

## Table des matières

Introduction.....	6
Quelle stratégie adopter pour un logement économe en énergie ?.....	7
Peut-on attendre en tablant sur le fait que les travaux d'amélioration seront plus vite amortis quand l'énergie sera chère ?.....	7
Quel niveau d'isolation doit-on viser ?.....	7
Quel genre de logement dois-je isoler ?.....	8
La maison individuelle.....	8
Le logement collectif.....	8
Autres formes de logements.....	9
Bien utiliser son corps et sa tête.....	9
Faire l'état du logement existant ou du futur logement visé.....	9
Degré d'isolation des parois.....	10
Plafonds et toitures.....	10
Ouvertures en plafond ou toiture.....	10
Cloisons ou murs.....	10
Ouvertures dans les murs.....	11
Sols.....	11
Principe de calcul des pertes d'un logement.....	11
Degré d'étanchéité du logement.....	12
Ouvertures.....	12
Appareils électriques encastrés.....	12
Autres.....	12
Modes de ventilation.....	12
Consommation d'eau.....	12
Autres économies possibles.....	12
Bilan des pertes et des gains de chaleur.....	13
Les améliorations ou les objectifs requis.....	13
Les aides financières en rénovation.....	13
L'éco prêt à taux Zéro.....	13
Le crédit d'impôt développement durable.....	13
Les aides de l'Anah.....	13
Les aides des collectivités territoriales.....	13
Les prêts sur livret développement durable.....	14
La TVA à 5,5%.....	14
Techniques pour une meilleure isolation.....	14
Isolation des toitures et des plafonds.....	14
Toitures.....	14
Par l'intérieur ou par dessous.....	14
Par l'extérieur ou par dessus (sarking).....	14
Mixte.....	14
Plafond.....	15
Par dessous.....	15
Par dessus.....	15
Mixte.....	15
Isolation des parois murs extérieurs.....	15
Les technologies disponibles.....	15
Isolation par l'intérieur.....	15
Isolation par l'extérieur.....	16

Le plus simple.....	16
Le double mur.....	16
Isolation mixte intérieur/extérieur.....	16
Adéquation avec l'existant.....	16
Choix de la bonne solution, coût, exigence de résultat.....	16
Isolation des ouvertures.....	16
Les technologies disponibles.....	16
La fenêtre ancienne, simple vitrage, non étanchéité à l'air.....	16
La fenêtre d'après 1985, double vitrage, étanchéité correcte à l'air.....	16
La fenêtre récente à double vitrage à isolation renforcée (VIR), très bonne étanchéité à l'air.....	17
La fenêtre à triple vitrage.....	17
La double fenêtre.....	17
Des sols ou planchers.....	18
Les technologies de sols.....	19
Le terre plain.....	19
Le vide sanitaire ou un espace inférieur non chauffé.....	19
L'espace inférieur à priori chauffé.....	19
La dalle béton.....	19
La dalle béton avec ponts thermiques minimisés.....	19
La dalle isolante par nature.....	19
La terre battue.....	19
Le revêtement carrelage.....	19
Le revêtement plancher.....	19
Le revêtement moquette.....	19
Le revêtement linoléum ou équivalent.....	19
Le chauffage par le sol.....	20
Juste ventilation.....	20
Quelques chiffres.....	20
Les technologies possibles.....	20
Aération naturelle non contrôlée.....	20
Aération naturelle contrôlée.....	20
Ventilation mécanique centralisée (VMC).....	20
Ventilation mécanique distribuée.....	21
Autre.....	21
Adéquation avec l'existant et choix d'une solution satisfaisante.....	21
Bilan des solutions possibles.....	21
Priorité des actions.....	21
Choix des solutions.....	21
Ordonnancement des actions.....	22
Economie réalisée et retour sur investissement.....	22
Vers un logement positif et autonome.....	22
La super isolation.....	22
Isoler suffisamment et intelligemment.....	23
Étanchéfier le logement.....	23
Récupérations optimum d'énergies locales.....	23
Les diverses récupérations possibles.....	23
La chaleur solaire.....	23
Mur à effet de serre.....	23
Mur Trombe.....	23

La serre accolée ou véranda.....	24
La toiture.....	24
La double peau.....	24
Ouvertures et volets.....	24
Le solaire thermique.....	25
L'électricité solaire.....	26
Combiné solaire thermique et électriquement.....	26
L'électricité éolienne.....	26
Etat de la réglementation thermique.....	27
Classification énergétique et CO2.....	28
Classification flux d'air.....	28
Pourquoi la classification du flux d'air est importante ?.....	28
Le test d'étanchéité à l'air.....	28
Les normes existantes.....	30
La RT2005 (obsolète).....	30
La RT2012.....	36
Le contexte énergétique.....	36
Synthèse et apports de la loi ENE (Grenelle II) 12/07/2010.....	36
Bâtiment.....	36
Urbanisme.....	36
Réseaux de chaleur renouvelables.....	36
Electricité renouvelable.....	36
Rappel des exigences de la RT 2012.....	36
Le calendrier et champs d'application de la RT 2012.....	36
Définitions : Grandes lignes de la réglementation technique RT 2012.....	37
Exigences de résultat.....	37
Exigences de moyens.....	37
Sanctions en cas de non respect.....	37
Paramètres distinctifs d'un bâtiment.....	37
Localisation géographique.....	37
Classes de bruit.....	39
Usage du bâtiment et surface habitable au sens de la RT2012 (ShonRt).....	39
Catégories CE1 / CE2.....	40
Les exigences de résultat de la RT 2012.....	40
La consommation d'énergie primaire (Cep).....	40
Le besoin bioclimatique (Bbio).....	42
La température intérieure de confort d'été (Tic).....	43
Les outils de calcul automatique des Cepmax, Bbiomax et Ticmax.....	43
Les exigences de moyens de la RT2012.....	44
Recours aux énergies renouvelables (art 16).....	44
Etanchéité à l'air de l'enveloppe (art 17).....	44
Indicateurs de perméabilité à l'air.....	44
Isolation thermique (art 18 et 19).....	44
Eclairage naturel (art 20).....	44
Confort d'été (art 21 et 22).....	45
Dispositions diverses (art 23).....	45
Système de mesure et d'estimation des consommations.....	45
Limitation de la prise en compte de production d'électricité pour les usages d'habitation (art 30)	46
.....	46
Méthode de calcul des déperditions et/ou des apports.....	46

Existence et contenu du dossier d'étude thermique.....	46
Les sanctions en cas de non respect de la RT2012.....	47
Les solutions possibles, présentation de projets BBC.....	47
Les fondamentaux de la conception bioclimatique.....	47
La stratégie du froid (été).....	47
Se protéger du soleil en été.....	47
Brises soleil horizontaux au sud.....	47
Brises soleil verticaux à l'est et à l'ouest.....	47
Prohiber les ouvertures zénithales.....	47
Eviter la transmission de chaleur par les parois.....	47
Par l'isolation des parois exposées.....	47
Par la ventilation d'espaces sous toitures ou devant les murs.....	48
Par la végétation.....	48
Dissiper l'air chaud de la journée (entré par le soleil ou par les individus).....	48
Par ventilation nocturne naturelle.....	48
Par refroidissement nocturne des matériaux internes à forte inertie.....	48
Rafrâchir ou refroidir.....	48
La stratégie du chaud (hiver).....	48
Capter la chaleur du soleil en hiver.....	48
Stocker la chaleur captée.....	48
Capter et stocker combinés.....	48
Distribuer la chaleur.....	48
Conserver la chaleur.....	48
La stratégie de l'éclairage naturel.....	48
Capter la lumière naturelle.....	48
Orientation.....	48
Incidence du relief du terrain.....	48
Pénétrer ou transmettre.....	49
Inclinaison de l'ouverture.....	49
Orientation de l'ouverture.....	49
Configuration de l'ouverture dans la pièce.....	49
Dimensions de l'ouverture.....	49
Matériau de transmission de la lumière (en%).....	49
Caractéristiques du local.....	49
Distribuer ou répartir.....	49
Type de distribution lumineuse.....	49
Répartition des ouvertures.....	49
Serres, vérandas, doubles peaux.....	49
Systèmes de distribution lumineuse.....	50
Se protéger du trop fort éclairage naturel, le contrôler.....	50
Les solutions relatives à l'enveloppe.....	50
Le traitement des parois opaques selon les modes constructifs.....	50
Isoler par l'extérieur.....	50
Isoler par l'intérieur.....	51
Isolation répartie.....	51
Isolation en rénovation.....	51
L'impact des baies vitrées sur les consommations.....	51
Les solutions pour traiter les ponts thermiques.....	52
Le traitement de l'imperméabilité à l'air.....	56
Le test d'étanchéité à l'air.....	56

Qu'est ce l'infiltrométrie ou test d'étanchéité à l'air ?.....	56
L'objectif.....	56
La mesure de la perméabilité à l'air.....	57
La préparation du bâtiment.....	57
Le déroulement du test.....	57
La recherche des fuites :.....	57
Les solutions relatives aux systèmes.....	57
La ventilation et l'intérêt du double flux.....	57
Le cas de l'eau chaude sanitaire.....	58
La PAC géothermique.....	59
Air air.....	59
Air Eau.....	59
Eau glycolée Eau.....	60
Eau Eau.....	60
Géothermique.....	60
Le chauffage au bois.....	60
La géothermie.....	60
Les solutions innovantes.....	61
Les matériaux à changement de phase (MCP).....	61
Les hyper isolants.....	61
La PAC gaz.....	62
La micro cogénération (Combined Head and Power).....	62
Le moteur à combustion interne.....	62
La microturbine à gaz.....	62
Le moteur à combustion externe (Rankine, Stirling, Ericsson).....	62
La pile à combustible.....	62
Le Ballon thermodynamique sur double flux.....	62
Le label BBC (RT2005) ou Effinergie BBC.....	64
La démarche Haute Qualité Environnementale (HQE).....	67
Maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur.....	67
Recherche d'un environnement intérieur favorable à l'homme.....	67

## Introduction

Même si le prix du gaz ou du pétrole reste bon marché à ce jour, le coût des énergies doit augmenter dans les années à venir à cause soit de la pénurie, soit d'une extraction de plus en plus risquée et chère, soit à cause du respect de la COP21 qui veut limiter l'usage des hydrocarbures afin de limiter le dérèglement climatique. Cette augmentation de coût des énergies a toutes chances d'être exponentielle.

Quand à l'électricité d'origine nucléaire française, son coût ne cesse d'augmenter du fait du vieillissement des centrales, du fait du traitement énorme et extrêmement difficile des déchets, du fait de la raréfaction de l'uranium fde plus en plus difficile à extraire.

Les énergies renouvelables, soleil, vent, hydraulique, courants marins, ... permettent déjà de produire une électricité meilleur marché. Mais on ne peut pas n'utiliser que l'énergie électrique sans risquer de dépasser la quantité d'énergies renouvelables disponibles sur Terre.

Il faut s'attendre à une augmentation de l'énergie de 5% par an et sans doute plus d'ici 2020. Même si cette projection n'est pas validée par l'Ademe et encore moins officiellement par les fournisseurs d'énergie, on imagine bien que le coût des énergies deviendra très lourd voire insupportable.

Pire encore, nombre de sources d'énergies fossiles et nombre de métaux seront épuisés dans moins de 30 ans. Même les phosphates, très utiles à l'agriculture intensive, seront épuisés. Beaucoup de gens ne pourront plus se chauffer et maintenir un bon niveau de confort de leurs habitations. De plus, la principale énergie, le pétrole, étant utilisée très largement dans les transports routiers, fluviaux ou aériens, la distribution de marchandises deviendra plus chère et sans doute plus rare.

De même les déplacements de personnes devraient être minimisés. Il est à craindre que nombre de nos emplois actuels soient supprimés. Nous serons donc probablement contraints à demeurer davantage chez nous quitte à gérer une partie de nos affaires à domicile et ce grâce à Internet; le coût d'Internet augmentera également car les serveurs informatiques dépendent de l'énergie électrique, mais on peut supposer que ce coût restera modéré par rapport à celui des transports compte tenu du fait que les serveurs sont de plus en plus économes en électricité et sont de plus en plus souvent alimentés en électricité de source renouvelable .

Donc, pour pouvoir traiter nos affaires à domicile ou bien même y demeurer sans emploi, il faut que nos logements restent suffisamment confortables !

Etat du parc résidentiel français.

<b>Catégories</b>	<b>Kwh/m<sup>2</sup>/an</b>
Parc existant antérieur à 2000 (environ 70 à 80 % du total résidentiel)	150 à 450
Bâtiments neufs conformes RT2000	115 à 300
RT2000 label HPE ou démarche HQE (-8 % / RT2000)	105 à 275
Bâtiments neufs THPE ou RT2005	100 à 240
Réhabilitations basse énergie	45 à 75
Bâtiments neufs basse énergie	35
Bâtiments neufs très basse énergie ou passifs	15

C'est dire tout l'intérêt de rendre nos logements les plus économes possibles en énergie. Sans doute est-ce même un élément de survie. C'est l'objet de ce document:

"Comment rendre nos logements plus économes voire même producteurs d'énergie".

Pour cela nous nous demanderons quelle stratégie adopter pour un logement plus économe en énergie, nous ferons un état des lieux, puis nous décrirons les normes existantes ou à venir, nous donnerons le moyen d'évaluer son logement au regard de son coût énergétique, nous en déduirons des actions possibles pour améliorer les performances de ce logement.

Nous dirons également qu'un accroissement de la densité d'occupation par logement reste une méthode extrêmement économique pourvu que l'on accepte l'idée de partager son logement avec d'autres. La réduction de notre surface habitable est également économique. Mais, dans l'état d'esprit actuel des gens, c'est une autre histoire !

## Quelle stratégie adopter pour un logement économe en énergie ?

Le prix des énergies va croître rapidement dans les années à venir. Toute amélioration des performances d'un logement sera de plus en plus rapidement récupérée par les économies de chauffage ou de climatisation réalisées. Quand nous avons froid, nous utilisons des vêtements chauds, c'est à dire isolants. En général, nous achetons les vêtements chauds avant que n'arrive la vague de froid. Nous sommes prévoyants.

De même pour que notre logement reste confortable en toutes saisons, il faut le couvrir davantage, c'est à dire l'isoler fortement. Il ne faut pas attendre pour ce faire :

**Il faut isoler et le plus tôt possible !**

### Peut-on attendre en tablant sur le fait que les travaux d'amélioration seront plus vite amortis quand l'énergie sera chère ?

La réponse à cette question, en termes économiques, est mitigée : plus on attend, plus l'énergie devient chère et donc plus le coût des matériaux utilisés pour isoler et leur transport augmente aussi. Il y a sans doute un optimum à trouver mais il y a surtout le risque de laisser passer le moment optimum.

En termes écologiques, la réponse à cette question est non. Il ne faut pas attendre car attendre signifie polluer plus notre planète et piller des ressources devenant rares. De plus, tant qu'il n'y a pas obligation légale, des subventions ou crédits d'impôt sont intéressantes à prendre.

Enfin, si vous vous posez cette question, faites comme le marin qui se demande s'il doit réduire la voilure lorsque le vent commence à forcer. **Si vous vous posez la question, c'est qu'il est temps d'agir !**

### Quel niveau d'isolation doit-on viser ?

La réponse à cette question est très simple: le mieux possible dans la mesure où les frais correspondants sont supportables. Ne pas hésiter à augmenter les épaisseurs d'isolant car, actuellement, le coût de l'isolant reste relativement bas par rapport à la main d'oeuvre pour le poser. De plus le nombre d'heures de main d'oeuvre est indépendant ou presque de l'épaisseur de l'isolant.

La performance d'un isolant pour parois opaques se mesure par R, la résistance thermique ; plus celle-ci est élevée, meilleure est l'isolation. Il est relativement facile d'avoir un R supérieur à 4.

La performance de parois vitrées se mesure par  $U_w$  qui est l'inverse de R. plus  $U_w$  est petit, meilleure est l'isolation de l'ouverture vitrée. Il est très difficile d'avoir un  $U_w < 0,8$  (qui correspond à un R de 1,25).

Par exemple, viser un R d'au moins 7,5 pour la toiture, de 4,5 pour les murs, un  $U_w$  de 1,4 pour les ouvertures, mettre en place au moins une ventilation hygro B, soigner l'étanchéité à l'air du bâtiment. Voir plus loin ce qu'est le coefficient R d'une paroi et comment l'obtenir.

Si on ne peut pas isoler au maximum pour des raisons économiques ou techniques, savoir que les premiers centimètres d'isolation sont les plus efficaces et qu'il vaut mieux isoler un peu que pas du tout.

Oublier le dispositif de chauffage pour l'instant, car si on parvient à isoler fortement, le chauffage existant déjà suffira, voire marchera à bas régime. De toutes façons, ce sont les déperditions thermiques après isolation qui permettront de dimensionner correctement l'installation de chauffage ou climatisation.

Le tableau ci-dessous présente 10 solutions techniques possibles permettant de respecter l'exigence de résultats de la RT2012 sans obligation de se lancer dans les calculs compliqués de la Th BCE 2012. Voir le chapitre décrivant la réglementation thermique RT2012 plus loin si nécessaire.

Solution	Type Isol int/ext	Etanchéité n50 vol/h	Murs R m2.C/W	Plancher bas R m2.C/W	Toiture R m2.C/W	Vitrages $U_w$ W/m2.C	VMC
1	Intérieure	3	6	4,5	10	1,1	Double Flux
2	Int	3	4,5	4,5	10	0,8	DF
3	Int	1	4,5	4,5	10	1,7	DF
4	Int	1	4,5	2,5	7,5	1,1	DF
5	Extérieure	3	4,5	4,5	7,5	1,7	DF
6	Ext	3	4,5	2,5	7,5	1,1	DF

7	Ext	3	6	4,5	10	0,8	Hygro B
8	Ext	1	4,5	2,5	7,5	1,7	DF
9	Ext	1	4,8	2,5	7,5	1,1	DF
10	Ext	1	4,5	2,5	7,5	0,8	Hygro B

Par exemple si l'étanchéité obtenue en final correspond à un renouvellement de 3 volumes/heure et si on veut utiliser une simple VMC hygro B, seule la solution 7 convient : il faut donc isoler par l'extérieur (ce qui supprime la plupart des ponts thermiques), obtenir un R de 6 pour les murs, de 4,5 pour le plancher bas, de 10 pour la toiture (40cm de laine ou 23 cm de mousse Resol), poser des triples vitrages de  $U_w \leq 0,8$ .

Autre exemple : si la résistance thermique du plancher bas est au mieux de 2,5, seules les solutions 4,6,8,9 et 10 sont possibles et si là encore on se limite à une VMC hygro B, seule la solution 10 convient : il faut alors soigner l'étanchéité pour obtenir 1 renouvellement par heure seulement,  $R=4,5$  pour les murs, 7,5 pour la toiture et il faut poser des triples vitrages de  $U_w \leq 0,8$ .

Dans un logement ancien les contraintes existantes sont fortes et il est fort probable qu'aucune des 10 solutions proposées ci-dessus ne convienne. Dans ce cas rechercher quelle est la contrainte la plus forte et trouver dans le tableau des solutions celles qui approchent le mieux de cette contrainte forte.

Exemple : les vitrages anciens sont peu efficaces thermiquement mais tellement beaux ! On veut les conserver. Dans le tableau on voit que les solutions 3, 5 et 8 correspondent à des vitrages peu performants ; on choisira donc l'une de ces possibilités. Si de même on se refuse à cacher les murs extérieurs, seule la solution 3 reste possible. On essaiera quand même d'améliorer l'étanchéité des vitrages existants par des double fenêtres intérieures incluses dans l'isolation intérieure des murs.

Remarque importante : la surface des parois opaques (murs, toiture, plafond, sol) est bien plus importante que la surface des ouvertures vitrées ; de plus les matériaux d'isolation des parois opaques sont beaucoup plus performants que la meilleure des ouvertures vitrées. Conséquence : **toujours isoler efficacement les parois opaques avant de mettre en place des fenêtres ou portes bien isolantes.**

## Quel genre de logement dois-je isoler ?

Nous n'avons rarement la possibilité de choisir ou de changer de logement car nous sommes tributaires de contraintes fortes d'une part, de préjugés d'autre part. Nos contraintes : proximité du lieu de travail, habitat partagé avec la famille, ... Nos préjugés : rêve de la maison individuelle, le béton plus solide que le bois, ...

### La maison individuelle

Beaucoup de gens souhaitent avoir leur maison placée au milieu d'un terrain assez important. Et donc, assez loin des villes. Il en résulte des trajets domicile travail forts longs souvent, l'utilisation au mieux de transports en commun, au pire de voitures, avec tous les inconvénients connus: perte de temps, gaspillage d'énergie, pollution, ...

Il faudrait au contraire construire compact, **des maisons en bande par exemple comme dans les villes afin de minimiser les pertes de chaleur ou des maisons enchevêtrées comme dans les villages provençaux.**

De même, il faudrait mélanger habitat et lieux de travail tant que le lieu de travail n'est pas polluant; ce qui est facile à obtenir aujourd'hui tant dans les secteurs tertiaire, secondaire et même primaire puisque les usines nouvelles se doivent d'être propres et de ne pas nuire à l'environnement.

Au passage on voit bien que certaines activités industrielles ou agricoles sont incompatibles avec cet objectif de rapprochement habitat, lieux de travail telles que installations nucléaires, étables ou porcheries industrielles. Ce qui signifie, à l'évidence, que ces activités sont néfastes à l'homme et devraient être arrêtées le plus tôt possible.

Espérons que les collectivités locales révisent leurs plans d'urbanisme dans ce sens.

### Le logement collectif

L'appartement est plus compact que la maison ; il est moins exposé aux éléments extérieurs puisqu'il dispose souvent d'une ou deux façades sur rue ou sur cour et de 4 autres faces mitoyennes. Ce type de logement est donc, relativement économique à chauffer. Il devrait être privilégié. Et sa qualité de construction et de voisinage doit être

recherchée. Mais pour le rendre plus attractif, encore faudrait-il faire en sorte que les terrasses attenantes existent pour le moins, ou soient beaucoup plus vastes de façon à permettre le déploiement de verdure, plantes d'agrément ou mieux de plantes aromatiques et même vivrières. En fait il serait opportun d'inventer un type de logement à mi chemin entre maison individuelle et appartement.

La solution du chauffage collectif est meilleure que celle du chauffage individuel ; en effet on peut montrer que le chauffage collectif est presque toujours plus avantageux et moins polluant que le chauffage individuel même électrique (\*). Enfin, la gestion par le conseil syndical et le syndic d'immeuble devraient être moins onéreuses. A condition que tous les copropriétaires participent et s'investissent dans cette gestion commune essentielle.

(\*) Le chauffage électrique est beaucoup plus polluant qu'on ne le croit. En effet, lors des pointes de courant du soir ou du matin, EDF est obligée de faire démarrer des centrales thermiques qui produisent plus de CO2 qu'une centrale nucléaire. Les pertes de conversion d'énergie calorifique en électricité puis de transport de cette électricité font que ce type de chauffage a un rendement global très inférieur à la chaudière productrice de chaleur locale. Enfin, dans le bilan des centrales nucléaires, il faudrait intégrer le transport depuis l'étranger (Niger, Khasakstan, Canada, Australie) du minerai d'uranium, son traitement, la construction de la centrale, les éléments et règles de sécurité, le retraitement et le stockage des déchets, le démantèlement de la centrale, le provisionnement ou l'assurance en cas d'accident grave; on s'apercevrait alors que l'électricité d'origine nucléaire émet beaucoup de CO2 et coûte très cher aux français !

## Autres formes de logements

Les plus grands architectes n'ont pas su inventer et faire adopter un type de logement intermédiaire entre la maison individuelle et l'appartement. Un mixte qui disposerait d'une surface de terrasse jardin au moins égale à la surface habitable. Ces mixtes pourraient s'imbriquer judicieusement dans un petit immeuble de faible hauteur, utiliser le concept de toiture végétalisée, avoir des parois communes, mettre en commun la production d'énergie, s'établir en terrasse sur des collines, etc ...

La mixité sociale et inter-générationnelle est à rechercher; il arrive trop souvent que des personnes âgées vivent seules dans une maison ou un appartement qui est prévu pour héberger toute une famille. Pourtant loger un étudiant ou un couple sous le toit de l'aïeule présente de nombreux intérêts tant sur le plan économies d'énergie que sur le plan social. Il faudrait juste que l'un et l'autre se fassent bien confiance, soient un peu moins égoïstes ...

Par exemple, un organisme appelé Ages & Vie, basé à Besançon, tente de structurer et de généraliser cette forme mixité dans l'intérêt de tous.

En cas de grands froids, se regrouper dans un logement sur deux représenterait une économie d'énergie substantielle ... au prix de gros efforts de renoncement à l'individualité et à la volonté de vivre ensemble en bon voisinage !

Les foyers de jeunes immigrés, de jeunes mamans, les hôtels, les chambres d'hôtes, les gîtes ruraux sont des formes de logement à ne pas négliger dès lors que leur coût d'usage énergétique reste bas.

Dans son logement, on peut encore ne chauffer que la pièce où vit toute la famille (cuisine, séjour) et mettre des couvertures et/ou des laines sur soi dans les autres pièces. Simple et efficace pour réduire la facture de chauffage !

## Bien utiliser son corps et sa tête

Il est avéré que la station assise et quasi immobile, nuit à la santé. Faire aller ses petits muscles vaut mieux que des aides mécaniques ou des robots ... et produit naturellement de la chaleur ainsi qu'une meilleure sensation de bien être.

Préparer ses repas à partir d'aliments de base est plus sain que d'acheter du tout préparé ; le temps passé, ensemble, en préparation culinaire vaut mieux que rester affalé devant la télévision et ses nombreux programmes bêtifiants !

Rechercher des sources d'alimentation associatives et bio vaut mieux qu'aller au supermarché. On connaît ainsi ceux qui nous nourrissent directement, on peut même participer à cet effort louable, on peut rencontrer d'autres participants ; une façon mieux vivre socialement. Et la nourriture ne franchit pas des milliers de kilomètres avant d'arriver sur notre table !

## Faire l'état du logement existant ou du futur logement visé

Pour déterminer comment agir pour rendre notre logement économe, il faut d'abord savoir dans quel état est ce logement. Cet état consiste principalement, à faire la liste exhaustive de toutes les parois et ouvertures du logement ; pour chacune d'elles mesurer sa surface, sa constitution matérielle. La constitution matérielle de la paroi opaque ou de l'ouverture vitrée ou non permettra de déterminer son degré d'isolation actuelle, les possibilités d'amélioration de cette isolation, l'étanchéité actuelle et les possibilités d'amélioration de cette étanchéité à l'air.

Il n'est pas utile de déterminer pour l'instant quels sont les moyens de chauffage ou de refroidissement utilisés car on vise à éviter le plus possible leur usage, grâce à une meilleure isolation.

Une simple feuille de calcul électronique fournie avec cette documentation permet à chacun de faire cet état des lieux. Voir les documents bilanpertes.doc pour le mode d'emploi et bilanpertes.xls pour les calculs.

### Degré d'isolation des parois

En fonction de l'âge et de la nature de ces parois on peut faire une première estimation du degré d'isolation de celles-ci. Néanmoins, l'idéal est de connaître la constitution précise des parois. En effet, des améliorations diverses sont apparues dans le temps et ont pu être apportées à ces parois par les occupants. Par exemple, on a pu isoler quelque peu les murs par l'intérieur avec une couche d'isolant, ou bien remplacer une ancienne fenêtre, etc ...

Chaque constituant de la paroi a une constante d'isolation propre et une épaisseur. La connaissance de cette constante multipliée par cette épaisseur permet de calculer la résistance thermique R du constituant. Il suffit d'ajouter les résistances thermiques de chaque constituant de la paroi pour obtenir la résistance thermique globale de cette paroi.

Par exemple une paroi opaque est constituée de l'extérieur vers l'intérieur, d'un enduit béton de 2 cm, l'un parpaing béton creux de 15 cm, d'un placopan de 8 cm de polystyrène et de 1 cm de plâtre.

L'enduit a une résistance thermique de 0,09 pour 10 cm, soit 0,02 pour 2 cm

Le parpaing a une résistance thermique de 0,10 pour 10 cm, soit 0,15 pour 15 cm

Le polystyrène a une résistance thermique de 2,56 pour 10 cm, soit 2,05 pour 8 cm

Le plâtre a une résistance thermique de 0,29 pour 10 cm, soit 0,03 pour 1 cm

Soit une résistance thermique globale de :  $0,02 + 0,15 + 2,05 + 0,03 = 2,25$ .

Le quotient de la surface de la paroi par la résistance thermique globale donne la quantité d'énergie qui traverse la paroi à chaque seconde et ce pour un degré centigrade. Plus cette quantité d'énergie est importante, plus la paroi considérée perd de la chaleur.

### Plafonds et toitures

C'est par cette paroi qu'ont lieu les plus importantes fuites de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur en hiver, mais aussi les apports de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur en été. Par exemple, en appartement, le plafond du niveau n cède sa chaleur à la dalle et donc au sol du niveau n+1, s'il existe. Dans une maison, le plafond du dernier niveau ou le toit (si comble habité) laisse s'évacuer de la chaleur vers l'extérieur. C'est donc cette paroi qui doit être isolée principalement.

Si on se reporte au tableau des 10 solutions idéales possibles, **on voit que le R de cette paroi devrait être au minimum de 7,5 et au mieux de 10.**

### Ouvertures en plafond ou toiture

Toute ouverture à cet endroit est une fuite potentielle importante de chaleur. Ne pas sous estimer les pertes à ce niveau. La surface de ces ouvertures doit être réduite si possible, surtout en cas de Velux ou équivalent. En effet, même si elles sont performantes, de telles ouvertures ont l'inconvénient d'apporter beaucoup de chaleur en été. De plus toute ouverture est une fuite d'air possible. Cette fuite d'air peut devenir très importante si l'ouverture est ancienne, de mauvaise qualité ou peu étanche sur son pourtour. Et une fuite d'air importante signifie perte de chaleur importante.

**Le Uw de telles ouvertures devrait être au pire de 1,7 et au mieux de 0,8 (triple vitrage).**

### Cloisons ou murs

Dans la plupart des vieilles constructions, les murs extérieurs ne sont pas isolés. C'est un poste important de fuites de chaleur dès lors que les pertes par les plafonds ou toitures ont été minimisés.

De par leur inertie, les murs épais jouent un rôle intéressant de climatisation jour/nuit, en été. La face intérieure

du mur n'a pas le temps de monter en température dans la journée ; et la face extérieure du mur est refroidie dans la nuit. Par contre, cette inertie ne peut plus jouer sur une période supérieure à quelques jours en hiver; elle ne protège donc pas des pertes de chaleur en hiver.

Dans les logements construits après 1983, les murs extérieurs sont souvent composés d'un enduit extérieur, d'un mur en béton ou parpaings, d'une couche de polystyrène de 6 à 8 cm et d'une plaque de plâtre de 1 cm. Ces parois sont isolées ( $R=2$  environ) mais cela reste insuffisant. Bien souvent l'étanchéité n'a pas été soignée et il y a des pertes de chaleur par fuite d'air. On peut s'en rendre compte en approchant sa main d'une prise de courant ou d'un interrupteur par exemple. On constate aussi, trop souvent, des ponts thermiques au niveau des châssis ou linteaux de fenêtre, des dalles d'étage, des murs de refend.

Jusqu'en 2008 et plus, le parti pris de l'isolation par l'intérieur est la règle, ce qui n'est pas le meilleur parti puisque ce mode d'isolation laisse subsister de nombreuses possibilités de ponts thermiques, par exemple au niveau des planchers béton. De plus accroître l'isolation par l'intérieur entraîne des travaux importants de dévoiement des équipements électriques ou sanitaires portés par ces murs. L'isolation par l'extérieur supprime naturellement la plupart des ponts thermiques et permet de bénéficier de l'inertie thermique des matériaux lourds comme le béton ou la brique d'un mur ou d'une dalle de niveau. De plus aucune incidence sur les équipements intérieurs.

Donc préférer l'isolation par l'extérieur à chaque fois que possible.

**Pour les murs il faut viser un R compris entre 4,5 minimum et 6 au mieux.**

## Ouvertures dans les murs

Les ouvertures à ce niveau sont fréquentes tant pour éclairer le logement que pour en faciliter l'accès. La qualité des ouvertures est très variable tant en résistance au flux de chaleur, qu'en résistance aux courants d'air, etc ... De plus, une certaine dynamique est possible comme fermer des volets en cas de besoin (nuit pour limiter les pertes de chaleur, jour pour se protéger de l'ensoleillement), stores, etc ...

Tenir compte de l'orientation de ces ouvertures :

Au sud, à l'est et à l'ouest, elles permettent un apport calorifique solaire en hiver et mi-saison ; les apports de chaleur d'été peuvent être contrecarrés par de la végétation (à feuilles caduques) face aux ouvertures, par des stores, par l'architecture. **Choisir des ouvertures avec  $U_w$  compris entre 1,7 et 1,1.**

Au nord, aucune récupération de chaleur possible, et une déperdition toujours plus importante que par le mur. Si aucun besoin de lumière ou si aucune vue intéressante, penser à supprimer ou du moins à réduire les ouvertures au nord. **Choisir des ouvertures avec un  $U_w$  le plus faible possible 1,4 (double vitrage) à 0,8 (avec triple vitrage).**

Néanmoins avoir toujours à l'esprit que les ouvertures ont généralement une surface faible (environ 15%) par rapport aux murs qui les supportent ; améliorer les ouvertures alors que les murs sont très mal isolés est inefficace ! En général, l'amélioration de l'isolation des ouvertures va de pair avec l'amélioration de l'isolation des murs.

**Pour des raisons de continuité de l'isolation, il faut veiller, de préférence, à placer les fenêtres dans la couche d'isolation des murs.**

## Sols

Connaître la composition d'un sol de maison ancienne est souvent difficile. Mais l'incidence des sols de maison sur le bilan thermique global n'est pas majeur, surtout en cas de terre plein. On peut néanmoins éviter les ponts thermiques autour du terre plein et les minimiser par l'isolation périphérique. Si maison construite sur sous sol ou cave, isoler le sol habitable est relativement facile.

En appartement, le sol du niveau n reçoit la chaleur du plafond du niveau n-1, s'il existe.

**Le R idéal de la paroi de sol est compris entre 2,5 et 4,5.**

## Principe de calcul des pertes d'un logement

Le principe de calcul des pertes à travers les parois est très simple: pour chaque surface de même constitution et de même exposition à l'extérieur, on peut déterminer une conductivité thermique  $U$  ou son inverse la résistance thermique  $R$ . Les pertes sont proportionnelles à  $U$ , à l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur et à la surface exposée.

Il suffit de faire la somme de toutes ces déperditions élémentaires pour obtenir la déperdition totale  $D$ . Cette déperdition peut être calculée pour 1 degré centigrade. La simple comparaison des déperditions de chaque paroi permet de voir quelles sont celles qui perdent le plus de chaleur, et donc celles qu'il faut améliorer en priorité.

En multipliant cette déperdition  $D$  par l'écart moyen de température entre l'intérieur et l'extérieur en hiver on obtient la quantité d'énergie  $Q$  perdue en kWh. Connaissant le rendement  $r$  (inférieur ou égal à 1) du dispositif de

chauffage, on obtient la quantité de chaleur délivrée par l'appareil de chauffage  $Q_d = Q / r$ .

On peut alors comparer de  $Q_d$  obtenu par calcul avec le  $Q_f$  facturé tel qu'il est donné par le ou les fournisseurs d'énergie. Si le  $Q_d$  égale à 10 % près le  $Q_f$  on peut considérer que le calcul des déperditions effectué est correct. Sinon, rechercher les causes d'erreur possibles, corriger et refaire le calcul.

Remarque : la mauvaise estimation des pertes par manque d'étanchéité est souvent une cause d'erreur.

## Degré d'étanchéité du logement

### Ouvertures

Non seulement les fenêtres et portes sont moins isolantes que les murs ou toitures, mais, en outre, elles peuvent être le siège de fuites d'air importantes. L'âge, l'observation et les caractéristiques connues de la menuiserie permettent de déterminer l'importance des fuites d'air à ce niveau. **Si ces fuites sont importantes et non maitrisables, il est raisonnable de penser à changer les ouvertures correspondantes.**

Néanmoins avoir toujours à l'esprit que les ouvertures ont généralement une surface très faible par rapport aux murs qui les supportent ; améliorer les ouvertures alors que les murs sont très mal isolés est peu efficace ! En général, l'amélioration de l'isolation des ouvertures va de pair avec l'amélioration de l'isolation des murs. Pour des raisons de continuité de l'isolation, il faut placer les fenêtres dans la couche d'isolation des murs.

### Appareils électriques encastrés

Souvent, en hiver, on sent un petit flux d'air froid au voisinage des prises de courants ou d'autres appareillages électriques ; ceci se produit surtout avec une isolation intérieure. La cause initiale de ce phénomène est souvent le manque d'étanchéité des ouvertures. Il est facile de parer ce type de fuite en projetant un produit d'étanchéité en fond de boîte d'encastrement ; nécessite un contrôle strict de chaque point concerné.

### Autres

Contrôler toute traversée des murs par des tuyaux d'eau, de gaz, d'électricité, ... Utiliser de même un produit d'étanchéité adapté pour chaque fuite détectée.

## Modes de ventilation

On distingue les modes de ventilation suivants : Aération naturelle non contrôlée, Aération naturelle contrôlée, Ventilation mécanique centralisée simple flux, Ventilation double flux, Ventilation mécanique distribuée. Voir plus loin dans ce document, la signification précise de ces termes.

Selon le tableau des 10 solutions, choisir la solution de ventilation appropriée. **Le choix est restreint à Ventilation simple flux de type Hygro B ou Double flux.** Il faut savoir que l'entretien d'une ventilation Double Flux est plus pointu que celle d'une simple flux et ne se justifie que si l'isolation et l'étanchéité du logement sont très bonnes.

## Consommation d'eau

Un écologiste pur et dur vous dira qu'il faut être économe en eau. On pourra d'abord tenter de faire des économies sur l'eau chaude. Moins d'eau chaude consommée signifie moins d'eau d'adduction mais aussi moins d'énergie pour chauffer cette eau donc des économies financières et moins de pollution. Et pour économiser l'eau chaude, on peut prendre une douche plutôt qu'un bain ... Le sujet n'est pas traité ici.

## Autres économies possibles

Un des moyens les plus simples pour diminuer sa facture de chauffage est de baisser la température ambiante intérieure. Un degré centigrade de moins équivaut à une économie d'énergie de 7% à 10 % environ selon le degré d'isolation du logement. C'est loin d'être négligeable. Vivre avec un gros pull et une bonne couverture sur son lit est

économique et sain.

Il est plus facile de baisser la température ambiante de 1° et de garder une impression de confort si les parois extérieures sont bien isolées. En effet des parois mal isolées créent un gradient de température important au voisinage de ces parois et donc une sensation de froid.

## Bilan des pertes et des gains de chaleur

L'état du logement effectué à l'aide de la feuille de calcul électronique fournie permet d'obtenir un tableau des pertes paroi par paroi (exemple à adapter selon le logement). Voir la feuille de calcul bilanpertes.xls qui comprend:  
le tableau des pertes paroi par paroi,  
la liste des principaux isolants avec leur U ou leur R ainsi que la liste des composants les plus courants,  
les apports de chaleur solaire des vitrages bien orientés.

Le mode d'utilisation de cette feuille de calcul est précisé dans le document bilanpertes.doc.

Les pourcentages calculés pour chaque paroi et ouverture permettent de voir quelles sont les points les moins bien isolés. Ce sont sur ces points qu'on agira en priorité pour améliorer les performances du logement. Il est intéressant de simuler les gains obtenus lors de cette première phase d'amélioration et de les reporter dans le tableau initial des pertes. Les nouveaux pourcentages calculés feront apparaître les nouveaux points restant à améliorer. De cette façon on peut construire, par itération, un plan complet des diverses mesures d'amélioration de l'isolation souhaitables.

## Les améliorations ou les objectifs requis

### Les aides financières en rénovation

Les travaux d'amélioration de l'isolation d'un logement ont un coût. Il est intéressant de se renseigner sur toutes les aides possibles afin de réaliser ces travaux au meilleur coût réellement supporté.

<http://www.anil.org/fr/outils-de-calcul/> <http://www...gouv.fr>

### L'éco prêt à taux Zéro

Sans conditions de ressources, le prêt à taux zéro peut être obtenu pour un montant allant jusqu'à 30.000€.

### Le crédit d'impôt développement durable

Ce crédit d'impôt ouvre droit principalement, selon les travaux effectués, jusqu'à 50% des dépenses d'équipements facturés sur l'isolation et les énergies renouvelables.

### Les aides pour la rénovation énergétique des logements existants

<b>Equipement</b>	<b>Crédit d'impôt (en 2016)</b>
Matériaux d'isolation des parois opaques (fourniture et pose)	100 € /m <sup>2</sup> en ITI
Isolation des ouvertures	150 €/m <sup>2</sup> en ITE
Diagnostic de performance énergétique réalisé hors obligation réglementaire	

### Les aides de l'Anah

L'Agence Nationale de l'Habitat subventionne les travaux d'économies d'énergie des propriétaires (de 20% à 35% du coût des travaux avec un plafond de 13.000 €). Pour le propriétaire qui loue son logement, le taux peut aller jusqu'à 70% (sous conditions d'engagement de respect d'un plafond de loyer).

## Les aides des collectivités territoriales

Prêts bonifiés, chèques énergies, subventions sur équipement de production d'énergie renouvelables, et autres dispositifs financiers mis à la disposition des particuliers par les Régions, Départements ou Communes.

## Les prêts sur livret développement durable

Destinés à financer les équipements ouvrant droit au crédit d'impôt. Les conditions sont à la libre appréciation des banques. Un comparateur est en ligne sur le site de l'Ademe.

## La TVA à 5,5%

Taux applicable aux travaux sur les habitations principales et secondaires achevées depuis plus de 2 ans.

## Choix de l'isolant utilisé

Le choix est vaste. Ne pas focaliser sur la plus faible conductivité. Tenir compte aussi de la perméabilité à la vapeur d'eau (matériau perspirant) et de la capacité thermique de l'isolant. Enfin, donner la préférence à des isolants qui consomment peu d'énergie pour leur fabrication.

La perméabilité à la vapeur d'eau est très importante. Elle permet d'éviter que de l'eau ne soit emprisonnée dans la maçonnerie et crée des dégâts dus à l'humidité. Ce point est à surveiller tout particulièrement pour les constructions anciennes. L'utilisation de pare vapeur n'est pas une arme absolue anti passage de vapeur ; de nombreuses possibilités de fuites existent aux raccords, au passage des appareils électriques, etc ...

La capacité thermique d'un isolant est sa faculté d'accumuler plus ou moins la chaleur. Plus un isolant accumule la chaleur et plus le transport de cette chaleur de l'extérieur vers l'intérieur du logement est retardée. Ce déphasage d'une dizaine d'heures environ est essentiel pour le confort d'été.

Voir tableau des isolants dans feuille de calcul des pertes.

## Techniques pour une meilleure isolation

### Isolation des toitures et des plafonds

Il s'agit souvent du point le plus sensible puisque par convection, la chaleur monte vers le haut. Soigner cette isolation est donc important voire essentiel. **Le R recherché devrait être  $\geq 7,5$ .**

Avec des isolants courants qui ont tous un coefficient de pertes voisin de 0,04 W/m.K, il faut une épaisseur d'isolant d'environ 30 cm. Avec 40 cm on obtient un R de 10.

### Toitures

Si les combles sont habités il faut isoler la toiture ; ceci peut se faire par l'intérieur ou par l'extérieur ou un mixte des deux.

#### Par l'intérieur ou par dessous

Il faut isoler sous la toiture, c'est à dire poser un isolant entre chevrons et sous les chevrons. L'isolant entre chevrons a une épaisseur de 7cm environ, trop faible pour une isolation suffisante. Il faut toujours ajouter une couche d'isolant croisée sous les chevrons. Les complexes polystyrène + plâtre sont interdits en toiture pour des raisons d'inflammabilité. Utiliser un complexe autorisé. Le système placostyle permet de suspendre des plaques de plâtre et d'insérer entre les chevrons de la toiture et les plaques un isolant de type laine de bois, laine de textile, laine de roche, de verre. Un pare vapeur ou un frein vapeur est à placer sur la face inférieure de la première couche de laine, coté habitat. Penser à la laine de bois qui a un retard important à la diffusion de chaleur, lequel est intéressant pour le confort d'été. De plus la laine de bois est perspirante et évacue naturellement la vapeur d'eau.

**Inconvénients** : réduit la hauteur sous toiture, ce qui peut être rédhibitoire. Nuisances durant les travaux. Gestion délicate des passages de câbles ou appareils sans rupture de la barrière vapeur. Peu compatible avec isolation des murs par l'extérieur mais néanmoins possible.

Avantages : moins de volume à chauffer, accessible à un bon bricoleur. Adapté à isolation murs par l'intérieur. Coût inférieur à l'isolation par l'extérieur ou par dessus.

### **Par l'extérieur ou par dessus (sarking)**

Il faut isoler sur la toiture, sans toucher à l'aménagement intérieur. Nécessite de déposer les tuiles ou ardoises ou autre, de déposer les liteaux, de placer un isolant entre et/ou sur les chevrons, de mettre en place une structure en bois de préférence qui permettra de placer l'épaisseur d'isolant nécessaire et sera support de nouveaux liteaux. Sur ces nouveaux liteaux, on remettra en place les tuiles ou ardoises.

Toujours ménager une ventilation sous les tuiles ou ardoises. Il existe des complexes préfabriqués assurant à la fois la structure support et l'isolation ; ces complexes sont à privilégier car ils garantissent un travail de qualité et une rapidité de mise en œuvre même s'ils sont plus chers.

Inconvénients : Peu compatible avec isolation des murs par l'intérieur. Plus coûteux que l'isolation par l'intérieur car rarement à la portée d'un bricoleur (danger de chute, location échafaudage).

Avantages : Adapté à isolation des murs par l'extérieur. Complément d'isolation par l'intérieur possible. L'aménagement intérieur n'est pas perturbé. Garde la hauteur disponible. Moins de ponts thermiques.

### **Mixte**

Une isolation par l'intérieur existe déjà. On souhaite renforcer par une isolation complémentaire par l'extérieur. Se reporter au cas isolation par l'extérieur ci-dessus mais penser à ne pas mettre de pare vapeur (déjà placé en isolation intérieure) et à utiliser un isolant perspirant (qui laisse passer la vapeur d'eau).

Une isolation par l'extérieur existe déjà. On souhaite renforcer par l'intérieur. Pose problème car un pare vapeur a sans doute été placé en sous face de l'isolant extérieur. S'il est possible de détruire ce pare vapeur en le perforant par exemple, se reporter au cas de l'isolation par l'intérieur vu ci-dessus. S'il est impossible de détruire l'ancien pare vapeur, on doit isoler par l'intérieur avec un isolant qui ne perd pas ses propriétés en présence de vapeur d'eau et qui permet à cette vapeur de s'évacuer dans l'habitat. Autre possibilité déconseillée, disposer d'un isolant imperméable à l'air et à la vapeur d'eau.

### **Plafond**

Si les combles ne sont pas habités, ou si le niveau supérieur n'est pas habité, on peut poser l'isolant à ce niveau soit sous le plafond, soit par dessus, soit un mixte des deux. Penser à la possibilité de mettre en place un chauffage avec apport solaire dans le plafond.

#### **Par dessous**

Ceci revient à poser un isolant sous le plafond et par conséquent, il faut rhabiller ce plafond. Ceci peut se faire de différentes façons : coller un combiné isolant + plaque de plâtre, faire un plafond suspendu solide et dérouler sur ce plafond suspendu étanche à la poussière, un isolant laine de ... La couche isolante en contact avec la plaque de plâtre doit comporter un pare vapeur. Convient avec une isolation des murs par l'intérieur puisque cela donne la continuité d'isolation. Si isolation des murs par l'extérieur, s'assurer d'obtenir la continuité d'isolation par recouvrement de ces murs si possible. Si ce n'est pas possible, il y a création d'un pont thermique.

Inconvénients : perte de la hauteur disponible ou limitation de l'épaisseur d'isolant. Nuisance durant les travaux dans la zone habitée. Fixation solide à faire. Peu adapté à une isolation des murs par l'extérieur.

Avantages : moins de volume à chauffer. Adapté à une isolation des murs par l'intérieur.

#### **Par dessus**

Il suffit de dérouler des lés de laine de ... sur le plafond ou la dalle. Penser à mettre deux couches croisées de laine afin de minimiser tout risque de fuite thermique au joint des lés de laine ou bien soigner la jointure des lés de laine en vue de restreindre fortement toute fuite d'air. Placer un pare vapeur sur la première couche du côté du plafond ou dalle. Scotcher les joints entre les pare vapeur pour une fuite d'air minimum. Laine nue pour les autres couches. Convient avec une isolation des murs par l'extérieur afin de garder la continuité d'isolation. Avec une isolation des murs par l'intérieur, peut créer un pont thermique au niveau d'une dalle. Pont thermique négligeable si plafond mince en plâtre.

Inconvénients : condamne l'habitabilité éventuelle du niveau supérieur. Peu adapté à isolation des murs par l'intérieur surtout si dalle béton ou murets de pourtour.

Avantages : pose simple et bon marché. Adapté à une isolation des murs par l'extérieur.

## Mixte

Ne parait pas très réaliste. Mais pourquoi pas ? Voir les cas Par dessous et par dessus ci-dessus.

## Isolation des parois murs extérieurs

### Les technologies disponibles

#### Isolation par l'intérieur

C'est souvent la seule possible si on ne peut pas toucher à l'extérieur pour des raisons esthétiques, de non propriété (copropriétaire), etc ... On peut toujours appliquer une couche d'isolant intérieur, un parement plâtre brut, plaque de plâtre, bois, ...

Inconvénients : il faut décaler de l'épaisseur d'isolant tous les appareillages tels qu'interrupteurs, prises de courant, robinets de douche, canalisations qu'il faut éviter de laisser en contact avec le mur froid, ... Il y a perte de surface. Peut laisser subsister des ponts thermiques (dalles de plafond/plancher). Nuisances durant travaux.

Avantages : moins de volume à chauffer, à la portée d'un bon bricoleur, peu onéreux si on s'évite les frais de main d'oeuvre. Penser à soigner le raccordement aux ouvertures existantes en vue de supprimer les fuites d'air.

#### Isolation par l'extérieur

Inconvénients : nécessite souvent un entrepreneur qualifié et compétent. A la portée d'un bon bricoleur cependant.

Avantages : pas de perte de surface, aucun travaux en intérieur, suppression de ponts thermiques, bonne étanchéité à l'air si réalisation soignée.

#### Le plus simple

On colle un isolant de préférence perspirant (qui laisse passer la vapeur d'eau) ; de plus on le fixe avec des chevilles longues en plastique dont le nombre au m2 varie selon la force du vent supportée par le logement. Sur l'isolant on applique un treillis parfois intégré à l'isolant. Sur ce treillis on enduit en 2 couches, une de préfixation et une de finition lisse, granitée, ... Cet enduit doit être perspirant. Les enduits à la chaux conviennent bien à cet usage.

Remarque: nombre de réalisations d'isolation par l'extérieur sont à base de polystyrène expansé recouvert d'un enduit ciment; cette solution est possible si les murs de la construction ne respirent pas. **Par contre cette solution est à prohiber sur des murs qui ont besoin de respirer (pierre, briques, bois, ...): en effet ni le polystyrène, ni l'enduit ciment ne sont perspirants ! Et les dégâts dus à l'humidité surgiront.** Dans le doute, toujours utiliser en extérieur des isolants perspirants.

#### Le double mur

Consiste à construire un deuxième mur extérieur, assez fin ayant un double but : créer une protection supplémentaire aux intempéries et pouvant être isolant si possible. Entre ce double mur et le premier, on laisse au minimum un vide d'air et au mieux un isolant efficace. Dans le cas de la construction neuve, il peut être intéressant d'avoir un mur intérieur à la fois isolant et lourd de façon à bénéficier à la fois d'une grande isolation thermique et d'une grande inertie thermique pour un bon confort d'hiver ou d'été (par exemple béton cellulaire moyennement dense). On l'associe à un mur extérieur qui assure les fonctions d'esthétique et de protection (par exemple brique).

#### Isolation mixte intérieur/extérieur

Un isolant intérieur existe déjà ; on souhaite améliorer l'isolation par l'extérieur. Est-ce possible ? Si oui, quelles précautions faut-il prendre ? C'est le cas qui intéresse particulièrement les logements déjà isolés de l'intérieur dont on souhaite améliorer l'isolation par l'extérieur. Ceci ayant l'avantage de ne pas toucher à l'aménagement intérieur. Il faut penser ici à l'évacuation de la vapeur d'eau. L'isolant intérieur dispose d'un pare vapeur qui arrête plus ou moins bien la vapeur venant du logement. Néanmoins, il y a un risque de piéger la vapeur d'eau présente dans le mur de béton ou parpaings par exemple. Il est donc préférable que l'isolant extérieur ainsi que le nouvel enduit ou le double mur soient tous deux perspirants.

### Adéquation avec l'existant

La liste des solutions possibles, ainsi que leurs contraintes, leurs avantages et inconvénients permet de choisir une ou plusieurs solutions compatibles avec l'existant ;

## Choix de la bonne solution, coût, exigence de résultat

Parmi les diverses solutions on choisira sans doute celle qui semble la moins coûteuse ou encore celle qui est la plus performante. Peut être affina-t-on l'étude afin de chiffrer plus précisément la ou les solutions retenues. Il faut également penser à l'interaction entre la solution retenue pour les murs et les solutions qui seront retenues pour les ouvertures, la toiture, le sol. Par exemple, si on isole par l'extérieur, il faut changer au préalable les ouvertures. A l'inverse changer les ouvertures sans améliorer la résistance thermique de parois mal isolées est un non sens. Si l'on soustrait les travaux d'isolation, faire signer une exigence de résultat ou bien s'assurer d'une exigence de moyens telle que l'une des solutions 1 à 10 vues plus haut soit respectée.

## Isolation des ouvertures

### Les technologies disponibles

#### La fenêtre ancienne, simple vitrage, non étanchéité à l'air

Ce type de fenêtre se retrouve de moins en moins dans l'ancien ; à remplacer d'urgence par un modèle à isolation renforcée ou encore à doubler avec une deuxième fenêtre de qualité.

#### La fenêtre d'après 1985, double vitrage, étanchéité correcte à l'air

Ce type de fenêtre a des qualité isolantes moyennes  $U_w = 2,55$  et surtout bien adaptées avec une isolation des murs ayant un R de 2 environ. Remplacer ces fenêtres par des plus performantes n'apporte pas grand-chose (sauf une meilleure étanchéité) si les parois ne sont pas également mieux isolées.

#### La fenêtre récente à double vitrage à isolation renforcée (VIR), très bonne étanchéité à l'air

Ce type de fenêtre a de très bonnes performances isolantes pour un prix attrayant.  
Performances courantes :  $U_w = 1,4$  au minimum, 1,1 au mieux

**Coûts** : environ 900 euros le m<sup>2</sup> de vitrage en PVC posé, 1000 euros en aluminium, 1200 euros en bois, 1400 euros en aluminium + bois.

#### La fenêtre à triple vitrage

Ce type de fenêtre a des performances isolantes meilleures ( $R=0,8$ ) mais le prix s'en ressent. Son facteur de transmission solaire est plus faible que le double vitrage, donc les apports solaires de mi-saison sont réduits.

**Coûts** : environ 1400 euros le m<sup>2</sup> en PVC, 1500 euros en aluminium, 1700 euros en bois, 2000 euros en bois + aluminium

#### La double fenêtre

Il s'agit d'ajouter une deuxième fenêtre à la première. C'est une solution courante dans les pays froids. Elle peut être intéressante quand on ne peut ou on ne veut pas remplacer la fenêtre existante. C'est aussi une sécurité anti-effraction possible, une isolation phonique, un mixte de technologies (bois pour l'une, aluminium ou acier pour l'autre).

## Comparatif matériaux des ouvertures

Matériau	Avantages	Inconvénients
PVC	Bon marché, performance, entretien nul	Peu écologique, peu résistant, perte de clair
Aluminium	Solidité, entretien nul, coloris, plus de clair	Moins isolant (à cause du cadre)
Bois	Solidité, performance, écologique	Plus onéreux, entretien nécessaire
Bois + Aluminium	Solidité, performance, entretien extérieur nul	Beaucoup plus cher, entretien intérieur

## Classement des fenêtres

### Etanchéité, résistance au vent

- A Etanchéité à l'air
- E Etanchéité à l'eau
- V Résistance au vent

### Isolation thermique

TH4	$?? < U_w < 2,5$
TH5	$2,5 < U_w < 2,9$
TH6	$2,2 < U_w < 2,5$
TH7	$2,0 < U_w < 2,2$
TH8	$1,8 < U_w < 2,0$
TH9	$1,6 < U_w < 1,8$
TH10	$1,4 < U_w < 1,6$
TH11	$U_w < 1,4$ $U_w < 0,8$ le meilleur possible en 2011

#### Isolation phonique

AR1	$R \geq 25$ db (A)
AR2	$R \geq 28$
AR3	$R \geq 31$
AR4	$R \geq 33$

#### Formule de calcul du $U_w$ d'une fenêtre à double vitrage

$U_g$	Coefficient perte du vitrage en $W/m^2 \cdot ^\circ C$
$S_g$	Surface du vitrage (clair)
$U_f$	Coefficient perte de la menuiserie en $W/m^2 \cdot ^\circ C$
$S_f$	Surface des 'bois' (opaque)
$?g$	Coefficient de pertes du à l'intercalaire entre les vitrages en $W/m \cdot ^\circ C$
$L_g$	Longueur de l'intercalaire = périmètre du vitrage

$$U_w = (U_g \cdot S_g + U_f \cdot S_f + ?g \cdot L_g) / (S_g + S_f)$$

#### Pose des fenêtres

Mode de rénovation fenêtre	Avantages et inconvénients
Remplacement vitrage simple ou double par nouveau double vitrage	Gain de performance faible pour un coût important. Risque de surpoids pour les vantaux de la fenêtre Étanchéité vantaux et cadre fenêtre non améliorés
Remplacement battants mais cadre ancien conservé	Risque d'abimer le cadre ancien par le remplacement des gonds Si cadre en mauvais état ou hors d'équerre, très mauvais ! Étanchéité nouveaux vantaux avec ancien cadre douteuse Étanchéité de l'ancien cadre de fenêtre non amélioré
Remplacement fenêtre sur l'ancien cadre	Simplifie le travail du poseur: rien à démonter ! Perte de clair puisque surface disponible réduite <b>Étanchéité de l'ancien cadre de fenêtre non améliorée</b> Ne permet pas de repositionner la fenêtre dans l'épaisseur du mur
Remplacement total de la fenêtre	Préserve voire améliore le clair Utilise une nouvelle fenêtre intégrale Permet de soigner l'étanchéité du nouveau cadre Permet de revoir le positionnement de la fenêtre dans l'épaisseur du mur <b>ce qu'il faut faire: 8 à 15% de meilleure performance</b>

#### Les volets

Eviter les volets roulants car perte thermique au niveau du boîtier, peu esthétique et perte de clair si pose tunnel.  
Acceptable en pose au nu du mur extérieur ou sur l'isolant extérieur.  
Préférer les volets battants ou glissants (ils sont également automatisables !).

#### Crédit d'impôt

Montant du crédit d'impôt en 2016: 100 à 150 € /m<sup>2</sup> posé selon pose intérieure/extérieure  
Donnent droit au crédit d'impôts les fenêtres suivantes :

- Les fenêtres ou portes-fenêtres en PVC affichant un  $U_w$  inférieur ou égal à 1,4 W/m<sup>2</sup>.K
- Les fenêtres ou portes-fenêtres en bois affichant un  $U_w$  inférieur ou égal à 1,6 W/ m<sup>2</sup>.K
- Les fenêtres ou portes-fenêtres métalliques affichant un  $U_w$  inférieur ou égal à 1,8 W/ m<sup>2</sup>.K
- Doubles fenêtres  $U_w < 2,0$
- Portes d'entrée  $U_d < 1,8$
- Volets isolants  $R > 0,2 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$
- Vitrage de remplacement  $U_g \leq 1,5$

Attention, pour bénéficier du crédit d'impôt, l'installation des **fenêtres** doit impérativement être effectuée par l'entreprise qui les fournit.

## Des sols ou planchers

La rénovation des sols ou planchers est souvent délicate car casser un carrelage et le refaire ou bien démonter un plancher ou le restaurer sont des tâches lourdes. Pourtant il peut être judicieux de profiter de la rénovation d'un sol pour revoir son isolation d'une part, et installer un dispositif de chauffage par le sol d'autre part. En général un sol se compose d'une dalle support souvent en béton, d'une chape de lissage et soit d'un carrelage, soit d'un plancher. Parfois, lorsque la construction est assez récente, on trouve un isolant entre le béton et la chape.

### Les technologies de sols

#### Le terre plain

Sous le sol il y a contact direct avec la terre (ou le roc). Dans ce cas, le sol constitue plus ou moins bien un accumulateur thermique et on peut considérer qu'il y a peu de pertes surfaciques. Néanmoins tout autour de la dalle de sol, des pertes par pont thermique avec les murs extérieurs sont possibles et doivent être évitées ou minimisées si possible. Par exemple en plaçant un bon isolant entre le mur et la dalle; dans cette hypothèse la dalle repose sur la terre; elle est désolidarisée des murs, ce qui n'est pas toujours réalisable. L'isolation des murs par l'extérieur, en descendant sur les fondations est une bonne solution pour supprimer ce pont thermique.

#### Le vide sanitaire ou un espace inférieur non chauffé

Sous le sol, on ménage un vide d'air et une circulation de cet air afin que la dalle n'ait aucun contact avec la terre et aucun risque de remontée d'eau. Dans ce cas, il faut soigner l'isolation surfacique de la dalle d'une part et le pont thermique au contact des murs. Cela est obtenu en plaçant un isolant sur toute la surface de la dalle et un isolant de pourtour pour supprimer le pont thermique avec le mur.

#### L'espace inférieur à priori chauffé

Sous le sol il existe un espace à priori chauffé, comme un appartement, un niveau habité, etc ... On peut alors considérer que l'isolation du sol est inutile puisque l'on peut même récupérer partiellement la chaleur émise par le niveau inférieur. Cela peut se justifier entre un séjour chauffé au rez de chaussée et une chambre située juste au dessus. Dans ce cas, la dalle de béton existante se comporte comme un accumulateur thermique; elle se réchauffe grâce au chauffage du séjour et diffuse lentement la chaleur reçue par le sol de la chambre.

Si l'espace inférieur est froid continuellement ou par intermittence, ou si cet espace est occupé par un tiers, il faut isoler soit pour diminuer les pertes thermiques, soit pour éviter le vol de calories à un tiers.

#### La dalle béton

C'est la réalisation la plus courante des dalles de sols existantes, c'est lourd, solide ... mais très mauvais isolant ! Il faut donc compléter avec un isolant de surface résistant à la pression comme vu ci-dessus. Compatible avec le vide sanitaire.

#### La dalle béton avec ponts thermiques minimisés

Idem ci-dessus mais désolidarisée des murs; cette dalle repose sur le terrain.

#### La dalle isolante par nature

Elle peut être réalisée en bois massif, en béton de chanvre, ... C'est moins dur que le béton mais c'est suffisamment solide pour supporter tout revêtement compatible, c'est isolant et c'est souvent un vrai matériau écologique (exemple: chaux+chanvre=béton de chanvre). A valoriser et à utiliser très souvent en rénovation.

### **La terre battue**

On en trouve de plus en plus rarement bien que c'était la règle dans les maisons campagnardes de plus de 150 ans ! Sur la terre battue, il sera judicieux de couler un béton de chanvre léger et isolant.

### **Le revêtement carrelage**

Il s'agit d'une finition communément admise de par les qualités de ce revêtement, lavable, inusable, de bel aspect, sain. On le trouve couramment dans les pièces d'eau, le séjour, les entrées et dégagements. Piètre isolant.

### **Le revêtement plancher**

On peut préférer ce revêtement chaleureux, plus doux au contact que le carrelage, mais dont l'entretien est un peu plus prenant. On peut trouver du plancher dans toutes les parties du logement. Bon pouvoir isolant.

### **Le revêtement moquette**

Sur une dalle bien lisse, la moquette est un revêtement agréable au toucher le plus souvent. On le trouve principalement dans les chambres. Pouvoir isolant moyen.

### **Le revêtement linoléum ou équivalent**

Recommandé pour sa faible épaisseur. Isolation nulle.

### **Le chauffage par le sol**

Le chauffage par le sol a plusieurs avantages: il dégage complètement la pièce, n'est pas visible, permet d'accumuler un peu de chaleur dans l'épaisseur du sol. Il répartit au mieux la chaleur dans toute la pièce. Il est prévu pour les basses températures de fluide caloporteur et se couple très bien avec un chauffage solaire. Si l'on doit casser un vieux sol, il peut être judicieux de prévoir la pose de tuyaux en vue d'un chauffage par le sol.

Préférer le système à circulation d'eau qui laisse plus de liberté dans le choix du générateur de chaleur.

Prohiber le fil électrique chauffant car la génération de chaleur électrique est la plus chère.

Eviter le fluide caloporteur direct d'une pompe à chaleur qui vous lie à ce type de générateur et augmente le volume de liquide frigorigène nécessaire.

## **Juste ventilation**

### **Quelques chiffres**

Chaque personne produit entre 1 et 1,5 litre d'eau / jour. Le taux d'humidité de l'air, idéal est de 40 à 60%  
75% des logements français sont pollués chimiquement (Composés Organo Volatils, ...)

### **Les technologies possibles**

#### **Aération naturelle non contrôlée**

Dans ce cas, les fenêtres, les portes laissent passer un flux d'air important. Les courants d'air se créent au gré des vents. Tout faire pour remédier à ce système très dépensier en énergie. On le trouve souvent dans le logement ancien. A remplacer par l'un des 3 types suivants selon les possibilités.

**Coûts** : Sans objet ; l'aération naturelle non contrôlée est à éviter.

#### **Aération naturelle contrôlée**

Dans ce cas, un système d'aération naturelle et contrôlé est mis en place. L'air frais est admis sous contrôle par des bouches d'aération situées dans les pièces à vivre en niveau bas. L'air réchauffé est expulsé par convection dans la partie haute des pièces de service (cuisine, salle d'eau, bains,wc,...) ; généralement par une cheminée calibrée. Le système est parfaitement statique. Pas de ventilateurs. Son réglage est délicat. Il est sensible aux vents dominants et fonctionnera mal si les pièces de vies ne sont pas au vent dominant. On peut considérer qu'une yourte classique utilise ce système, du moins si l'espace entre le dôme et la couverture est bien calculé.

**Coûts** : Tout dépend de la réalisation de la ou des cheminées d'extraction calibrées.

#### **Ventilation mécanique centralisée (VMC)**

Dans ce cas, une aspiration centrale mécanique est mise en place ; l'air des pièces de service, à priori vicié, est extrait via des bouches d'extractions calibrées, voire réglables en fonction de l'hygrométrie de la pièce (type A). L'air frais est admis dans les pièces à vivre par des bouches d'entrées d'air calibrées, anti-refoulement et anti coups de vents ;

parfois ces bouches sont réglables en fonction de l'hygrométrie de la pièce à vivre (type B). Le ventilateur d'extraction génère un peu de bruit et consomme un peu d'énergie électrique. Ce type de ventilation est plus économique s'il est de type A ou mieux B.

Enfin il existe une ventilation double flux où l'air frais admis se réchauffe au contact de l'air chaud extrait. L'air frais peut provenir d'un puits canadien afin d'être préchauffé par la terre. La ventilation double flux ne se justifie que pour des logements très bien isolés. En rénovation la ventilation mécanique simple flux de type A ou B de préférence est le meilleur choix.

Dans nombre de logements construits après 1985, la VMC est de type ni A ni B ; on dit qu'elle est auto régulée. Dans ces logements, cette VMC est souvent le point qui perd le plus de chaleur. Transformer cette VMC en type A ou B est peu coûteux ; l'économie réalisée est significative.

L'inconvénient majeur de ce type de ventilation : la nécessité de passer des tuyaux souples ou rigides raccordant chaque bouche d'extraction au ventilateur central. Ce qui est encore plus contraignant pour une ventilation double flux, puisque chaque bouche d'entrée d'air en pièce à vivre doit aussi être raccordée à la centrale de ventilation double flux.

**Coûts** : Une VMC simple flux régulée vaut environ 150 euros, accessoires compris, prix 2016.

Une VMC simple flux hydro B complète vaut environ 450 euros

Une VMC double flux complète vaut environ 1500 euros.

Un puits canadien coûte environ 800 euros.

On voit bien sur ces prix que la rentabilisation d'une VMC double flux est beaucoup plus longue que celle d'une VMC simple flux hydro B. Il sera souvent judicieux, surtout en rénovation d'existant de se rabattre sur la VMC hydro B.

Par contre dans le neuf, prévoir dès le départ toutes tubulures pour pouvoir installer ultérieurement une VMC double flux. Dans l'immédiat, raccorder l'arrivée générale d'air frais à un puits canadien.

### Ventilation mécanique distribuée

Dans ce cas, il y a autant de ventilateurs d'extractions que de bouches d'extraction. L'extraction est déclenchée manuellement ou mieux en fonction du degré d'hygrométrie de chaque pièce de service. Les entrées d'air se font par des bouches situées dans les pièces à vivre. C'est une solution qui convient bien en rénovation car elle nécessite peu de travaux. Son réglage est assez délicat.

**Coûts** : Chaque ventilateur avec sa commande installé vaut environ 100 euros.

### Autre

On trouve sur le marché, une ventilation double flux individuelle qui se monte sur chaque fenêtre. L'échangeur thermique est miniaturisé ; il loge dans l'appendice ajouté à la fenêtre. Un mini ventilateur fait entrer de l'air frais tandis qu'un autre extrait l'air vicié et chaud ; un peu gadget, nouveau, peu de recul, sans doute onéreux de part la multiplication des systèmes individuels.

## Adéquation avec l'existant et choix d'une solution satisfaisante

Existant	Objectifs				
	Aération naturelle contrôlée	VMC simple flux type B	VMD	VMC double flux	Autre
Aération naturelle non contrôlée	Oui	Peut être	Oui	Déconseillé	
Aération naturelle contrôlée	Ne rien changer	Peut être	Oui	Déconseillé	
VMC simple flux	Sans intérêt	Oui	Déconseillé	Déconseillé	
VMC simple flux type A		Oui	Déconseillé	Déconseillé	
VMC simple flux type B		Ne rien changer	Déconseillé	Peut être	
VMC double flux			Déconseillé	Ne rien changer	
VMD		Peut être	Ne rien changer	Peut être	

## Bilan des solutions possibles

### Priorité des actions

Le tableau des pertes point par point, (bilanpertes) fait apparaître en % les pertes les plus importantes (colonne G). Par exemple, on voit apparaître sur une étude que les pertes les plus importantes proviennent des parois opaques de murs. C'est donc à ce niveau que l'on doit renforcer l'isolation en priorité. Les pertes en plafond ou toiture arrivent en deuxième priorité dans ce cas, sans doute parce que la toiture a déjà été isolée. Si on améliore l'isolation des murs seulement, on s'aperçoit que les pertes par la toiture deviennent prépondérantes. Il faut donc également améliorer ce point, c'est à dire renforcer l'isolation de la toiture.

### Choix des solutions

Pour les murs on peut isoler par l'extérieur ou par l'intérieur. Pour la toiture on peut isoler par dessus ou par dessous. Revoir les avantages et inconvénients énumérés dans chaque cas, vus plus haut dans ce document.

### Ordonnancement des actions

Les travaux envisagés sont rarement indépendants les uns des autres. Commencer par le point dont dépend l'autre. Supposons qu'on commence par la toiture mais qu'on doive aussi refaire l'isolation des murs par l'extérieur. Penser dès lors à un débord de toiture pouvant être nécessaire. Avant de commencer l'isolation des murs, il faudra remplacer les châssis sous fenêtres en priorité, casser l'enduit autour des tableaux de fenêtres, puis poser l'isolation des tableaux. Bien souvent, à l'isolation des murs est associée au remplacement des ouvertures.

### Economie réalisée et retour sur investissement

Rappelons que tout travail d'isolation est bon pour la planète puisqu'il diminue presque immédiatement la pollution énergétique due au chauffage ou à la climatisation des logements.

Supposons que les travaux réalisés fin 2016, divisent notre facture énergétique par 4, ce qui est à peu près l'ambition du Grenelle de l'environnement à l'horizon 2020. Imaginons une progression des prix de l'énergie de 5 %, 6 %, 7 %, .. comme sur le tableau suivant. Supposons que notre facture énergétique annuelle initiale soit de 2000 euros en 2016. Nous en déduisons la progression de notre facture énergétique Avant et Après travaux. Nous pouvons calculer la différence de coût année après année, la différence de coût et même la différence de coût cumulée.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
taux	0,00%	5,00%	6,00%	7,00%	8,00%	9,00%	10,00%	11,00%	12,00%	13,00%
Avant travaux	2400	2520	2671	2858	3086	3365	3701	4108	4601	5199
Après travaux	600	630	667	714	771	841	925	1027	1150	1300
Diff.	1800	1890	2004	2144	2315	2776	2955	3081	3451	3899
Diff. cumulée	1800	3690	5694	7838	10153	12929	15884	18965	22416	26315

Si le montant des travaux s'est élevé à 20000 euros, nous voyons que le retour sur investissement est obtenu en 2024 soit seulement 8 ans après la fin des travaux.

Enfin, nous voyons aussi, que malgré nos travaux, la facture énergétique augmente quand même et devient difficilement supportable avec les années. Elle n'est déjà presque le double de la facture après travaux en 2024 (voir chiffres surlignés en jaune) ! Nous pouvons en déduire que l'idéal serait d'annuler notre dépense énergétique de chauffage ou climatisation ce qui suppose un niveau d'isolation très important de type logement passif.

### Vers un logement positif et autonome

Peut-on s'affranchir totalement des hausses du coût de l'énergie ? A priori, non. Néanmoins il existe quelques possibilités d'être de moins en moins dépendant. L'une d'elle consiste à réduire au maximum la surface habitable chauffée soit en condamnant certaines pièces inutilisées soit en déménageant vers un logement plus petit. Une autre possibilité : chauffer beaucoup moins tout particulièrement les chambres, même si le givre s'installe à la fenêtre ! Une autre encore, loger à plusieurs dans un même logement. Toutes ces possibilités sont réalistes mais malheureusement peu compatibles avec notre mentalité actuelle souvent individualiste.

Reste alors à se tourner vers deux scénarios:

- mettre en oeuvre une super isolation de telle sorte que la chaleur de nos corps suffise à maintenir une bonne température dans le logement
- réaliser des systèmes de récupération locale et renouvelable, de chaleur, d'électricité ou d'eau.

## La super isolation

Le principe en est très simple. Il suffit d'isoler suffisamment chaque paroi du logement d'une part et faire la chasse aux fuites d'air d'autre part de façon à obtenir une perte d'énergie inférieure ou égale à l'énergie apportée par les habitants du logement. Une personne seule produit environ 100 W d'énergie calorifique. Il faut donc que l'isolation limite les pertes du logement à 100 W maximum pour une température du logement de 18° et ce quelle que soit la température la plus basse extérieure. On peut aussi compter sur les quelques apports de chaleur des ouvertures orientées au Sud lorsque le soleil brille.

On peut isoler très soigneusement le logement et obtenir une perte totale inférieure à 100 W pour une température extérieure de - 10° par exemple. Le delta de température est de 18 - (-10) = 28°. Dans ces conditions, et sous réserve que la plus grande étanchéité à l'air soit acquise, le confort d'hiver est assuré.

Mais que se passe-t-il en été ? Notre logement ne risque-t-il pas de surchauffer ?

En été, le problème est inversé. Pour une température extérieure de 40° il faut maintenir une température intérieure d'environ 25° et ce sans dépense énergétique, donc sans climatisation frigorifique. Le delta de température est de 40-25 = 15°. Ce delta est inférieur à celui d'hiver. L'isolation des parois fonctionne dans les deux sens de flux de chaleur. Donc, à priori, le confort d'été peut être obtenu. Mais c'est sans compter sur les apports de chaleur nombreux. Les fenêtres orientées au Sud, l'accumulation de chaleur et l'inertie thermique des matériaux.

Il faut donc faire en sorte que le soleil ne pénètre pas par les ouvertures en été, mais qu'il y pénètre en hiver !

Il faut également que les parois intérieures du logement ne s'échauffent pas trop pendant la saison chaude; en d'autres termes il faut trouver le moyen de les protéger du soleil si possible et de les refroidir sans climatisation si nécessaire. Tout se passe comme si l'isolation des parois devenait dynamique et intelligente.

## Isoler suffisamment et intelligemment

### Etanchéifier le logement

On peut faire la chasse à toutes les fuites d'air et rendre le logement tellement hermétique ... qu'il devienne irrespirable !

Il faut alors accepter une entrée d'air frais et une sortie d'air chaud et vicié calibrées selon les besoins des occupants. Mais cette entrée d'air frais et cette sortie d'air chaud constituent dès lors des pertes d'énergie importantes ! Le problème semble insoluble. La solution existe pourtant: elle s'appelle Ventilation Mécanique Contrôlée Double Flux. Dans ce système, le flux d'air frais entrant est mis au contact thermique du flux d'air chaud sortant à travers un échangeur. Ainsi l'air frais est-il réchauffé suffisamment avant d'entrer dans le logement et l'air chaud est-il refroidi en donnant une grande part de ses calories à l'air frais, avant de quitter le logement.

## Récupérations optimum d'énergies locales

### Les diverses récupérations possibles

On peut récupérer la chaleur du soleil, de l'électricité solaire ou éolienne, de l'eau. Il est essentiel de noter que toutes ces récupérations sont gratuites, le soleil, le vent, l'eau de pluie étant accessibles à tous. Néanmoins l'orientation au soleil ou au vent ne sont pas les mêmes pour tous. Et la pluie peut être rare ou au contraire trop abondante en certains endroits.

#### La chaleur solaire

Cette récupération se fait naturellement par les murs et les ouvertures orientées au sud, sud-ouest ou sud-est.

#### Mur à effet de serre

On place devant le mur un vitrage ; facultativement on peint le mur d'une couleur sombre. Le vitrage laisse passer les rayons du soleil et permet de piéger le rayonnement infrarouge. Le mur s'échauffe. Ce mur, en contact avec la pièce à chauffer, accumule la chaleur reçue et la restitue avec un déphasage important (environ 5 heures) vers la pièce. Il s'agit d'un système de chauffage différé.

Le mur doit être constitué de matériaux denses et ayant une assez bonne capacité thermique. Eviter les coupures de conductivité (mur monobloc). Compter 15 à 35 cm de terre crue, 20 à 40 cm de briques, 25 à 45 cm de béton par

exemple. Comme ce mur est du côté ensoleillé, il est souvent entaillé de véritables fenêtres. Préférer le double vitrage au vitrage simple si le mur à effet de serre n'est pas protégé la nuit ou par vent froid et fort. Pour que la température de la pièce varie peu, il faut que cette pièce soit bien isolée sur toutes ses autres faces. On peut tabler sur une température variant de 9 à 15° sans autre apport de chaleur. La température maximum de 15° est obtenue vers 17 heures, la température mini est obtenue vers 8 heures du matin. Aucune intervention de l'habitant n'est nécessaire.

**Coûts :** Le mur à effet de serre est très facile à réaliser ; il est à la portée d'un bon bricoleur. Tabler sur 100 euros par m2 de mur à effet de serre si on le fait faire.

### **Mur Trombe**

On place devant le mur un vitrage ; on peint le mur d'une couleur sombre. On aménage une ouverture dans le haut et dans le bas du mur, plus une ouverture dans le haut et en bas du vitrage, chaque ouverture étant munie de clapet. Le jour quand le soleil est au rendez vous, un jour d'hiver, on maintient les clapets de vitrage fermés ; si la température du mur trombe est supérieure à celle de l'habitat, on ouvre les clapets de mur. L'habitat est réchauffé par le courant de convection qui s'instaure. Sinon, on maintient les clapets de mur fermés afin de laisser s'échauffer le mur et aussi pour éviter une circulation inverse qui refroidirait la pièce. Le mur accumule la chaleur et peut même la restituer en soirée par inertie, dans l'habitat, un peu comme le mur à effet de serre. La nuit d'hiver, les clapets de vitrage reste fermés. En été si le soleil donne trop, on peut tenter de mettre à l'ombre le mur trombe avec un arbre feuillu et on maintient ouverts les clapets de vitrage afin de ventiler le mur, tandis que les clapets de murs restent fermés. Peut s'envisager dans le cas d'un appartement mais surtout pour une maison.

Le mur Trombe est un peu plus performant que le mur à effet de serre, mais il présente deux inconvénients par rapport à celui-ci: intervention humaine nécessaire ou automatisation plus coûteuse, empoussièrément assez rapide diminuant l'efficacité.

**Coûts :** Le mur trombe est facile à réaliser ; il est à la portée d'un bon bricoleur. Tabler sur 120 euros par m2 de mur trombe si on le fait faire. Il existe sur le marché, des panneaux solaires thermiques à air qu'il suffit de poser et raccorder à la pièce attenante. Certains de ces matériels intègrent un petit capteur photovoltaïque qui alimente un ventilateur dès que le soleil brille. Ce genre de matériel semble séduisant pour garder hors gel des pavillons de vacances.

### **La serre accolée ou véranda**

On peut assimiler la véranda à un grand mur trombe qui englobe au moins une ouverture du type porte fenêtre établissant la communication avec l'habitat. Cette ouverture remplace les clapets du mur trombe. La véranda comporte un clapet d'aération haute et au moins une porte donnant sur l'extérieur (ouvrant et ou coulissant). Cette porte joue le rôle du clapet bas de vitrage du mur trombe et peut servir d'accès au logement. La véranda n'est pas une pièce à vivre au sens courant car les variations de températures y sont importantes. En effet elle n'est confortable que dans certaines périodes limitées de l'année et certaines périodes de la journée. Réservé à la maison, ne convient pas vraiment pour cultiver des plantes.

La surface supérieure vitrée de la véranda est utile sous les latitudes de 45° pour récupérer la chaleur diffuse. Le mur mitoyen joue un rôle d'accumulateur de chaleur comme dans le mur à effet de serre ou le mur trombe. Son épaisseur doit être d'environ 20 à 30 cm s'il est en terre crue, 25 à 35 cm si brique, 30 à 45 si béton; ceci afin de profiter du déphasage optimum jour-nuit.

On peut améliorer le stockage de chaleur en plaçant des containers d'eau dans la serre. Tabler sur 150 litre par m2 de vitrage.

**Coûts :** La véranda ajoutée coute cher. Pour qu'une véranda soit efficace, il faut qu'elle soit comme incrustée dans la maison et non surajoutée. Son prix est de l'ordre de 500 euros par m2 de verrière. Pour une petite véranda de 2m par 3m et de 2,5 m de hauteur moyenne, on a une surface vitrée d'environ 25m2 soit un coût global de 12.500 euros. La véranda rajoutée est difficile à amortir.

### **La toiture**

Ca chauffe ! Récupération possible si ...

### **La double peau**

On peut étendre la véranda à toute l'habitation et englober cette habitation dans une cage de verre ou plutôt de plexiglas meilleur isolant que le verre et surtout sécurisant les habitants des bris de verre. Ceci protège des vents et courants d'airs extérieurs d'une part et permet une certaine récupération de chaleur comme dans le mur à effet de serre ou la véranda. L'ensemble des murs de l'habitation devient alors un accumulateur thermique. C'est une solution efficace mais dont le coût est important.

**Coûts :** Compter 500 euros par m2 de double peau. Pour une habitation de 80 m2 habitables et compacte, il y a environ

180 m<sup>2</sup> de surface de murs et toiture, soit un coût total de 90.000 euros. En fonction du gain d'isolation obtenu, très variable selon l'existant initial, on peut calculer un retour sur investissement. Remarquer que 90.000 euros, c'est un part importante du coût d'une maison neuve BBC. Peut être vaudrait-il mieux vendre son vieux pavillon et faire construire un neuf aux normes, super-isolé !

### Ouvertures et volets

Tout vitrage de qualité laisse entrer largement les rayons lumineux dans le logement ; au contact des matériaux du logement, ce rayonnement se transforme en chaleur et en rayonnement infrarouge. Or, le vitrage interdit le passage du rayonnement infrarouge vers l'extérieur. C'est l'effet de serre qui s'applique tout autant au mur trombe, à la véranda et à la double peau vus ci-dessus. Donc toute fenêtre orientée sud est un excellent capteur thermique intéressant en saison froide. Néanmoins il faut éviter le réchauffement lors de la saison chaude. Ceci peut être obtenu par un débord de toiture (les rayons d'été plus verticaux que ceux d'hiver n'atteignent que le bas du vitrage), des stores (banne ou autre), des déflecteurs, des volets. Penser également à l'utilisation de feuillus qui protègent du soleil en été et laissent entrer la lumière solaire en hiver. Enfin, il ne faut pas oublier que le verre simple n'est pas un bon isolant thermique et que la chaleur captée peut se dissiper par diffusion à travers le verre. C'est pourquoi, le double voire triple vitrage est recommandé. Rappel : mettre de très bonnes fenêtres sur un mur passoire n'a bien sûr aucun intérêt.

Vitrage de 4mm d'épaisseur conductivité du verre 1 soit 250W/K pour 4mm d'un vitrage de 1m<sup>2</sup> !

(équivalent à 125m<sup>2</sup> d'un mur opaque en béton de 20cm d'épaisseur)

Double vitrage 8mm d'air conductivité air = 0,025W/m.K pour 8mm 0,0025/0,008 = 8,33W/K

pour 16mm 0,0025/0,016 = 1,56 (équivalent à 4m<sup>2</sup> de mur béton de 20cm isolé par 10cm de polystyrène)

### Gains ou pertes d'un m<sup>2</sup> de vitrage en région parisienne selon orientation

Vitrage	K en W/m <sup>2</sup> .°C	Sud	Sud/Est ou Sud/ouest	Est/Ouest	Nord
Double, peu émissif + volets	1,5	125	114	62	-4
Double, peu émissif	1,8	107	96	45	-21
Double + volets	2,25	81	70	19	-47
Double	2,95	41	30	-22	-87
Simple	4,95	-75	-86	-137	-203

**Coûts** : Une ouverture de bonne qualité c'est à dire avec un clair important et une isolation renforcée peut être estimée à 700 euros par m<sup>2</sup> d'ouverture. Le gain obtenu par rapport à un simple vitrage justifie cette dépense dans la mesure où le mur sur lequel on installe la nouvelle ouverture est lui même bien isolé. Le gain obtenu par rapport à un double vitrage moyen (année 1986) ne justifie pas cette dépense si le mur existant (R = environ 2 en construction 1986) est gardé tel quel. De même dépenser pour des volets mieux isolés et plus hermétiques n'est pas rentable car le gain de performance de l'ouverture, de l'ordre de 10 à 15%, est trop faible pour avoir un retour sur investissement rapide.

### Le solaire thermique

Il en existe 2 types de capteurs thermiques, à air ou à eau.

Capteur à air : c'est le plus simple à réaliser. Son fonctionnement est équivalent aux dispositifs vus précédemment.

Néanmoins il faut, cette fois, organiser la circulation d'air. Cela peut se faire naturellement par convection, comme le mur trombe ou bien par ventilation forcée.

Capteur à eau : l'eau transporte mieux la chaleur que l'air ; de plus on peut espérer réchauffer ainsi de l'eau sanitaire ou encore de l'eau pour le chauffage du logement. On trouve 2 modèles de capteurs à eau : *le modèle à tubes et avec caloduc et le modèle plan*. La réalisation du modèle à tubes est plus technique et donc plus chère mais le caloduc transporte beaucoup plus vite la chaleur qu'une plaque de cuivre. Son inertie thermique étant très faible, ce modèle peut récupérer un peu de chaleur même si l'ensoleillement est passager.

Le rendement d'un capteur thermique est de l'ordre de 80%, ce qui signifie qu'il peut capter 80% de l'énergie solaire incidente.

L'eau chaude obtenue ainsi peut être envoyée dans un échangeur situé dans le ballon d'eau chaude sanitaire. De cette façon on peut espérer une économie de 30 à 50% selon les régions de France. On peut aussi envoyer l'eau dans un plancher afin de chauffer la dalle de béton et ainsi réchauffer partiellement un logement gratuitement.

Par ces techniques on peut récupérer plus ou moins de l'énergie solaire reçue.

La surface de capteurs nécessaire varie énormément en fonction des besoins, de 2m<sup>2</sup> pour chauffer un petit ballon d'eau chaude sanitaire, à quelques dizaines de m<sup>2</sup> pour chauffer un logement individuel. Et jusqu'à plusieurs centaines de m<sup>2</sup>

pour les besoins d'un hôtel ou d'un ensemble collectif. Le retour sur investissement brut de ces installations n'est pas très bon. Néanmoins le Fond chaleur (SoCol) subventionne très largement ce type d'installations et permet d'améliorer considérablement le retour sur investissement.

**Coûts** : une installation solaire thermique individuelle permettant de produire de l'eau chaude sanitaire, coûte environ 3000 euros posée.

Pour ce prix on dispose d'un ballon de 200 à 300 litres et d'environ 2 à 4 m<sup>2</sup> de capteurs. A la latitude de Paris on peut espérer réduire sa facture de chauffage électrique de l'eau de 30%. Et donc de faire l'économie de 900 kwh annuels soit de 100 euros environ. Le crédit d'impôt est de 50% ce qui ramène le prix supporté à 1500 euros. Le retour sur investissement à prix constant est donc de 15 ans. Compte tenu de la raréfaction des énergies fossiles et donc de l'électricité, le retour sur investissement sera obtenu bien plus tôt. Mais bien malin celui qui peut prévoir les évolutions des prix énergétiques avec certitude.

Une installation thermique collective est relativement meilleur marché grâce au facteur d'échelle. Pour produire 9000 kwh annuels, le coût sera d'environ 40.000 euros. Grâce au Fond chaleur, sous réserve qu'il soit bien abondé par le gouvernement actuel, la subvention peut être de 70%. Ce qui ramène le prix de l'installation à 12.000 euros.

L'économie réalisée chaque année est d'environ 1000 euros. Le retour sur investissement n'est plus que de 12 années à prix constant.

### **L'électricité solaire**

Le capteur photovoltaïque transforme le rayonnement lumineux reçu en électricité. Par cette technique on peut récupérer au mieux 16% de l'énergie solaire reçue. Ce qui est beaucoup moins que la récupération obtenue par le capteur thermique. Cette technique est financièrement intéressante mais elle semble réservée aux pavillons du fait des limitations introduites par la loi depuis 2010.

**Coûts** : Une installation solaire personnelle doit avoir une puissance crête inférieure à 3kw. Pour 3kw il faut environ 20 m<sup>2</sup> de capteurs photovoltaïques. Le coût global de l'installation est alors de 20.000 euros environ. Le crédit d'impôt est de 23% en 2011, ce qui ramène le coût réellement supporté à 15.400 euros. L'électricité produite peut être revendue à EDF qui l'achètera à 0,5 euro du kwh en 2011. La production annuelle à la latitude de Paris sera d'environ 3200 kwh si bonne exposition plein sud. Soit un revenu annuel de 1600 euros. L'amortissement sera obtenu dans 9,4 années à prix d'achat constant, sans doute plus tôt car le prix d'achat du kwh photovoltaïque est indexé sur le prix de vente, lequel a tendance à croître au fur et à mesure de la raréfaction des énergies fossiles de toute nature (pétrole, gaz, uranium, ...). Néanmoins, ce prix peut aussi baisser au fur et à mesure que le nombre d'installations augmente. Le revenu de cette vente d'électricité peut constituer une petite assurance contre toute hausse de l'énergie, si on ne paie pas plus qu'on ne facture. Consommer moins de 3200 kwh est possible si par ailleurs on a fait tous travaux de nature à très bien isoler son logement. Les régions bien ensoleillées sont avantagées.

### **Combiné solaire thermique et électriquement**

Il existe depuis 2014 environ des solutions combinées, des panneaux solaires produisant à la fois de la chaleur sous forme air chaud ou sous forme eau chaude et de l'électricité grâce au photovoltaïque.

Très intéressant pour optimiser la récupération d'énergie maximum sur un toit bien orienté (Sud, SO, SE).

### **L'électricité éolienne**

La petite ou moyenne éolienne est accessible au particulier. Il existe plusieurs types d'éoliennes : à axe horizontal et pales verticales, à axe horizontal et pales horizontales, à axe horizontal et pales volumiques, à axe vertical et pales verticales.

La première catégorie est largement utilisée dans les champs d'éoliennes gigantesques. Très peu d'intérêt pour le particulier, beaucoup pour les grosses entreprises et EDF.

La 2ème catégorie comprend des modèles à installer sur terrasse d'immeuble mais aussi des modèles de faitière installables sur toits pentus.

La 3ème catégorie et la 4ème catégorie sont intéressantes même pour la particulier.

Notez que les 2ème, 3ème et 4ème catégories sont beaucoup moins bruyantes que la catégorie 1 (du au fait que les pales ne coupent pas le vent).

On trouve de petites éoliennes de façage qui s'intègrent harmonieusement au bâti et produisent assez d'électricité pour satisfaire environ 20% des besoins d'un ménage normal (donc peu économe en énergie). Cette production comme celle issue du soleil est difficilement stockable. Il est donc intéressant, à chaque fois que possible de la revendre au fil de l'eau sur le réseau EDF. Avec l'avènement probable des voitures électriques, il peut être judicieux de s'équiper d'un générateur électrique gratuit. Cela ne règlera pas tous les problèmes (disponibilité, stockage, ...) mais permettra de faire un pas important vers davantage d'autonomie énergétique.

Il faut être conscient du fait qu'une éolienne en ville ne produit presque rien ; en effet, étant mal ventée, son rendement

pratique est faible (10% au mieux). C'est à dire qu'elle produit à sa puissance nominale durant  $8760h / 10 = 876 h$ . Si sa puissance est de 1kW, elle produira donc au mieux, 876kWh !

**Coûts** : une éolienne de puissance 1kw coute environ 5000 euros ; selon l'exposition au vent, elle peut produire bien exposée, au mieux  $8760 \times 20/100 = 1752$  kwh annuels. Le prix de rachat de cette électricité par EDF n'est pas obligatoire. Le cout d'achat est de 0,08 euros / kwh ; soit 140 euros/an. Ce prix est inférieur au prix de vente pratiqué par EDF, environ 0,11 euros le kwh. L'électricité produite par ce moyen est donc à usage personnel de préférence. Une éolienne se justifie pour un site isolé bien venté (bateau, ile, bords de mer, abri de montagne, ...). Le vent étant très variable, il y a lieu de stocker l'énergie électrique, par exemple dans des batteries, ce qui enchérit l'installation. Le retour sur investissement est très long ! L'investissement éolien particulier semble donc mauvais.

Une éolienne géante de 1Mw de puissance coute environ 1.000.000 euros. Bien située, sa production annuelle sera de  $8760 \times 25/100 = 2190$  Mwh. La revente de cette électricité à EDF rapportera 175.200 euros par an. Le retour sur investissement est alors de 5,7 ans. Néanmoins, les monstres éoliens ont un coût de maintenance élevé qui assombrit le tableau. Le retour sur investissement réel sera plutôt de 10 ans, ce qui reste intéressant. L'investissement éolien communautaire est très intéressant.

## Etat de la réglementation thermique

Depuis le 1er janvier 2013, toute construction nouvelle est tenue de respecter la norme RT2012 et donc être plus économe, même si cette norme n'est pas encore assez drastique. Il est fort probable que les normes futures seront de plus en plus contraignantes. On parle d'un objectif de logement positif à l'horizon 2050.

Il faut donc encourager les futurs propriétaires à aller plus loin que la norme actuelle en vue d'obtenir un logement très économe voire un logement qui ne consomme pas ou mieux encore qui produise de l'énergie.

Oui, cela est possible grâce à la récupération d'énergie !

Tout logement nouvellement construit doit d'être le plus économe possible voire ne rien consommer du tout; il devient alors, un logement passif. Mieux encore, par la récupération d'énergies locales comme le soleil, le vent, la géothermie, l'hydraulique, on peut réaliser des logements qui produisent de l'énergie; on les appelle logements actifs.

Le parc de logements anciens représente environ 80% du total des logements construits en France. La plupart de ces logements sont très mal isolés, surtout si leur année de construction remonte avant 1980; ce sont trop souvent des passoires à calories !

C'est d'abord sur ces logements là qu'il faut porter l'effort d'amélioration des performances énergétiques.

Entre le logement passoire à calories (la maison de toile, de briques ou de béton, non isolée ) et le logement passif, il y a tout un éventail de qualités de logements. Pour les classer, on dispose de deux indicateurs essentiels:

- La quantité d'énergie consommée (exprimée en kWh) pour y vivre confortablement, été comme hiver,
- Le flux d'air qui entre et sort de l'habitation (exprimé en m3 par heure).

Par ailleurs, à chaque kWh consommé, correspond une quantité de gaz carbonique ou de CO2 rejetée dans l'atmosphère; ce nombre exprimé en kg de CO2 est important: il permet de sensibiliser chacun de nous à l'utilisation de l'énergie la moins polluante au regard de l'effet de serre.

Néanmoins, le lecteur perspicace remarquera immédiatement que cet indicateur est sans intérêt si l'habitation est passive, ce qui signifie qu'il faut d'abord chercher à minimiser sa consommation d'énergie avant de chercher à diminuer sa production de CO2.

**En d'autres termes, optimiser son moyen de chauffage est moins utile qu'isoler fortement son logement.**

Pour lutter contre l'effet de serre, tous les pays du monde cherchent à réduire leurs émissions. La France, qui n'est pas la mieux placée dans cette course anti-gaspi, vise néanmoins des logements consommant moins de 40kWh/m2 d'énergie primaire d'ici 2025, puis des logements produisant plus qu'ils ne consomment à l'horizon 2050. Un délai très court pour le domaine du bâtiment ! Pour tenir un tel objectif, il faudra, par des règlements et des contrôles sévères obliger industriels, professionnels et consommateurs à faire les efforts nécessaires.

**Nous avons donc intérêt, à commencer la rénovation de nos logement, ... tout de suite.**

Pour y voir clair, on a mis en place une classification des logements en rapportant l'énergie consommée par an au m2 de surface habitable. Un logement consommant moins de 50 kWh d'énergie par an et par m2 est réputé économe.

De la même façon on classe les logements en rapportant la quantité de CO2 produit par an au m<sup>2</sup> de surface habitable. Un logement produisant moins de 5 kg de CO2 par an et par m<sup>2</sup> est réputé à faible émission.

Remarquons également que cette classification au m<sup>2</sup> ne montre pas assez bien qu'un grand logement est souvent plus économe qu'un petit. Même si on ne vise pas à entasser les gens dans de très petites surfaces, il ne faut guère les encourager à vivre trop au large !

## Classification énergétique et CO2

En kwh/m2/an	Classe	kg éqCO2/m2/an	Classe
Logement économe		Faible émission	
<= 50	A	<=5	A
51 à 90	B	6 à 10	B
91 à 150	C	11 à 20	C
151 à 230	D	21 à 35	D
231 à 330	E	36 à 55	E
331 à 460	F	56 à 80	F
>460	G	>80	G
Logement énergivore		Forte émission	

## Classification flux d'air

Classification Fuites d'air			
Indicateur I4	m3/h/m2	Indicateur n50	vol/h
RT2005 neuf			
BBC Effinergie	< 0,6		
RT2012	< 0,6		
Minergie		Minergie	< 0,6
Passivhaus		Passivhaus	< 0,6

### Pourquoi la classification du flux d'air est importante ?

A quoi bon réaliser des parois de logement super isolées s'il existe des fuites d'air qui dissipent l'énergie calorifique soit par des entrées d'air froid, soit par des sorties d'air chaud ? Au fur et à mesure que le degré d'isolation des parois augmente, il faut parallèlement diminuer les fuites d'air. Néanmoins, il faut admettre un minimum d'air extérieur frais et rejeter un minimum d'air intérieur vicié afin que les occupants respirent normalement !

### Le test d'étanchéité à l'air

#### Qu'est ce l'infiltrométrie ou test d'étanchéité à l'air ?

Le test d'infiltrométrie mesure la quantité d'air entrant dans un bâtiment et permet de déterminer en quantité les entrées d'air parasites indépendamment des éventuels systèmes de ventilation qui sont obturés si nécessaire. Pour effectuer le test, on utilise un équipement de test appelé infiltromètre, que l'on place en général à l'entrée du logement. Il est possible de localiser les entrées d'air parasites, surtout si l'air extérieur est froid; on peut également utiliser une caméra thermique pour mieux visualiser les entrées d'air.

#### L'objectif :

La perméabilité à l'air des constructions anciennes engendre une augmentation des besoins de chauffage de 5 à 20 kWh/m<sup>2</sup>/an par rapport à une étanchéité correcte. La ventilation d'un logement ne devrait jamais être naturelle ou du moins, non contrôlée. Il faut renouveler l'air que nous respirons mais sans excès afin de limiter les déperditions de chaleur d'une part et éviter les condensations néfastes au bâtiment d'autre part.

#### La mesure de la perméabilité à l'air :

Pour cela, on crée artificiellement une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du local testé. Le test d'infiltrométrie ou test de la porte soufflante, permet de mesurer la quantité d'air rentrant dans un logement et d'identifier la localisation de ces entrées. Pour effectuer le test, on utilise un infiltromètre, que l'on place à l'entrée du bâtiment. Cet appareil se compose d'un puissant ventilateur et d'une toile de nylon de façon que l'air ne passe qu'au

travers du ventilateur. Au préalable, prendre soin d'obturer tous les orifices volontaires (ex : bouches de ventilation) afin que le flux d'air provoqué par la différence de pression ne provienne que des entrées parasites. On mesure alors le débit de fuite pour une différence de pression imposée. Cette " méthode de dépressurisation par ventilateur " est normée (NF EN 13829, application Février 2001, et le guide d'application GA P50-784).

### **La préparation du bâtiment :**

Il faut d'abord fermer toutes les ouvertures donnant sur l'extérieur (fenêtres, portes, trappes de ventilation, etc.), et prendre soin de laisser les portes intérieures ouvertes pour permettre la libre circulation de l'air dans le bâtiment. Les appareils de chauffage sont arrêtés. Par précaution on fait d'abord tourner le ventilateur à petite vitesse pour contrôle et éviter tout incident.

### **Le déroulement du test :**

Une fois le ventilateur en marche normale, une dépression s'établit à l'intérieur du logement par rapport à la pression extérieure. Un manomètre mesure la différence de pression, ainsi que la pression dite « dynamique » au niveau du passage d'air du ventilateur. D'après l'étalonnage du ventilateur, la pression dynamique peut être convertie en un débit de fuite. La mesure doit être effectuée pour plusieurs différences de pression entre 10 et 100 Pascals: la dépression référence de 50 Pascals correspondant à un vent d'environ 32 km/h. Le logiciel réalise ensuite une régression linéaire des points mesurés selon la méthode des moindres carrés, ce qui permet de connaître le débit de fuite, quelle que soit la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. La pression mesurée doit être stable durant 30 secondes au moins. Selon la norme NF EN 13829, lorsque la fluctuation de pression est supérieure à 5 Pascals, la mesure n'est pas considérée comme valable. Les instabilités sont souvent dues aux conditions atmosphériques; choisir de préférence un temps calme pour faire le test.

### **La recherche des fuites :**

La différence de pression est maintenue par le ventilateur, pendant que l'opérateur procède à la recherche et à la localisation des infiltrations au moyen d'une des 3 techniques suivantes:

- Par thermographie infrarouge avec visualisation des endroits qui ont été refroidis par le passage de l'air provenant de l'extérieur,
- Par anémomètre qui détecte le déplacement de l'air à l'endroit de l'infiltration,
- Par une fumée artificielle qui s'infiltrer aux endroits perméables.

Le rapport de test devra être édité suivant la Norme NF EN 13829 et le Guide d'Application GA P50-784.

### **Les principales localisation de fuites :**

D'après des essais réalisés dans un grand nombre de logements en France, quatre grandes catégories de points faibles ont été répertoriées :

- Les liaisons façades et planchers : liaison mur / dalle sur terre plein, liaison mur / dalle ou plancher en partie courante... environ 20% des cas.
- Les menuiseries extérieures : seuil de porte palière, seuil de porte fenêtre, liaison mur /fenêtre au niveau du linteau... environ 40% des cas.
- Les équipements électriques : interrupteurs sur mur extérieur, prises de courant sur mur extérieur... environ 30% des cas.
- Les trappes et les éléments traversant les parois : trappe d'accès aux combles, trappe d'accès aux gaines techniques... environ 10% des cas.

### **Indicateurs de perméabilité à l'air**

Pour comparer des constructions entre elles, deux indicateurs sont souvent utilisés :

- le débit de fuite sous une dépression de 4 Pascal divisé par la surface de parois froides (hors plancher bas). Cet indicateur, appelé Q4Pa-surf, est utilisé dans la réglementation thermique **RT2005** et le label BBC-Effinergie, ainsi que par la RT2012 pour lequel il est fixé à **0,6 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>**.
- le débit de fuite sous 50 Pascal divisé par le volume chauffé. Cet indicateur, appelé n50, est utilisé pour les labels PassivHaus ou Minergie-P, avec une valeur maximale fixée à **0,6 volume/heure** pour ces deux labels, que ce soit pour la construction neuve ou la rénovation, et ce pour tout type d'usage.

La conversion entre les deux indicateurs est complexe, car elle fait intervenir la compacité du bâti (le rapport du volume sur la surface de parois froides).

## **Les normes existantes**

Depuis qu'est survenu le premier choc pétrolier en 1976, des efforts ont été faits pour rendre nos logements plus économes. Et ceci a donné lieu à des normes à respecter. Depuis lors, nombre de normes ont été mises en place telles que la RT2005, la RT2012 toute nouvelle, ainsi que des labels tels que Effinergie, Minergie, PassivHaus, ...

Par souci d'exhaustivité, et pour satisfaire la curiosité de chacun, quelques informations sont fournies dans ce chapitre. Néanmoins, il est possible de sauter ce chapitre très technique et de passer directement au chapitre suivant: Quelle stratégie adopter pour rendre notre ancien logement de plus en plus économe en énergie primaire.

## La RT2005 (obsolète)

### Huit zones climatiques H1a H1b H1c H2a H2b H2c H2d H3

Code département, Département	Zone
02 Aisne, 14 Calvados, 27 Eure, 28 Eure et Loir, 59 Nord, 60 Oise, 61 Orne, 62 Pas-de-Calais, 75 Paris, 76 Seine maritime, 77 Seine et Marne, 78 Yvelines, 80 Somme, 91 Essonne, 92 Hauts de Seine, 93 Seine Saint Denis, 94 Val de Marne, 95 Val d(Oise)	H1a
08 Ardennes, 10 Aube, 45 Loiret, 51 Marne, 52 Haute Marne, 54 Meurthe et Moselle, 55 Meuse, 57 Moselle, 58 Nièvre, 67 Bas Rhin, 68 Haut Rhin, 70 Haute Saône, 88 Vosges, 89 Yonne, 90 Territoire de Belfort	H1b
01 Ain, 03 Allier, 05 Hautes Alpes, 15 Cantal, 19 Corrèze, 21 Côte-d'Or, 23 Creuse, 25 Doubs, 38 Isère, 39 Jura, 42 Loire, 43 Haute Loire, 63 Puy-de-Dôme, 71 Saône et Loire, 73 Savoie, 74 Haute Savoie, 87 Haute-Vienne	H1c
22 Côte d'Armor, 29 Finistère, 35 Ille et Vilaine, 50 Manche, 56 Morbihan,	H2a
16 Charente, 17 Charente maritime, 18 Cher, 36 Indre, 37 Indre et Loire, 41 Loir et Cher, 44 Loire atlantique, 49 Maine et Loire, 53 Mayenne, 72 Sarthe, 79 Deux Sèvres, 85 Vendée, 86 Vienne,	H2b
09 Ariège, 12 Aveyron, 24 Dordogne, 31 Haute Garonne, 32 Gers, 33 Gironde, 40 Landes, 46 Lot, 47 Lot et Garonne, 64 Pyrénées atlantiques, 65 Hautes Pyrénées, 81 Tarn, 82 Tarn et Garonne,	H2c
04 Alpes de haute Provence, 48 Lozère, 84 Vaucluse	H2d
13 Bouches du Rhône, 2A Corse du Sud, 2B Haute Corse, 30 Gard, 34 Herault, 66 Pyrénées orientales, 83 Var	H3

### Trois classes d'exposition aux bruits BR1 BR2 BR3

Catégorie de l'infrastructure de transports terrestres Niveau sonore de référence $L_{aeq}$ (6h-22h)	Classe d'exposition est BR1 si ...
0 Aéroport	Bâtiment hors zone d'exposition au bruit
1 Voie ferrée, Autoroute, ... $L > 81$ dB(A)	Bâtiment distant de plus de 700 m
2 $76 < L < 81$	Bâtiment distant de plus de 500 m
3 $70 < L < 76$	Bâtiment distant de plus de 250 m
4 $65 < L < 70$	Bâtiment distant de plus de 100 m
5 $60 < L < 65$	Bâtiment distant de plus de 30 m

Se renseigner auprès des mairies et DDE pour connaître le classement d'une voie (chemin, rue, avenue, route, ...).

Vue de l'infrastructure de catégorie 1 depuis une baie distante de :	Vue directe	Vue partielle	Vue masquée ou arrière	Vue arrière protégé	Vue sur cour fermée
< 50 m	BR3	BR3	BR3	BR2	BR2
50 à 160	BR3	BR3	BR2	BR2	BR1
160 à 300	BR3	BR2	BR2	BR1	BR1
300 à 460	BR2	BR2	BR1	BR1	BR1
460 à 700	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1
> 700 m	BR1	BR1	BR1	BR1	BR1

Vue de l'infrastructure de catégorie	Vue directe	Vue partielle	Vue masquée	Vue arrière	Vue sur cour
--------------------------------------	-------------	---------------	-------------	-------------	--------------

<i>2 depuis une baie distante de :</i>			<i>ou arrière</i>	<i>protégé</i>	<i>fermée</i>
< 25 m	BR3	BR3	BR3	BR2	BR2
25 à 80	BR3	BR3	BR2	BR2	BR1
80 à 250	BR3	BR2	BR2	BR1	BR1
250 à 370	BR2	BR2	BR1	BR1	BR1
370 à 500	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1
> 500 m	BR1	BR1	BR1	BR1	BR1

<i>Vue de l'infrastructure de catégorie 3 depuis une baie distante de :</i>	<i>Vue directe</i>	<i>Vue partielle</i>	<i>Vue masquée ou arrière</i>	<i>Vue arrière protégé</i>	<i>Vue sur cour fermée</i>
< 30 m	BR3	BR3	BR2	BR2	BR1
30 à 100	BR3	BR2	BR2	BR1	BR1
100 à 160	BR2	BR2	BR1	BR1	BR1
160 à 250	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1
> 250	BR1	BR1	BR1	BR1	BR1

<i>Vue de l'infrastructure de catégorie 4 depuis une baie distante de :</i>	<i>Vue directe</i>	<i>Vue partielle</i>	<i>Vue masquée ou arrière</i>	<i>Vue arrière protégé</i>	<i>Vue sur cour fermée</i>
< 10 m	BR3	BR3	BR2	BR2	BR1
10 à 30	BR3	BR2	BR2	BR1	BR1
30 à 60	BR2	BR2	BR1	BR1	BR1
60 à 100	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1
> 100	BR1	BR1	BR1	BR1	BR1

<i>Vue de l'infrastructure de catégorie 5 depuis une baie distante de :</i>	<i>Vue directe</i>	<i>Vue partielle</i>	<i>Vue masquée ou arrière</i>	<i>Vue arrière protégé</i>	<i>Vue sur cour fermée</i>
< 10 m	BR3	BR2	BR2	BR1	BR1
10 à 20	BR2	BR2	BR1	BR1	BR1
20 à 30	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1
> 30 m	BR1	BR1	BR1	BR1	BR1

## Produits de construction conformes aux normes européennes et à défaut aux normes françaises

### Deux catégories de locaux confort d'été CE1 CE2

<i>Type de local → catégorie de confort d'été</i>	
Local refroidi , habité, exposé au bruit (BR2 ou BR3), en zone H2d ou H3 à moins de 400m d'altitude	CE2
Local refroidi, zone à usage d'enseignement, ses baies sont exposées au bruit BR2 ou BR3 et le bâtiment est construit en zone climatique H2d ou H3 à une altitude inférieure à 400 mètres ;	CE2
Local refroidi, situé dans une zone à usage de bureaux et ses baies sont exposées au bruit BR2 ou BR3 ou ne sont pas ouvrables en application d'autres réglementations	CE2
Local refroidi, situé dans une zone à usage de bureaux et le bâtiment est construit soit en zones climatiques H1c ou H2c à une altitude inférieure à 400 mètres, soit en zones climatiques H2d ou H3 à une altitude inférieure à 800 mètres	CE2
Local refroidi, situé dans une zone à usage de commerce	CE2
Local refroidi, situé dans une zone à usage de spectacle ou de conférence ou de salle polyvalente	CE2
Local refroidi, situé dans une zone à usage d'établissement sanitaire	CE2
Autres cas	CE1

On remarque que les logements individuels bien conçus n'ont pas besoin de refroidissement, en France. D'où CE1.

### Consommation maximale en énergie primaire

Zone climatique	Combustibles fossiles kWh/m2/an	HPE	THPE	Chauffage électrique (dont PAC)	HPE	THPE
H1	130 classe C	117 classe C	104 classe C	250 (96) classe E	225 (87) classe D	200 classe D
H2	110 classe C	99 classe C	88 classe B	190 (73) classe D	171 classe D	152 classe D
H3	80 classe B	72 classe B	64 classe B	130 (50) classe C	117 classe C	104 classe C

Remarque: la RT2005 fait la part belle au chauffage électrique présumé moins polluant que les combustibles fossiles dans la mesure où l'électricité française est majoritairement issue des centrales nucléaires; néanmoins, il faut savoir que lors des pointes de courant, dues en grande partie au chauffage par temps froid, EDF est obligée d'utiliser de nombreuses centrales thermiques en secours rapide ! L'électricité est plus polluante qu'il n'y paraît.

### Le confort d'été

La température atteinte T en été doit être inférieure à: voir méthode Th-C-E plus loin.

Surface des baies vitrées fixée à 1/6 de la surface habitable (au delà non pris en compte)

Surfaces des baies vitrées verticales (maisons individuelles neuves): 20% au Nord, à l'Est et à l'Ouest, 40% au Sud

### Incitations et labels

Incitation au recours des énergies renouvelables

Limitation du recours à la climatisation

Instauration de labels pour aller plus loin que le minimum requis :

Label HPE, Label THPE, Label BBC

### Respect d'exigences minimales garde fou

Compacité de l'habitation

Surfaces vitrées < 25% de la surface habitable

#### Isolation minimum des parois

Cette isolation se mesure par le coefficient U de diffusion de la chaleur ; plus ce coefficient est faible, plus le mur ou la fenêtre est bien isolée thermiquement. On utilise généralement U pour les ouvertures (fenêtres et portes).

Un autre coefficient de résistance à la diffusion appelé R est utilisé généralement pour les murs et toitures ou cloisons opaques. Plus R est grand, plus la cloison est isolante.

U est exactement l'inverse de R.

Paroi	Coefficient U maximum	R minimum
Mur extérieur ou en contact avec sol	0,45	2,2
Mur en contact avec volume non chauffé	0,45/b (*)	
Plancher bas sur terre plain ou parking collectif	0,36	2,8
Plancher bas sur vide sanitaire ou volume non chauffé	0,4	2,5
Plancher haut en béton ou maçonnerie	0,34	3
Plancher haut couverture tôles métalliques	0,41	2,4
Autres planchers hauts	0,28	3,5
Fenêtres et portes fenêtres sur extérieur (verticales)	2,6	0,38
Façades rideaux	2,6	0,38
Coffres de volets roulants	3	0,33

(\*) b est un coefficient de réduction des déperditions  
la RT2005 n'est guère exigeante tout particulièrement sur les ouvertures !

Isolation des parois renforcée (6 options OPAa est le minimum requis)

Paroi R (m2.K/W)	OPAA	OPAb	OPAc	OPAd	OPAE	OPAf
Plafonds,toitures	>= 4	>=4,3	>=4,5	>=4,8	>=5	>=5,5
Murs extérieurs	>= 2,2	>=2,3	>=2,5	>=2,7	>=2,9	>=3,2
Vide sanitaire	>= 2,4	>=2,7	>=3	>=3,2	>=3,5	>=4
Terre plain	>= 1,7	>=1,9	>=2,1	>=2,3	>=2,5	>=2,9

La dernière colonne s'approche de la nouvelle norme RT2012.

Ponts thermiques: Résistance thermique périphérique  $\geq 1,7 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$

U<sub>max</sub> maisons individuelles: 0,65W/m.K

U<sub>max</sub> autres habitations: 1W/m.K

Coefficient déperditions totales par les parois :

U<sub>bat-max</sub>  $\leq$  U<sub>bat-base</sub> \* 1,2 (maisons individuelles)

U<sub>bat-max</sub>  $\leq$  U<sub>bat-base</sub> \* 1,25 (autres habitations )

Préconise des méthodes de calcul  
des déperditions calorifiques Th-C

$$U_{bat} = (a1A1+a2A2 +a3A3+a4A4+a5A5+a6A6+a7A7+a8L8+a9L8+a10L10)/(A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7)$$

A1 surface des parois opaques

A2 surface des planchers hauts sauf A3

A3 surface des planchers hauts sur extérieur en béton/maçonnerie

A4 surface des planchers bas

A5 surface des portes quasi peines

A6 surface des fenêtres, portes fenêtres des bâtiments non résidentiels

A7 surface des fenêtres, portes fenêtres des bâtiments

L8 tour plancher bas avec mur

L9 tour plancher haut type A2 avec mur

L10 tour plancher haut type A3 avec mur

Coefficients a utilisés selon les zones

Coefficient (W/m2.K)	Zones H1 H2 et H3 > 800m	Zone H3 $\leq$ 800m
a1	0,36	0,4
a2	0,2	0,25
a3	0,27	0,27
a4	0,27	0,36
a5	1,5	1,5
a6	2,1	2,3
a7	1,8	2,1
a8	0,4	0,4
a9	0,55	0,55
a10	0,5	0,5

Facteur solaire de référence pour le Th-C-C

de la température maximale d'été Th-E

Coefficient pour calcul de la température d'été

<b>Zones Eté</b>			
H1a et H2a	Toutes altitudes		
H1b et H2b	Altitude > 400m	Altitude <= 400m	
H1c et H2c	Altitude > 800m	Altitude <= 800m	
H2d et H3		Altitude > 400m	Altitude <= 400m
<b>Exposition des baies au bruit BR1</b>			
Verticale, Nord	0,65	0,45	0,25
Verticale non Nord	0,45	0,25	0,15
Horizontale	0,25	0,15	0,1
<b>Exposition des baies au bruit BR2 ou BR3</b>			
Verticale, Nord	0,45	0,25	0,25
Verticale non Nord	0,25	0,15	0,15
Horizontale	0,15	0,1	0
<b>Baies de locaux à occupation passagère</b>			
Verticale	0,65	0,65	0,45
Horizontale	0,45	0,45	0,45

Facteur solaire de référence = 0,02 pour le TH-C-E

#### **Perméabilité à l'air maximale**

Sous la pression de 4 Pascal exprimé en m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)

Maisons individuelles	0,8
Bureaux, Restos, Hôtels, Ecoles,	1,2
Autres usages	2,5

#### **Banalisation de la VMC hygroréglable**

Puissance ventilateur P=0,25W / m<sup>3</sup>.h sans filtre, P=0,4W / m<sup>3</sup>.h avec filtre de classe F5 à F9.

Modulation des débits

Bouche de cuisine hygroréglable et à 2 vitesses

Autre bouches fixes mais hygroréglables

#### **Chauffage**

Voir l'arrêté

#### **Eau chaude**

Pertes maxi des chauffe eau à accumulation Q<sub>pr</sub> en kWh/24 heures

Vertical: V < 75 litres 0,1474 + 0,0719\*V puissance 2/3

Horizontal: V >= 75 litres 0,939 + 0,0104\*V puissance 2/3

Vertical: V >= 75 litres 0,224 + 0,00663\*V puissance 2/3

Calorifugeage des canalisations: perte W/m.K <= 3,3\*D + 0,22 D diamètre du tube en mètres

#### **Refroidissement**

Voir l'arrêté. En gros ne concerne pas l'habitat individuel

#### **Eclairage**

Voir l'arrêté. Ne concerne pas l'habitat résidentiel



## La RT2012

### Le contexte énergétique

#### Synthèse et apports de la loi ENE (Grenelle II) 12/07/2010

Voir Regard\_Grenelle II

##### Bâtiment

réduction des consommations énergie,  
nouvelles obligations de performance énergétique (attestation de performance énergétique basée sur les études et attestation de respect de la RT2012 à l'achèvement des travaux) ; exigence de 50kWhEP/m<sup>2</sup>/an (modulable selon régions)  
renforcement et fiabilisation des DPE, projet de durée limitée à 10 ans  
futur et nouveau label inspiré de HQE (prise en compte plus importante de l'énergie grise)  
fixation d'obligations à moyen terme en rénovation du tertiaire avant 2020  
maîtrise des coûts de performance énergétique  
information et sensibilisation de tous, aides (écoprêt à taux 0, utilisation des espaces **Info Energie**)  
Vaste campagne d'information et de sensibilisation (via **Ademe, Espaces Info Energie, MEDDTL**)  
plaquettes, CDROMs, site dédié : [www.rt-batiment.fr](http://www.rt-batiment.fr), réunions régionales, départementales, presse.  
faciliter la rénovation dans les copropriétés (DPE obligatoire si chauffage collectif, puis CPE puis plan d'action)

##### Urbanisme

Au cœur des enjeux de maîtrise énergétique (incidence transports)  
Ville à portée de pieds, ville énergiquement performante et diversifiée  
Priorité aux énergies et matériaux renouvelables (PV, ECS solaire, géothermie, PAC eau/eau, chauffage bois)  
Documents d'urbanisme indiquant (réduction d'espace, performances énergétiques accrues, déplacements réduits, moins de GES)  
Urgence d'un tissu commercial localisé (par opposition aux grandes surfaces périphériques)  
Révision politique de stationnement (motorisés/non motorisés)  
Compatibilité des SCOT et des PLU avec les plans climat territoriaux et les schémas régionaux  
Bonification des droits à construire de 20 à 30% ; approche volumétrique

##### Réseaux de chaleur renouvelables

Relancer les réseaux de chaleur renouvelable (France :23% ENR d'ici 2020) → 10MTep de chaleur renouvelable (le double de 2009) TVA réduite si 50% de chaleur renouvelable Schéma directeur du réseau de chaleur avant 2020  
Obligation des compteurs d'énergie avant 2013 Transparence, actions de maîtrise d'énergie  
Création du fond de chaleur renouvelable (aide financière habitat collectif, tertiaire, industrie) visée : 5,5MTep avant 2020 filières Biomasse, Géothermie, Cogénération, Biogaz, ...  
Prix : chaleur renouvelable 5% moins cher que chaleur fossile

##### Electricité renouvelable

Fixer un cadre pérenne, prévisible pour créer les bonnes conditions de développement 7,2Mtep électricité renouvelable  
Priorité à éolien, photovoltaïque, hydroélectricité,  
Obligation de raccordement des producteurs locaux par RTE, modif obligations d'achat, futur smart grid  
Développement maîtrisé de l'éolien

### Rappel des exigences de la RT 2012

Généralisation dans le neuf des bâtiments BBC (-50% par rapport à la RT2005)  
Exigence de limitation des besoins  
Exigence de limitation de la consommation énergétique et de la production de GES  
Recours aux énergies renouvelables  
Liberté architecturale  
Exigence de moyens visant à limiter la consommation

## Le calendrier et champs d'application de la RT 2012

27/10/2010 publication au JO de l'arrêté RT2012

26/12/2010 publication au JO d'un correctif de l'arrêté RT2012

10/08/2011 publication au BO de l'arrêté sur la méthode Th-BCE 2012 du 20/07/2012

28/10/2011 décret d'application pour les bâtiments neufs à usage de bureaux, d'enseignement ... et des habitations en zone ANRU.

01/01/2013 décret application pour tous les bâtiments d'habitation hors zone ANRU (foyers de jeunes, Cité U, habitations individuelles et collectives)

01/01/2013 au plus tard : décret concernant les bâtiments tertiaires (Commerce, Restauration, Résidence pour personnes âgées ou dépendantes, Hôpital, Hôtel, Etablissement sportif, ...)

courant 2013 mise en place de nouveaux labels HPE

## Définitions : Grandes lignes de la réglementation technique RT 2012

### Exigences de résultat

On distingue la Consommation d'énergie primaire ou Cep, le Besoin bioclimatique ou Bbio, La température intérieure conventionnelle ou Tic.

### Exigences de moyens

On distingue le recours aux ENR, l'étanchéité à l'air, l'isolation thermique, l'éclairage naturel, le confort d'été, les mesures et moyens de contrôle

### Sanctions en cas de non respect

Donnent à la RT2012 son caractère obligatoire.

### Paramètres distinctifs d'un bâtiment

Un bâtiment est caractérisé par sa localisation géographique, son altitude, son exposition aux bruits, sa surface et son usage, sa catégorie de confort, ses émissions de gaz à effet de serre. A chacun de ces paramètres correspond ou non, un coefficient qui interviendra dans le calcul des 3 exigences de résultats de la RT2012. Il peut y avoir interaction entre ces paramètres.

Important : la RT2012 ne s'applique pas :

aux constructions provisoires dont l'utilisation est inférieure à 2 ans,

aux parties de bâtiments dont la température normale d'utilisation est  $\leq 12$  °C,

aux parties de bâtiments destinés à rester ouverts sur l'extérieur,

aux parties de bâtiments à usage spécifique qui doivent garantir des conditions particulières de température, d'hygrométrie ou de qualité de l'air,

aux parties de bâtiments chauffés ou refroidis pour un usage industriel,

aux parties de bâtiments agricoles ou d'élevage,

aux parties de bâtiments situés en outremer.

<b>Exigences</b>	<b>Cep</b>	<b>Bbio</b>	<b>Tic</b>
Localisation géographique H1a H1b H1c H2a H2b H2c H2d H3	McGéo	MbBio	
Altitude < 400m, 400 à 800m, > 800m	McAlt	MbAlt	
Exposition aux bruits BR1, BR2, BR3			
Catégorie de confort CE1, CE2	McType		
Surface et usage du bâtiment SHON	McSurf	MbSurf	
Emission de gaz de serre	Mcges		

### Localisation géographique

Huit zones climatiques H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d, H3

Codes département, Départements, Zone (tri par zone)

<b>Code département, Département</b>	<b>Zone</b>
02 Aisne, 14 Calvados, 27 Eure, 28 Eure et Loir, 59 Nord, 60 Oise, 61 Orne, 62 Pas-de-Calais, 75 Paris, 76 Seine maritime, 77 Seine et Marne, 78 Yvelines, 80 Somme, 91 Essonne, 92 Hauts de Seine, 93 Seine Saint Denis, 94 Val de Marne, 95 Val d'Oise	H1a
08 Ardennes, 10 Aube, 45 Loiret, 51 Marne, 52 Haute Marne, 54 Meurthe et Moselle, 55 Meuse, 57 Moselle, 58 Nièvre, 67 Bas Rhin, 68 Haut Rhin, 70 Haute Saône, 88 Vosges, 89 Yonne, 90 Territoire de Belfort	H1b
01 Ain, 03 Allier, 05 Hautes Alpes, 15 Cantal, 19 Corrèze, 21 Côte-d'Or, 23 Creuse, 25 Doubs, 38 Isère, 39 Jura, 42 Loire, 43 Haute Loire, 63 Puy-de-Dôme, 71 Saône et Loire, 73 Savoie, 74 Haute Savoie, 87 Haute-Vienne	H1c
22 Côte d'Armor, 29 Finistère, 35 Ile et Vilaine, 50 Manche, 56 Morbihan,	H2a
16 Charente, 17 Charente maritime, 18 Cher, 36 Indre, 37 Indre et Loire, 41 Loir et Cher, 44 Loire atlantique, 49 Maine et Loire, 53 Mayenne, 72 Sarthe, 79 Deux Sèvres, 85 Vendée, 86 Vienne,	H2b
09 Ariège, 12 Aveyron, 24 Dordogne, 31 Haute Garonne, 32 Gers, 33 Gironde, 40 Landes, 46 Lot, 47 Lot et Garonne, 64 Pyrénées atlantiques, 65 Hautes Pyrénées, 81 Tarn, 82 Tarn et Garonne,	H2c
04 Alpes de haute Provence, 48 Lozère, 84 Vaucluse	H2d
13 Bouches du Rhône, 2A Corse du Sud, 2B Haute Corse, 30 Gard, 34 Hérault, 66 Pyrénées orientales, 83 Var	H3

Code département, Département, Zone (tri par code département)

01 Ain	H1c	32 Gers	H2c	64 Pyrénées-Atlantiques	H2c
02 Aisne	H1a	33 Gironde	H2c	65 Hautes-Pyrénées	H2c
03 Allier	H1c	34 Hérault	H3	66 Pyrénées-Orientales	H3
04 Alpes-de-Haute-Provence	H2d	35 Ile-et-Vilaine	H2a	67 Bas-Rhin	H1b
05 Hautes-Alpes	H1c	36 Indre	H2b	68 Haut-Rhin	H1b
06 Alpes-Maritimes	H3	37 Indre-et-Loire	H2b	69 Rhône	H1c
07 Ardèche	H2c	38 Isère	H1c	70 Haute-Saône	H1b
08 Ardennes	H1b	39 Jura	H1c	71 Saône-et-Loire	H1c
09 Ariège	H2c	40 Landes	H2c	72 Sarthe	H2b
10 Aube	H1b	41 Loir-et-Cher	H2b	73 Savoie	H1c
11 Aude	H3	42 Loire	H1c	74 Haute-Savoie	H1c
12 Aveyron	H2c	43 Haute-Loire	H1c	75 Paris	H1a
13 Bouches-du-Rhône	H3	44 Loire-Atlantique	H2b	76 Seine-Maritime	H1a
14 Calvados	H1a	45 Loiret	H1b	77 Seine-et-Marne	H1a
15 Cantal	H1c	46 Lot	H2c	78 Yvelines	H1a
16 Charente	H2b	47 Lot-et-Garonne	H2c	79 Deux-Sèvres	H2b
17 Charente-Maritime	H2b	48 Lozère	H2d	80 Somme	H1a
18 Cher	H2b	49 Maine-et-Loire	H2b	81 Tarn	H2c
19 Corrèze	H1c	50 Manche	H2a	82 Tarn-et-Garonne	H2c
2A Corse-du-Sud	H3	51 Marne	H1b	83 Var	H3
2B Haute-Corse	H3	52 Haute-Marne	H1b	84 Vaucluse	H2d
21 Côte-d'Or	H1c	53 Mayenne	H2b	85 Vendée	H2b
22 Côtes-d'Armor	H2a	54 Meurthe-et-Moselle	H1b	86 Vienne	H2b
23 Creuse	H1c	55 Meuse	H1b	87 Haute-Vienne	H1c
24 Dordogne	H2c	56 Morbihan	H2a	88 Vosges	H1b
25 Doubs	H1c	57 Moselle	H1b	89 Yonne	H1b
26 Drôme	H2d	58 Nièvre	H1b	90 Territoire de Belfort	H1b
27 Eure	H1a	59 Nord	H1a	91 Essonne	H1a
28 Eure-et-Loir	H1a	60 Oise	H1a	92 Hauts-de-Seine	H1a
29 Finistère	H2a	61 Orne	H1a	93 Seine-Saint-Denis	H1a
30 Gard	H3	62 Pas-de-Calais	H1a	94 Val-de-Marne	H1a
31 Haute-Garonne	H2c	63 Puy-de-Dôme	H1c	95 Val-d'Oise	H1a

Pour info : la liste de correspondance département → zone climatique est identique à la RT2005

Par exemple, si l'habitation est située dans la Creuse (23), la localisation géographique est H1c

## Classes de bruit

Trois classes BR1, BR2 et BR3, d'exposition des bâtiments au bruit des infrastructures de transport

Attention: quelques changements par rapport à la RT2005

Catégorie d'infrastructure	--	Distance	De la baie	À l'infra	structure	--	--
1	0-65 m	65-125	125-250	250-400	400-550	550-700	> 700 m
2	0-30 m	30-85	85-125	125-250	250-370	370-500	> 500 m
3		0-25 m	25-50	50-100	100-160	160-250	> 250 m
4			0-15 m	15-30	30-60	60-100	> 100 m
5				0-10 m	01/10/20	20-30	> 30 m
<b>Vue de l'infrastructure depuis la baie</b>							
Vue directe	BR3	BR3	BR3	BR3	BR2	BR2	BR1
Vue partielle ou masquée par obstacles simples	BR3	BR3	BR3	BR2	BR2	BR1	BR1
Vue masquée par obstacles protecteurs	BR3	BR3	BR2	BR2	BR1	BR1	BR1
Vue arrière	BR3	BR2	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1

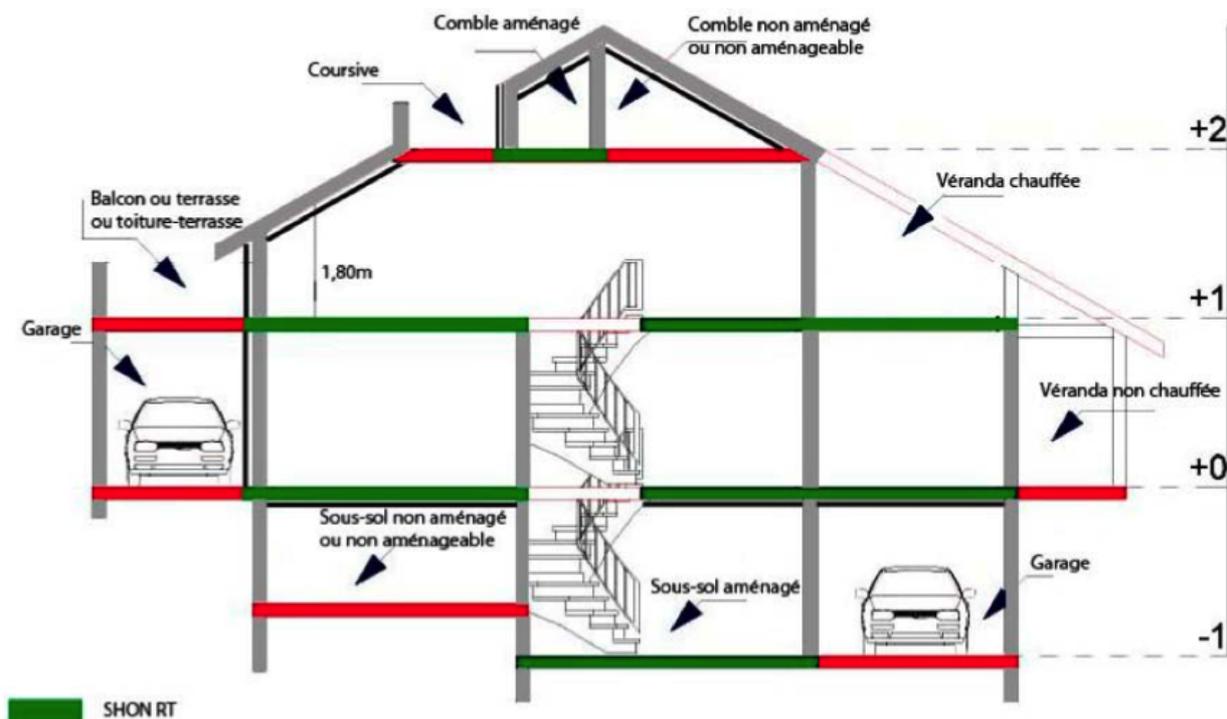
Cas de l'aérodrome

	Localisation	Bâtiment dans	le plan d'exposi	tion au bruit de	l'aérodrome
	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D	Hors zone
Toutes vues	BR3	BR3	BR3	BR2	BR1

## Usage du bâtiment et surface habitable au sens de la RT2012 (ShonRt)

On distingue 4 usages principaux et 8 usages détaillés

Usage principal	Usage détaillé	ShonRt fonction de	A déduire ou Coefficient multiplicateur
Habitation	Individuel	Shob	- combles, sous sols, terrasses, vérandas, garages, ... non aménagés pour l'habitat
	Collectif	Shob	- combles, sous sols, terrasses, vérandas, garages, ... non aménagés pour l'habitat
Foyers ou Résidences universitaires			
Bureaux		SURt	1,1
Enseignement	Accueil de la petite enfance	SURt	1,2
	Primaire	SURt	1,1
	Secondaire (jour)	SURt	1,2
	Secondaire (nuit)	SURt	1,2



## Catégories CE1 / CE2

CE1 : Bâtiment pour lequel la climatisation n'est pas un droit à consommer.

CE2 : Bâtiment pour lequel la climatisation est un droit à consommer.

Un local est de catégorie CE2 s'il est équipé d'un système de refroidissement ou si l'une des conditions du tableau suivant est vérifiée. Dans tous les autres cas il est de catégorie CE1.

Usages	Bruit	H1c <400m	H2c <400m	H2d <400m	H2d >400m et <800m	H3 <400m	H3 >400m et <800m
Habitation	BR2 ou BR3			CE2		CE2	
Enseignement	BR2 ou BR3			CE2		CE2	
Bureaux	BR1, BR2 ou BR3	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2

## Les exigences de résultat de la RT 2012

### La consommation d'énergie primaire (Cep)

Le Cep est calculé selon la méthode Th-BCE 2012 qui prend en compte la consommation d'énergie due au chauffage, au refroidissement éventuel, à la production d'eau chaude sanitaire, à l'éclairage artificiel et aux auxiliaires (pompes, veilleuses, ...); Le Cep peut être réduit par une production énergétique du bâtiment considéré.

Le Cep doit être  $\leq$  Cepmax

Le Cepmax est une fonction du Cepref et de caractéristiques du bâtiment :

$$\text{Cepmax} = \text{Cepref} * \text{Mctype} * (\text{Mcgéo} + \text{Mcalt} + \text{Mcsurf} + \text{Mcges})$$

Mctype coefficient de modulation selon type et catégorie du bâtiment CE1 ou CE2

Mcgéo coefficient de localisation géographique (H1a, H1b, ... H2a, ... H3)

Mcalt coefficient de modulation selon l'altitude

Mcsurf coefficient de modulation selon la surface moyenne du bâtiment (ou partie de bâtiment)

Mcges coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre

Le Cepref est fixé à 50 kWh/m<sup>2</sup>.an d'énergie primaire. Le Cepmax est modulé selon la localisation géographique,

l'altitude, exposition aux bruits, l'usage du bâtiment, la surface moyenne, les émissions de gaz à effet de serre dans le cas du bois brûlé ou dans le cas d'utilisation de réseaux de chaleur.

Important : le coefficient de transformation en énergie primaire varie selon l'énergie utilisée :

Type d'énergie	Coefficient
Electricité	2,58
Gaz, Fioul domestique, GPL, EnR	1

Exemple : Pour 1kWh électrique consommé dans l'habitat, il faut consommer 2,58 kWh d'énergie primaire.

Catégorie	CE1	CE2
Mctype	1	1,2

Mcgéo	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3
Habitations (individuel ou collectif)	1,2	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,9	0,8
Foyers, Cités U catégorie en CE1	1,2	1,4	1,2	1,1	1	1,1	1	0,8
Foyers, Cités U catégorie en CE2	1	1,2	1,2	0,9	1	1	1,2	1,1
Bureaux en CE1	1,1	1,2	1,1	1,1	1	0,9	0,8	0,8
Bureaux en CE2	1	1	1	1	1	1	1,2	1,2
Enseignement secondaire (jour) en CE1	1,1	1,2	1,1	1	1	0,9	0,9	0,8
Enseignement secondaire (jour) en CE2	1,1	1,1	1,1	1	1	1	1,1	1,2
Enseignement secondaire (nuit) en CE1	1,2	1,3	1,2	1,1	1	1	0,9	0,8
Enseignement secondaire (nuit) en CE2	1,1	1,2	1,1	1,1	1	0,9	0,9	0,8
Enseignement primaire en CE1	1,1	1,2	1	1,1	1	1	0,9	0,8
Enseignement primaire en CE2	1	1,1	1,1	1	1	1	1,2	1,1
Crèches, garderies en CE1	1,1	1,2	1,1	1,1	1	1	0,9	0,9
Crèches, garderies en CE2	1,1	1,2	1,1	1,1	1	1	1,1	1
– passe partout tout usage – (minimum)	1	1	1	0,9	1	0,9	0,8	0,8
– passe partout tout usage et toute zone	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Altitude (McAlt)	< 400 m	401 à 800 m	> 800 m
Habitations, Foyers, Cités U,	0	0,2	0,4
Bureaux, Enseignement secondaire (jour), Primair, Crèches, Garderies	0	0,1	0,2
Enseignement secondaire (nuit)	0	0,2	0,4

Emission CO2 / Mcges	<= 50g/kWh	51 à 100	101 à 150	> 150
Chauffage Bois	0,3			
Réseau chaud et froid	Moyenne de 0,3 (chaud) + 0,3 (froid)	Moyenne de 0,2 (chaud) + 0,2 (froid)	Moyenne de 0,1 (chaud) + 0,1 (froid)	0
Réseau chaud seul	0,3	0,2	0,1	0
Réseau froid seul	0,3	0,2	0,1	0
Autres cas	0	0	0	0

ShonRt : surface hors d'oeuvres nette selon la RT2012 = Shob – non aménageables pour habitation

Les non aménageables pour habitation sont : les planchers non aménageables ou non aménagés, les toitures terrasses, balcons, loggias, les aires de stationnement de véhicules (garages, ...)

N: nombre de logements individuels dans le bâtiment (donc 1 si maison individuelle isolée).

Modulation du McSurf

<b>ShonRt/N = R</b>	<b>&lt;= 120 m2</b>	<b>120 à 140</b>	<b>140 à 200</b>	<b>&gt; 200</b>
Habitat Individuel	$(0,6 - 0,005 * R) / \text{McType}$	0	$(7/15 - R/300) / \text{McType}$	$-0,2 / \text{McType}$
Foyers, Cités U., Bureaux, Enseignement secondaire (jour/nuit), Enseignement primaire, Crèches	0	0	0	0

<b>ShonRt/N = R</b>	<b>&lt;40 m2</b>	<b>40 à 80</b>	<b>80 à 100</b>	<b>100 à 150</b>	<b>&gt;150</b>
Habitat collectif	$(31/25 - R/40) / \text{Mctype}$	$(740 - 3R) / 500 * \text{Mctype}$	0	$(350 - R) / 250 * \text{McType}$	$-0,2 / \text{McType}$

<b>McSurf</b>	
Foyers, Cités U., Enseignement secondaire (jour/nuit), Enseignement primaire, Crèches (*)	0

(\*) les petites crèches étant pénalisées et assimilables à de l'habitat individuel pourraient voir le McSurf révisé.

**Exemple** : Habitation individuelle dans le département des Ardennes (08), altitude 500m Shon de 100 m2, catégorie CE1, Bruit:BR1

Le CepRef vaut 50 kWh/m2.an

Le McType d'une habitation de catégorie C1 vaut 1

Les Ardennes sont de climat H1b, le McGéo vaut donc 1,3

L'altitude est comprise entre 400 et 800 m pour cette habitation ; donc McAlt vaut 0,2

Le McSurf en individuel vaut  $(0,6 - 0,005) * 1/1 = 0,6$

Le CepMax vaut donc  $50 * 1 * (1,3 + 0,2 + 0,6) = 105 \text{ kWh/m2.an}$  soit plus de 2 fois le CepRef !

La Shon étant de 100 m<sup>2</sup>, le bâtiment doit consommer au plus  $105 * 100 = 10500 \text{ kWh/an}$ .

## Le besoin bioclimatique (Bbio)

Coefficient Bbiomax imposant une limitation du besoin en énergie de chauffage, de refroidissement et d'éclairage. C'est une donnée sans unité qui s'exprime en points et qui se calcule selon la méthode Th-BCE 2012.

Tient compte : des déperditions surfaciques et linéiques des parois opaques et des ouvertures, de l'inertie thermique, des apports solaires, de l'impact des protections ou masques solaires, des scénarii d'occupation, des apports internes (occupants, conventionnels, dispositifs comme serres et vérandas), des infiltrations d'air, des déperditions dues au renouvellement de l'air, de l'éclairage naturel des locaux.

$$\text{Bbiomax} = \text{Bbioref} * (\text{Mbgéo} + \text{Mbalt} + \text{Mbsurf})$$

Mbgéo coefficient de localisation géographique (H1a, H1b, ... H2a, ... H3)

Mbalt coefficient de modulation selon l'altitude

Mbsurf coefficient de modulation selon la surface moyenne du bâtiment (ou partie de bâtiment)

Attention: Le coefficient Mcgéo peut être différent du Mbgéo pour une même location géographique;

<b>Bbioref max (en points)</b>	<b>CE1</b>	<b>CE2</b>
Habitations (individuel ou collectif)	60	80
Foyers jeunes travailleurs, Résidences universitaires	60	90
Bureau	60	140(120)
Enseignement secondaire (partie jour)	40	50
Enseignement secondaire (partie nuit)	60	90
Enseignement primaire	70	105(95)
Etablissement accueil de petite enfance	90	125
- minimum tout usage --	40	50

<b>MbGéo</b>	<b>H1a</b>	<b>H1b</b>	<b>H1c</b>	<b>H2a</b>	<b>H2b</b>	<b>H2c</b>	<b>H2d</b>	<b>H3</b>
--------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-----------

Habitations individuel ou collectif	1,2	1,4	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7
Foyers, Cités U. en CE1	1,2	1,4	1,2	1,1	1	1,1	1	0,8
Foyers, Cités U. en CE2	1	1,2	1,2	0,9	1	1	1,2	1,1(1)
Bureaux en CE1	1,1	1,2	1,1	1,1	1	0,9	0,8	0,8
Bureaux en CE2	1	1	1	1	1	1	1,2	1,2
Enseignement secondaire (jour) en CE1	1,1(1,2)	1,4	1,1	1,1	1	0,9	0,9	0,8
Enseignement secondaire (jour) en CE2	1(1,1)	1,3	1,2	1	1	1,2	1,4	1,5
Enseignement secondairer) en CE1	1,2	1,4	1,2	1,1	1	1,1	1	0,8
Enseignement secondair (nuite) en CE2	1	1,2	1,2	0,9	1	1	1,2	1,1
Enseignement primaire en CE1	1,1	1,3	1,1	1,1	1	0,9	0,9	0,7
Enseignement primaire en CE2	1	1,2	1,2	1,1	1	1	1,4	1,1
Crèches, Garderies en CE1	1,1	1,2	1,1	1,1	1	1	0,9	0,8
Crèches, Garderies en CE2	1,1	1,2	1,2	1	1	1	1,2	1,1
– minimum tout usage --	1	1,2	1	0,9	1	0,9	0,8	0,7
– minimorum --	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Altitude (MbAlt)	< 400 m	401 à 800 m	> 800 m
Habitations,Foyers, Cités U., Secondaire (nuit)	0	0,2	0,4
Bureaux, Secondaire (jour), Primaire, Crèches, Garderies	0	0,1	0,2

ShonRt: surface hors d'oeuvres nette du bâtiment au sens de la RT

N: nombre de logement individuels dans le bâtiment (donc 1 si maison individuelle isolée).

Modulation du MbSurf :

ShonRt/N = R	<= 120	120 à 140	140 à 200	> 200
Habitations individuelles	$(30-0,25*R)/B_{biomax}$	0	$(70/3-(R/6))/B_{biomax}$	$-10/B_{biomax}$
Collectif, Foyers, Cités U., Bureaux, Enseignement secondaire (jour/nuit), Primaire, Crèches	0	0	0	0

Exemple : Habitation individuelle dans le département des Ardennes (08), altitude 500m Shon de 100 m<sup>2</sup>, catégorie CE1, Bruit:BR1

Le BbioRef vaut 60 points

Les Ardennes sont de climat H1b, le MbGéo vaut donc 1,4

L'altitude est comprise entre 400 et 800 m pour cette habitation ; donc MbAlt vaut 0,2

Le MbSurf vaut  $(30-0,25*1) / 60 = 0,5$

Le Bbiomax vaut donc  $60 *(1,4 + 0,2 + 0,5) = 126$

## La température intérieure de confort d'été (Tic)

La Tic est exprimée en °C ; elle est calculée selon la méthode Th-BCE 2012

Pour les bâtiments de catégorie C1 (sans obligation de système de refroidissement), sur les 5 jours les plus chauds d'une année, la Tic doit être inférieure à Ticref. La Tic dépend fortement de l'inertie thermique, des facteurs solaires, des protections mobiles ou fixes existantes pour se protéger du fort ensoleillement.

Pour les bâtiments de catégorie C2, pas d'exigence de Tic.

Ce critère sera sans doute révisé prochainement ( critère absolu, niveau de surchauffe)

## Les outils de calcul automatique des Cepmax, Bbiomax et Ticmax

[http://www.rt-2012.com/calculatrice\\_rt2012\\_cep\\_bbio.php](http://www.rt-2012.com/calculatrice_rt2012_cep_bbio.php) Donne Zone, Bbiomax, Cepmax en fonction de Département, Altitude, Surface SHON  
EXCEN-RT2012.xls

## Les exigences de moyens de la RT2012

### Recours aux énergies renouvelables (art 16)

Toute maison individuelle (accollée ou non) doit utiliser l'une des énergies renouvelables suivantes:

Production d'Eau Chaude Sanitaire solaire (2m<sup>2</sup> de capteurs thermiques au minimum, certifiés CSTBat ou Keymark, orientés sud et inclinés entre 20 et 60°)

Raccordement et utilisation d'un réseau de chaleur (à 50% minimum, utilisant une ENR ou une énergie de récupération)

Démontrer que la contribution ENR du bâtiment au Cep est  $\geq 5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$  (selon méthode Th-BCE 2012)

Production ECS par thermodynamique (PAC de cop > 2 selon norme d'essai NF EN 16147)

Production ECS et/ou chauffage par chaudière à micro-génération (rendement thermique > 90% sur PCI, rendement électrique > 10% sur PCI).

### Etanchéité à l'air de l'enveloppe (art 17)

Test sous pression/dépression de 4 Pascal; la déperdition doit être inférieure ou égale à:

Usage	Q4pa-surf	Exigences RT2012	RT2012 par défaut	Rappel RT2005
Logement individuel		0,6 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>		0,8
Logement collectif		1		1,2
Bureaux, Enseignement, Santé, Hôtellerie, Restauration			1,7	1,2
Autres			3	2,5

La valeur doit être justifiée soit par un test NF EN 13829, soit par une démarche de qualité de l'étanchéité à l'air dans le cas des bâtiments collectifs et sous réserve que le permis de construire soit postérieur au 1er janvier 2015.

### Indicateurs de perméabilité à l'air

Pour comparer des constructions entre elles, deux indicateurs sont souvent utilisés :

- le débit de fuite sous une dépression de 4 Pascal divisé par la surface de parois froides (hors plancher bas). Cet indicateur, appelé Q4Pa-surf, est utilisé dans la réglementation thermique RT2005 et le label BBC-Effinergie, ainsi que par la RT2012 pour lequel il est fixé à **0,6 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>**.

- le débit de fuite sous 50 Pascal divisé par le volume chauffé. Cet indicateur, appelé n50, est utilisé pour les labels PassivHaus ou Minergie-P, avec une valeur maximale fixée à **0,6 volume/heure** pour ces deux labels, que ce soit pour la construction neuve ou la rénovation, et ce pour tout type d'usage.

La conversion entre les deux indicateurs est complexe, car elle fait intervenir la compacité du bâti (le rapport du volume sur la surface de parois froides).

### Isolation thermique (art 18 et 19)

Traitement des parois opaques entre local continuellement occupé et local occupé par intermittence:

$u \leq 0,36 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  équivaut à  $R \geq 2,8$  soit à 11 cm d'isolant classique seul ( $\lambda = 0,040$ )

Traitement en moyenne des ponts thermiques

$u \leq 0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  équivaut à  $R \geq 3,6$  soit à 15 cm d'isolant classique seul

$u_l \leq 0,6 \text{ W:ml.K}$

### Eclairage naturel (art 20)

Surface des baies (mesurées au tableau)  $\geq 1/6$  de la surface habitable soit environ 17%

Apports par m2 d'un vitrage ensoleillé selon son exposition					
Type de vitrage	Uw=K en W/m2.°C	kWh annuels récupérés ou perdus			
		Sud	SE/SO	E/O	Nord
Double vitrage peu émissif (VIR) + volets	1,5	125	114	62	-4
Double vitrage peu émissif (VIR)	1,8	107	96	45	-21
Double vitrage standard + volets	2,25	81	70	19	-47
Double vitrage standard	2,95	41	30	-22	-87
Simple vitrage	4,95	-75	-86	-137	-203

## Confort d'été (art 21 et 22)

Les baies de tout local destiné au sommeil et de catégorie CE1 doivent être équipées de protections solaires afin de limiter le facteur solaire au plus à :

Zones Eté			
H1a et H2a	Toutes altitudes		
H1b et H2b	Altitude > 400m	Altitude <= 400m	
H1c et H2c	Altitude > 800m	Altitude <= 800m	
H2d et H3		Altitude > 400m	Altitude <= 400m
<b>Exposition des baies au bruit BR1</b>			
Verticale, Nord	0,65	0,45	0,25
Verticale non Nord	0,45	0,25	0,15
Horizontale	0,25	0,15	0,1
<b>Exposition des baies au bruit BR2 ou BR3</b>			
Verticale, Nord	0,45	0,25	0,25
Verticale non Nord	0,25	0,15	0,15
Horizontale	0,15	0,1	0
<b>Baies de locaux à occupation passagère</b>			
Verticale	0,65	0,65	0,45
Horizontale	0,45	0,45	0,45

Ces baies doivent s'ouvrir sur au moins 30% de leur surface totale, seulement 10% si hauteur baie > 4 m.

## Dispositions diverses (art 23)

### Système de mesure et d'estimation des consommations

Existence d'un système permettant de mesurer ou d'estimer la consommation d'énergie, à minima, mensuellement et par type d'énergie (sauf systèmes individuels au bois). Exemple de tableau récapitulatif possible:

Mois de janvier	Type énergie 1: Bois	Type énergie 2: Electricité conso	Type énergie 2 : Energie primaire
Chauffage	1000 kWh	300 kWh	774 kWh
Refroidissement	0	0	0
ECS	0	60 kWh	155 kWh
Prises électriques	0	150 kWh	387 kWh
Autres	0	30 kWh	77 kWh

Existence d'un arrêt manuel et réglage automatique en fonction de la température de chaque local. Dérogation si plancher chauffant de surface <= 100 m2.

Si réseau collectif de chaleur/froid, existence d'un dispositif d'équilibrage.

### Eclairage électrique

Dans les parties communes, nécessité d'un dispositif à détection de présence qui abaisse ou éteint l'éclairage en cas de non occupation. Si éclairage naturel possible, détection du jour pour extinction de l'éclairage artificiel. A valoir pour une surface de 100 m2 maxi ou 3 niveaux en cas de passage humain. A valoir pour 500 m2 maxi si parking.

## **Limitation de la prise en compte de production d'électricité pour les usages d'habitation (art 30)**

### Production d'électricité locale

Le Cepmax est calculé en décomptant la production d'énergie et en ajoutant 12 kWh/m2.an

Ceplimité = Cep réel – Production annuelle / ShonRt

Ceplimité doit être  $\leq$  Cepmax + 12

### **Méthode de calcul des déperditions et/ou des apports**

La méthode Th-BCE 2012 est requise. Dérogation possible après constitution de dossier et approbation du ministre chargé de l'énergie s'il s'avère que la méthode n'est pas utilisable.

Les moteurs et logiciels disponibles

historique : 23 versions depuis novembre 2009 au 1er janvier 2011 ; près de 200 bugs remontés.

Moteur de calcul du CSTB (version 1.1.3 ou supérieure) base pour

Logiciel de calculs thermiques réglementaires (Climawin, Perrenoud, ...)

Etudes thermiques réglementaires à destination des bureaux d'études thermiques.

Principe du calcul de Cep

2 types de données

opposables (descriptif du bâtiment et de ses équipements)

non opposables (climat, horaire d'occupation, température de consigne, apports internes)

Calcul au pas de temps horaire sur une année

Décomposition du bâtiment en zones correspondant à ses différents usages

Remarque : cette méthode de calcul, basée sur l'exigence finale de résultats est très complexe (à mon avis trop complexe pour être assimilée par tous ; seuls des bureaux d'études spécialisés peuvent conduire cette étude. Ce qui est dommage pour le public. Heureusement que l'exigence de moyens plus simple parvient au final à une exigence de résultats du moins dans les cas les plus courants.

Liens commerciaux

[http://www.raycreatis.com/sites/default/files/documentations/pdf/AW\\_Fiche\\_produit\\_RT12\\_ThBCE.pdf](http://www.raycreatis.com/sites/default/files/documentations/pdf/AW_Fiche_produit_RT12_ThBCE.pdf)

[http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?](http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022959397&dateTexte=&categorieLien=id#JORFARTI000022959435)

[cidTexte=JORFTEXT000022959397&dateTexte=&categorieLien=id#JORFARTI000022959435](http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022959397&dateTexte=&categorieLien=id#JORFARTI000022959435)

### **Existence et contenu du dossier d'étude thermique**

Permet de justifier de la conformité du bâtiment à la RT 2012 ; doit être tenu à disposition 5 ans après l'achèvement des travaux ; ce dossier contient de façon générale :

1 Données administratives du bâtiment

2 Exigences de performance énergétique comportant:

Le Cep calculé, le Cep max exigé, le Bbio calculé, le Bbio max exigé (par m2 de Shon), la Shon

Si zone de catégorie CE1 la valeur du Tic calculé et le Ticref exigé

3 Le statut des exigences de moyens mis en oeuvre

4 Le détail des calculs

décomposition par parois du bâtiment,

décomposition par système(s) énergétique(s),

décomposition des besoins par usage et type d'énergie

caractéristiques définies selon la méthode Th-BCE 2012

caractéristiques de perméabilité à l'air

5 Impact pédagogique des paramètres sur Cep, Bbio et Tic

but: sensibiliser le concepteur ou l'occupant

Ce dossier est mis au format XML afin de pouvoir être traité par informatique.

## Les sanctions en cas de non respect de la RT2012

Sont prévues ...

La RT 2012 est respectée si et seulement si :

Cep <= Cepmax limitation des consommations

Bbio <= Bbiomax limitation des besoins

Tic <= Ticmax (catégorie C1 seulement) limitation de l'inconfort d'été

Les exigences de moyens sont vérifiées.

## Les solutions possibles, présentation de projets BBC

Présentation de choix techniques et environnementaux

La conception bioclimatique ou solaire passive

Meilleure adéquation entre bâtiment, climat, environnement et occupants.

[Une parfaite connaissance du site,](#)

de ses avantages et contraintes, permet d'intégrer dès les premières esquisses les conditions d'ensoleillement, le vent, le relief du terrain, la végétation environnante, la qualité du sol et du sous-sol, etc.

L'ensemble de ces informations aide l'architecte à orienter ses choix conceptuels pour tirer avantage des intérêts de l'environnement, et prendre les mesures compensatoires nécessaires pour prémunir les futurs occupants de tous les risques environnementaux.

[L'orientation d'un bâtiment](#)

est fonction de sa destination. Le soleil intervient pour dispenser lumière et chaleur. Une orientation adaptée aux contraintes du bâtiment permet de réduire les consommations de chauffage et d'éclairage.

Le plan d'agencement du logement

La serre

## Les fondamentaux de la conception bioclimatique

### La stratégie du froid (été)

#### **Se protéger du soleil en été (haut dans le ciel)**

##### **Brises soleil horizontaux au sud**

Passifs

Balcons, Casquettes, Passées(débordements) de toiture,

Végétation (feuillus)

Actifs

Stores à lames extérieurs,

Store banne, volets à projection

##### **Brises soleil verticaux à l'est et à l'ouest**

Passifs

Modénatures de façades verticales, murs masques

Végétation (feuillus), végétation (persistante à bonne distance calculée)

Actifs

Volets (ouvrant vers le nord, gonds au sud)

Stores verticaux extérieurs

##### **Prohiber les ouvertures zénithales**

Pas de Velux, Roto, ... au sud, éviter à l'est ou à l'ouest

### **Eviter la transmission de chaleur par les parois**

**Par l'isolation (à grande capacité thermique) des parois exposées**  
des toitures, des murs

**Par la ventilation d'espaces sous toitures ou devant les murs**

**Par la végétation**

murs végétaux, toitures végétales

### **Dissiper l'air chaud de la journée (entré par le soleil ou par les individus)**

**Par ventilation nocturne naturelle**

De préférence transversale, c'est à dire traversant tout le logement

Par thermosiphon (ventilation verticale)

Combinées

**Par refroidissement nocturne des matériaux internes à forte inertie**

qui seront alors en mesure d'accumuler la chaleur de la journée suivante.

### **Rafrâchir ou refroidir**

Puits canadien ou provençal

Végétation transpirant (l'évaporation produit du froid)

Présence d'eau (bassin, jarre très poreuse, tissu humidifié, ...)

Minimiser le réchauffement intérieur

Ne pas s'agiter

Ne pas démarrer des appareils produisant accessoirement de la chaleur.

## **La stratégie du chaud (hiver)**

### **Capter la chaleur du soleil en hiver**

Plan d'orientation de l'habitat ouvert au soleil d'hiver

Grands vitrages au sud, pièces à vivre au sud

Evitement des masques solaires.

### **Stocker la chaleur captée**

Bonne inertie intérieure par absorption

Béton, dallages, refends de maçonnerie

### **Capter et stocker combinés**

Le mur trombe

### **Distribuer la chaleur**

Par mouvements d'air naturel (thermosiphon)

Par mouvement d'air forcé mécaniquement

Par éléments de stockage en contact avec des espaces ne recevant pas le soleil

### **Conserver la chaleur**

Eviter les pertes vers l'extérieur

Bonne isolation de l'enveloppe, peu de ponts thermiques, minimum de fuites d'air

Habitat compact (coefficient Surface habitable/Volume le plus faible possible)

Vitrages minimum au nord, est et ouest, espaces tampons au nord, talus de terre au nord,

Isolation renforcée au nord, double peau, protection des vents dominants

## **La stratégie de l'éclairage naturel**

### **Capter la lumière naturelle**

#### **Orientation**

Type de ciel, Moment de l'année (azimut et hauteur), Heure de la journée

#### **Incidence du relief du terrain,**

Ombres, masques possibles ou reflets dus à la pente, l'eau, etc ...

des bâtiments avoisinants, du bâtiment lui-même, de la végétation (feuillu ou persistant)

Masque solaire dépendant du rapport entre l'obstacle et distance de cet obstacle ainsi que de l'élévation du soleil

de la réflexion sur des surfaces extérieures

## Pénétrer ou transmettre

### Inclinaison de l'ouverture

Fenêtre verticale (le moins performant, le plus facile à créer, donne une vue)

Fenêtre en toiture (3 à 5 fois plus efficace qu'une ouverture verticale, risque d'éblouissement)

### Orientation de l'ouverture

<b>Orientation</b>	<b>Avantage</b>	<b>Inconvénient</b>
Nord	Importance des réflexions extérieures	Jamais de soleil direct Pas d'apport énergétique
Est	Apport énergétique sans surchauffe (matin)	
Sud	Soleil haut en été, soleil plus bas en hiver Apport énergétique intéressant en hiver	Apport énergétique trop important en été
Ouest	Apport énergétique le plus élevé (après midi)	

Sous ciel couvert l'orientation n'a plus d'influence sur la quantité de lumière reçue

### Configuration de l'ouverture dans la pièce

Disposition sur la paroi : Important par rapport à la vue extérieure

Disposition dans l'épaisseur de la paroi : posée au nu intérieur, posée en tableau, posée au nu extérieur, bow-window avec ou sans ébrasement (l'ébrasement crée une sorte de transition lumineuse)

### Dimensions de l'ouverture

Pourcentage du plancher (10, 15, 20%)

Forme (large, carrée, haute)

Une ou plusieurs ouvertures

Position : (basse (éclaire moins bien), mi-hauteur (le compromis), haute (éclaire mieux mais pas de visibilité sur l'extérieur)

Rapport clair/bois (pas de fenêtre 100%, 1 vantail 80%, 2 vantaux 60%, petit carreaux 45%)

### Matériau de transmission de la lumière (en%)

Verre : vitrage simple 3 mm 90%, vitrage double neuf, propre 80%, vitrage double sale 60%)

Plastique : attention, le facteur de transmission baisse avec le vieillissement

On distingue les vitrages

passifs, extra clairs (facteur de transmission amélioré, autonettoyants, ...)

super-isolants (aérogels entre 2 plaques de verre) la transmission lumineuse est plus faible mais l'isolation est comparable à celle des parois opaques.

dynamiques (électrochromes (obscurcissement), à cristaux liquides (opacification), à émission lumineuse, à lamelles internes).

### Caractéristiques du local

Des miroirs sur les murs, du carrelage clair au sol, des plafonds clairs améliorent la luminosité du lieu.

De même, les dimensions et la forme du local améliorent ou non la luminosité ambiante.

### Distribuer ou répartir

#### Type de distribution lumineuse

Eclairage direct ou indirect

#### Répartition des ouvertures

Eclairage sur 1 façade, sur 2 façades, zénithal, en bandeau (sous plafond et en largeur)

L'atrium (central au bâtiment, intégré sur une façade, intégré sur 2 façades), le patio (atrium à ciel ouvert),

la cour intérieure (grand patio)

Remarque : les parois supérieures de ces dispositions doivent être très réfléchissantes ; des parois évasés améliorent la luminosité.

#### Serres, vérandas, doubles peaux

Ces systèmes sont intéressants pour leurs propriétés de récupération de chaleur ; par contre ils diminuent à coup sur la

luminosité.

### Systèmes de distribution lumineuse

Le voile fin éclairant par diffusion améliore l'équilibre d'éclairage.

Conduits de lumière (éclairer une pièce borgne)

Vitrages réfracteurs

Sections de miroirs dans le double vitrage (laissent entrer le soleil d'hiver, renvoient le soleil d'été vers l'extérieur) ; valable pour une orientation sud, uniquement.

Les films à lame d'air (laser cut panels)

Les films holographiques (se collent sur des vitrages et dévient la lumière mais risque de distorsion colorimétrique)

Les réflecteurs externes (renvoient une partie de la lumière au plafond, par exemple)

Les bandeaux (light shelves) (éclairent mieux le fond d'un local) ; préférer le bandeau extérieur plus efficace que l'intérieur. De plus le bandeau extérieur bloque la lumière d'été.

Combinaisons de tous ces systèmes.

### Se protéger du trop fort éclairage naturel, le contrôler

Idem stratégie du froid

## Les solutions relatives à l'enveloppe

### Le traitement des parois opaques selon les modes constructifs

Performances à atteindre

<i>Paroi</i>	<i>Caractéristiques</i>	<i>U W/m2.K</i>	<i>R</i>	<i>Épaisseur laine (cm)</i>
Toiture, plafond	Borne haute si locaux non chauffés	0,15 à 0,1	6,6 à 10	26 à 40
Murs	Borne haute si locaux non chauffés ou profondeur > 2 m	0,23 à 0,18	4,3 à 5,5	17 à 22
Plancher bas	Borne haute si terre plain ou locaux non chauffés	0,25 à 0,2	4 à 5	16 à 20

### Isoler par l'extérieur

Murs :

supprime les ponts thermiques, évite tous travaux intérieurs, implique de changer les ouvertures auparavant et de les placer en extérieur de la paroi à isoler, utilise l'inertie thermique de la paroi, relativement bon marché

Toitures :

Combles habitables :

supprime les ponts thermiques, évite tous travaux intérieurs, oblige de déposer l'ancienne couverture, réalise assez facilement l'étanchéité à l'air, ne perd aucun volume habitable, assez cher.

Combles non habités :

inutile quoique espace tampon ; voir plafonds ci-dessous.

Plafonds :

généralement impossible en habitat collectif.

Isolation de combles inhabités ; très efficace et bon marché, adapté à un plafond chauffant

Sols :

Cas du vide sanitaire

possible et souhaitable si accessible, adapté au chauffage par le sol

Cas de la cave

quasi inutile, la cave est à température constante raisonnable ; quasi impossible à réaliser sans détruire l'inertie de la cave.

Cas du terre plain

impossible à traiter en extérieur ?

Cas de la construction neuve :

Planchers :

généralement impossible en habitat collectif.

### Isoler par l'intérieur

Murs :

possible en neuf, perd la possibilité d'utiliser l'inertie thermique de la paroi, implique des ouvertures au nu intérieur de la paroi avec tapées importantes et visibles.

Difficile à faire en rénovation car déplacement de tout ce qui était accroché à la paroi (appareillage électrique, installation sanitaire, ...)

Toitures :

Combles habitables :

réduit le volume habitable (si rénovation), facile à faire même pour un particulier, attention à soigner l'étanchéité, bon marché

Combles non habités :

inutile quoique espace tampon ; voir plafonds ci-dessous.

Plafonds :

réduit la hauteur sous plafond, mal adapté au plafond chauffant ?, facile à réaliser, bon marché

peut réduire les ponts thermiques murs dalle plafond.

Sols ou planchers :

réduit la hauteur habitable, rehausse le sol fini, mal adapté au sol chauffant ?,

### Isolation répartie

La paroi est à la fois porteuse et isolante (béton cellulaire, briques alvéolaires, bois, ...)

Toutes les parois y compris toitures et sols peuvent utiliser ce type de matériau isolant. En soignant la construction et tout particulièrement les liaisons avec les ouvertures et les planchers, on peut obtenir une très bonne étanchéité à l'air.

Généralement on renforce l'isolation répartie par une couche d'isolant encore plus performante placée en extérieur.

En intérieur une cloison "peau" permet, si souhaité, de masquer tous les câbles ou tuyaux sans entamer, rainurer la paroi à isolation répartie.

### Isolation en rénovation

Les contraintes de l'existant sont nombreuses ; si possible on préférera l'isolation par l'extérieur, on commencera par les parois les plus passives ; souvent la toiture. Néanmoins, faire un DPE préalable pour déterminer avec exactitude quelles sont les parois à isoler en priorité. Penser qu'il faut souvent coupler la rénovation de l'isolation des parois avec celle des ouvertures. Penser à supprimer au maximum les fuites d'air.

Si la toiture est en net surplomb, l'isolation des murs par l'extérieurs ne pose pas problème. A l'inverse penser à faire cette extension de toiture pour protéger l'isolation des murs.

## L'impact des baies vitrées sur les consommations

Performances recherchées :

<i>Elément d'enveloppe</i>	<i>Caractéristiques</i>	<i>U W/m2.K</i>
Cadre baie	Bois ou composite plus isolant (Uf)	1,5
Vitrage nord	Triple vitrage, peu émissif, Krypton (Ug)	0,8
Vitrage est, sud, ouest	Double vitrage, peu émissif, Argon (Ug)	1,1
Intercalaire vitrages	?g	0,11
Baie nord (selon formule simplifiée)	$0,7*Ug + 0,3*Uf + 3*?g$	1,34
Baie sud (selon formule simplifiée)	$0,7*Ug + 0,3*Uf + 3*?g$	1,55

Les performances d'une baie sont déterminés par sa classe thermique (th5 à th11 le meilleur) ou encore par son coefficient de déperdition  $U_w$  exprimé en  $W/m^2.°$  ; plus ce coefficient est faible plus la fenêtre/baie est performante. Rappel le  $U_w$  est l'inverse de la résistance thermique. Les meilleures baies parviennent aujourd'hui à un  $U_w < 0,8$ . Il s'agit souvent de triple vitrage. Les baies avec double vitrage ont un  $U_w$  de l'ordre de 1,2 à 1,4 ; ces baies favorisent la

possibilité d'apport de chaleur car leur coefficient de transmission de la lumière reste plus important que celui des triple vitrage.

Attention : ne pas confondre avec le Ug qui caractérise uniquement le vitrage sans tenir compte de la menuiserie.

$$U_w = (S_g * U_g + S_f * U_f + L_g * \gamma) / (S_g + S_f) \quad \text{formule simplifiée : } U_w = 0,7 * U_g + 0,3 * U_f + 3 * \gamma$$

$S_g$  surface vitrée,  $U_g$  coefficient déperdition surface vitrée

$S_f$  surface des 'bois',  $U_f$  coefficient déperdition surface 'bois'

$L_g$  longueur des intercalaires de double vitrage,  $\gamma$  coefficient déperdition linéique de l'intercalaire.

Classe	Th5	Th6	Th7	Th8	Th9	Th10	Th11	??	??
Uw	2,9 à 2,5	2,5 à 2,2	2,2 à 2,0	2,0 à 1,8	1,8 à 1,6	1,6 à 1,4	< 1,4		< 0,8

On voit que la résistance thermique d'une baie est au mieux d'environ  $R=1$ , soit très inférieure au R des parois opaques. C'est pourquoi, il faut minimiser la surface vitrée pour diminuer les consommations ; néanmoins quelques apports solaires sont possibles si l'orientation est bonne. De plus l'éclairage naturel est préférable à l'éclairage artificiel. La RT 2012 a choisi le compromis de 1/6 soit 17% de surface vitrée minimum par rapport à la surface plancher.

La baie est caractérisée également par un coefficient  $S_w$  de transmission de la lumière ; plus ce coefficient est élevé, plus la baie peut récupérer d'énergie solaire passive.

La zone climatique H1a à H3 détermine l'ensoleillement de la façade en kWh/m<sup>2</sup> pour une période utile donnée, généralement de octobre à avril, et le nombre de degrés heures du lieu.

L'apport solaire brut est le produit de l'ensoleillement par le coefficient  $S_w$  (autour de 0,5)

La déperdition brute de la baie est le produit des degrés heures par le coefficient  $U_w$ .

Zones	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3
Kwh récupérés plein sud sur 7 mois	365	348	427	390	471	484	614	630

Appports par m2 d'un vitrage ensoleillé selon son exposition en zone H1a				
Type de vitrage	Uw=K en W/m2.°C	kWh annuels récupérés ou perdus		
		Sud	SE/SO	E/O Nord
Double vitrage peu émissif (VIR) + volets	1,5	125	114	62 -4
Double vitrage peu émissif (VIR)	1,8	107	96	45 -21
Double vitrage standard + volets	2,25	81	70	19 -47
Double vitrage standard	2,95	41	30	-22 -87
Simple vitrage	4,95	-75	-86	-137 -203

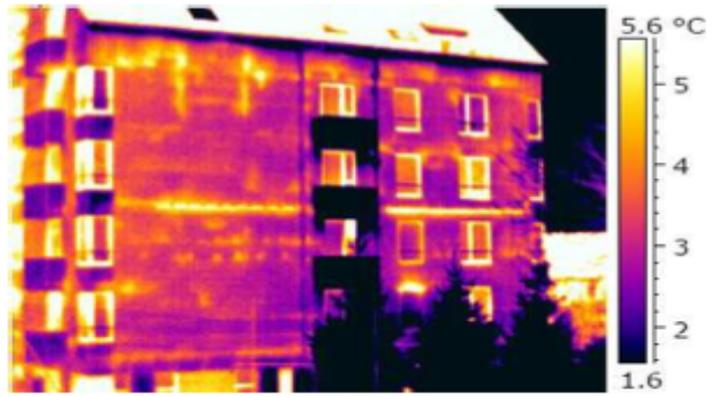
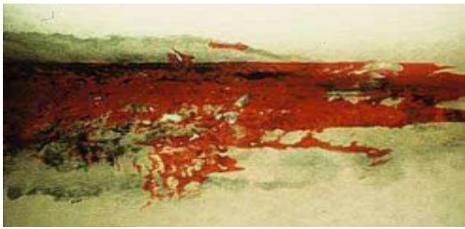
Les baies sont également classées pour leur étanchéité à l'air (A), leur étanchéité à l'eau(E), leur résistance au vent(V), leur performance thermique(Th), leur performance phonique(AR).

Classe phonique	AR1	AR2	AR3	AR4
Atténuation minimum	25db	28	31	33

## Les solutions pour traiter les ponts thermiques

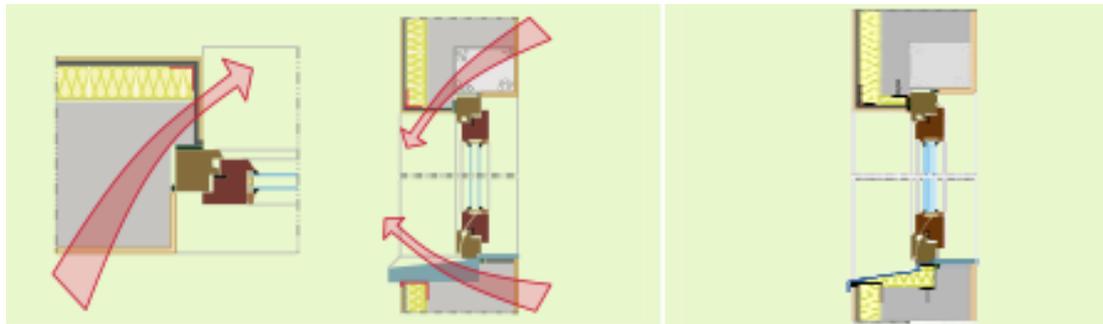
On distingue les ponts thermiques linéaires (jonction de 2 surfaces) ou ponctuels (coins, ancrages). Ces ponts thermiques ont pour désagrément des pertes thermiques mais aussi des risques de condensation (air humide en présence d'une paroi froide). Le coefficient de pertes dues au ponts thermiques est  $\Phi$  en W/m.°

Les détecter : présence de condensation, de moisissures, thermographie.

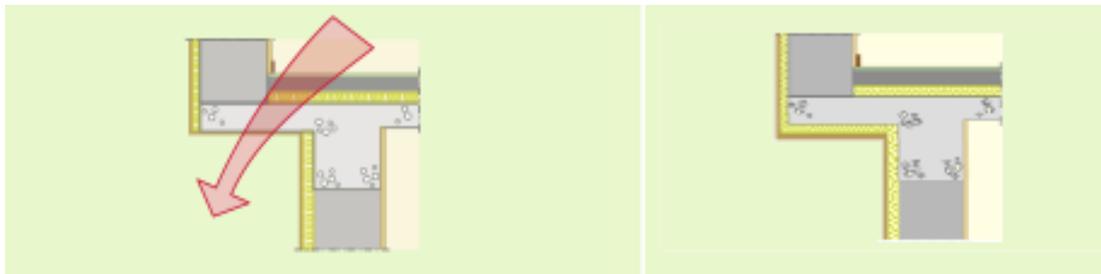


Les types de ponts thermiques :

Pourtour des baies, linteaux



Débordements de maçonnerie (balcons, terrasses, ...)



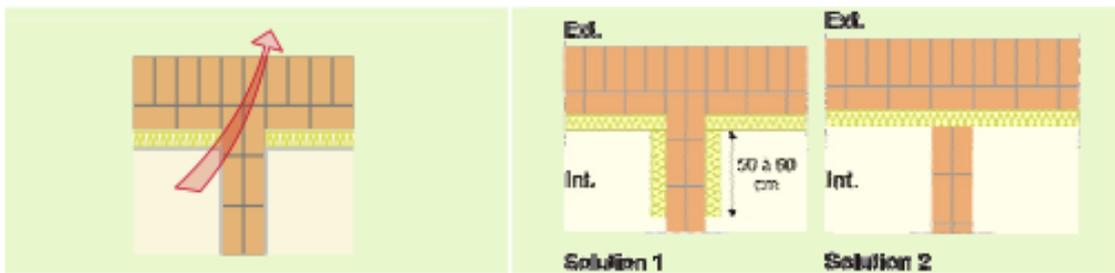
Dalles de fondation, dalles de niveaux



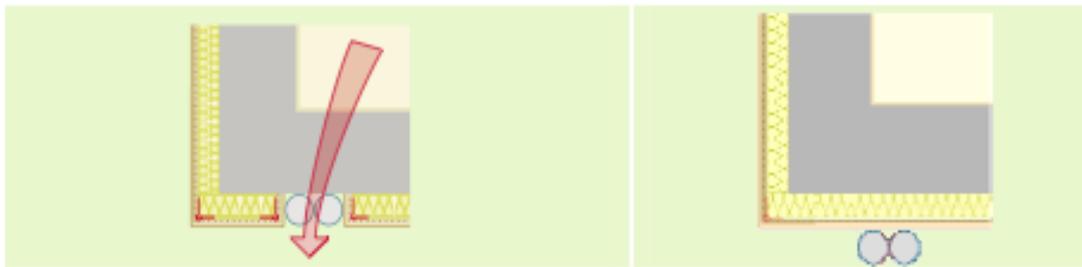
Exemple de rupture de pont thermique :



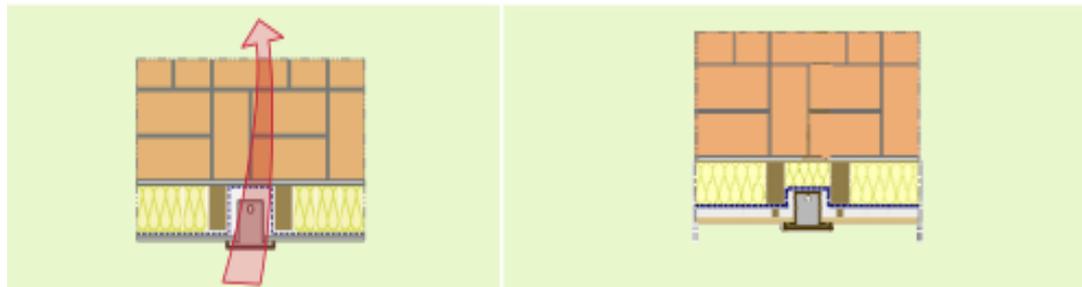
Mur de refend



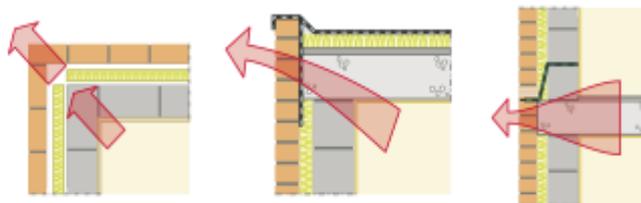
Passage de descente d'eaux



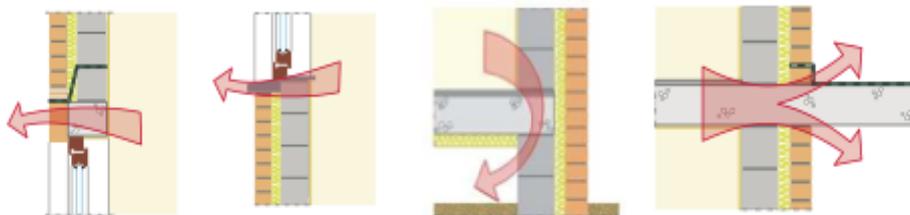
Appareillage électrique ou sanitaires et canalisations



Autres exemples dus à des malfaçons (difficilement corrigible)

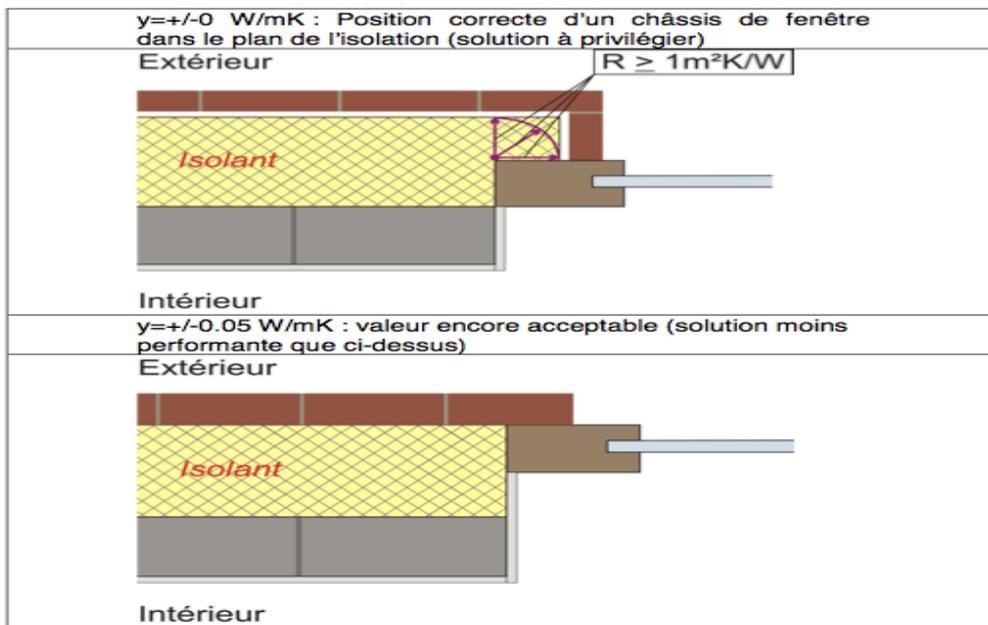


Angle de mur, dalle de toiture et dalle de plancher : exemples de **mauvaises** réalisations  
Source : Energie+



Linteau, tablette de fenêtre, dalle sur cave ou vide ventilé, dalle de terrasse : exemples de **mauvaises** réalisations  
Source : Energie+

A chaque fois que possible, penser à l'isolation extérieure qui a le mérite de supprimer naturellement un grand nombre de ponts thermiques. Penser aussi aux détails de réalisation ; il ne faut pas rompre la chaîne d'isolation en construction tout comme il ne faut pas rompre la chaîne du froid en alimentation.



## Le traitement de l'imperméabilité à l'air

Lorsque l'isolation d'un bâtiment est excellente, on peut encore avoir des déperditions thermiques importantes à cause de la perméabilité du bâtiment à l'air. Comment lutter contre ces pertes ?

Il faut identifier les points sujets à fuite d'air puis les traiter.

Par expérience, les points qui posent problème d'étanchéité sont :

Le passage des équipements (électriques, sanitaires, ...) 43% des cas

Le pourtour et/ou les menuiseries 39% des cas

Les trappes d'accès 10% des cas

Le passage des tuyauteries 7% des cas

L'ossature du bâtiment 1% des cas

Voir document Etancheite\_ITI très complet.

Les mesures d'étanchéité à l'air de contrôle.

### Le test d'étanchéité à l'air

#### Qu'est ce l'infiltrométrie ou test d'étanchéité à l'air ?

Le test d'infiltrométrie mesure la quantité d'air entrant dans un bâtiment et permet de déterminer en quantité les entrées d'air parasites indépendamment des éventuels systèmes de ventilation qui sont obturés si nécessaire. Pour effectuer le test, on utilise un équipement de test appelé infiltromètre, que l'on place en général à l'entrée du logement. Il est possible de localiser les entrées d'air parasites, surtout si l'air extérieur est froid; on peut également utiliser une caméra thermique pour mieux visualiser les entrées d'air.

#### L'objectif

La perméabilité à l'air des constructions anciennes engendre une augmentation des besoins de chauffage de 5 à 20 kWh/m²/an par rapport à une étanchéité correcte. La ventilation d'un logement ne devrait jamais être naturelle ou du moins, non contrôlée. Il faut renouveler l'air que nous respirons mais sans excès afin de limiter les déperditions de chaleur d'une part et éviter les condensations néfastes au bâtiment d'autre part.

#### La mesure de la perméabilité à l'air

Pour cela, on crée artificiellement une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du local testé. Le test d'infiltrométrie ou test de la porte soufflante, permet de mesurer la quantité d'air rentrant dans un logement et d'identifier la localisation de ces entrées. Pour effectuer le test, on utilise un infiltromètre, que l'on place à l'entrée du bâtiment. Cet appareil se compose d'un puissant ventilateur et d'une toile de nylon de façon que l'air ne passe qu'au travers du ventilateur. Au préalable, prendre soin d'obturer tous les orifices volontaires (ex : bouches de ventilation) afin

que le flux d'air provoqué par la différence de pression ne provienne que des entrées parasites. On mesure alors le débit de fuite pour une différence de pression imposée. Cette " méthode de dépressurisation par ventilateur " est normée (NF EN 13829, application Février 2001, et le guide d'application GA P50-784).

### **La préparation du bâtiment**

Il faut d'abord fermer toutes les ouvertures donnant sur l'extérieur (fenêtres, portes, trappes de ventilation, etc.), et prendre soin de laisser les portes intérieures ouvertes pour permettre la libre circulation de l'air dans le bâtiment. Les appareils de chauffage sont arrêtés. Par précaution on fait d'abord tourner le ventilateur à petite vitesse pour contrôle et éviter tout incident.

### **Le déroulement du test**

Une fois le ventilateur en marche normale, une dépression s'établit à l'intérieur du logement par rapport à la pression extérieure. Un manomètre mesure la différence de pression, ainsi que la pression dite « dynamique » au niveau du passage d'air du ventilateur. D'après l'étalonnage du ventilateur, la pression dynamique peut être convertie en un débit de fuite. La mesure doit être effectuée pour plusieurs différences de pression entre 10 et 100 Pascals: la dépression référence de 50 Pascals correspondant à un vent d'environ 32 km/h. Le logiciel réalise ensuite une régression linéaire des points mesurés selon la méthode des moindres carrés, ce qui permet de connaître le débit de fuite, quelle que soit la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. La pression mesurée doit être stable durant 30 secondes au moins. Selon la norme NF EN 13829, lorsque la fluctuation de pression est supérieure à 5 Pascals, la mesure n'est pas considérée comme valable. Les instabilités sont souvent dues aux conditions atmosphériques; choisir de préférence un temps calme pour faire le test.

### **La recherche des fuites :**

La différence de pression est maintenue par le ventilateur, pendant que l'opérateur procède à la recherche et à la localisation des infiltrations au moyen d'une des 3 techniques suivantes:

- Par thermographie infrarouge avec visualisation des endroits qui ont été refroidis par le passage de l'air provenant de l'extérieur,
- Par anémomètre qui détecte le déplacement de l'air à l'endroit de l'infiltration,
- Par une fumée artificielle qui s'infiltrer aux endroits perméables.

Le rapport de test devra être édité suivant la Norme NF EN 13829 et le Guide d'Application GA P50-784.

## **Les solutions relatives aux systèmes**

### **La ventilation et l'intérêt du double flux**

L'isolation du bâtiment est excellente, son étanchéité également ; du coup les occupants risquent de manquer d'air ! Il faut donc tolérer un renouvellement de l'air pour des raisons vitales et tenter d'en minimiser les pertes induites. L'air frais admis refroidit l'ambiance, l'air chaud extrait entraîne des calories. Comment faire ?

La solution est dans la VMC double flux. L'air admis y croise via un échangeur thermique, l'air extrait. Ainsi l'air chaud extrait cède une grande partie de ses calories à l'air froid admis, qu'il réchauffe avant son utilisation dans le bâtiment.

Cet échangeur peut être statique ou bien thermodynamique, c'est à dire utilisant une PAC pour mieux réchauffer l'air admis.

La VMC double flux est une usine à gaz ; son entretien n'est pas négligeable et le parcours des tuyauteries est important.

L'air frais est pris à l'extérieur, parfois à travers un puits canadien (\*) ; il traverse l'échangeur thermique, arrive dans une boîte de distribution puis est insufflé dans les pièces à vivre (séjour, chambres, bureau, ...). Cette insufflation nécessite un premier ventilateur. L'air vicié est repris dans les pièces de service (Cuisine, WC, Bains, ...) ; il est regroupé dans une boîte de concentration, traverse l'échangeur thermique puis est expulsé à l'extérieur. Cette expulsion nécessite un 2ème ventilateur ayant le même débit que le premier.

La consommation électrique de la VMC double flux n'est pas négligeable (environ 5kWh/m2/an ; néanmoins, cette consommation est bien inférieure à la récupération d'énergie obtenue en hiver, du moins si l'échangeur est performant (>90% de récupération). En été, avec un puits canadien, le VMC double flux participe au refroidissement. En demi saison, l'échangeur n'a guère d'utilité et il est souvent possible de le by-passer ou de le débrayer en cas d'utilisation de PAC.

Remarque : si la perméabilité à l'air du bâtiment est moyenne, inutile d'installer une VMC double flux ; une VMC simple flux de type hygro B est préférable en termes de coût.

(\*) Le puits canadien ou puits provençal est constitué d'un tuyau enterré sous terre à 1,8m de profondeur ou plus ; ce tuyau d'un diamètre de 15 à 20cm a une longueur d'environ 20 à 25 mètres ; à une extrémité il ressort de terre par une

prise d'air frais, à l'autre extrémité il entre dans l'habitation. L'air aspiré à travers le puits canadien est réchauffé par la terre en hiver ; il est refroidi par la terre en été car la température de la terre à 2m de profondeur est relativement constante et tempérée. A 4,5m de profondeur, la température moyenne de 12° est constante tout au long de l'année.

## Le cas de l'eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire coûte cher à obtenir avec un simple ballon électrique. La RT 2012 impose des moyens en énergies récupérables.

1. Une production d'eau chaude utilisant l'énergie solaire fait économiser 50 à 60% d'électricité.

La Fraction Solarisable des Consommations d'eau chaude sanitaire peut se calculer de la façon suivante :

$$F_{sc} = \text{Somme mois par mois}(\min(C_{ref}, A_c \cdot I_c)) / \text{Somme mois par mois}(C_{ref})$$

$C_{ref}$  consommation d'eau chaude sanitaire de référence (kWh)

$A_c$  surface des capteurs solaires (m<sup>2</sup>)

$I_c$  irradiation mensuelle globale dans le plan des capteurs (kWh/m<sup>2</sup>)

La consommation de référence  $C_{ref}$ , est la somme des besoins d'eau chaude sanitaire et des pertes thermiques.

Exemple de calcul de  $C_{ref}$  et de  $F_{sc}$

kWh	Jan	F	M	A	Mai	J	J	A	S	O	N	D	Total
Besoin d'eau chaude (kWh)	435	395	425	385	380	350	350	350	350	380	385	425	4610
Pertes (kWh)	75	70	80	57	90	95	95	95	95	90	57	80	979
$C_{ref}$	510	465	505	442	470	445	445	445	445	470	442	505	5589
$I_c \times A_c$	160	200	320	370	440	440	480	450	360	270	150	120	
Energie utilisable	160	200	320	370	440	440	445	445	360	270	150	120	3720

Donc  $F_{sc} = 3720 / 5589 = 0,66$

Une perte importante provient du stockage dans le ballon (6 à 15 kWh /m<sup>2</sup>/an) ; placer le ballon de préférence dans une pièce à vivre pour que ses pertes participent au chauffage, du moins l'hiver. Mieux sur isoler ce ballon pour minimiser les pertes. De même calorifuger sérieusement la distribution d'eau chaude.

Volume du ballon d'eau chaude sanitaire : il est fonction des besoins des occupants ; pour le résidentiel tabler sur 50 à 75 litres / occupant ; ne pas surdimensionner le ballon pour que les capteurs solaires puissent en élever suffisamment la température.

2. Le ballon thermodynamique sur air ambiant

Il s'agit d'une PAC qui récupère des calories dans l'air ambiant (qui est donc refroidi) et réchauffe l'eau du ballon.

Ne pas placer ce type de ballon dans une pièce à vivre ou même une pièce de service qui serait trop réfrigérée ! En général ce type de ballon se place sur l'air extrait d'une VMC simple flux ; donc l'air refroidi est évacué à l'extérieur.

3. Le chauffage combiné

Le ballon peut être réchauffé par le système de chauffage de l'habitation (du moins pendant la période hivernale) et chauffé électriquement en été, période où le besoin d'eau chaude est moindre.

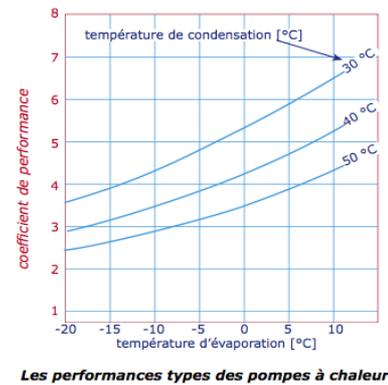
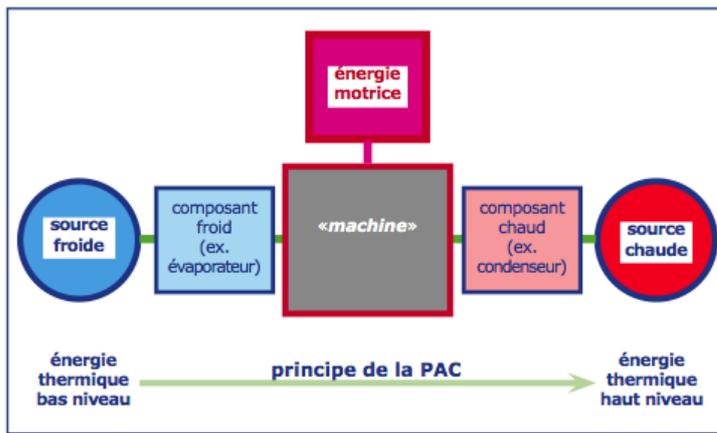
4. le chauffage instantané

L'eau chaude peut être produite par une combustion gaz par exemple. On trouve aussi des chauffages instantanés électriques ; ces dispositifs évitent les pertes du stockage de l'eau chaude ; mais la puissance instantanée appelée est très importante et exige donc un tarif d'abonnement élevé dans le cas de l'électricité.

## La PAC géothermique

Le COP ou Coefficient de Performance est le rapport entre la puissance restituée sous forme de chaleur et la puissance mécanique (ou électrique) consommée.

Température de condensation = température d'utilisation de la source chaude



Les performances types des pompes à chaleur

Température d'évaporation = température d'utilisation de la source froide

On voit bien que le COP croît avec l'abaissement de température de la source chaude et croît avec l'élévation de température de la source froide.

On peut classer les PAC selon l'énergie motrice ; on trouve les PAC à énergie mécanique de compression (de vapeur ou d'air), à énergie thermique utilisant le phénomène de sorption (absorption ou adsorption (adapté au solaire et aux basses températures)), à énergie électrique (PAC thermoélectrique).

La PAC qui a un très bon rendement (COP > 3,5) est intéressante pour remplacer un chauffage électrique par effet joule. C'est une façon indirecte d'utiliser les énergies renouvelables. Remarquons néanmoins qu'elle implique une consommation d'énergie électrique non négligeable. On distingue les Pompes A Chaleur selon les sources (froide puis chaude :

#### Air air

Ce type de PAC puise ses calories dans l'air extérieur et restitue de la chaleur dans le bâtiment via des appareils appelés splits ; le COP pratique de ce type de PAC est faible car l'air extérieur n'apporte que très peu de calories les jours froids, là où on a le plus besoin du chauffage ! c'est une solution commerciale à déconseiller.

#### Air Eau

Ce type de PAC puise ses calories dans l'air extérieur et restitue de la chaleur sous forme d'eau chaude qui circule de préférence dans des planchers à basse température. Ce type de PAC peut se combiner avec un chauffage central classique à basse température. le COP pratique de ce type de PAC est faible pour les mêmes raisons que ci-dessus ; d'ailleurs, les fabricants, conscients de ce problème proposent souvent un chauffage électrique d'appoint ou le couplage à un autre système de chauffage (PAC en relève de chaudière).

#### Eau glycolée Eau

Ce type de PAC récupère la chaleur du sol à 1 mètre de profondeur environ (sol qui est donc refroidi et peut geler si la densité de chaleur récupérée par m<sup>2</sup> est trop importante) ; en gros il faut que le terrain mesure 2 à 3 fois la surface d'habitation à chauffer. On peut comparer ce dispositif de récupération de chaleur au puits canadien ; ici l'air a été remplacé par de l'eau glycolée et la PAC assure l'élévation de température.

#### Eau Eau

Ce type de PAC récupère les calories d'une nappe phréatique ; l'eau est pompée, les calories extraites puis cette eau est réinjectée dans la nappe. Il faut donc faire 2 puits espacés de 15 mètres environ, voire plus si possible, connaître l'éventuel sens d'écoulement des eaux de la nappe ; la profondeur des puits ne doit pas excéder 15 mètres. Le foisonnement de ce type d'installations individuelles, en agglomération peut poser problème. Il vaudrait mieux privilégier une solution collective avec distribution de chaleur par un réseau.

#### Géothermique

Ce type de PAC utilise la chaleur du sol à grande profondeur. Deux sondes sont installées dans un forage vertical pouvant atteindre ou dépasser les 100 mètres de profondeur. Ce forage effectué par une entreprise spécialisée, nécessite souvent une autorisation (code minier, couches traversées). Le rendement de cette PAC est très élevé et constant en toutes saisons. Ici encore, compte tenu de la technicité du forage et de son coût, une installation collective est souvent préférable.

## Le chauffage au bois

La loi Pope fixe un objectif de 1,2M Tep de plaquettes bois brûlées en 2015 sachant que le gisement disponible en France est évalué à 7,3 MTep (plan bois-énergie piloté par l'ADEME). 1 Tep = 11630 kWh.

Le chauffage au bois est réputé neutre pour l'effet de serre car le bois brûlé restitue dans l'atmosphère le CO<sub>2</sub> qui avait été capturé par la photosynthèse des feuilles de l'arbre. Récupérer le bois des forêts plutôt que de le laisser pourrir sur place est donc une technique de récupération d'énergies renouvelables valable, à condition que l'on renouvelle sans cesse les plantations de la forêt (label Forest Stewardship Council créé en 1993, environ 20.000 hectares certifiés en France). Néanmoins, laisser pourrir quelques végétaux dans la forêt est nécessaire, voire essentiel pour le maintien de la qualité du sol forestier (une forêt trop propre n'est pas écologique).

On peut donc envisager, raisonnablement, de brûler le bois dans des poêles individuels à haut rendement, dans des chaufferies industrielles locales aux forêts et redistribuant la chaleur obtenue.

Le bois est disponible sous différentes formes : Bûches, Plaquettes, Pellets, Bûches reconstituées, ... Certaines de ces formes récupèrent la sciure produite dans les scieries, les chutes de bois diverses.

Le rendement de ces appareils de chauffage varie de 75% à 85% environ.

## La géothermie

Il s'agit de récupérer directement la chaleur d'eaux ou de gaz souterrains. La température du sol croît avec la profondeur, en moyenne de 3,3° par 100 mètres. De fortes disparités selon les lieux. Bons résultats en zones volcaniques ou près des failles géologiques. Par ailleurs il existe des sources d'eau chaude, des sources de gaz chaude. La géothermie est utilisée depuis quelques milliers d'années en Chine, dans la Rome antique et dans le bassin méditerranéen. Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise d'Energie (ADEME) ont créé un département Géothermie.

On classe la géothermie en :

Type de géothermie	Température	Véhicule	Profondeur	Utilisation
Géothermie profonde		Roches chaudes et sèches	> 3000 mètres	?? stade recherche
Haute énergie	150 à 400°	eau	> 1500 mètres	Production d'électricité et de chaleur,
Moyenne énergie	70 à 150°	eau	> 1000 mètres	Cogénération
Basse énergie	30 à 100°	Eau ou fluide caloporteur	1500 à 3000 mètres	Chauffage urbain, industrie, thermalisme, balnéothérapie
Très basse énergie	10 à 60°	Eau ou fluide caloporteur	1 à 100 mètres	Chauffage et rafraîchissement de locaux (avec PAC)

Une installation géothermique de profondeur n'est pas éternelle ; sa durée de vie est de 30 à 80 ans. Cela est dû au fait que le prélèvement de chaleur est supérieur au renouvellement naturel.

Quelques sites de géothermie : Fresnes, Blanc-Mesnil en région parisienne, Soultz/forêts, Bouillante en Guadeloupe, Islande, Philippines, Californie, Rift africain (Kenia). L'Italie mise beaucoup sur la géothermie ; près de 2% de sa production d'électricité est d'origine géothermique. La production d'électricité géothermique mondiale est d'environ 10.000 Mwe.

Une technique de construction sur pieux peut être couplée à une récupération d'énergie géothermique.

## Les solutions innovantes

### Les matériaux à changement de phase (MCP)

Tout matériau capable de changer de phase/état (solide à liquide) dans une plage de température de 10 à 80°C.

**Chaleur sensible** : le matériau ne change pas de phase/état : il gagne ou perd de la chaleur selon le coefficient de chaleur massique  $C_p$  exprimé en Joules/Kg.°. Pour l'eau  $C_p = 4186$ , c'est-à-dire qu'il faut 4186 Joules pour élever la température d'un kg d'eau de 1°.

**Chaleur latente** : le matériau gagne ou cède de l'énergie lors du passage de l'état solide à liquide ou réciproquement sans modification de sa température qui reste celle du changement d'état. On distingue la chaleur latente de fusion  $L_f$

pour le changement de phase liquide/solide et la chaleur latente de vaporisation  $L_v$  pour le changement de phase liquide/gaz.

$L_f$  eau = 330000 signifie que la fusion de 1kg de glace nécessite 330000 Joules d'énergie calorifique.

Cette propriété est mise à profit pour stocker et restituer de la chaleur, pour réguler thermiquement.

Nom	$T_{\text{fusion}} (^{\circ}\text{C})$	$L_f$ (kJ/kg)	$C_{p\text{solide}}$ (kJ/(kg.K))	$C_{p\text{liquide}}$ (kJ/(kg.K))	$\rho$ solide (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$ liquide (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Composés Organiques</b>						
Acide formique	8,3	247	?	0,099	?	1220
Acide acétique	16,7	194	?	?	1266	1049
Phénol	40,8	120	?	?	1070	?
Acide dodécanoïque	41-43	211,6	1,76	2,27	1007	862
Acétate trihydrate de sodium	55-58	242,85	3,31 à 30°C	3,06 à 70°C	1392 à 30°C	1279 à 70°C
Hydroxyde de Sodium	64,3	272,15	1,88 à 30°C	2,18 à 70°C	1720 à 30°C	1670 à 70°C
<b>Composés Inorganiques</b>						
H <sub>2</sub> O (Eau)	0	330	2,06 à 0°C	4,186 à 20°C	917 à 0°C	998 à 20°C
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Acide Sulfurique)	10,4	100	?	?	?	1838
SO <sub>3</sub> (Trioxyde de soufre)	16,9	108	?	0,024	?	1920
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (Acide Phosphorique)	26,0	147	?	?	1834	1685
Ga (Gallium)	29,8	80	0,370	?	5904	?

Applications :

Augmentation de l'inertie thermique d'une paroi ; Panneaux fins équivalents à 15cm de béton au sens de l'inertie thermique.

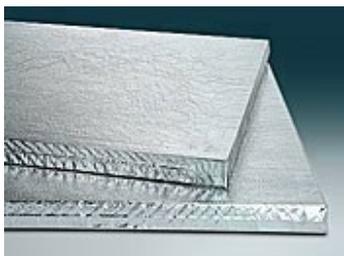
## Les hyper isolants

L'aérogel

Prix 1800 euros / kg

Le nanogel

Le panneau isolant sous vide (PIV)



VacuSpeed (Vacupor) certifié jusqu'en 2015  $\lambda = 0,007 \text{ W/m.K}$   $R=5$  pour 35mm d'épaisseur.

Résistance au poids 180kPa Classement feu M3 Masse volumique 170 à 210 kg / m<sup>3</sup>

Mise sous vide < 5mbar (Pression atmosphérique = 1000 mbar) Prix 40 à 60 euros le m<sup>2</sup>

Utilisation :

Puits de lumière, ITI, ITE, ...

La mousse Resol  $\lambda = 0,022$  soit presque moitié moins que les laines classiques

Avec de la mousse Resol, les épaisseurs d'isolants sont bien plus faibles.

S'utilise beaucoup en toiture ou à chaque fois que l'on souhaite minimiser l'épaisseur de l'isolant tout en gardant de

bonnes performances d'isolation.

## La PAC gaz

### La micro cogénération (Combined Heat and Power)

Le système décentralisé, de production de chaleur est couplé avec un système de production d'électricité (< 36KWe de puissance limitation France, < 50KWe limitation Europe) ; ainsi le bâtiment équipé de ce système est-il autonome ou mieux fournisseur de chaleur et/ou d'électricité pour ses voisins. On note que ce système est en marche lors du besoin de chaleur, en hiver ; par conséquent, la production d'électricité annexe vient diminuer les pointes de consommation électrique d'hiver.

A l'inverse tout système de production d'électricité via une machine de Carnot, produit une chaleur qu'il serait dommage de ne pas récupérer. De plus si l'électricité se transporte facilement, il n'en est pas de même pour la chaleur dont les pertes de transport sur de longues distances sont importantes. A l'inverse si l'électricité est difficile à stocker, au contraire la chaleur peut se stocker plus facilement. On voit bien que ces deux formes d'énergie sont très complémentaires.

On distingue les cogénérateurs suivants :

#### Le moteur à combustion interne

Utilise tout combustible solide, liquide ou gaz. Le rendement global (chaleur et électricité restituées) est supérieur à 75% et peut atteindre 90% avec un dispositif de condensation. Le rendement de production d'électricité par rapport à la production de chaleur varie de 25 à 50%. Gamme de puissance : 1kW à 10MW. Technologie proche des moteurs automobiles, bien maîtrisée. Inconvénient de la pollution des imbrulés dont CO<sub>2</sub>, microparticules, ...

#### La microturbine à gaz

Utilise le gaz soit fossile soit le biogaz des déchets organiques. Rendement ?? Gamme de puissance : 3kW à 200kW. Technologie robuste (pièces tournantes régulièrement). Inconvénient de la production de CO<sub>2</sub>.

#### Le moteur à combustion externe (Rankine, Stirling, Ericsson)

S'intègre à un générateur de chaleur (chaudière). Le rendement global atteint jusqu'à 97%. Le rendement de production électrique par rapport à la production de chaleur est d'environ 15%. Gamme de puissance : 10kWe

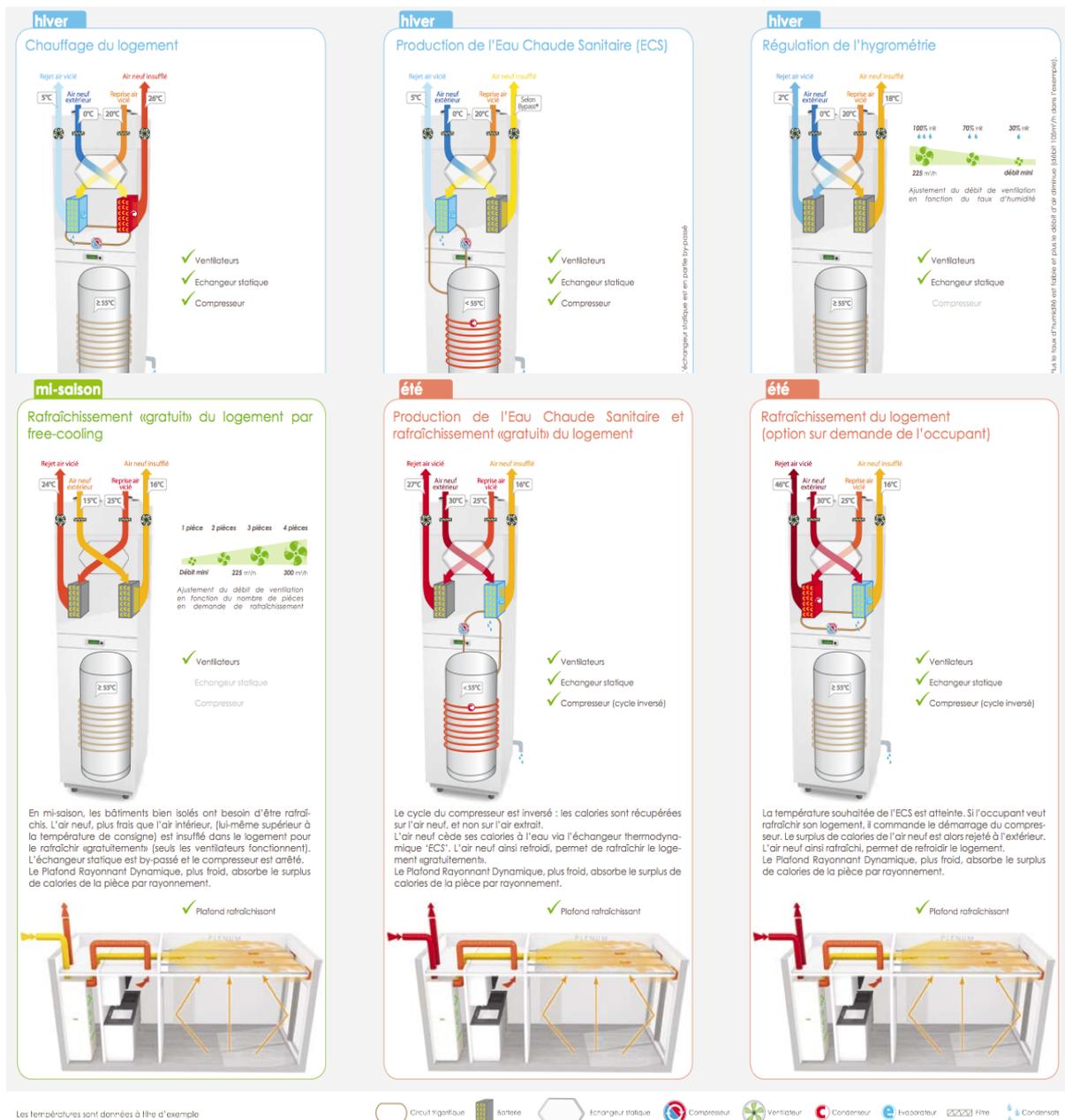
#### La pile à combustible

Convertit un combustible, de l'hydrogène, en électricité par un procédé électro-chimique. L'hydrogène peut provenir de gaz, ou d'essence par reformage. Rendement global 85 à 90%. Rendement électrique / thermique 80% ? Gamme de puissance :

Voir site [www.microCogénération.info](http://www.microCogénération.info)

### Le Ballon thermodynamique sur double flux

L'air extrait du logement peut servir au chauffage de l'eau chaude grâce à une PAC. Si la PAC a un bon rendement (> 3) cette technique de production d'eau chaude sanitaire est plus économique que la résistance électrique, mais le coût de cette solution peut être dissuasif. Ce système semble incompatible avec une VMC double flux dans la mesure où la récupération d'énergie doit aller en priorité au réchauffement de l'air admis et donc au détriment du chauffage de l'eau. Néanmoins, des systèmes complexes permettent de faire l'un ou l'autre en fonction des besoins. En effet si le logement est suffisamment chaud, on peut alors utiliser la récupération pour le BEC ; à l'inverse si le BEC est assez chaud, on peut utiliser la récupération de chaleur pour le logement.



## Le label BBC (RT2005) ou Effinergie BBC

C'est une évolution de la RT2005 en vue de rendre un bâtiment moins énergivore. Voir aussi: [www.effinergie.org](http://www.effinergie.org)  
De même il existe des label HPE, HPE+, ... Voir le site : [www.promotelec.com](http://www.promotelec.com)

**Consommation maximale en énergie primaire Neuf  $C_{max} < 50 * (a+b)$  en kWh/m<sup>2</sup>/an**

Zone climatique	Altitude < 400m b=0	Altitude 400 à 800m b=0,1	Altitude >800m b=0,2
H1a a=1,3	65 classe B	70 classe B	75 classe B
H1b a=1,3	65 classe B	70 classe B	75classe B
H1c a=1,2	60 classe B	65 classe B	70 classe B
H2a a=1,1	55 classe B	60 classe B	65 classe B

<b>H2b a=1</b>	50 classe A	55 classe B	60 classe B
<b>H2c a=0,9</b>	45 classe A	50 classe A	55 classe B
<b>H2d a=0,9</b>	45 classe A	50 classe A	55 classe B
<b>H3 a=0,8</b>	40 classe A	45 classe A	50 classe A

### Consommation maximale en énergie primaire Rénovation $C_{max} < 80 * (a+b)$ en kWh/m2/an

Zone climatique	Altitude < 400m b=0	Altitude 400 à 800m b=0,1	Altitude >800m b=0,2
<b>H1a a=1,3</b>	104 classe C	112 classe C	120 classe C
<b>H1b a=1,3</b>	104 classe C	112 classe C	120 classe C
<b>H1c a=1,2</b>	96 classe C	104 classe C	112 classe C
<b>H2a a=1,1</b>	88 classe B	96 classe B	104 classe C
<b>H2b a=1</b>	80 classe B	88 classe B	96 classe C
<b>H2c a=0,9</b>	72 classe B	80 classe B	88 classe B
<b>H2d a=0,9</b>	72 classe B	80 classe B	88 classe B
<b>H3 a=0,8</b>	64 classe B	72 classe B	80 classe B

L'énergie primaire est utilisée pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, les auxiliaires, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage.

S'il y a production d'électricité ou production de chaleur, les énergies correspondantes sont décomptées de l'énergie primaire, ce qui pourrait amener des abus.

Dans ce cas l'énergie primaire sans décompte des productions doit être :

$$< c + 50*(a+b) \text{ kWh/m}^2/\text{an} \text{ et}$$

Le coefficient  $U_{bâtmax}$  du logement doit être  $< U_{bâtmaxRT2005} - 30\%$ .

$c = 35 \text{ kWh}$  si production eau chaude par électricité

$c = 12 \text{ kWh}$  si production eau chaude autre que par électricité

Le détail des consommations annuelles par poste (chauffage, refroidissement, ...) doit être affiché ainsi que l'émission de CO2 correspondante.

### Perméabilité à l'air maximale

Sous la pression de 4 Pascal exprimé en  $m^3/(h.m^2)$

Maisons individuelles	0,6
Bureaux, Restos, Hôtels, Ecoles,	1
Autres usages	2 ?

La mesure est réalisée par des opérateurs agréés MEEDDM

### Certification obligatoire par Promotelec

La procédure à suivre pour obtenir le label BBC Effinergie Rénovation (ou Effinergie Rénovation) en tant que particulier est la suivante :

Choix d'un professionnel pour réaliser un bilan thermique de votre logement

Réalisation du bilan thermique initial (avant travaux) et projeté (après travaux) par l'expert choisi afin d'avoir une vision exacte des solutions à mettre en place pour répondre aux exigences du label.

Transmission de la demande d'attribution du label à l'organisme certificateur, ceci avant le début des travaux, accompagnés des bilans thermiques réalisés

Examen administratif et technique du dossier par l'organisme certificateur

Réalisation des travaux conformément au dossier présenté à l'organisme certificateur

Visite de chantier pour effectuer les mesures des paramètres apparaissant dans les exigences du label

Réalisation du test de perméabilité à l'air par un professionnel agréé par Effinergie et envoi des résultats à l'organisme certificateur  
 Examen de la conformité des mesures avec les exigences par l'organisme certificateur  
 Certification du logement

Le label Minergie

C'est une norme d'origine suisse, plus contraignante et plus simple qu'Effinergie.

Le label PassivHaus

Norme NF EN 13 829

Le Cete estime que les déperditions thermiques par défaut d'étanchéité se situent entre 2 et 7 kWh/m<sup>2</sup>.an par unité de n50, et entre 5 et 25 kWh/m<sup>2</sup>.an par unité de I4. Les labels PassivHaus et Minergie-P exigent ainsi un n50 maximum de 0,6 vol/h. Pour le label BBC-Effinergie, le seuil de la valeur I4 est fixé à 0,6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h dans le logement individuel. au-delà de 0,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h, prévient Bernard Loriot, car cela peut être le signe de problèmes diffus plus difficiles à traiter.

Ce qu'on mesure : la perméabilité à l'air, c'est-à-dire les écoulements aérauliques non liés au système de ventilation. Dans la RT 2005, elle est exprimée en m<sup>3</sup> par heure et par m<sup>2</sup> d'enveloppe sous une pression de 4 pascals.

- Les valeurs de référence de la RT 2005 : 0,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h pour les maisons individuelles ;  
1,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h pour les autres bâtiments d'habitation ou à usage de bureaux, d'hôtellerie, de restauration, d'enseignement et les établissements sanitaires.
- Les valeurs adoptées par défaut se situent à 0,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h au-dessus des précédentes, les seuils BBC-Effinergie étant quant à eux placés à 0,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h au dessous (sauf tertiaire : 1,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h).

**Tableau comparatif très simplifié des normes (cas du neuf et de la maison individuelle)**

<i>Norme</i>	<i>Toits ou plafonds</i>	<i>Murs</i>	<i>Ouvertures</i>	<i>Sols</i>	<i>Contrôle de l'aération</i>	<i>Pertes maxi kWh/m<sup>2</sup>/an</i>
RT2005 (France)	U<0,28 R>4,5	U<0,45 R>2	U <sub>w</sub> <2,3	U<0,4 R>2,5	< 0,8m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> (?) VMC Hygro A	80 (*)
BBC Effinergie (France)			U <sub>g</sub> <1,3 Svitrée <1/5 Sh		< 0,6m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> VMC Double flux	48
RT2012 (France)	U<0,2 R>5 (?)	U<0,3 R>3 (?)	U <sub>g</sub> <1,4	U<0,3 R>3 (?)	< 0,6m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> VMC Hygro B	50 (*)
Minergie (Suisse)	U<0,15	U<0,15			VMC Double flux	38
Minergie_P (Suisse)	U<0,15 R>6,6	U<0,15 R>6,6			VMC Double flux <0,6 vol/h	15
PassivHaus (Allemagne)			U <sub>g</sub> <0,8		VMC Double flux <0,6 vol/h	15

(\*) modulable selon localisation géographique, altitude, etc ...

(?) ces chiffres ne sont pas sûrs; il semblerait que la RT2012, comme PassivHaus s'attache aux pertes maxi en priorité.

NB: on peut regretter que l'Europe communautaire n'ait pas défini une norme commune ! La norme RT2012 n'est guère très contraignante si on la compare à Minergie ou à PassivHaus. La non définition de limites de déperditions sur les parois (PassivHaus, RT2012?) est dommageable dans la mesure où ces limites servent de repères simples et de

gardefous.

Adresses : [www.2ideesalafois.com](http://www.2ideesalafois.com)  
[www.promotelec.com](http://www.promotelec.com) [www.labelrenovationenergetique.promotelec.com](http://www.labelrenovationenergetique.promotelec.com)  
qualipac  
eco-artisan (Capeb)  
[www.anah.fr](http://www.anah.fr) ecosubvention  
[www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)  
<http://ecocitoyens.ademe.fr> Financer mon projet  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)  
[www.solagro.org](http://www.solagro.org)  
[www.chaleurterre.com](http://www.chaleurterre.com) orienté PAC  
[www.lamaisonecologique.com](http://www.lamaisonecologique.com) la maison écologique

[www.rt-batiment.fr](http://www.rt-batiment.fr) [www.rt2000.net](http://www.rt2000.net) [www.rt2012.net](http://www.rt2012.net)  
[www.batimenteconome.com](http://www.batimenteconome.com)

[www.assohqe.org](http://www.assohqe.org)  
[www.marque-nf.com](http://www.marque-nf.com)  
[www.minergie.ch/fr](http://www.minergie.ch/fr)  
[www.maisonpassive.be](http://www.maisonpassive.be)  
[www.scanhome.ie](http://www.scanhome.ie)

fabricants  
[www.cler.org](http://www.cler.org)  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr)  
[www.energies-renouvelables.org](http://www.energies-renouvelables.org)  
[www.apere.org](http://www.apere.org)  
[www.negawatt.org](http://www.negawatt.org)  
[www.clcv.org](http://www.clcv.org)  
sidler.club.fr  
[www.outilssolaires.com](http://www.outilssolaires.com)  
[www.institut-solaire.com](http://www.institut-solaire.com)  
[www.enerplan.asso.org](http://www.enerplan.asso.org)  
tecsol  
qualit.enr  
[www.itebe.org](http://www.itebe.org)

## La démarche Haute Qualité Environnementale (HQE)

Cette démarche part de l'idée que tout projet de construction nouvelle ou de rénovation d'existant doit avoir un impact minimum sur notre environnement terrestre. Chaque matériau utilisé doit être le plus naturel possible, sachant que toute transformation est en général polluante. Chaque matériau utilisé doit être disponible suffisamment et localement pour éviter au maximum un acheminement polluant. Le projet de construction ou de rénovation ne doit pas apporter de nouvelles nuisances ou pollutions, ...

D'autre part le projet de construction ou de rénovation doit être favorable à ceux qui l'utilisent. Cet objectif permet de sélectionner les méthodes et les matériaux satisfaisants pour l'homme. Par exemple, les peintures, moquettes, revêtements plastifiés sont sans doute à exclure car présentant des risques pour la santé.

Pour cela la démarche se base sur 14 points à vérifier tout au long du projet.

### Maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur

Construction écologique

- 1 Relation harmonieuse avec l'environnement immédiat
- 2 Choix des procédés et des matériaux les moins polluants pour l'environnement

- 3 Chantier évitant au maximum les nuisances
- Gestion écologique
  - 4 de l'énergie
  - 5 de l'eau
  - 6 des déchets d'activité éventuels
  - 7 maintenance et suivi des performances

### **Recherche d'un environnement intérieur favorable à l'homme**

- Recherche du confort satisfaisant
  - 8 Hygrothermique
  - 9 Acoustique
  - 10 Visuel
  - 11 Olfactif
- Exigence pour la santé
  - 12 Qualité des espaces
  - 13 Qualité de l'air
  - 14 Qualité de l'eau

La démarche HQE est satisfaisante sur le plan intellectuel et permet d'habiller favorablement de vastes projets qui ne sont en rien écologiques; par exemple, construction de tours à Paris !

N'oublions pas que c'est la recherche d'une habitation passive voire même positive qui est le seul objectif recherché; sous cet angle les normes Minergie (Suisse) ou PassivHaus (Allemagne) sont plus claires et plus efficaces.