son état (c'est une question de consommation), par un chauffe-eau thermodynamique dont le COP annuel garanti est d'au moins 1,8.

Pour que ce COP soit important, il faut que la température du fluide passant sur l'évaporateur soit la plus élevée possible et que celle du ballon de stockage soit la plus basse possible tout en respectant les contraintes de besoin des usagers. On pourra également renforcer l'isolation du ballon en rajoutant une couche d'isolant en périphérie et sur la partie supérieure du ballon (les pertes ballons sont un de leurs gros points faibles).

2-5-6 Règles pour la distribution hydraulique

Pour les installations à eau chaude (quelle que soit la nature de la production de chaleur), on procédera à une reprise complète du calorifugeage des réseaux de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Ces calorifuges sont souvent inexistantes, ou alors dans un état catastrophique. Il est donc légitime de les reprendre en totalité. Cette reprise s'effectuera sur les bases suivantes :

DN ≤ 25	e=30mm
25 < DN ≤ 65 mm	e=40mm
D > 65 mm	e=50mm

avec une conductivité de l'isolant inférieure à 0,035 W/m/°C. L'isolation se fera par des coquilles moulées au diamètre. Ne jamais utiliser une coquille d'un diamètre supérieur à celui du diamètre extérieur du tube (sinon il y aurait une circulation d'air bippassant l'isolant).

L'aller et le retour seront toujours calorifugés dans des coquilles séparées.

Dans la mesure du possible on calorifugera également l'ensemble des organes autour de la chaudière : échangeur éventuel, vannes, corps de pompe, etc.

2-5-7 Règles pour la régulation terminale

La régulation est un élément essentiel de la réussite d'une opération de rénovation. Mais cette étape est souvent négligée ce qui conduit à des surchauffes, à une moindre récupération des apports gratuits souvent abondants et finalement à une consommation beaucoup plus élevée que prévue. Il s'ensuit que le plan de financement est parfois totalement déséquilibré par ce manque à gagner, et le confort est fortement dégradé...

Il est donc nécessaire de mettre en place une régulation très performante permettant de couper le chauffage dès que la température de consigne est atteinte, et même d'anticiper cette coupure dans certains cas. En conséquence :

■ pose obligatoire d'une régulation terminale très fine, au moins à l'échelle de chaque logement. Il n'est en effet pas démontré, dans les logements très fortement isolés, que la régulation individuelle de chaque pièce ait un réel intérêt, car la chaleur ne peut plus sortir du logement (à cause de la très forte isolation), mais elle passe très vite d'une pièce à l'autre. On observe alors fréquemment une homogénéisation de la température intérieure.

On évitera les robinets thermostatiques, sauf si les modèles proposés ont une très faible bande de réglage (< 0,5°C). On leur préférera des dispositifs plus réactifs comme un thermostat d'ambiance pilotant une vanne deux voies centrale tout ou rien par logement qui donne de bons résultats. On peut également recourir au moteur électrothermique, déjà généralisé pour le pilotage des planchers chauffants (une résistance chauffante, reliée au thermostat, placée dans l'élément dilatable de la tête thermostatique provoque la dilatation de l'élément sensible et la fermeture de la vanne en six minutes).

■ dans le cas d'une installation de chauffage central, on pourra utiliser une régulation de tête pilotant la température de départ chauffage en fonction de la température extérieure.

Remarque importante : l'usage des STR s'intègre dans un processus de rénovation globale dans lequel toutes les interventions nécessaires sont réalisées lors d'une seule opération de travaux. C'est la seule manière efficace de faire une rénovation. Le redimensionnement de la puissance de la chaudière et la définition des éléments du système régulant sont donc effectués en fin d'opération.

Toutefois, **si pour une raison ou une autre les travaux ne se faisaient pas en une seule fois, il serait impératif que le volet régulation défini dans ce qui précède soit mis en œuvre dès la première tâche de rénovation réalisée, quelle qu'en soit sa nature.** Ceci permettra, tout au long des réalisations partielles, de récupérer le maximum d'énergie économisée.

2-5-8 Règles pour l' ECS

Pourquoi s'intéresser à l'eau chaude sanitaire dans une rénovation thermique ?

Parce que d'importantes économies sont réalisables, pour un investissement très faible et que ces économies viendront s'ajouter à celles faites sur le chauffage. Les dispositions principales sont au nombre de trois :

a - Règles pour la réduction des besoins d'eau chaude sanitaire

Consommer peu d'énergie pour produire l'ECS, c'est d'abord utiliser peu d'eau pour satisfaire ses besoins. « L'objectif n'est pas de « brider » l'utilisateur, mais de lui donner la

possibilité de satisfaire ses besoins en utilisant moins d'eau. On distingue 4 dispositifs :

- si la pression du réseau urbain à l'entrée du logement dépasse 3 bars, placer en tête de l'habitation un **détendeur-régulateur** de pression et le régler à 3 bars maximum.

- **Les limiteurs de débit**

Placer au nez des robinets des lavabos et des éviers (mais pas des baignoires!) des limiteurs de débit autorégulants et calibrés. Choisir par exemple un débit de 4 l/min. Ces dispositifs maintiennent un débit constant même si la pression amont varie. Attention : il ne s'agit pas de « mousseurs » et il ne faut pas les confondre avec ces derniers. On peut utiliser des matériels de marque Ecoperl.



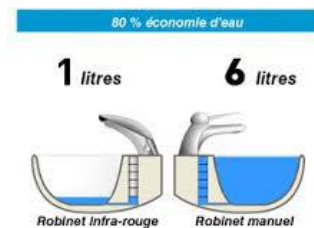
- **Les douchettes à économie d'eau**

Il en existe quatre technologies. En théorie elles permettent toutes une économie sensible d'eau. Notre préférence (toute personnelle, et fondée sur l'expérience) va vers les douchettes à turbulence : elles permettent d'éclater les bulles d'eau provoquant leur multiplication, ce qui a pour effet de multiplier par deux la surface d'eau en contact avec le corps tout en utilisant deux fois moins d'eau. L'économie sera bien sûr fonction du mode d'utilisation.



- **Les dispositifs de détection de proximité**

Ces mécanismes un peu chers permettent de détecter la présence et mettent en fonctionnement la circulation d'eau de manière très ponctuelle. Il n'y a plus du tout de gaspillage par usage « au fil de l'eau ».



b - Règles pour le renforcement du calorifugeage des ballons ECS

Contrairement à une idée très répandue, les pertes des ballons ECS sont très importantes, même lorsqu'ils sont réputés être très isolés. D'une part le concept de « très isolé » commence dès une épaisseur de 5 cm ce qui n'est franchement pas suffisant. Ensuite les ballons perdent énormément de chaleur par les pattes de fixation murales qui sont de redoutables ponts thermiques, d'autant plus efficaces que l'épaisseur de calorifuge est importante. Enfin, plus on réduit les besoins par utilisation des dispositifs décrits précédemment, plus ces pertes vont peser lourd en valeur relative et devront être diminuées. Les dispositions demandées en accompagnement des STR sont donc :

- renforcer l'épaisseur de calorifuge avec une résistance additionnelle de 3,0 m²K/W (quelle que soit la résistance déjà en place dans le ballon). Il ne faut pas forcément chercher une jaquette (au demeurant difficile à trouver) permettant d'atteindre cette performance. On peut proposer au client une solution efficace, même si elle est peu élégante (si le ballon est dans un local dédié ou un placard). Elle en sera aussi moins coûteuse.

- en cas de changement du ballon ECS, mettre en place un modèle reposant sur un trépied. Le contact avec le ballon se fait par une couronne en partie basse sur laquelle les trois pieds sont fixés. Comme le bas du ballon est rempli d'eau froide, il n'y a que très peu de pertes.

- si on ne change pas le ballon, interposer dans la fixation au mur du ballon, des pattes en matériau à la fois très résistant mécaniquement et si possible très isolant thermiquement (ce qui n'est pas leur point fort...).

2-6 Les premiers enseignements des STR

Dans leur version actuelle, les STR existent déjà depuis 2009 et ont été abondamment utilisées. On dispose donc d'un retour intéressant.

- Il est à noter que les 10 combinaisons de solutions constituant les STR satisfont les minimum de performance élémentaire imposés pour l'obtention de l'ECO-PTZ sur 15 ans (résistances thermiques de chaque paroi, des vitrages, etc), mais également pour le CITE et l'ANAH. Ceci est un atout considérable puisqu'en choisissant une quelconque des STR, on est automatiquement conforme aux exigences de tous ces organismes financeurs, ce qui rendra plus facile le contrôle et l'octroi, par exemple de l'ECOPTZ, par une banque.

- Il est une autre conséquence très intéressante de ces études sur les STR. Les simulations dynamiques font en effet apparaître (voir figure 17) que, compte tenu du niveau élevé de la performance thermique recherchée, la nature et l'épaisseur du mur d'origine (pierre, parpaing, brique, etc) n'ont absolument plus aucune influence sur le résultat final qui ne dépend plus que de la résistance thermique additionnelle. Et ceci est d'autant plus vrai que la performance recherchée est importante.

Cela se comprend très facilement. Mais la conséquence immédiate est intéressante : puisque la performance finale ne dépend plus que de la résistance additionnelle et que celle-ci est la même quelles que soient la nature et l'épaisseur du mur d'origine, il n'est plus nécessaire de faire de longs calculs de diagnostic devenus aussi inutiles que coûteux afin d'optimiser l'épaisseur d'isolant. C'est une étape qui peut disparaître dans le processus de rénovation. C'est un gain de temps et d'argent.

Mais supprimer ces calculs et cette partie du travail associée au diagnostic ne supprime pas la visite in situ : il s'agit alors seulement d'un état des lieux architectural et technique qui reste absolument nécessaire pour se rendre compte de l'état des murs et des installations avant d'entreprendre toute action.

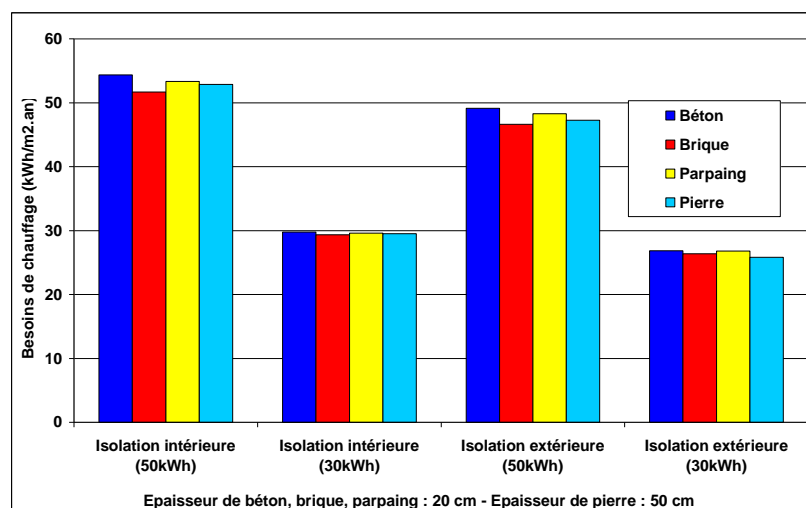


Figure 17 : Influence de la nature du mur sur la performance finale

(NB : dans ce graphique, la résistance thermique additionnelle est la même pour tous les types de paroi pour chacun des deux niveaux de performance visés (environ $4,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ pour $50 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$, et environ $6 \text{ ou } 7 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$)

Pourquoi l'utilisation des Solutions Techniques de Référence constituerait-il un grand progrès ? D'une manière générale, parce qu'elle simplifierait considérablement le processus. Plus précisément :

- en supprimant toute forme de calcul pour la détermination des résistances thermiques à mettre en œuvre elle simplifie la procédure, notamment pour les artisans et les petites structures, et elle fiabilise le processus : les erreurs de dimensionnement seront limitées,

- on peut imaginer que, en focalisant la demande sur quelques produits correspondants aux caractéristiques thermiques des STD, le prix de ces produits de référence baisse par suite des importants volumes fabriqués,

- On transforme ce qui est aujourd'hui plus ou moins implicitement une obligation de résultat (celui qui fait les travaux DOIT une consommation finale, ce qui est purement illusoire et totalement erroné) en une obligation de moyens. L'artisan doit mettre en œuvre un certain nombre de dispositions techniques dont on sait par un calcul sophistiqué qu'elles conduiront au résultat attendu pour un utilisateur moyen, mais il n'est en rien tenu pour responsable de la consommation réellement atteinte par l'utilisateur dont on sait qu'il est le principal déterminant de cette consommation. Cette obligation de moyens et non de résultat ne dédouane pas l'artisan de la qualité de sa mise en œuvre. Il peut être cherché en responsabilité si son travail n'a pas été fait conformément aux règles de l'art.

Ce passage vers l'obligation de moyens n'est pas dans l'air du temps. Et tous ceux qui pensent qu'on peut et qu'on doit garantir une consommation de chauffage se trompent. Nous avons montré à de nombreuses reprises, grâce à de lourdes campagnes de mesures, à quel point il était illusoire de penser pouvoir prédéterminer une consommation de chauffage : trop de paramètres extérieurs contribuent à cette consommation. Pour éviter des conflits et des querelles qui n'auraient pour seule conséquence visible que de faire travailler les tribunaux, il est évident qu'il faut se diriger vers une obligation de moyens puis responsabiliser l'utilisateur afin que par ses choix et son comportement il affine son niveau de consommation.

- La formation des professionnels sera considérablement simplifiée par l'utilisation des STR, car il s'agit d'un petit mécano facile à comprendre et à mettre en œuvre. Qui plus est ce mécano est le même dans toute la France si bien qu'un artisan qui se déplacerait de Strasbourg à Brest n'aurait même pas à ré-apprendre son métier.

- Le contrôle sur les chantiers va devoir s'intensifier lors des opérations de rénovation dans la mesure où l'État sera forcément très engagé dans le financement de ces opérations. Mais l'avantage des STR pour le vérificateur est qu'il n'est pas obligé d'emporter sur chaque chantier d'épaisses notes de calcul. En sachant quelle est la STD mise en œuvre, il saura immédiatement quelles résistances thermiques il doit trouver dans chaque type de paroi. Ce caractère standardisé des prestations facilitera grandement son travail de vérification.

- Le montage financier et son acceptation par les banquiers seront immensément facilités par l'utilisation des STR. En effet celles-ci garantissant le niveau général de performance, les banquiers pourront se concentrer sur leur travail de financier plutôt que s'égarer dans des tâches d'énergéticiens....

- Enfin, l'utilisation des STR permettrait, pour ceux qui auraient la sombre idée de faire des rénovations en plusieurs étapes, de fixer au bon niveau les performances de chaque étape intermédiaire. Elle fournirait une cohérence d'ensemble et permettrait à celui

qui rachète un logement où seulement une partie des travaux ont été faits, de les poursuivre en bonne cohérence avec ce qui a été déjà accompli.

2-7 Le confort d'été

Les simulations dynamiques et les campagnes de mesure ont permis de montrer que les bâtiments très peu consommateurs d'énergie, qu'ils soient neufs ou rénovés, pouvaient être le siège de surchauffes importantes en été, contrairement à ce que l'on serait parfois tenté d'imaginer en pensant que des murs et une toiture très isolés réduiraient le flux de chaleur vers l'intérieur et amélioreraient la thermique d'été. Ce phénomène existe, certes, mais ce n'est pas le seul.

En effet, les travaux déjà conduits sur des bâtiments performants au travers d'importantes campagnes de mesure, ont montré sans ambiguïté que les bâtiments à faible consommation d'énergie étaient ceux qui étaient les plus sensibles aux risques de surchauffes en été.

Ces bâtiments se comportent comme une bouteille thermos. Et tous les apports de chaleur qui y pénètrent (apports solaires, mais aussi apports internes) ne peuvent que difficilement en ressortir. Ils se transforment obligatoirement en chaleur, et donc en inconfort. Dans un immeuble ayant fait l'objet d'une campagne de mesure, on a montré que les apports internes étaient tellement importants qu'ils pouvaient à eux seuls maintenir en permanence la température intérieure à un niveau supérieur d'environ 4,5°C à la température extérieure !

Le développement des logements à faible consommation d'énergie, en neuf ou en rénovation, doit donc toujours s'accompagner d'une stratégie cohérente et efficace de lutte contre l'inconfort estival.

Cette stratégie comporte plusieurs niveaux d'action :

2.7.1 Contrôler les apports solaires

Il faut faire en sorte qu'en été le rayonnement ne puisse que momentanément pénétrer à l'intérieur du logement. Cet exercice est aujourd'hui assez bien maîtrisé par les architectes consciencieux. Il repose sur toutes sortes de techniques connues et que nous ne présenterons pas ici. Retenons que, selon les campagnes de mesure, l'efficacité de ces dispositions est avérée : elles conduisent bien à une très forte limitation des apports de chaleur dans les locaux de la façade Sud dont la température moyenne n'est que de quelques dixièmes de degrés plus élevée que celle des locaux de la façade Nord.

Ce contrôle des apports solaires est un préalable qu'il faut considérer comme ne présentant pas de difficulté technique.

En rénovation, il est donc toujours nécessaire de mettre en œuvre des occultations s'il n'y en avait pas auparavant.

2.7.2 Réduire les apports internes

En second lieu, il faut mettre en œuvre une stratégie très inventive pour réduire les apports internes. La structure de ces apports, telle qu'elle apparaît au travers de mesures effectuées, est dominée par les apports électro-domestiques (tableau de la figure 18).

Par ordre d'importance, les principales sources d'apports internes sont l'électroménager (49,5 %), les apports humains (18,6 %) et la cuisson (12,6%). Ces trois sources représentent plus de 80 % du total des apports. Mais il existe encore d'autres

sources comme la chaleur apportée en permanence par la distribution d'eau chaude sanitaire bouclée, celle apportée par l'usage même de l'eau chaude sanitaire, etc.

Usages	%
Electricité spécifique dans les logts	49,5
Electricité des services généraux	7,7
Cuisson	12,6
Distribution ecs dans les logements	5,0
Utilisation de l'eau chaude sanitaire	6,6
Apports humains	18,6
Total	100,0

Figure 18 : Structure des apports internes dans des logements sociaux

Réduire ces sources d'apports suppose :

- de diviser par deux la consommation électrodomestique. Ce n'est pas très compliqué mais relève malheureusement de l'usager et de lui seul. La réduction de température consécutive à cette économie serait, selon les cas, d'environ 1,0 à 1,5 °C.

- réduire les apports de la cuisson. Ce serait en principe assez simple, mais on ne dispose malheureusement pas encore des équipements qui permettraient cette réduction : fours sur-isolés et casseroles sur-isolées et à régulation de la température de cuisson (existe déjà, mais à un prix dissuasif pour l'instant).

- réduire les apports de la boucle d'eau chaude sanitaire n'est pas du tout difficile : il suffit de la surisoler ! Objectif : limiter à 4 ou 5 W/ml les déperditions.

- réduire les apports dus à la consommation d'eau chaude sanitaire c'est essentiellement réduire les volumes d'eau chaude consommés. Ceci permettrait incidemment aussi de réduire l'énergie nécessaire à la production d'eau chaude....

N.B. : pour de plus amples précisions sur les solutions techniques permettant de réduire les consommations des usages, consulter notre site internet www.enertech.fr.

2.7.3 Mettre en œuvre une inertie thermique importante

Le confort d'été passe aussi par une inertie thermique interne relativement forte. Il est certain qu'en rénovation on ne dispose pas de toutes les marges de manœuvre nécessaires.

Distinguons plusieurs cas :

- Il existe des planchers et donc en général aussi des refends « lourds ». C'est le cas lorsque les planchers sont en béton. Dans cette situation, il n'y a pas de problème d'inertie. Elle est maximum et toutes les conditions sont réunies pour avoir un bon confort d'été. Les murs peuvent indifféremment être isolés par l'intérieur ou par l'extérieur.

■ les planchers sont faits d'un solivage bois recouvert d'un parquet avec un plafond en plâtre. Il existe d'importants refends lourds, souvent en pierre. Il faut alors distinguer deux cas selon que la surface en tableau des parties vitrées rapportée à la surface habitable est supérieure ou inférieure à un sixième (valeur jadis enseignée dans les écoles d'architecture...) :

- si ce ratio est inférieur à $1/6^{\text{ème}}$, la maison n'est pas trop vitrée et le niveau d'inertie des refends sera suffisant. On pourra isoler les murs indifféremment par l'intérieur ou par l'extérieur,

- si ce ratio vaut plutôt 20% voire se rapproche de 30% alors il y a un vrai risque d'inconfort estival. Il faut comprendre qu'en été, le flux de chaleur qui en hiver allait, par les vitrages, de l'intérieur vers l'extérieur, s'inverse. La chaleur vient de l'extérieur, par conduction/convection, au travers des baies vitrées, quoiqu'on fasse et malgré des occultations (ce n'est pas le rayonnement solaire qui pénètre, c'est uniquement la différence de température entre intérieur et extérieur au travers d'une paroi pas très résistante au transfert de chaleur qui crée l'apport de chaleur). Cet apport, d'autant plus élevé que la surface vitrée est importante, s'ajoute à toutes les chaleurs internes déjà présentes et contribuent très significativement à la surchauffe.

Dans ce cas il serait assez utile que l'isolation des murs puisse être faite par l'extérieur. Car il est possible que la seule inertie thermique des refends soit insuffisante.

■ les planchers sont faits d'un solivage bois recouvert d'un parquet et les refends sont constitués d'une structure porteuse en bois (l'équivalent d'une construction à ossature bois). Cette situation est très risquée au regard du confort d'été. S'il s'agit d'une maison à ossature bois (c'est à dire que même les murs extérieurs sont de construction légère), on est face à un problème bien connu qui est l'insuffisance récurrente d'inertie thermique dans les maisons de ce type. Il n'y a pas grand chose à faire que de mettre en œuvre toutes les autres recommandations de ce §.

Si les murs extérieurs sont des murs lourds, on peut alors vivement recommander de les isoler par l'extérieur afin de disposer d'un minimum d'inertie.

Au-delà de cet ensemble de considérations, rappelons que l'inertie thermique ne peut régler à elle seule le problème du confort d'été. Elle est absolument nécessaire parce que l'inertie joue le rôle d'un amortisseur et qu'elle permet un stockage temporaire de la chaleur la journée, ce qui réduit l'élévation de température le jour et l'augmente la nuit. Mais cette mesure n'est pas suffisante. Elle doit impérativement être doublée d'un dispositif d'évacuation de la chaleur durant la nuit. En stockant la chaleur la journée, l'inertie évite seulement la montée en température de jour, en reportant l'inconfort vers la nuit. Ne prévoir QUE de l'inertie ne solutionnera donc pas le problème de l'inconfort d'été.

2.7.4 Evacuer la chaleur des structures pendant la nuit

Le seul moment de la journée où il est possible de refroidir l'intérieur des bâtiments est la nuit. Une bonne stratégie de confort d'été doit obligatoirement intégrer des dispositions allant dans ce sens. Mais il y a loin de la théorie à la mise en œuvre...

Ventiler la nuit peut se faire naturellement. Les études sur de nombreux bâtiments ont montré qu'il faut environ 3 vol/h. L'ouverture d'un vantail d'une fenêtre munie d'une occultation très « perméable » suffit à assurer ce débit. Par convection naturelle dans la hauteur de l'ouvrant, l'air chaud intérieur sort en partie haute et le même volume d'air

extérieur frais entre en partie basse. Le « moteur thermique » ainsi constitué est très efficace et le débit de renouvellement d'air est suffisant.

Il est *a priori* impossible de disposer d'une VMC pouvant assurer ce débit de pointe (ce qui permettrait de ne pas ouvrir les fenêtres). Cela conduirait à de très importants surdimensionnements difficiles à financer et même à intégrer dans les gaines techniques et les logements. Cela conduirait également à de très importantes surconsommations d'électricité (la consommation d'électricité varie avec le cube du débit d'air). Enfin, ce serait une source de bruit importante, la nuit, ce qui est la période pendant laquelle le bruit est le moins bien toléré. En conclusion, il faut retenir que la piste de la ventilation mécanique n'est sûrement pas la bonne pour évacuer la chaleur durant la nuit.

L'expérience montre aussi qu'il n'est pas besoin que les logements soient traversants pour que la ventilation naturelle par ouverture des fenêtres soit efficace. Mais ce mode de ventilation n'est visiblement pas très utilisé par les usagers. Deux raisons expliquent ceci :

- le bruit en ville est important, même la nuit. On n'a pas encore trouvé de moyen permettant de l'atténuer lorsque les fenêtres sont ouvertes....

- les risques d'effraction, réels ou supposés. Les locataires ont souvent peur de dormir fenêtre ouverte, car ils craignent des intrusions. Cette crainte peut se justifier au rez-de-chaussée, mais pas vraiment dans les étages supérieurs.

Evidemment l'exécution de ces conseils reste au libre arbitre des usagers. Il est donc probable que certains n'en tiendront pas compte. Pour ceux-là, le confort d'été ne sera tout simplement pas possible en dehors de systèmes de climatisation qui sont par ailleurs à limiter essentiellement à cause des fuites importantes de gaz frigorigène dont ils sont le siège en fonctionnement « normal ». Rappelons que ces gaz ont un pouvoir « effet de serre » 1500 fois plus important que le CO₂....

2-8 Intérêt des Solutions Techniques de Référence (STR)

L'intérêt le plus évident des STR est d'avoir substitué à des calculs complexes que peu d'opérateurs sont capables de faire aujourd'hui des ensembles de solutions conduisant aux objectifs de performances recherchés sans faire aucun calcul.

Mais au-delà de ce premier aspect, l'intérêt majeur des **Solutions Techniques de Référence (STR)** repose sur leur mode d'élaboration construit sur l'idée que pour rénover à 50 kWh/m²/an on peut tenter de rénover chaque logement à 50 kWh/m²/an (ce qui est parfaitement impossible), ou on peut définir des combinaisons de travaux telles que si on utilise n'importe laquelle d'entre elles dans chacune des rénovations thermiques qui seront conduites désormais en France, la consommation moyenne du parc à la fin du programme de rénovation sera de 50 kWh/m²/an.

Cette manière de faire très simple conduira à ce que, dans certaines régions la consommation ne soit que de 20 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an alors que dans d'autres elle sera à 80, mais la moyenne sera bien à 50 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an.

Les STR conduisent donc à une certaine mutualisation de l'effort pour atteindre un objectif national ambitieux (les 50 kWh/m²/an). Ainsi, les habitants de l'Est de la France, dont le climat est très rigoureux, ne sont pas placés devant un mur d'impossibilité et des conditions de rénovation inacceptables (par exemple si on isole par l'intérieur pour préserver une façade en colombages, avec des résistances additionnelles conduisant à 30 cm d'isolant). Cela suppose bien sûr l'acceptation de cette mutualisation par les autres français, ceux situés dans les zones climatiquement plus favorisées. Oui, dans le Var, on aura une

consommation de chauffage ne dépassant pas 20 kWh/m²/an et des résistances thermiques relativement importantes. Cela peut choquer les habitants de ce département, mais cela relève d'une solidarité nécessaire pour mener à bien l'ambitieux programme de rénovation en France.

Or de nombreuses régions intéressées par le principe des STR, ont commencé à élaborer leur propre référentiel et leurs propres STR. C'est un véritable contresens. Répétons que l'intérêt des STR est national, il n'est pas régional. Il réside dans la facilité acquise au niveau de tout le pays, dans la recherche d'un objectif commun ambitieux. En individualisant régionalement les STR, on conservera certes la simplicité d'action pour les artisans, mais on perdra ce qui est peut-être l'essentiel des STR : être une solution qui règle une question de dimension nationale en se fondant sur une idée noble et efficace : la mutualisation de l'effort. Nous en appelons donc à l'abandon de ces tentatives à caractère individualiste qui, loin de faire avancer la cause de la rénovation, la font profondément reculer et nous éloigne de l'objectif commun d'atteindre d'ici 2050 des consommations de chauffage de 50 kWh/m²/an.

Mais les STR sont également intéressantes parce qu'elles simplifient d'autres aspects moins visibles du processus. En effet :

1 - il n'existera que 3 ou 4 références de produits (déclinées bien sûr par chaque industriel) pour chaque type de paroi. **Car les STR n'imposent pas des solutions ou des matériaux, mais seulement des résistances thermiques.** Chaque fabricant aura donc des produits phares pour chaque type de paroi. Ces produits seront de natures très variées selon les fabricants. Le seul point commun entre eux sera leur résistance thermique. Il s'agira de produits phares parce que le marché de la rénovation sera très important et qu'il s'articulera toujours autour des mêmes produits. Ces produits seront fabriqués massivement. **Ils seront donc bon marché.** Et en plus on les trouvera chez n'importe quel marchand de matériaux sans avoir besoin de les commander, en n'importe quel point du territoire.

2 - La formation des artisans et des petites entreprises sera très aisée. Puisque quel que soit le lieu de France où ils exerceront leur métier, la technique et les solutions seront les mêmes.

3 - Pour toutes les petites opérations (notamment les 53 % de maisons individuelles), les artisans pourront intervenir directement sans passer par un maître d'œuvre. Dans un processus visant la rénovation de 500.000 logements par an, cette simplification est essentielle. Il faut garder à l'esprit que le grand programme national de rénovation concernera avant tout l'artisanat. Et les procédures doivent donc forcément être adaptées à cette situation....

4 - On passerait d'une obligation de résultats (ce qui est implicitement le cas actuellement) à une obligation de moyens (il suffit de mettre en œuvre les dispositions préconisées). Si on s'adresse à des artisans ou à de petites entreprises, cette différence est fondamentale. Personne, dans ces catégories professionnelles, n'acceptera d'être soumis à des calculs considérés comme des « usines à gaz » (sic). **Tout processus fondé sur le calcul (et l'obligation de résultats) est voué à l'échec dans la France d'aujourd'hui, et cette évidence pour un homme de terrain doit impérativement être prise en compte dans toute décision de stratégie sur la rénovation du parc bâti.**

5 - Le contrôle sur chantier serait extrêmement simple puisqu'on sait par avance la nature de la résistance thermique que l'on doit trouver sur chaque type de paroi. On peut se rendre sur un chantier sans dossier de calcul.... Or le contrôle doit devenir une opération très fréquente afin de s'assurer de la réalité du programme de rénovation,

6 - Pour les banquiers, les STR sont très intéressantes. D'abord elles conduisent à des dépenses d'un type nouveau, puisqu'elles vont permettre d'économiser de l'énergie donc de l'argent ! La banque **consent donc à son client un prêt sans risque**. Les frais de dossier seront réduits grâce au caractère « officiel » que pourrait avoir le dispositif des STR . Actuellement lorsqu'un client se présente chez son banquier avec un devis établi par professionnel, le banquier envoie son spécialiste refaire le devis et s'assurer de la viabilité économique du projet (témoignage d'un banquier !). Avec les STR, le banquier n'aura plus besoin de garantie de ce type. Les prêts seront facilement délivrés et seront moins chers.

7 - Mais cette approche très pragmatique a un dernier avantage connexe intéressant : l'identification claire des travaux élémentaires à exécuter lors d'une rénovation complète rend très simple la nature des interventions ponctuelles à effectuer lors de rénovation partielle (en cours d'occupation des locaux et non lors d'une cession). Le but est d'éviter que lors de travaux partiels de rénovation en cours d'occupation il ne soit mis en œuvre des dispositions insuffisantes sur le plan thermique qui conduiraient, selon l'expression déjà utilisée, à « tuer » le gisement d'économie en plaçant le bâtiment dans une situation quasi irréversible pour longtemps. Aujourd'hui, faute d'avoir adopté cette stratégie face au gisement d'économie, la politique publique contribue à la destruction de ce gisement d'économie en favorisant la pose de matériels aux qualités tout à fait insuffisante.

Mais grâce aux « Solutions techniques de Référence », on pourrait redonner cohérence à l'aide publique de façon très simple : l'aide ne serait octroyée à un particulier qui entreprend des travaux de rénovation complète QUE si les solutions mises en œuvre faisaient partie des bouquets de travaux et des contraintes associées figurant dans les STR. Si les travaux étaient engagés de manière partielle, il faudrait que le particulier choisisse d'ores et déjà, avant la réalisation de la première intervention, la trajectoire qui sera mise en œuvre au cours de la vie du bâtiment pour la réalisation des différentes interventions. En clair, il faudra qu'il choisisse l'une des Solutions Techniques de Référence et que lui et les propriétaires successifs respectent cette trajectoire et ces règles. A la fin des travaux, on aura donc bien atteint l'objectif d'amélioration de performance recherché, sans avoir tuer le gisement.

Toutefois, il faut conserver à l'esprit que les rénovations par étape, même si chacun souhaite y recourir, restent une méthode peu sûre et très chère pour réaliser une rénovation performante. Et elle perd généralement l'aide financière de l'ECOPTZ (qui ne peut être utilisé qu'une seule fois).

Cette capacité à introduire une continuité et à établir une cohérence dans les actions à entreprendre au cours du temps n'est pas la moindre des vertus de des Solutions Techniques de Référence.

2-9 Les STR vont-elles conduire à uniformiser toutes les rénovations ?

Est-ce que l'utilisation des STR est réductrice de la qualité et de la variété des rénovations qui seront entreprises comme on l'a entendu dire (probablement pas ceux qui ne savaient pas de quoi il retournait réellement) ?

Absolument pas ! La méthode des Solutions Techniques de Référence ne préjuge en rien ni de la nature des isolants, ni de leur habillage, ni des finitions choisies. Elles se bornent à préciser « ce qui ne se voit pas », à savoir la résistance thermique, ou le niveau d'étanchéité à l'air choisi. Elle constitue donc une aide très précieuse, aux dires des professionnels eux-mêmes, pour pratiquer la rénovation de manière simplifiée et très opérationnelle.