

ÉLABORATION D'UN OUTIL D'AIDE À LA CONCEPTION
DE MAISONS À TRÈS BASSE CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Conception de maisons nouvelles durables



Catherine Massart
André De Herde



REMERCIEMENTS

Les remerciements des auteurs s'adressent en premier lieu au Département de l'Énergie et du Bâtiment durable du Service Public de Wallonie et plus spécialement à Monique Glineur, qui nous ont permis de réaliser ce guide.

Nous tenons vivement à remercier tous ceux qui nous ont aidés à élaborer ce guide, notamment :

- Laurent Georges, auteur de l'étude technico-économique des systèmes réalisée dans le cadre de cette recherche et partiellement reprise dans la fiche 4.2.
- Sophie Trachte, pour son expertise et ses données concernant les matériaux de construction.
- Geoffrey Van Moeseke, MATRICiel et Elisabeth Gratia pour leur aide et leur soutien dans l'élaboration des simulations dynamiques TRNSYS.

Enfin, nous remercions tous les membres de l'équipe d'Architecture et Climat pour leur aide scientifique, et plus particulièrement José Flémal et Sylvie Rouche pour leur collaboration technique et artistique et Cécile Aubecq et Valentine Regniers pour leur relecture précieuse.



TABLE DES MATIÈRES

Introduction

Choix d'un terrain

- | | | |
|-----|--|-------|
| 1.1 | Situation : densité de l'environnement bâti
<i>Le choix d'un lieu : impact sur les transports et sur l'usage de l'espace</i> | p. 11 |
| 1.2 | Implantation sur un terrain : typologie, orientations ...
<i>Le choix d'un lieu : impact de ses caractéristiques sur les performances</i> | p. 15 |

Avant-projet

- | | | |
|-----|--|-------|
| 2.1 | Programme
<i>Des espaces flexibles, des surfaces limitées</i> | p. 21 |
| 2.2 | Volumétrie
<i>Optimiser la volumétrie et limiter l'emprise au sol</i> | p. 23 |
| 2.3 | Éviter les surchauffes
<i>Différentes stratégies pour garantir le confort intérieur</i> | p. 25 |
| 2.4 | Éclairage naturel
<i>Façades : La conception des ouvertures pour un confort visuel optimal</i> | p. 37 |
| 2.5 | Protection solaire
<i>Façades : limiter les gains solaires pour assurer le confort thermique</i> | p. 41 |
| 2.6 | Ventilation naturelle intensive
<i>Concevoir une ventilation efficace pour assurer le confort thermique</i> | p. 49 |
| 2.7 | Gestion de l'eau de pluie
<i>Éviter autant que possible d'évacuer les eaux de pluie vers l'égout</i> | p. 59 |

Projet

- | | | |
|-----|--|--------|
| 3.1 | Isolation thermique de l'enveloppe
<i>Isoler, bien sûr ! Mais comment ? Jusqu'où ? Pour quel impact ?</i> | p. 67 |
| 3.2 | Conception des fenêtres
<i>Les différents éléments pour un optimum thermique</i> | p. 79 |
| 3.3 | Étanchéité à l'air
<i>Conception et exécution soignée pour minimiser les infiltrations d'air</i> | p. 85 |
| 3.4 | Inertie thermique
<i>Bâtiment massif ou léger : Impact sur la thermique du bâtiment</i> | p. 93 |
| 3.5 | Choix des matériaux
<i>Impact des matériaux de construction sur l'environnement et la santé</i> | p. 101 |

Systemes

- | | | |
|-----|--|--------|
| 4.1 | Ventilation hygiénique
<i>Les différents systèmes et le point sur la ventilation double-flux</i> | p. 111 |
| 4.2 | Chauffage et eau chaude sanitaire
<i>Description, adéquation aux bâtiments performants, critères de choix</i> | p. 121 |
| 4.3 | Capteurs solaires photovoltaïques
<i>Production d'électricité grâce au soleil</i> | p. 141 |

Annexe : simulations dynamiques de maisons passives et basse énergie



INTRODUCTION

Changement climatique, épuisement des ressources naturelles, pic pétrolier, diminution de la biodiversité, pollution... Le contexte de crise environnementale est indiscutable et loin d'être réjouissant. La pression des activités humaines sur les équilibres naturels planétaires est énorme, insoutenable. Il est indispensable de repenser nos fonctionnements pour créer de nouveaux équilibres.

« Le développement durable répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ».

L'évolution vers un développement durable nécessite des actions à tous les niveaux, dans tous les domaines. À son échelle, chacun, citoyen, maître d'ouvrage ou architecte, est acteur de changement.

Pour ce qui nous concerne ici, le secteur de la construction est actuellement responsable de :

- 50 % du total des ressources naturelles exploitées ;
- 45 % de la consommation totale d'énergie ;
- 40 % des déchets produits ;
- 30 % des émissions de gaz à effet de serre ;
- 16 % de la consommation d'eau, dont 1 à 2 % pour l'alimentation humaine.

La réduction des multiples impacts de la construction sur l'environnement est donc un enjeu prioritaire.

Pour atteindre, à court ou à moyen terme, les objectifs fixés en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la construction neuve n'est pas la priorité. La rénovation des logements existants très peu performants représente un potentiel d'économies d'énergie bien plus important. Cependant, les nouvelles maisons complètent le parc immobilier d'aujourd'hui et deviendront celui de demain. Elles ne seront pas rénovées avant des dizaines d'années, ce qui donne toute son importance à une conception respectueuse des principes du développement durable.

Repenser l'architecture et la construction dans cette optique, c'est intégrer une série de contraintes, de réflexions, qui, considérées avec enthousiasme et créativité, peuvent contribuer à la construction d'une architecture de qualité, confortable et intégrée dans son contexte environnemental, urbanistique et social.

La réduction des consommations d'énergie dans le secteur du bâtiment et principalement des besoins de chauffage est l'objectif de nombreuses initiatives politiques, depuis plusieurs années. La mise en oeuvre de la directive européenne concernant la performance énergétique des bâtiments (PEB) en est l'exemple actuel le plus frappant. Toutes les énergies consommées dans le bâtiment pour son fonctionnement sont maintenant évaluées pour pouvoir les réduire efficacement.

Modifier les standards de construction ne peut pas se faire en un jour et les prescriptions actuelles, si elles constituent sans aucun doute une amélioration par rapport au passé, n'imposent pas (encore) des performances énergétiques aussi élevées que ce que l'état des connaissances et des techniques permet.

C'est sur une base volontaire qu'architecte et maître d'ouvrage choisissent d'atteindre des objectifs plus ambitieux en termes de développement durable. C'est dans le but de soutenir ceux qui s'engagent dans cette démarche que ce guide a été conçu.

Concernant les performances énergétiques et les critères de confort intérieur, ce guide s'applique à des bâtiments passifs ou basse énergie.

- Le niveau de performance « passif » est défini par un standard qui impose :
 - * un besoin net d'énergie de chauffage inférieur ou égal à 15 kWh/m².an, calculé par le logiciel PHPP ;
 - * un taux de perméabilité à l'air η_{50} inférieur ou égal à 0.6 h⁻¹.
- Le niveau de performance « basse énergie » est caractérisé, dans cet ouvrage et dans les simulations sur lesquelles il s'appuie, par :
 - * un besoin net d'énergie de chauffage inférieur ou égal à 38 kWh/m².an, calculé par le logiciel PHPP ;
 - * un taux de perméabilité à l'air η_{50} inférieur ou égal à 1 h⁻¹.

Une série de simulations thermiques dynamiques ont été réalisées avec le logiciel TRNSYS, sur la modélisation d'une maison individuelle 4 façades, passive ou basse énergie, avec plusieurs compositions de parois correspondant à différents niveaux d'inertie thermique.

Chaque projet est un cas particulier et les résultats présentés au fil de ce guide doivent être extrapolés avec prudence, en tenant compte des similitudes et des différences entre le projet analysé et la maison modélisée. Toutes les hypothèses sont disponibles dans l'annexe « Simulations thermiques dynamiques de maisons passives et basse énergie ».

INTRODUCTION



Les préoccupations actuelles en matière de diminution de l'impact de la construction ne peuvent absolument plus se limiter aux seules consommations énergétiques.

Une approche globale appliquée à la maison nous amène à considérer, à travers ce guide :

- la réduction des consommations d'énergie
par une implantation qui favorise les déplacements non polluants, par la considération des multiples stratégies pour la diminution des besoins de chauffage, par la mise en œuvre de systèmes efficaces, par le choix de matériaux de construction en fonction de leur énergie grise...
- la réduction des émissions de polluants
Par la réduction de toutes les consommations d'énergie, par le choix judicieux des énergies produites et consommées, par la sélection des matériaux de construction en fonction de leur bilan environnemental...
- la réduction des impacts sur le cycle de l'eau
Par une implantation et une volumétrie qui limitent l'impact du bâtiment sur les surfaces naturelles, par une gestion de l'eau de pluie sur la parcelle, par l'utilisation éventuelle d'eau de pluie, par un usage rationnel de l'eau de ville...
- la réduction des déchets
par la conception d'espaces permettant un tri facile, par la sélection des matériaux de construction en fonction de leur bilan environnemental, par l'organisation d'un tri sélectif sur chantier, par le choix des techniques d'assemblage...
- la protection de la biodiversité
Par une implantation et une volumétrie qui limitent l'impact du bâtiment sur les surfaces naturelles, par la réduction de toutes les pollutions, par une conception favorable des espaces de jardin...
- la protection des paysages et espaces naturels
Par une conception respectueuse du lieu, considérant le contexte construit et naturel, par le choix d'une certaine densité, par la sélection des matériaux de construction en fonction de leurs impacts sur les paysages (carrières, déforestations...)
- l'augmentation des relations sociales
Par une implantation qui favorise les modes de déplacements doux, lents, propices à la rencontre, par une conception respectueuse de l'identité des lieux...
- l'augmentation du confort des occupants
Par une diminution des déperditions thermiques du bâtiment, par une conception attentive au confort estival, par une optimisation de l'éclairage naturel, par la mise en œuvre de systèmes performants...



Une conception architecturale respectueuse des principes du développement durable nécessite de considérer une série d'objectifs dès le début du projet. Le guide est structuré en tenant compte des différentes étapes de travail et des thématiques qui y sont plus spécifiquement abordées.

INTRODUCTION



Les objectifs de ce guide et des recherches qui ont précédé sa rédaction se sont concentrés sur les aspects spécifiques aux maisons basse énergie et passives et aux questions qui semblaient non résolues.

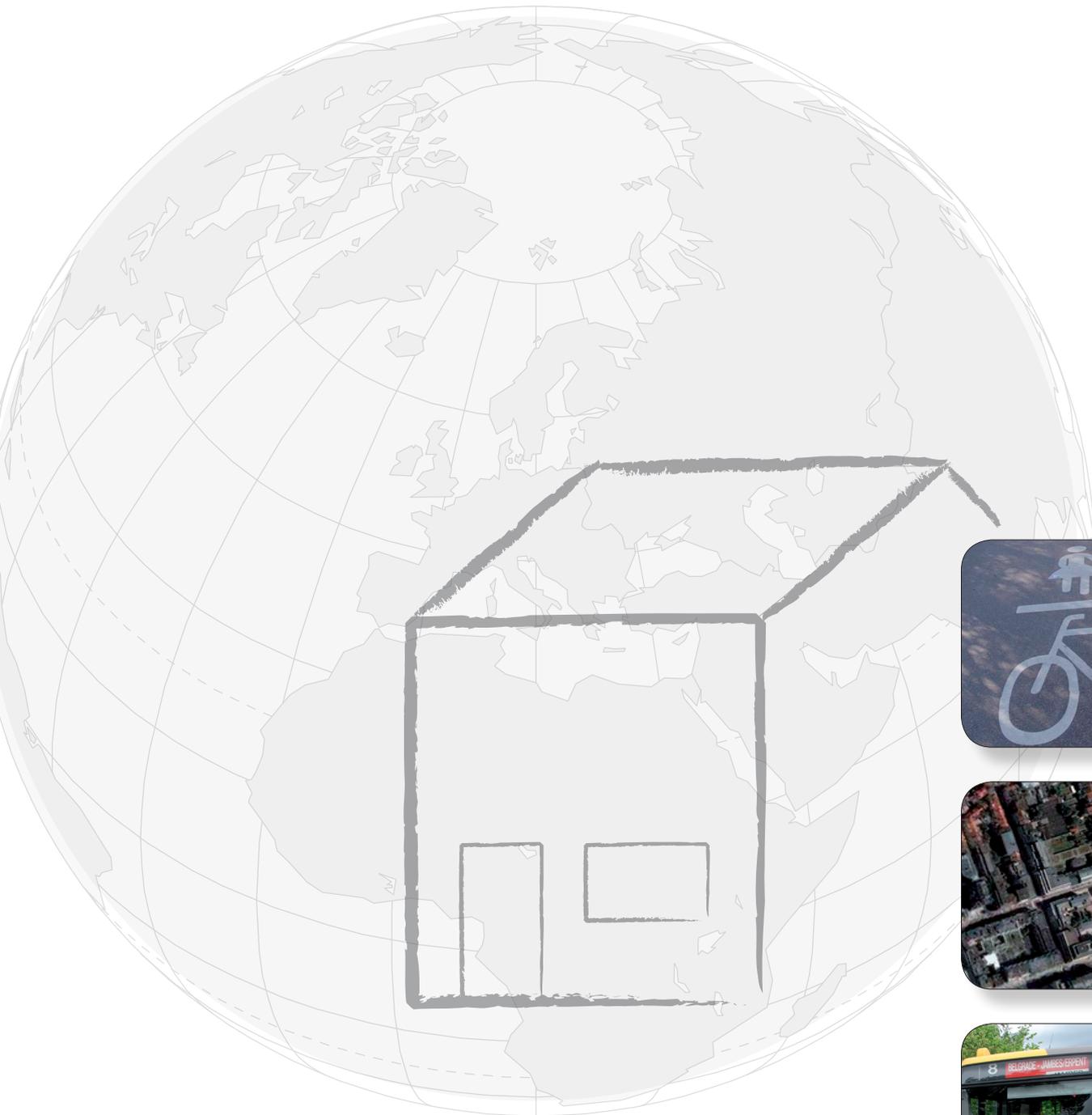
En plus de vouloir fournir une information globale sur le sujet, nous avons surtout développé :

- l'évaluation des risques de surchauffe et des stratégies permettant de les limiter ;
- l'adéquation des systèmes avec des bâtiments caractérisés par des besoins de chauffage très faibles ;
- l'impact et les critères de choix des matériaux.

L'analyse technico-économique des systèmes, réalisée par L. Georges dans le cadre de la recherche, a servi de base au chapitre sur les systèmes.

En parallèle à ce guide, la recherche a donné lieu à la rédaction de l'ouvrage intitulé *Choix des matériaux, écobilan de parois*, par Sophie Trachte.

1 Choix d'un terrain





SITUATION : DENSITÉ DE L'ENVIRONNEMENT BÂTI

> Le choix d'un lieu : impact sur les transports et sur l'usage de l'espace

Dans le processus de construction d'un logement individuel neuf, le choix d'un terrain est une étape cruciale. Ce lieu d'implantation influence énormément le mode de vie des habitants et leur impact sur l'environnement.

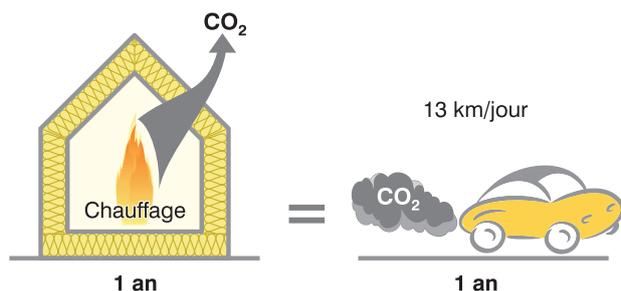
Un vaste bâtiment passif implanté dans un endroit isolé et dont les habitants parcourent des centaines de kilomètres quotidiennement ne peut en aucun cas être qualifié de durable ou d'écologique.

Il est essentiel de considérer le logement dans sa globalité pour pouvoir le concevoir de façon durable. Nous parlons ici de réduire les déplacements automobiles et de limiter l'étalement urbain. Ce qui nous amène à prôner une certaine densité urbanistique.

Réduire les déplacements permet aussi d'économiser du temps, autre denrée précieuse et non renouvelable...



1. ÉCONOMIE D'ÉNERGIE DE TRANSPORT



En ce qui concerne les émissions de CO₂, faire 13 km en voiture tous les jours pendant un an pollue autant que le chauffage d'une maison passive de 190 m².

(Hypothèses : consommation de la voiture : 4.9l/100 km et maison passive chauffée au gaz naturel).

Le choix d'un lieu de construction influence fortement la mobilité des occupants. Pour réduire les consommations d'énergie de transport, le terrain idéal aura comme caractéristiques :

- disponibilité de services de proximité (épicerie, école primaire, docteur...);
- accessibilité aux transports en commun ;
- proximité / accessibilité du lieu de travail (attention, statistiquement, on change plus souvent de travail qu'on ne construit une maison...);
- possibilité de mobilité douce (pistes cyclables, trottoirs...).

Les déplacements en voiture sont très énergivores.

Les limiter implique nécessairement une situation dans un environnement relativement dense.



Photo : S. Rouche
Gare.



Photo : T. de Meester
Bus TEC.



Photo : C. Massart
Circulation piétons- cyclistes.



Photo : C. Massart
Cabanon pour le rangement facile des vélos.



2. DENSITÉ

2.1 Faible densité, étalement urbain : les conséquences

Les lotissements de villas 4 façades sur des vastes parcelles qui sont légion ces dernières décennies et semblent répondre à un idéal individuel sont une plaie pour la collectivité, une catastrophe urbanistique et environnementale.

Consommation d'espace :

Ce mode d'urbanisation occupe une surface par habitant très importante. L'espace non urbanisé est grignoté, la nature recule.

Consommation d'énergie grise :

Le coût économique et écologique des infrastructures nécessaires à ce mode d'urbanisation de faible densité est colossal. Les parcelles s'étalent le long de la voirie, sur des longueurs de 20 à 30m. Par rapport à des parcelles mitoyennes, toutes les infrastructures sont multipliées par 2,3, voire même 4. Nous parlons ici de la voirie en elle-même, de ses trottoirs, de son éclairage, de tous les réseaux, électriques, d'égouts, d'eau, de gaz, de télécommunications... Une évaluation des coûts économiques supplémentaires a été réalisée¹. Une étude des impacts environnementaux est à paraître,² mais il est d'ores et déjà évident que le coût écologique de la production, de la mise en oeuvre et de l'entretien de tous ces éléments est important.

Pollution, consommation d'énergie de transport :

La faible densité entraîne souvent un éloignement des services de proximité et une difficulté d'accès aux transports en commun, ce provoque une très grande dépendance à la voiture pour tous les déplacements.

Gestion de l'eau :

La portion de territoire importante allouée aux voiries amène une augmentation des surfaces non perméables.

Le logement individuel neuf ne peut être qualifié de durable que s'il s'inscrit dans une logique qui tient compte de tous les éléments pré-cités. On favorise donc une densification du tissu bâti existant (occupation des parcelles vides) ou une extension du tissu bâti en respectant une série de principes (densité, intégration dans l'environnement construit existant, connexion aux transports en commun, ...).



Photo : D. Costermans



Photo : Région wallonne



Photo : S. Reiter



Photo : T. de Meester



2.2 Densité réelle et densité perçue¹

La densité a une connotation négative dans l'imaginaire collectif. Pourtant, ce n'est pas tant la densité réelle (nombre d'habitants par hectare) qui est déterminante, mais la densité perçue. Cette dernière fait intervenir des notions beaucoup plus subjectives, personnelles et culturelles.

Quelques facteurs semblent favoriser une perception positive de la densité dans notre culture :

- *La présence d'un centre* : La forte densité semble bien acceptée lorsqu'elle est située dans un « centre ».
- *L'échelle humaine des lieux* : Tout élément architectural ramenant l'ensemble bâti à échelle humaine et permettant une perception claire de l'espace contribue à valoriser le lieu.
- *Le rythme des façades* : Pour une lecture positive de l'espace, il faut une certaine cohérence et une certaine harmonie dans les rythmes.
- *La relation entre le bâtiment et le contexte construit* : Une cohérence entre les bâtiments est nécessaire à la bonne perception de l'ensemble. Cette cohérence pourra être obtenue par le respect des gabarits et des typologies, par des similitudes de proportions et même de couleurs.
- *La relation entre le bâti et le non-bâti* : La végétation est un élément essentiel pour la création d'espaces de vie de qualité. Elle sera aussi utile pour renforcer l'échelle humaine d'un espace.
- *L'intimité* : Il est bien évidemment primordial de garantir à chaque logement des qualités d'intimité visuelle et sonore.

Les éléments permettant une perception positive de la densité urbanistique sont pris en compte dans le processus d'élaboration du projet pour contribuer au développement d'un environnement dense et de qualité.

2.3 Distance et densité : quelques chiffres

Les piétons : Il est couramment admis qu'une distance de plus de 600 m devient dissuasive pour le piéton moyen. Cette distance s'étend à 800 m pour un accès à une gare et jusqu'à 2 km pour le trajet « domicile-lieu de travail ».

Les lignes de bus : Il faut un minimum de 100 habitants/hectare pour viabiliser une ligne de bus.

Les services de proximité : Il faut au minimum 7 500 habitants dans un rayon de 610 m pour viabiliser les services de proximité. C'est-à-dire, une densité moyenne de 64 habitants par hectare sur 117 ha.

La situation d'une maison a un impact certain sur le mode de vie de ses habitants. Il est donc important de favoriser les implantations qui facilitent les choix durables.

Sources :

- A. De Herde, G. Vermeir, M.F. Godart, Y. Hanin, P. Boland, S. Reiter, M. Rychtáriková, E. Castiau, T. Pons, N. Martin, C. Meuris, A. Moreau, S. Xanthoulis, *Design and Renovation of Urban Public Spaces for Sustainable Cities. Final Report Phase 1*, Brussels : Belgian Science Policy, 2009.
- Conférence Permanente du Développement Territorial, M-L. De Keersmaecker (coordination), *Les coûts de la désurbanisation*, Ministère de la Région wallonne, 2002.
- S. Reiter - ULg (coordination), A. De Herde - UCL, *Suburban Areas Favoring Energy efficiency (SAFE)*, Ministère de la Région wallonne, à paraître.

¹ La réflexion et les données sur la densité exprimées ci-dessous sont largement inspirées de l'étude DRUPSSuC



IMPLANTATION SUR UN TERRAIN : TYPOLOGIE, ORIENTATION...

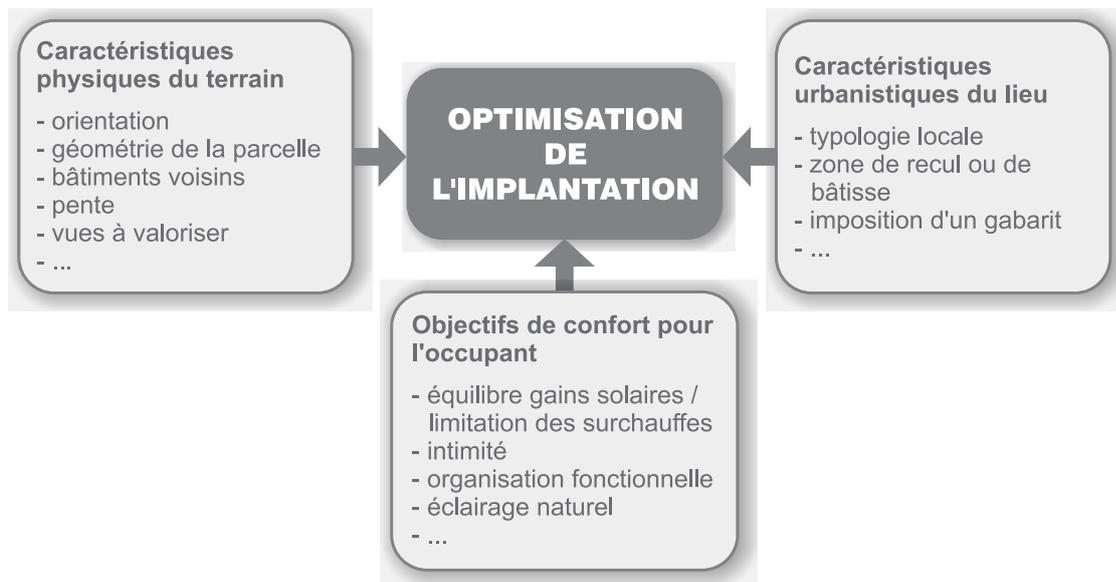
> Le choix d'un lieu : impact de ses caractéristiques sur les performances

L'ensemble des caractéristiques d'un terrain, de son environnement naturel et construit, influence (ou devrait influencer) l'architecture qui vient s'y implanter.

Les conditions de mitoyenneté (maison de rangée, trois façades ou quatre façades) et l'orientation ont un impact énorme sur la conception de la maison et sur ses performances.

Plus globalement, construire en relation avec le contexte permet de renforcer l'identité du lieu dans lequel on s'intègre. Le contexte influence le gabarit, la typologie, le vocabulaire architectural. Une maison n'est pas un objet posé sur une surface neutre, elle vient s'inscrire dans un lieu qui lui préexiste.

L'essentiel n'est peut-être pas tant de trouver le terrain idéal que de valoriser au maximum les caractéristiques du terrain choisi.



Cette fiche s'attarde sur trois éléments et leur impact sur les performances énergétiques de la maison : la typologie, l'orientation et la volumétrie.



1. TYPOLOGIE

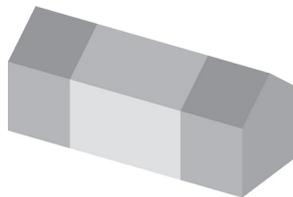
Une bonne performance énergétique est plus facilement atteinte et moins coûteuse dans le cas d'une construction mitoyenne.

En plus d'un avantage urbanistique de densification, de création d'un front bâti etc., une typologie mitoyenne amène une diminution de la surface de déperdition thermique.

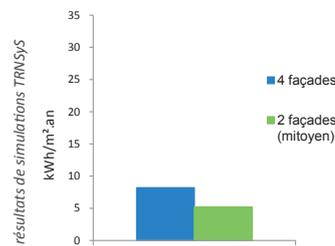
Le chauffage compense, avec l'aide des gains internes et solaires, les déperditions à travers les parois et les déperditions de ventilation et d'infiltration. Un échangeur de chaleur sur le système de ventilation et des critères d'étanchéité à l'air stricts permettent de réduire fortement les pertes par ventilation et par infiltration. Le besoin de chauffage sera donc fortement influencé par les pertes au travers des parois.



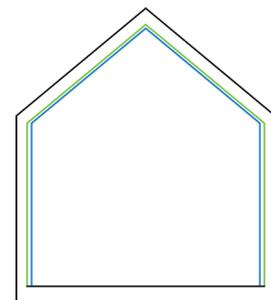
Maison 4 façades.



Maison 2 façades (mitoyenne).



Besoin net de chauffage, pour une même isolation.



Épaisseur des parois, pour un même besoin net de chauffage.

Pour une même géométrie, que l'on considère ou non mitoyenne¹, on observe :

- Pour une performance de parois fixe : une diminution du besoin de chauffage d'environ 40 %.
- Pour un besoin de chauffage fixe, une diminution des épaisseurs nécessaires d'isolant. On peut par exemple passer d'une isolation de 28 cm dans les murs et de 39 cm en toiture à une isolation de 15 cm dans les murs et de 30 cm en toiture.

2. ORIENTATION

2.1 Le cas d'une parcelle mitoyenne

L'orientation est définie par le terrain, l'implantation du bâtiment est prédéterminée.

Orientation nord-sud :

Le but est de minimiser les ouvertures au nord et d'avoir des grandes ouvertures au sud, qui permettent de valoriser les gains solaires en hiver, mais pourvues d'un ombrage pour s'en protéger en été.

- *Sud côté jardin :* c'est facile, les ouvertures au Sud seront grandes, permettant le contact avec le jardin, l'intimité, et les gains solaires. Les ouvertures au Nord seront déterminées par le besoin de lumière naturelle et la composition de la façade.
- *Sud côté rue :* il faut trouver le compromis optimal. Au Nord, on ouvre suffisamment pour profiter des vues/accès vers le jardin et de la lumière naturelle, mais au minimum pour réduire les déperditions thermiques. Au Sud, on trouve un équilibre entre des grandes baies pourvues d'une protection solaire et la recherche d'une certaine intimité.

Orientation est-ouest :

Cette orientation a l'avantage d'un ensoleillement direct des deux façades suivant le moment de la journée, ce qui permet de créer des ambiances lumineuses intéressantes. Elle a par contre le désavantage de ne pas permettre de profiter des apports solaires les plus intéressants en hiver, et en été, l'ombrage des baies est essentiel pour se protéger des rayons solaires bas, surtout à l'Ouest. Le projet cherchera le compromis optimal entre éclairage naturel, vues et risque de surchauffe.

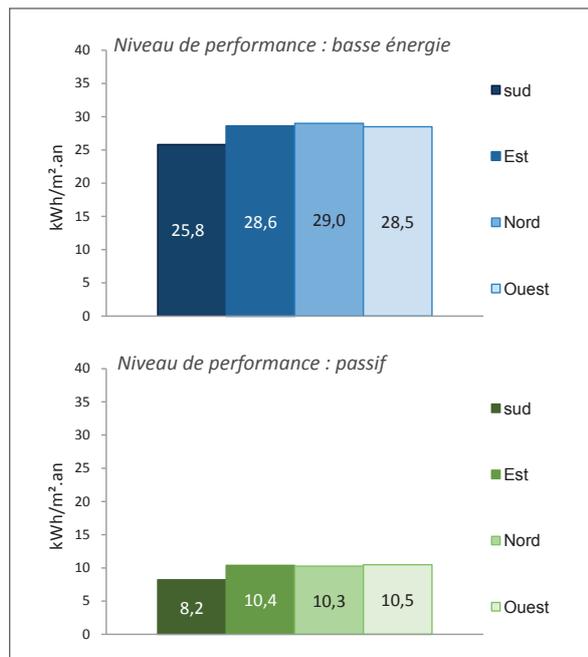


2.2 Le cas d'une parcelle 4 façades

L'implantation ne dépend pas uniquement de la parcelle de terrain. L'architecte sera donc à la recherche de la solution optimale en tenant compte de tous les facteurs intervenants.

Une implantation en longueur avec la longue façade côté jardin au Sud est favorable au niveau énergétique. Cependant, la performance énergétique n'est pas le seul facteur, l'ensemble du contexte doit être pris en compte.

Besoin annuel de chauffage [kWh/m².an]



Simulations TRNSys réalisées sur un bâtiment massif lourd, passif ou basse énergie.

Pour un même bâtiment, conçu de manière très commune, pour une orientation sud arrière au départ¹, l'impact de l'orientation a été évalué par des simulations dynamiques avec le logiciel TRNSys.

Dans le cas étudié, la conception n'est pas très poussée par rapport à l'orientation. La maison est rectangulaire (8m sur 12m) et la façade arrière est la plus ouverte.

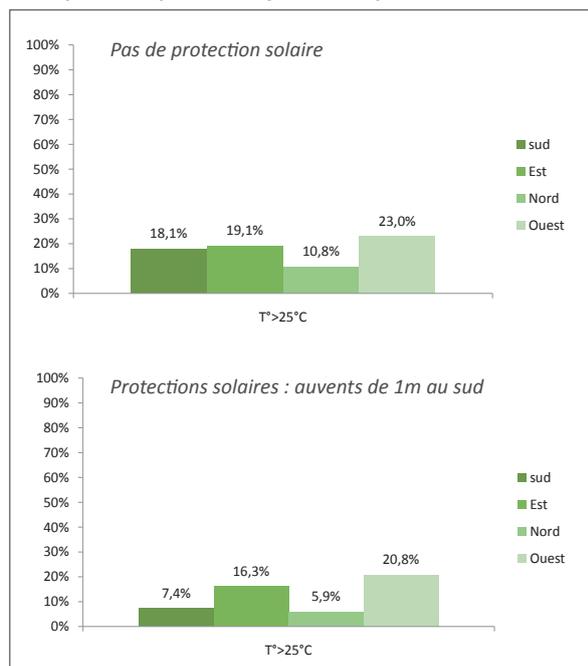
Proportion de fenêtres pour les différentes façades :

- façade arrière : 26 % ;
- façade avant : 15 % ;
- façade droite : 12 % ;
- façade gauche : 8 %.

L'orientation arrière au Nord n'est pas très défavorable. Ceci est dû au fait qu'elle implique aussi une longue façade exposée au Sud.

Dans le cas de maisons basse consommation d'énergie ou passives, l'orientation sud est optimale. Elle permet de diminuer le besoin net de chauffage de 10 à 30%. Une conception plus centrée sur l'orientation permet de réduire encore légèrement le besoin de chauffage.

Surchauffe : pourcentage du temps annuel où la température opérative moyenne est supérieure à 25°C



Simulations TRNSys réalisées sur un bâtiment massif lourd, passif, avec une ventilation nocturne manuelle avec taux de renouvellement horaire de 4 V/h.

Au point de vue des surchauffes, les simulations confirment deux faits importants :

Sans protection solaire, on observe que l'orientation la plus favorable est le Nord, et la plus défavorable, l'Ouest. Ce cas n'est que théorique parce qu'il est totalement incohérent de réaliser une maison passive sans protection solaire.

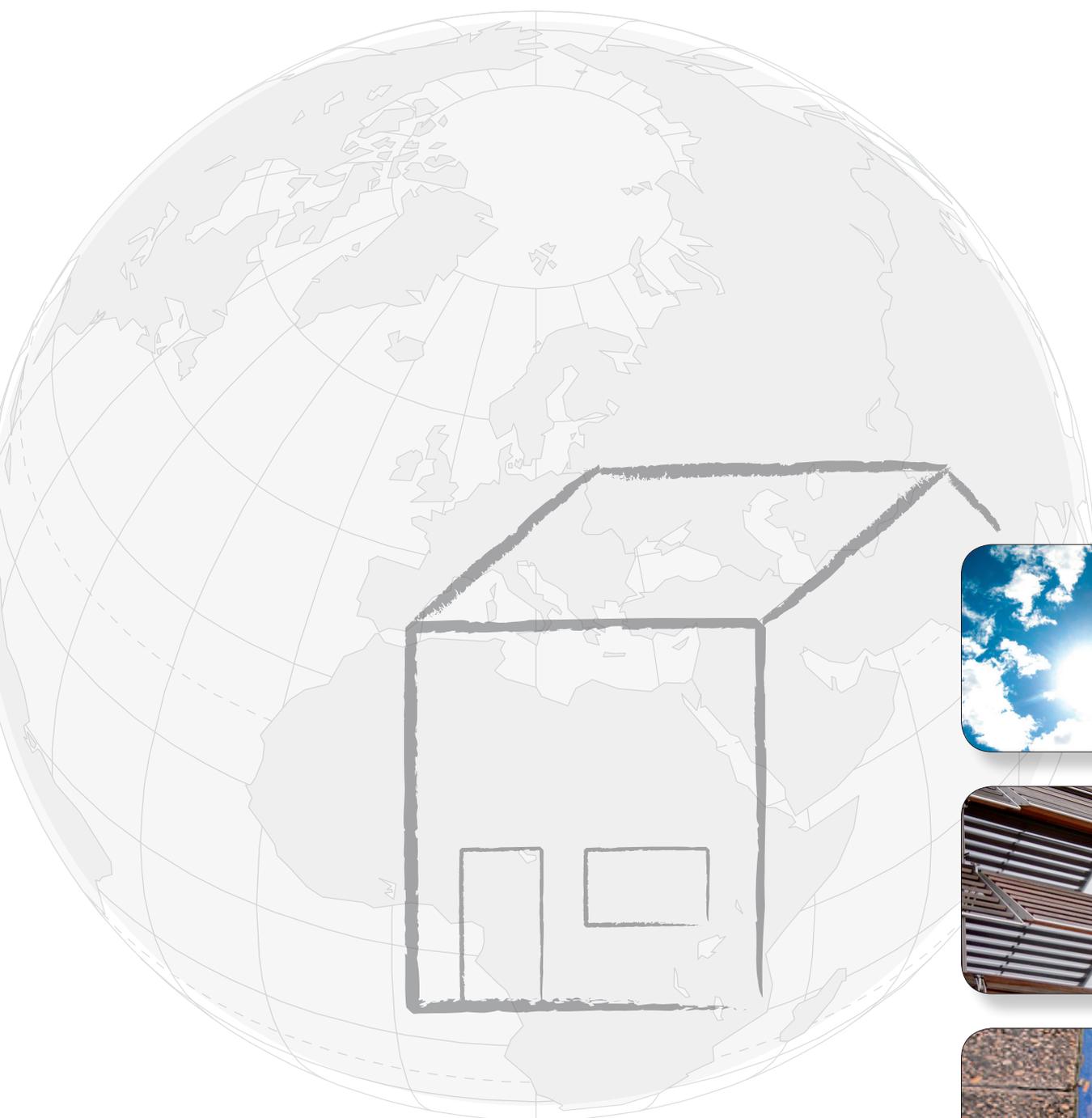
Les auvents permettent une protection efficace pour les orientations entre le Sud-Est et le Sud-Ouest. Leur coût et leur faible impact sur les vues en font une technique facile. Le deuxième graphique montre que, si l'orientation sud n'est pas favorable sans protection solaire, elle le devient dès que l'on considère la présence d'auvents.

Les orientations les plus critiques au niveau des surchauffes sont donc vraiment l'Est et l'Ouest. Le soleil est bas et la part du rayonnement traversant le vitrage est donc importante. Les seules protections solaires efficaces sont les stores extérieurs et les vitrages spéciaux. Il faudra impérativement les prévoir dès le début du projet.

L'orientation des façades et des ouvertures influence fortement le risque de surchauffe. Des protections solaires efficaces doivent impérativement être mises en place.

¹ Toutes les hypothèses concernant les modélisations sont renseignées dans l'annexe «Simulations dynamiques de maisons basse énergie ou passives»

2 Avant-projet





ÉLABORATION DU PROGRAMME

> Des espaces flexibles, des surfaces adaptées

La définition du programme d'un bâtiment est une des premières étapes d'un projet. Combien de pièces, avec quelles caractéristiques de lumière, de circulations, de vues, de dimensions, de caractère...

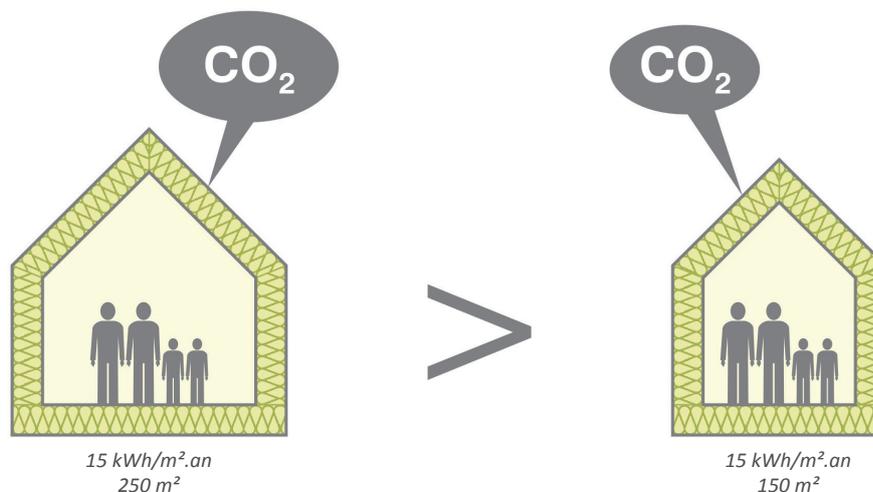
La performance énergétique d'un bâtiment est généralement définie par sa consommation par m² de plancher. Cependant, sa consommation d'énergie dépend de sa taille et c'est la consommation « par habitant » qui permet d'évaluer plus logiquement son impact environnemental réel.

Dans l'élaboration du programme, l'objectif est de créer des espaces bien conçus et flexibles pour pouvoir rencontrer les besoins des occupants tout au long de la durée de vie du bâtiment sans engendrer de gaspillage d'espace.

Une réflexion sur les besoins réels en matière d'espace est l'occasion de mettre en oeuvre des solutions inventives qui peuvent amener créativité et originalité dans le projet.



1. DÉTERMINER LA SURFACE HABITABLE



On estime le besoin de chauffage d'une maison passive de 250 m² à 3 750 kWh/an. Celui d'une maison passive de 150 m² à 2 250 kWh/an. C'est évident, mais la façon la plus simple et la plus économique de réduire la consommation d'une maison, c'est d'en réduire la surface.

Le besoin d'espace est très subjectif. Inclure une volonté d'économie dans la réflexion est un premier pas vers une conception durable.

1.1 Repères européens

Quelques données européennes : surface habitable moyenne par personne (tous types de logements confondus).

- Belgique¹ : 33.7 m² de surface habitable/habitant
- France² : 28.4 m² de surface habitable/habitant

1 La rénovation énergétique et durable des logements wallons, analyse du bâti existant et mise en évidence de typologies de logements prioritaires
2 site internet de l'INSEE: Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques. Le facteur 1.3 a été utilisé pour compenser la différence de définition des surfaces



1.2 Définition des surfaces : quelques pistes

Très pratiquement, garantir un confort optimal dans des surfaces raisonnables nécessite une réflexion dès le début du projet. L'intégration du mobilier et la création de rangements optimisés seront considérées dans l'élaboration du plan. On veillera à utiliser chaque espace et à limiter les surfaces de circulation par une conception intelligente.

Il convient aussi de réévaluer les besoins réels.

- Une deuxième salle de bain est-elle vraiment nécessaire ou un lavabo dans chaque chambre pourrait suffire ?
- Une chambre d'ami ? Un bureau ? Est-ce indispensable ou peut-on imaginer d'autres solutions, comme un canapé-lit ou un lit gigogne dans les chambres d'enfants, un espace bureau dans le séjour ...
- Quelle doit être la taille d'une chambre ? Quelles activités y prendront place ?
- Cuisine et salle à manger, comment sont-elles connectées ? Une seule table est peut-être suffisante.
- Un espace pour les multiples poubelles doit être prévu pour rendre le tri des déchets aisé.
- ...

Cette démarche permet de faire une économie financière en plus de l'économie d'énergie, de matériaux, d'espace. Et si cette économie financière est réinvestie dans des stratégies permettant de limiter l'impact écologique de la maison, le gain environnemental est multiplié.



Photo :
Atelier Meunier Westrade.



2. ESPACE ET FLEXIBILITÉ

Sur la durée de vie d'un bâtiment, les besoins de ses occupants peuvent varier. Il est important que l'adaptation du logement soit possible, dans une certaine mesure.

Par exemple :

- Privilégier un plan libre et des cloisons non structurelles pour faciliter la modification des espaces.
- Aménager une seule salle de bain qui peut être divisée, quand les enfants sont plus grands, en une salle de bains et une salle de douches.
- Quand une isolation acoustique n'est pas nécessaire, séparer les espaces par du mobilier permet de les modifier simplement.
- Prévoir éventuellement la possibilité de créer un espace de nuit au rez-de-chaussée en prévision de la perte de mobilité des occupants avec l'âge.
- Prévoir la possibilité de séparer une partie du logement pour la louer dans le cas d'une diminution du nombre d'occupants.

En pratique, à l'échelle d'un logement unifamilial, une flexibilité réelle est très difficile à concrétiser. L'évolution dans le temps devrait souvent se faire vers une réduction de la surface habitée (parallèlement à la diminution du nombre d'occupants) et ceci est difficilement accepté. Par ailleurs, les travaux d'adaptation seront souvent coûteux et les bénéfiques pour l'occupant faibles. Entre les occupants successifs d'un bien par contre, la flexibilité prend un sens réel.

Il est plus rationnel d'imaginer un changement de logement quand les besoins des occupants changent significativement. Cette approche nécessite un changement profond des mentalités.

Même si une diminution de l'espace de vie au fil du temps n'est pas envisagée, il est essentiel de prévoir la possibilité de réduire l'espace chauffé par l'isolation des cloisons et des planchers.



VOLUMÉTRIE

> Optimiser la volumétrie et limiter l'emprise au sol

Pour une bonne performance énergétique, on cherche à limiter les surfaces de déperditions thermiques. Pour cela, la compacité doit être la plus importante possible.

Les parois qui constituent l'enveloppe doivent assurer de nombreux rôles tels que l'étanchéité à l'eau, à l'air, l'isolation... Elles ont un coût économique et écologique important. En minimiser la surface permet donc de diminuer l'impact des bâtiments sur l'environnement en plus de réduire les surfaces de déperdition.

L'apport de lumière naturelle doit néanmoins être assuré pour l'ensemble des espaces de vie.

Plus largement, l'emprise au sol du bâtiment doit être limitée pour laisser un maximum d'espace perméable et planté. Cette démarche a un impact positif sur la gestion de l'eau de pluie sur la parcelle et la protection de la biodiversité. Si l'impact de cette approche est peu visible à l'échelle d'un petit bâtiment, son intérêt est significatif si on l'applique à l'ensemble des constructions neuves.



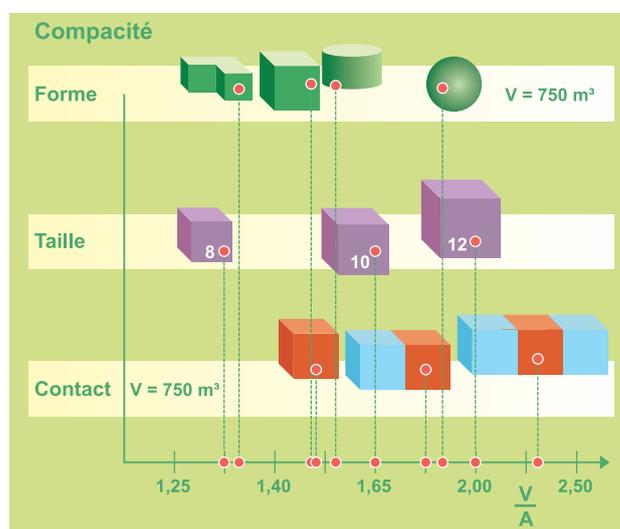
1. COMPACITÉ

La compacité est le rapport entre le volume du bâtiment et la surface de déperdition thermique (ou surface de l'enveloppe).

$$C = V / A$$

La compacité d'un bâtiment dépend de :

- **Sa forme :**
plus la forme est proche de la sphère, plus le rapport entre le volume et la surface de l'enveloppe est intéressant.
- **Sa taille :**
plus le volume est grand, plus sa compacité sera grande.
- **Ses caractéristiques de contact :**
les parois mitoyennes ne sont pas considérées comme des surfaces de déperditions. Un volume accolé à un ou plusieurs autres volumes aura donc une meilleure compacité que le même volume sans mitoyen.



Plus un bâtiment est compact, plus il est facile d'atteindre des performances énergétiques élevées. Pour une même performance, les épaisseurs d'isolant nécessaires sont moins importantes, les vitrages ne sont pas aussi performants, etc. le coût s'en trouve donc réduit.

À l'opposé, pour certains bâtiments isolés, de petite taille et peu compacts, il peut être très difficile d'atteindre le standard passif avec des épaisseurs d'isolant raisonnables.



2. LIMITER L'EMPRISE AU SOL

Minimiser la surface bâtie pour maintenir un maximum de surface perméable et plantée et permettre une bonne gestion de l'eau de pluie et une protection de la biodiversité.

La surface au sol du bâtiment détermine la portion de nature irrémédiablement détruite et transformée en zone construite.

La biodiversité est l'ensemble des êtres vivants, tous en relation, qui peuplent la terre. Les interactions entre les différentes espèces sont innombrables et complexes. Chaque disparition d'une espèce bouleverse l'équilibre en place et met d'autres espèces en danger, dont certaines nous sont très utiles. C'est pour cette raison qu'il est indispensable de s'en soucier.

La pression du bâti sur les espaces naturels est de plus en plus forte, mais chaque espace libre, même en ville, peut jouer un rôle dans la protection de la biodiversité.

Les jardins privés peuvent former un réseau d'espaces où la nature a une place, à condition de respecter quelques principes¹ :

- renoncer aux produits chimiques ;
- laisser de la place pour la spontanéité de la vie sauvage ;
- préférer les espèces indigènes.

L'objectif est de maximiser la surface de jardin, mais aussi de la connecter aux espaces verts voisins. Plutôt que des murs ou grillages, les séparations sont réalisées avec des haies, qui offrent un bon abri et permettent le passage des petits animaux d'un jardin à l'autre. L'association Natagora, par exemple, offre quantité d'informations sur le sujet.



photo: www.flickr.fr



photo: J-L Barraud



photo: www.flickr.fr



photo: www.flickr.fr

Limitier les surfaces imperméables des toitures et zones de stationnement, terrasse, etc. , permet aussi de mieux gérer l'eau de pluie arrivant sur la parcelle.

Dans la nature, l'eau de pluie tombe sur la végétation. Une partie de cette eau atteint le sol et s'y infiltre, l'autre reste sur la surface des feuilles et s'évapore plus tard.

Sur une toiture ou toute autre surface imperméable, l'eau ruisselle et est directement amenée dans le réseau d'évacuation, sans délai, ce qui entraîne une surcharge du réseau d'égouttage et accroît le risque d'inondation. La gestion de l'eau sur la parcelle fait l'objet d'une fiche spécifique (2.7).



photo: www.flickr.fr



photo: www.flickr.fr

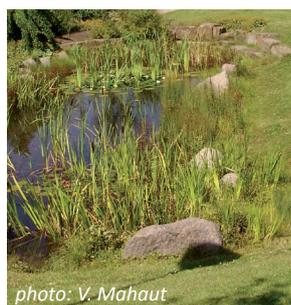


photo: V. Mahaut



photo: www.flickr.fr



ÉVITER LES SURCHAUFFES

> Différentes stratégies pour garantir le confort thermique

La priorité pour améliorer la performance énergétique des logements, c'est la diminution des consommations de chauffage. Les principes pour y arriver (isolation, gains solaires, récupération de chaleur...) sont largement connus et diffusés. Le confort d'hiver est assuré.

L'un des autres enjeux essentiels est le confort d'été. L'enveloppe, devenue performante, garde la chaleur à l'intérieur. Des gains internes ou solaires importants amènent rapidement des températures intérieures trop élevées si aucune stratégie n'est mise en place.

Le pari de la performance énergétique d'une maison n'est gagné que si la consommation de chauffage est faible ET que le confort est assuré en toute saison, sans l'installation d'un système de refroidissement mécanique, consommateur d'énergie. La production de froid est plus énergivore que le chauffage !

Quels sont les risques de surchauffe, comment les limiter, quel est l'impact des différentes stratégies ?



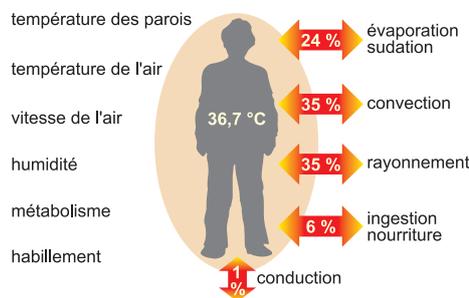
1. LE CONFORT THERMIQUE

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction par rapport à l'environnement thermique.

Le corps humain, entre 36 et 37 °C, produit de la chaleur pour compenser les pertes vers son environnement. L'équilibre de ces échanges détermine la sensation de confort.

6 paramètres physiques influencent le confort thermique :

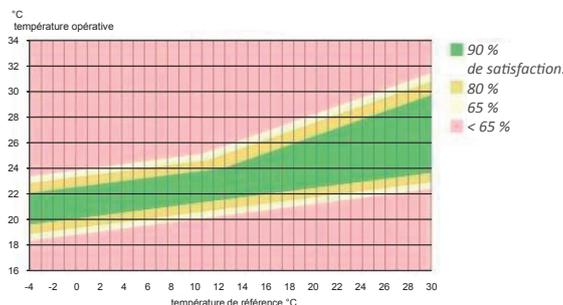
- la température moyenne des parois ;
- la température ambiante de l'air ;
- la vitesse de l'air, qui influence les échanges par convection ;
- l'humidité relative de l'air, fonction de la quantité de vapeur d'eau dans l'air et de sa température ;
- le métabolisme, qui est la production de chaleur du corps humain, et qui dépend de l'activité physique ;
- l'habillement, qui ajoute une résistance thermique entre la peau et l'environnement.



Paramètres physiques du confort thermique.

Le confort n'est pas un phénomène uniquement physique. Pour le définir, il faut ajouter les notions d'adaptation climatique et de capacité d'interaction.

- L'occupant peut adapter son comportement pour maintenir une sensation de confort sans modifier la température (s'habiller plus légèrement, boire une boisson fraîche, ouvrir une fenêtre, descendre une protection solaire, bouger moins...).
- Psychologiquement, l'anticipation d'une surchauffe et la possibilité d'agir sur l'environnement sont des éléments qui amènent une plus grande tolérance par rapport aux conditions thermiques.
- Certaines modifications physiologiques de l'occupant, sur une durée de quelques jours, vont permettre une adaptation aux conditions thermiques.



Le graphe ci-dessus montre 4 classes de confort, définies par un taux de satisfaction, en fonction de la température intérieure opérative (moyenne entre la température de l'air et la température moyenne des parois), et d'une température de référence (moyenne pondérée des températures extérieures des derniers jours).
 Source : ISSO 58.2 (Ndls) - MATRIciel.

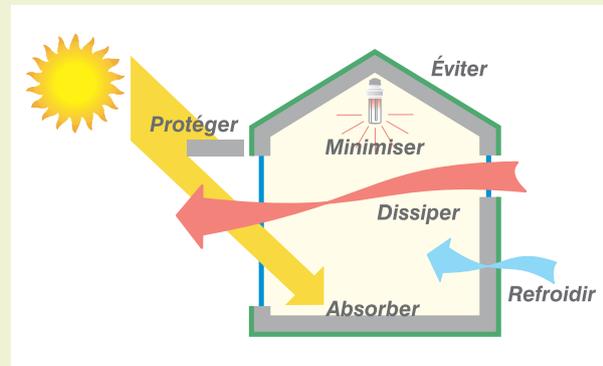
La sensation d'inconfort due à la surchauffe ne dépend pas seulement de la température intérieure. De nombreux facteurs interviennent.



2. LES STRATÉGIES DE LIMITATION DES SURCHAUFFES

Réduire les gains internes et leur impact :

- Concevoir un éclairage artificiel performant et économe en énergie.
- Installer de l'électroménager économe en énergie (classe A+, A++, A+++).
- Éviter les déperditions thermiques des canalisations d'eau chaude.
- Gérer la localisation des sources de gains internes pour éviter l'accumulation de chaleur dans un volume limité et la combinaison avec des gains solaires importants.
- Permettre la répartition de la chaleur dans l'entièreté du volume de la maison (espace ouvert).



Limiter les apports solaires :

- Limiter la surface vitrée (surtout à l'est et à l'ouest).
- Protections solaires efficaces (vitrages performants, stores, auvents, panneaux coulissants, végétation...).

Augmenter l'inertie du bâtiment :

L'inertie thermique permet d'absorber une partie de la chaleur excédentaire la journée et de la libérer la nuit, à condition que l'espace soit ventilé.

Ventiler la journée :

Si la température extérieure est inférieure à la température intérieure, la ventilation diurne permet d'amener de la fraîcheur et crée un déplacement d'air qui diminue la sensation d'inconfort en cas de forte chaleur.

Ventiler la nuit :

Une ventilation nocturne permet de rafraîchir l'air intérieur et d'évacuer la chaleur emmagasinée dans les parois pendant la journée. Les parois massives peuvent alors à nouveau remplir leur rôle de « tampon thermique » le jour suivant.

Amener de l'air rafraîchi, par la mise en oeuvre d'un puits canadien :

Le principe est de profiter de la température du sol, qui reste fraîche en été, pour rafraîchir l'air extérieur en le faisant passer dans un tuyau enterré avant de l'insuffler dans la maison par le système de ventilation mécanique double-flux. Cette solution amène une faible consommation électrique supplémentaire.

Les différentes stratégies sont détaillées dans les fiches spécifiques.

3. ÉVALUATION STATIQUE

L'évaluation des surchauffes par un modèle simple n'est pas très précise. Les calculs PHPP et PEB fournissent néanmoins un indicateur des risques de surchauffe :

Le logiciel PHPP se base sur un calcul statique pour évaluer un « pourcentage du temps où la température moyenne intérieure est supérieure à 25 °C ». Les hypothèses par défaut considèrent des gains internes moyens de 2.1 W/m².

Le calcul PEB utilise une méthode simplifiée pour évaluer la surchauffe par secteur énergétique. L'indicateur de surchauffe est calculé sur base de l'inertie thermique et du rapport entre les apports (solaires et internes) et les pertes (par transmission et ventilation), il est exprimé en Kelvin heure.



4. ÉVALUATION DYNAMIQUE : PRÉLIMINAIRES

Les évaluations proposées au chapitre suivant (5) se basent sur une série de modélisations de maisons passives et basse consommation d'énergie réalisées avec le logiciel TRNSYS¹. Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de détailler plusieurs éléments qui sont déterminants dans l'évaluation des surchauffes :

4.1 La température extérieure considérée

Les simulations sont réalisées sur base de données météorologiques météonorm pour Uccle. Ce fichier est constitué d'une série de données moyennes, heure par heure.

Les critères de confort varient avec la température extérieure. En période de canicule, les critères de confort sont moins stricts. Une température qui reste inférieure à la température extérieure, même si elle est supérieure à 25 °C, est déjà intéressante.

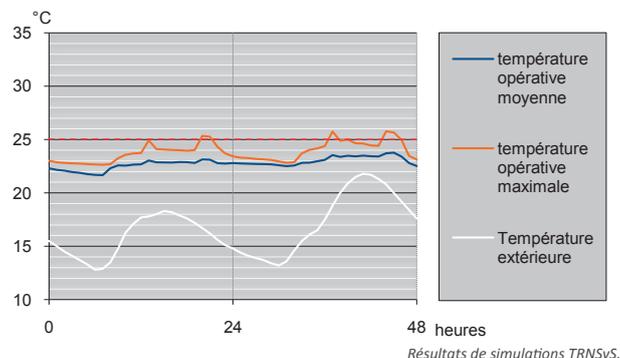
4.2 La température intérieure considérée

La **température opérative** est la moyenne entre la température de l'air et la température moyenne des parois d'un espace. C'est la température ressentie par l'occupant, c'est donc celle considérée dans les analyses.

La répartition des températures dans les différentes pièces d'une maison est difficile à modéliser. Elle dépend de l'ouverture des portes et du comportement des occupants. La **température moyenne** de la maison est plus fiable. La température maximale est aussi présentée, mais à considérer avec toutes les précautions nécessaires.

À cause de la concentration de gains solaires et internes, la température du séjour (température maximale de la maison) est supérieure à la température moyenne de la maison d'un ou deux degrés. *Voir graphe.*

Température opérative dans une maison passive à forte inertie, équipée de protections solaires et d'une ventilation nocturne, pendant une période de 48 h au mois de mai.



4.3 Les hypothèses de gains internes

La cuisson, l'éclairage, la présence d'occupants, l'électroménager... produisent de la chaleur : les gains internes. Les gains internes sont définis par plusieurs éléments :

- **La quantité de chaleur** « parasite » émise, ou la valeur moyenne des gains internes, par mètre carré.

Dans l'évaluation d'un bâtiment, les hypothèses sont prises pour « se placer du côté de la sécurité » et ne pas risquer d'évaluer positivement une situation qui serait problématique dans la réalité. C'est la raison de l'utilisation de valeurs moyennes de gains internes relativement faibles pour l'estimation du besoin de chauffage².

Pour l'évaluation des surchauffes, se placer du côté de la sécurité impose d'utiliser des valeurs de gains internes supérieures. Les simulations considèrent un scénario des gains internes qui correspond à la présence de 5 occupants dans la maison et au fonctionnement de divers appareils³.

La moyenne de ces gains internes est de 4.8 W/m².

Le graphe ci-contre illustre l'impact de la quantité de gains internes.

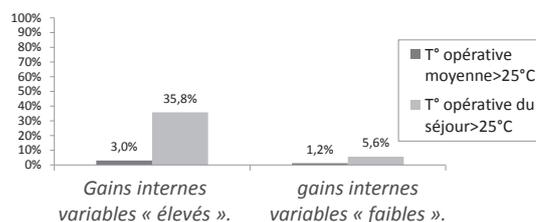
Le premier cas correspond au profil utilisé dans les simulations ultérieures, dont la moyenne est de 4.8 W/m².

Le second cas correspond à un profil de gains internes dont la moyenne est de 2.2 W/m².

On observe le lien évident entre la quantité de gains internes et les surchauffes.

Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est > 25 °C dans une maison passive sans inertie avec des gains internes « élevés » ou « faibles ».

Protection solaire par stores et auvents et ventilation nocturne automatique de 8 V/h.



^{1, 3} Les détails concernant les modélisations sont disponibles dans l'annexe « Simulations dynamiques de maisons basse énergie ou passives »
² Comme repère, il est utile de savoir que le standard passif considère 2.1 W/m² de gains internes.

GUIDE POUR LA CONCEPTION DE MAISONS NEUVES DURABLES

ÉVITER LES SURCHAUFFES



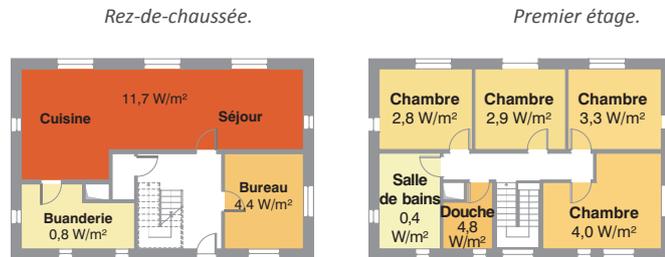
N° de fiche : **2.3**
 Liens :
 2.5, 2.6, 3.3, 3.4

- La répartition des gains internes, dans l'espace et dans le temps

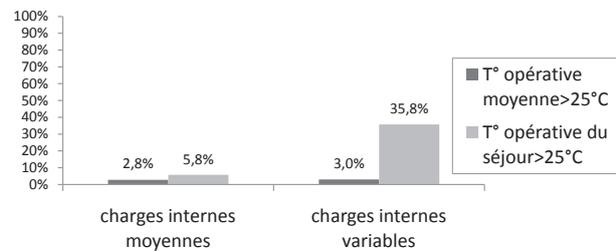
Ces gains internes ne sont pas constants, ni dans le temps, ni dans l'espace. Le scénario utilisé pour les simulations localise les gains internes à l'endroit de leur émission et leur donne un profil horaire plausible¹.

Gains internes moyens équivalents au profil horaire détaillé, pour chacune des zones de la maison considérée dans les simulations TRNSys.

Explication de la moyenne élevée de la zone 1 : présence des occupants, cuisson, frigo et congélateur, électroménager divers, TV, éclairage artificiel.



Pour une même valeur moyenne de gains internes (soit 4.8 W/m²), si les gains sont uniformément répartis dans le temps et dans l'espace, les simulations montrent que le confort peut être assuré. Par contre, si l'on considère les gains internes plus précisément et de manière dynamique, on s'aperçoit qu'ils sont plus faibles la nuit, et que la zone de séjour, qui comprend la cuisine, est une zone dans laquelle les gains internes sont plus importants. Les simulations tenant compte de ce scénario plus précis montrent que même si la température moyenne de la maison répond aux critères de confort en matière de surchauffe, la température du séjour, elle, peut ne pas y répondre du tout.



Résultats de simulations TRNSys.

Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est > 25 °C dans une maison passive sans inertie avec des charges internes moyennes uniformément réparties ou variables.

Protection solaire par stores et auvents et ventilation nocturne automatique de 8 V/h.

La répartition des gains internes, dans le temps et dans l'espace, influence fortement les surchauffes.

Il faut nuancer ces résultats par le fait que les simulations ne tiennent pas compte de l'ouverture des portes intérieures et que donc, la température intérieure réelle sera moins différenciée entre les zones que ce que montrent les simulations.

La plupart du temps, une ventilation diurne pourrait faire baisser la température. Mais cette ventilation, si elle n'est pas finement régulée (donc, d'office, mécanisée), n'est pas optimale. La fenêtre du séjour est ouverte par l'occupant quand il y fait vraiment trop chaud, et refermée quand il y fait trop froid, ce qui génère un inconfort ou peut même enclencher le système de chauffage et provoquer des « consommations parasites ».

Les gains internes doivent être limités au maximum, pour réduire le risque de surchauffe et pour réduire les consommations d'énergie qui y sont liées. Les hypothèses de gains internes telles qu'utilisées dans les simulations sont tout à fait plausibles et dans une maison unifamiliale, le confort doit pouvoir être assuré sans refroidissement mécanique de l'air.



4.4 Les critères d'évaluation

Pour faciliter la lecture des graphes, et permettre les comparaisons, la surchauffe est exprimée en pourcentage du temps d'une année moyenne pendant laquelle la température opérative moyenne de la maison est supérieure à 25 °C.

Ce mode d'évaluation des surchauffes est un peu réducteur, mais permet de comparer les différentes solutions entre elles, ce qui est le but des simulations.

Le standard « maison passive » considère que les surchauffes sont acceptables dans un logement si la température moyenne reste sous le seuil des 25 °C pendant 95 % du temps¹.

C'est au concepteur de décider de la limite qu'il souhaite fixer. Les graphes ci-après renseignent toujours le pourcentage de surchauffe pour la température moyenne dans la maison, et pour la température dans un séjour exposé au sud.

Même si, comme expliqué ci-avant, la différence entre les températures moyennes et celles du séjour est surévaluée par les simulations, les graphes présentés permettent de rester conscient du problème potentiel que posent des espaces cloisonnés et une concentration des gains internes, a fortiori dans un espace où les gains solaires sont importants.

5. ÉVALUATION : ÉTUDE DE CAS

L'évaluation de la surchauffe dans différents cas concrets permet de donner une idée des stratégies à mettre en œuvre. Chaque projet est un cas particulier, mais ce qui suit permet de fixer quelques repères.

La situation étudiée est toujours celle d'une maison particulière de 150 m² utilisables. Différentes hypothèses de mode de construction et d'inertie sont examinées, avec des niveaux de performance basse consommation d'énergie (environ 40 kWh/m².an d'après le logiciel PHPP) et passif² (15kWh/m².an d'après le logiciel PHPP).

Les **hypothèses** non modifiées sont :

- orientation arrière au sud ;
- proportion de vitrage des façades : 20 % de la surface au sol des pièces de vie ;
- 26 % de la façade sud ;
- 15 % de la façade nord ;
- 12 % de la façade ouest ;
- 8 % de la façade est ;
- ventilation de base par un système double flux avec échangeur de chaleur ;
- ventilation intensive « estivale » dans le séjour et le bureau si la température intérieure est supérieure à 22 °C et la température extérieure est supérieure à 18 °C ;
- gains internes suivant un profil quotidien, avec une moyenne de 4.8 W/m² en continu.

Les hypothèses détaillées des différentes stratégies de limitation des surchauffes sont :

Ventilation nocturne (VN)

VN faible : La ventilation nocturne est déclenchée par l'occupant dans les chambres et le hall. Condition à 22 h : T° intérieure > 22 °C et T° extérieure > 15 °C, entre le 1er mai et le 30 septembre. Le débit est de 4 V/h (correspond environ à l'ouverture des fenêtres en position oscillante), l'espace est ventilé entre 22 h et 7 h.

VN élevée : Idem à l'exception du débit, qui est de 8V/h (peut être atteint en cas de stratégie de ventilation globale³).

VN élevée automatique : La ventilation nocturne est déclenchée automatiquement dans toutes les zones, à condition que la température intérieure soit supérieure à 23 °C, entre le 1er mai et le 30 septembre. Le débit est de 8 V/h.

Puits canadien : Le système de ventilation mécanique est équipé d'un puits canadien.

Protection solaire (PS)

PS : Auvents S : Les fenêtres de la façade sud sont équipées d'un auvent de 1m de profondeur, ce qui correspond à la moitié de la hauteur des fenêtres du séjour et d'une des chambres, et à plus pour les fenêtres des autres chambres.

PS : Stores E/O : Les fenêtres des façades est et ouest sont équipées de stores mécaniques de type « screens », d'un facteur solaire g de 0.13, d'un facteur d'ombrage de 95 %. Ces stores sont descendus automatiquement si la T° intérieure est supérieure à 21 °C et le rayonnement incident est supérieur à 504 kJ/h.m², entre le 1er avril et le 30 septembre.

PS : Stores E/S/O : idem pour les orientations est, sud et ouest.

¹ Anciennement, 90 %

² Les détails concernant les modélisations sont disponibles dans l'annexe « Simulations dynamiques de maisons basse énergie ou passives », les U des parois sont aussi disponibles dans la fiche 3.1 (isolation).

³ Se référer à la fiche sur la ventilation intensive naturelle pour plus d'information.

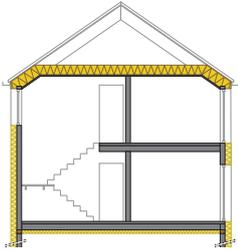
GUIDE POUR LA CONCEPTION DE MAISONS NEUVES DURABLES

ÉVITER LES SURCHAUFFES



N° de fiche : **2.3**
 Liens :
 2.5, 2.6, 3.3, 3.4

5.1 Maison basse énergie, massive « lourde »



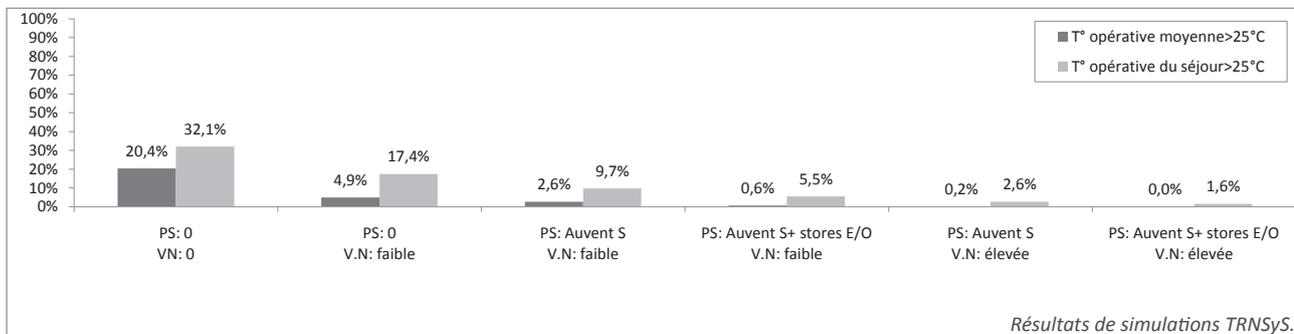
- Bloc silico-calcaire
- Isolant fibre de bois
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

Le cas présenté ici est celui d'une construction en maçonnerie avec isolation par l'extérieur. Les techniques et les matériaux ont été choisis pour apporter un maximum d'inertie.

Une inertie importante permet d'absorber la chaleur excédentaire et d'avoir un profil de température assez stable.

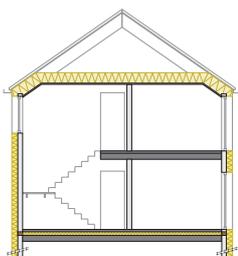
On peut voir que déjà, avec un ombrage uniquement par des auvents au dessus des baies sud (largeur de l'auvent = 1/2 hauteur du vitrage) et une ventilation nocturne manuelle qui correspond à l'ouverture des fenêtres en position oscillante, les surchauffes sont assez efficacement limitées.

Une stratégie plus complète, avec, soit une ventilation nocturne automatisée et plus importante, soit un ombrage par stores automatisés des baies est et ouest permet de réduire encore les surchauffes.



Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

5.2 Maison basse énergie, massive « légère »



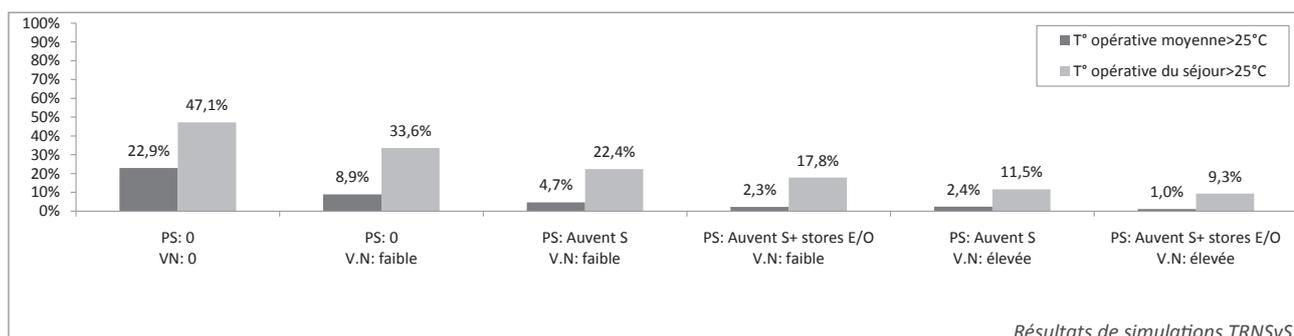
- Bloc béton cellulaire
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaleur

Le cas présenté ici est celui d'une construction en maçonnerie de béton cellulaire avec isolation par l'extérieur. L'inertie du bâtiment est faible.

La situation avec une protection solaire des baies au sud et une ventilation nocturne faible n'offre pas des résultats très convaincants.

Une stratégie plus complète, avec, soit une ventilation nocturne automatisée et plus importante, soit une protection solaire par stores automatisés des baies est et ouest sera nécessaire.

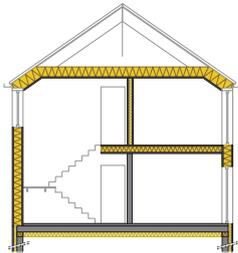
Il est même conseillé ici de combiner ces deux dernières stratégies pour assurer le confort.



Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.



5.3 Maison basse énergie, ossature bois « lourde »



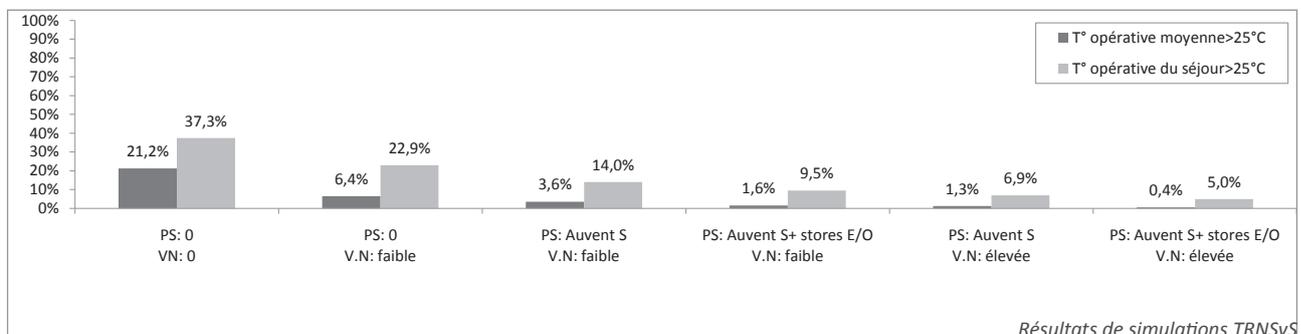
- Ossature bois
- Isolant fibre de bois
- Plancher bois
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

Contrairement aux maisons massives de la construction traditionnelle, la structure des maisons à ossature bois est légère et n'amène que peu d'inertie.

Le cas présenté ici compense partiellement ce désavantage de départ par le choix de matériaux à forte inertie pour l'isolation, pour le parachèvement, pour la dalle de sol... C'est « la plus forte inertie » qu'on peut atteindre avec une ossature bois sans plancher de l'étage en béton.

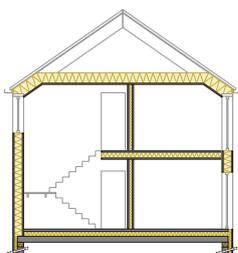
Une stratégie avec, soit une ventilation nocturne automatisée élevée, soit une protection solaire par auvents au sud et par stores automatisés des baies est et ouest permet de réduire efficacement les surchauffes.

La combinaison des deux donne des résultats encore plus performants.



Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

5.4 Maison basse énergie, ossature bois « légère »



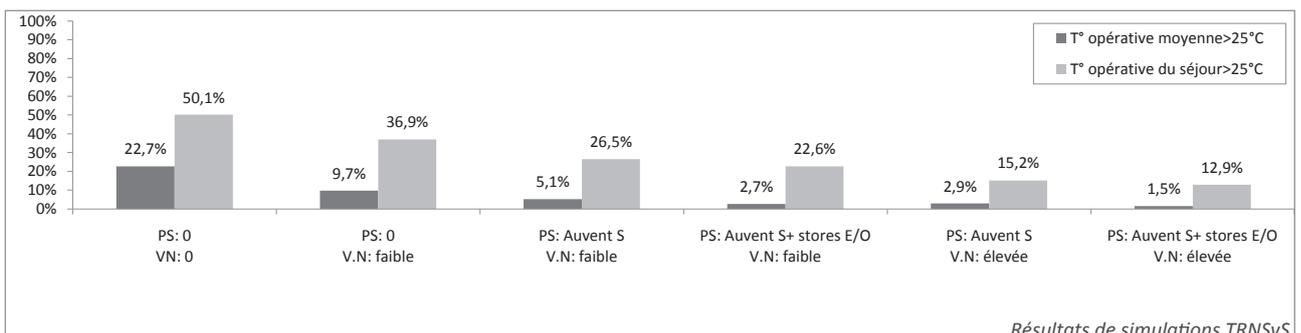
- Ossature bois
- Isolant laine minérale
- Plancher bois
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaleur

Le cas présenté ici est une maison à ossature bois dans laquelle rien n'a été fait pour ajouter de l'inertie. Cloisons intérieures légères, isolant léger, parachèvements classiques, chape sur isolant...

En comparaison avec le cas précédent, on voit facilement qu'il faudra mettre en oeuvre une stratégie de lutte contre les surchauffes plus complète pour obtenir un confort satisfaisant.

La combinaison d'une ventilation nocturne intensive et automatisée et de protections solaires performantes donne les meilleurs résultats.

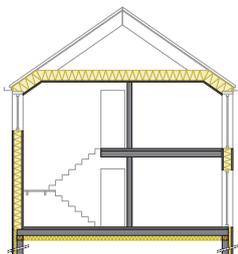
On pourrait encore améliorer le confort en ajoutant un puits canadien ou des stores au sud.



Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.



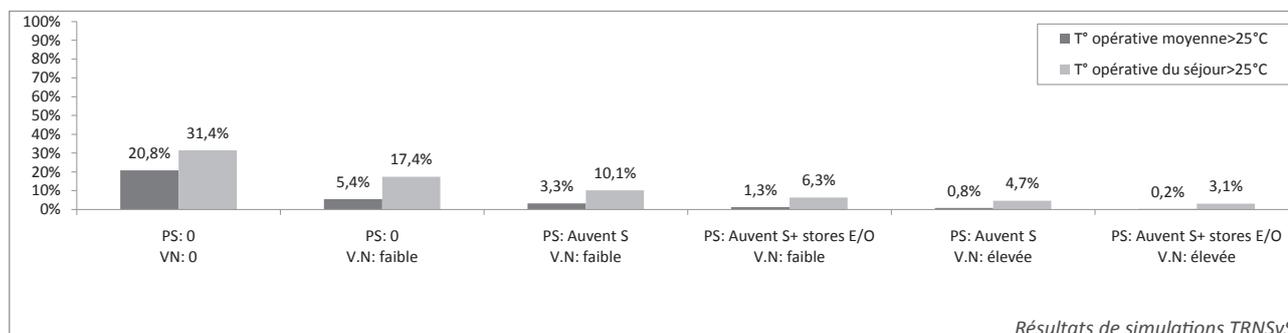
5.5 Maison basse énergie, mixte (façade ossature bois et intérieur massif)



- Façades ossature bois
- Cloisons lourdes
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

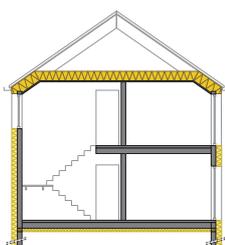
Le cas présenté ici est une solution hybride. L'intérieur est maçonné, lourd, tandis que les parois de l'enveloppe sont en ossature bois. Cette solution permet de combiner les avantages de l'ossature bois en matière de performance d'isolation dans des épaisseurs raisonnables et de l'inertie de la construction traditionnelle pour les parois et dalles intérieures. La stabilité d'un bâtiment de ce type est bien sûr à considérer.

En matière de confort, l'inertie est très clairement un avantage et on observe sur le graphe ci-dessous qu'une stratégie de protection solaire performante ou de ventilation nocturne performante permet de limiter efficacement les surchauffes. La combinaison des deux donne évidemment des résultats encore meilleurs.



Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

5.6 Maison passive, massive « lourde »

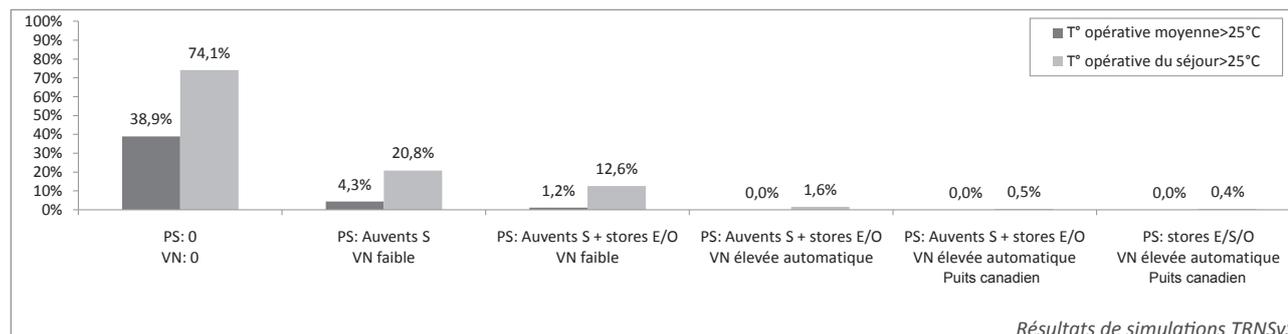


- Bloc silico-calcaire
- Isolant fibre de bois
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

Le cas présenté ici est celui d'une construction en maçonnerie avec isolation par l'extérieur. Les techniques et les matériaux ont été choisis pour apporter un maximum d'inertie.

Une protection solaire par auvents au Sud et par stores à l'Est et à l'Ouest, couplée à une ventilation nocturne élevée et mécanisée supprime tout risque de surchauffe. Avec une bonne gestion des gains internes, on pourrait même sans doute se satisfaire d'une ventilation nocturne non automatisée.

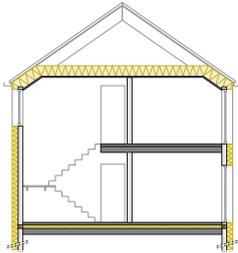
Le graphe ci-dessous comparé aux graphes suivants qui représentent les autres cas d'inertie, montre bien l'avantage important qu'amène l'inertie dans la lutte contre les surchauffes.



Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

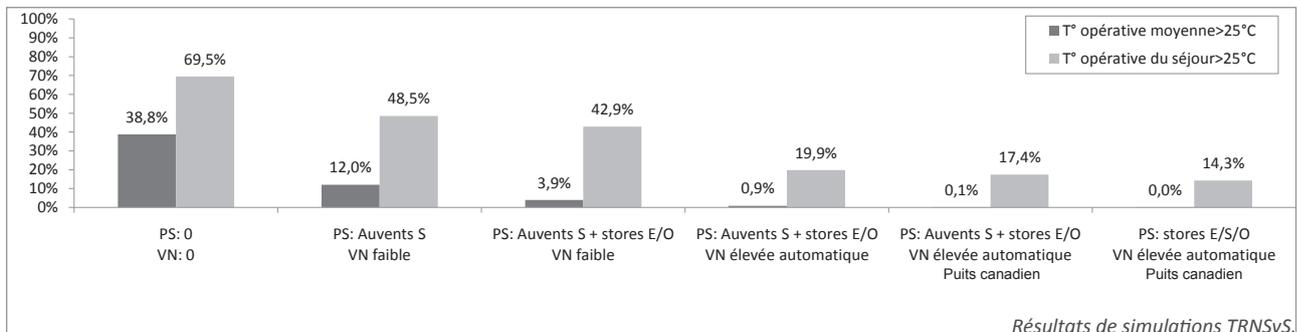


5.7 Maison passive, massive « légère »



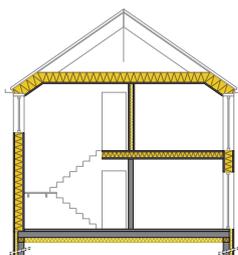
- Bloc béton cellulaire
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaleur

Le cas présenté ici est celui d'une construction en maçonnerie de béton cellulaire avec isolation par l'extérieur. L'inertie du bâtiment est faible. L'absence d'inertie dans le séjour provoque un inconfort qu'aucune stratégie ne permet de supprimer. Il est donc essentiel, dans le cas de construction avec une faible inertie, de limiter l'impact négatif des gains internes (efficacité des appareils et des éclairages, volume ouvert, pas de concentration des sources de chaleur...). Une bonne protection solaire et une ventilation nocturne efficace permettront néanmoins d'atteindre des critères de confort acceptables en ce qui concerne la température moyenne de la maison.



Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

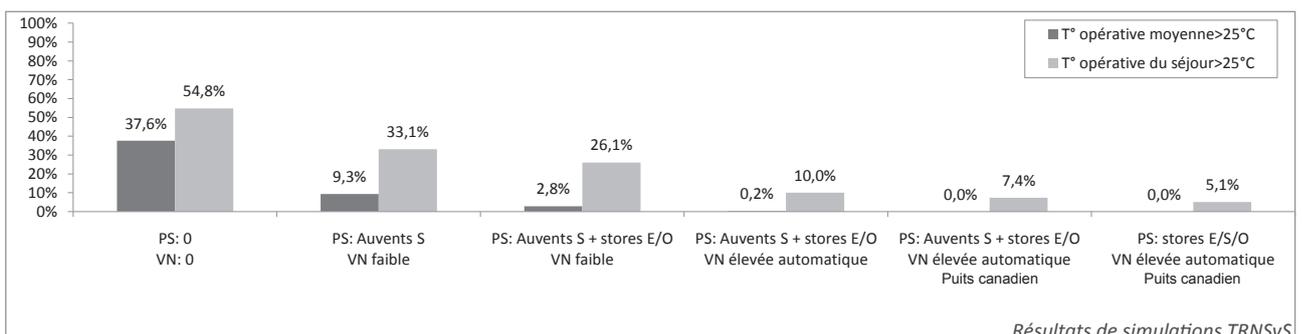
5.8 Maison passive, ossature bois « lourde »



- Ossature bois
- Isolant fibre de bois
- Plancher bois
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

Contrairement aux maisons massives de la construction traditionnelle, la structure des maisons à ossature bois est légère et n'amène que peu d'inertie. Le cas présenté ici compense partiellement ce désavantage de départ par le choix de matériaux à forte inertie pour l'isolation, pour le parachèvement, pour la dalle de sol, ... C'est « la plus forte inertie » qu'on peut atteindre avec une ossature bois sans plancher de l'étage en béton.

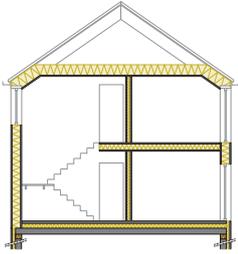
La situation est légèrement plus favorable que dans le cas étudié ci-dessous, mais la tendance reste la même : sans inertie, le séjour n'a pas la capacité d'absorber la chaleur excédentaire, ce qui génère un inconfort. D'où, à nouveau, la nécessité de limiter au maximum l'impact négatif des gains internes.



Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.



5.9 Maison passive, ossature bois « légère »

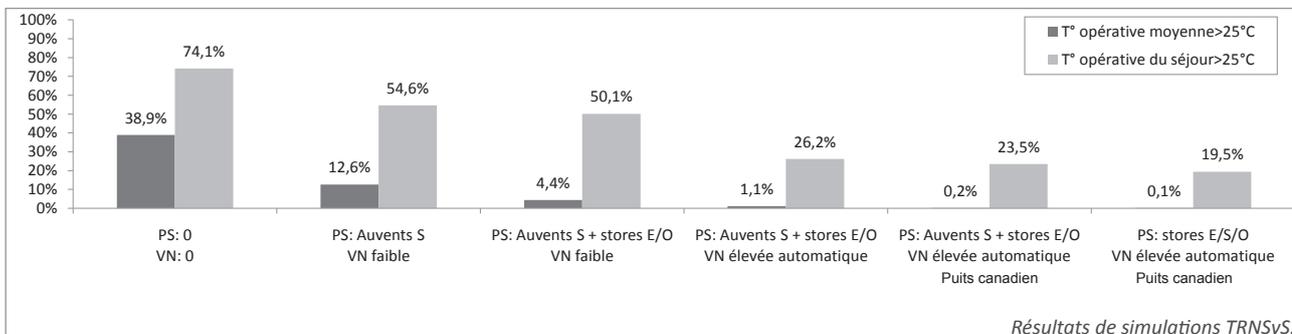


- Ossature bois
- Isolant laine minérale
- Plancher bois
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaleur

Le cas présenté ici est une maison à ossature bois dans laquelle rien n'a été fait pour ajouter de l'inertie. Cloisons intérieures légères, isolant léger, parachèvements classiques, chape sur isolant...

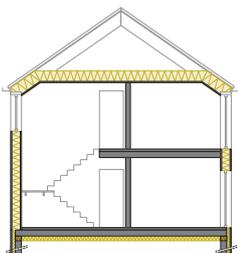
Ce cas est proche des deux précédents, mais c'est le plus défavorable. À cause de la très faible inertie du bâtiment, aucune stratégie ne permet d'atteindre des critères de confort dans le séjour.

Il est donc préférable d'éviter ce type de construction. Si elle est tout de même choisie, les gains internes devront être gérés pour que leur impact négatif soit réduit au minimum (appareils efficaces, localisation pertinente, volume ouvert).



Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

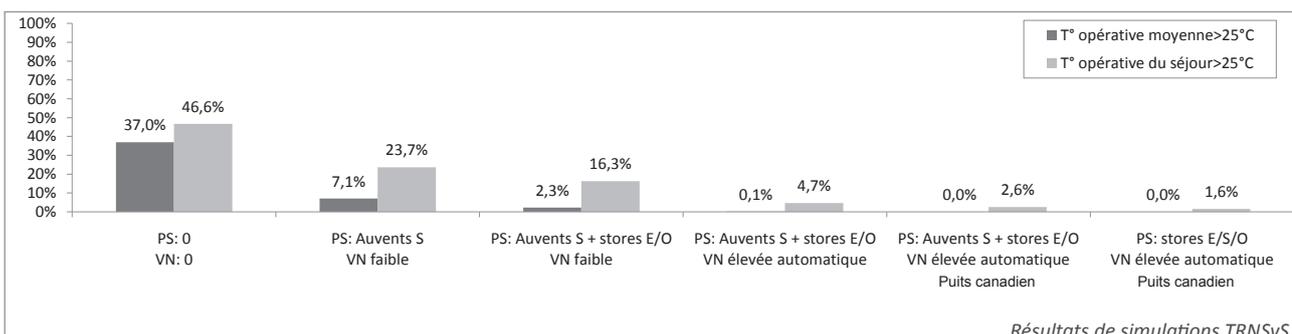
5.10 Maison passive, mixte (façade ossature bois et intérieur massif)



- Façades ossature bois
- Cloisons lourdes
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

Le cas présenté ici est une solution hybride. L'intérieur est maçonné, lourd, tandis que les parois de l'enveloppe sont en ossature bois. Cette solution permet de combiner les avantages de l'ossature bois en matière de performance d'isolation dans des épaisseurs raisonnables et de l'inertie de la construction traditionnelle pour les parois et dalles intérieures. La stabilité d'un bâtiment de ce type est bien sûr à considérer.

Une protection solaire par auvents au sud et par store à l'est et à l'ouest, couplée à une ventilation nocturne élevée et mécanisée limite fortement le risque de surchauffe. Avec une bonne gestion des gains internes, on pourrait même sans doute se satisfaire d'une ventilation nocturne non automatisée.



Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.



6. CONCLUSIONS

Dans tous les cas, la surchauffe est un risque réel et la conception d'une maison basse énergie ou passive nécessite une réflexion sur le sujet pour assurer un confort optimal à l'occupant

Dans le cas du passif, une protection solaire par des stores automatisés est fortement conseillée pour les baies est et ouest. Le seul moyen de l'éviter serait de minimiser très fortement les ouvertures vers ces orientations (en particulier l'ouest) ou d'utiliser de la végétation pour ombrer les baies.

Les baies au sud devront impérativement être munies de protections solaires. Un auvent est moins efficace qu'un store extérieur mobile mais il permet de garder une visibilité totale et n'implique aucune mécanisation, aucune consommation d'électricité, ce qui est un avantage important. La conception des auvents doit être étudiée pour éviter de provoquer des ponts thermiques.

La ventilation nocturne intensive automatisée est performante, surtout quand elle est couplée à une forte inertie. Elle est cependant plus difficile à mettre en œuvre et elle doit être prise en compte dès le début du projet.



ÉCLAIRAGE NATUREL

> Façades : La conception des ouvertures pour un confort visuel optimal

Le soleil fournit une énergie inépuisable : la lumière. Elle est gratuite, non polluante et de la meilleure qualité. Une conception soucieuse des économies d'énergie et du bien-être des occupants cherchera donc à valoriser au mieux cette source lumineuse.

L'enjeu de la conception des ouvertures d'un bâtiment est multiple. Il s'agit de trouver le meilleur équilibre entre l'apport de lumière, les déperditions thermiques des fenêtres, les vues, les risques de surchauffes dues à des gains solaires excessifs, le besoin d'intimité, la circulation des occupants, les possibilités de ventilation, ainsi que la composition des façades et des espaces.

La lumière façonne les espaces, définit les volumes. Depuis toujours, l'architecte joue avec elle pour créer des lieux de qualité.



1. LE CONFORT VISUEL

Le confort visuel est un élément subjectif lié à l'ambiance lumineuse. Dans un environnement confortable, l'occupant voit les objets distinctement et sans fatigue, avec un bon rendu des couleurs. Le confort dépend de paramètres physiques, de caractéristiques liées à l'environnement et à l'activité de l'occupant ainsi que de facteurs psychologiques et physiologiques qui lui sont propres.

Le projet architectural peut tenir compte des paramètres du confort visuel tels que :

- l'apport de lumière naturelle ;
- le niveau d'éclairage de la tâche ;
- un rendu des couleurs correct ;
- une bonne répartition de la lumière dans l'espace ;
- l'absence d'ombres gênantes ;
- une vue vers l'extérieur ;
- une teinte de lumière agréable ;
- l'absence d'éblouissement ;
- la mise en valeur du relief et du modelé des objets.

En plus d'être « gratuite », la lumière naturelle est celle qui amène le plus de confort à l'occupant. La conception favorise donc l'éclairage naturel des espaces, la lumière artificielle étant prévue pour le compléter en cas d'insuffisance et lorsque le soleil est couché.





2. CONCEPTION

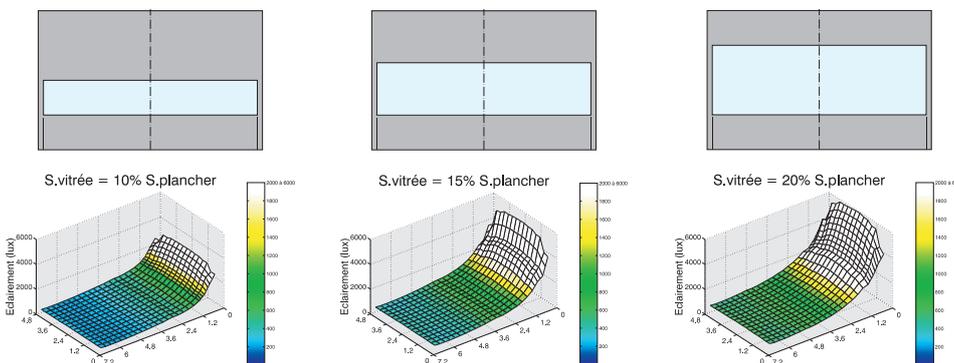
Les ouvertures vitrées d'un bâtiment ont des implications multiples et les objectifs sont parfois contradictoires.

surface vitrée importante	surface vitrée limitée
<ul style="list-style-type: none"> maximiser la quantité de lumière naturelle entrante. 	<ul style="list-style-type: none"> limitation des déperditions thermiques ; contrôle des gains solaires pour éviter les surchauffes ; préservation de l'intimité de l'espace privé ; limitation du coût (prix élevé des châssis et vitrages).
surface vitrée plutôt située en hauteur	châssis vitrés jusqu'au sol
<ul style="list-style-type: none"> la présence d'une allège vitrée n'a que très peu d'intérêt en terme d'amélioration de l'éclairage naturel. 	<ul style="list-style-type: none"> contact privilégié, continuité visuelle avec l'extérieur ; circulation des occupants (portes vitrées).
surface vitrée de forme plutôt horizontale	fenêtre plutôt de grande hauteur
<ul style="list-style-type: none"> meilleure répartition de la lumière naturelle dans l'espace. 	<ul style="list-style-type: none"> la ventilation naturelle intensive par tirage thermique est d'autant plus efficace que l'ouverture est haute.
faible largeur des menuiseries (privilégier les châssis fixes)	châssis avec ouvrants
<ul style="list-style-type: none"> maximiser la quantité de lumière naturelle entrante. 	<ul style="list-style-type: none"> permet la ventilation ; permet la circulation ; permet l'entretien facile des fenêtres à l'étage.
espaces peu profonds, avec une grande surface de façade	bâtiment compact, limitation des surfaces de déperdition
<ul style="list-style-type: none"> possibilité de grandes surfaces vitrées. 	<ul style="list-style-type: none"> limitation des déperditions thermiques à travers les parois.

2.1 Surfaces vitrées

La surface de vitrage nécessaire pour assurer l'éclairage naturel performant d'un local dépend de l'environnement, de l'orientation, de la position et de la forme des fenêtres et du local, des caractéristiques du vitrage, des protections solaires éventuelles, de la disposition des meubles, de la couleur des parois, du jour, de l'heure et des caractéristiques météorologiques du moment, ainsi que de l'usage du local et de la sensibilité de ses occupants...

Les recommandations varient. Le RRU bruxellois impose une surface nette de vitrage supérieure à 20% de la surface au sol, ce qui paraît excessif pour certains locaux. En Wallonie, le critère de salubrité est atteint si la surface nette de vitrage est supérieure à 7% de la surface au sol du local (> 6% en cas de fenêtre de toiture). Ce qui est faible.



L'éclairage au fond du local varie entre 200 lx et 600 lx en fonction de la surface éclairante. L'éclairage est triplé quand la surface de vitrage est doublée.

Les graphes ci-contre sont repris de l'ouvrage « L'éclairage naturel des bâtiments » de S. Reiter et A. De Herde.

Les simulations ont été réalisées pour une orientation sud, le 15 juin, à 13 h, par ciel clair.

Valeurs repères pour un éclairage naturel suffisant :

le rapport conseillé entre la surface vitrée et la surface au sol du local est de

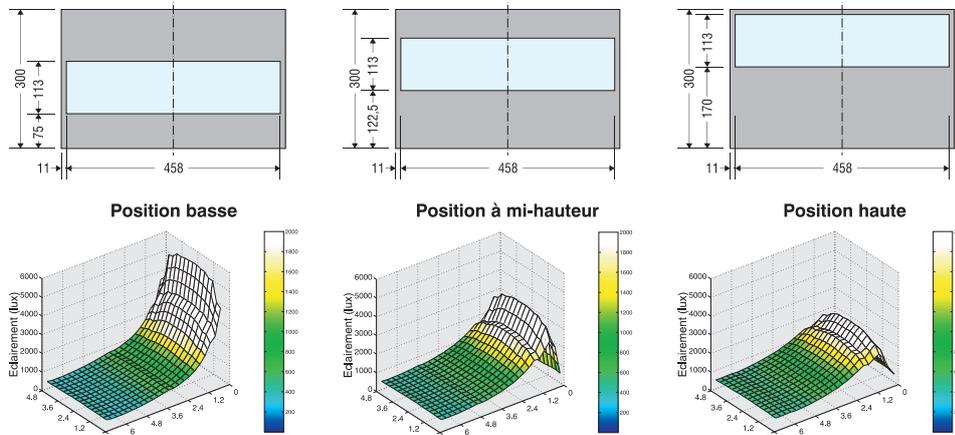
- 12 à 20 % pour les orientations nord, est et ouest ;
- 15 à 20 % pour l'orientation sud.

le rapport conseillé entre la surface vitrée située au dessus d'1m par rapport au niveau du sol et la surface au sol du local est

- >10 %, pour toutes les orientations.



2.2 Hauteur du linteau de la fenêtre



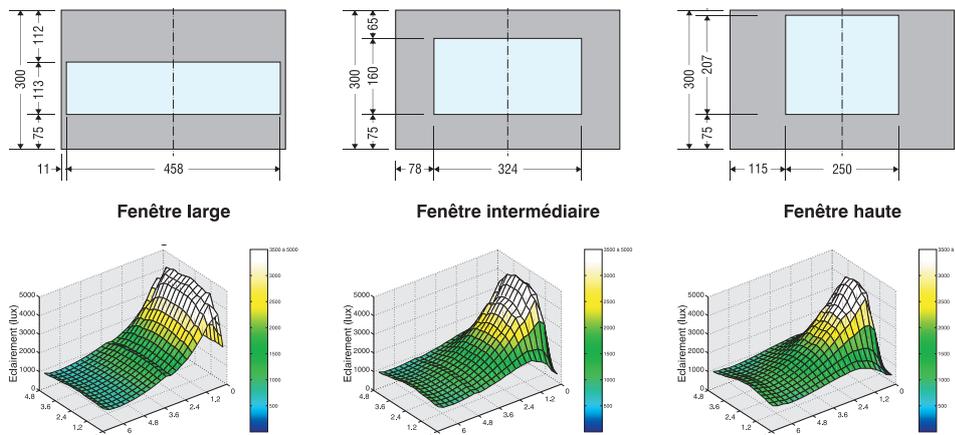
L'éclairage au fond du local est de 350 lx pour la fenêtre basse, de 450 lx pour la fenêtre à mi-hauteur et de 500 lx pour la fenêtre haute.

Les graphes ci-contre sont repris de l'ouvrage « L'éclairage naturel des bâtiments » de S. Reiter et A. De Herde.

Les simulations ont été réalisées pour une orientation sud, le 15 juin, à 13 h, par ciel clair.

Plus la fenêtre est positionnée en hauteur, plus la lumière naturelle pénètre profondément dans le local. En première approximation, on peut considérer qu'une pièce est bien éclairée jusqu'à une profondeur de 2 à 2.5 fois la hauteur du linteau de la fenêtre par rapport au plancher.

2.3 Forme de la fenêtre

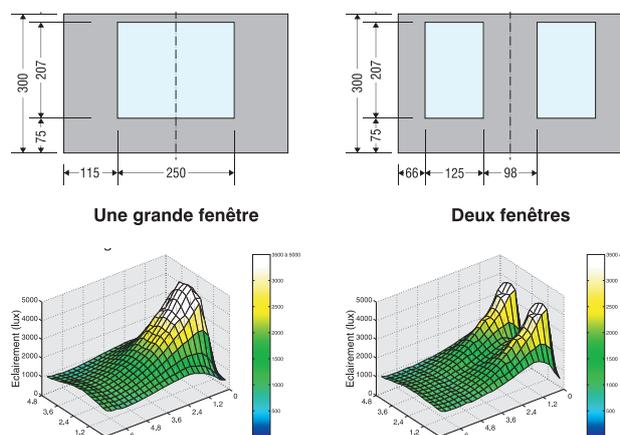


L'éclairage moyen varie peu, mais la répartition de la lumière change. Plus la fenêtre est haute, meilleure est la pénétration de la lumière, mais plus la fenêtre est large, plus la répartition est homogène.

Les graphes ci-contre sont repris de l'ouvrage « L'éclairage naturel des bâtiments » de S. Reiter et A. De Herde.

Les simulations ont été réalisées pour une orientation sud, le 15 décembre, à 13 h, par ciel clair.

Plus la fenêtre est large, meilleure est la répartition de la lumière dans l'espace.



L'éclairage moyen varie peu, mais la répartition de la lumière dans la zone proche des fenêtres est différente. La division en deux fenêtres provoque une zone d'ombre centrale.

Les graphes ci-contre sont repris de l'ouvrage « L'éclairage naturel des bâtiments » de S. Reiter et A. De Herde.

Les simulations ont été réalisées pour une orientation sud, le 15 décembre, à 13 h, par ciel clair.

Pour une surface éclairante égale, la division en deux fenêtres génère une zone d'ombre centrale. La lumière sera plus uniformément répartie avec une fenêtre unique.



2.4 Caractéristiques de la surface vitrée

L'éclairage naturel à travers une paroi vitrée dépend du type de vitrage (épaisseur, type de verre...) et de sa propreté.

L'objectif est toujours de maximiser le facteur de transmission lumineuse (t_l) tout en conservant un faible coefficient de conduction thermique (U_g).

2.5 La répartition des ouvertures

L'éclairage naturel peut être :

- Unilatéral, lorsque le local n'a d'ouvertures que sur une de ses parois (verticale ou zénithale) ;
- Bilatéral lorsque le local a des ouvertures sur deux de ses parois. Soulignons ici que la combinaison d'un éclairage zénithal et d'un éclairage vertical donne un très bon éclairage naturel général et une bonne mise en relief des objets. Cependant, l'éclairage zénithal a le désavantage d'amener des gains internes très importants, de provoquer des nuisances acoustiques en cas de pluie et d'être parfois difficile à entretenir ;
- Multilatéral lorsque le local a des ouvertures sur 3 parois au minimum. L'éclairage est alors particulièrement uniforme et la pénétration dans l'espace importante.

Favoriser l'éclairage bilatéral pour créer un éclairage naturel de qualité. Par rapport à l'éclairage unilatéral, il permet une meilleure pénétration et une meilleure répartition de la lumière. Il réduit les effets de contre-jour et les contrastes excessifs.

2.6 Caractéristiques du local

Le facteur de réflexion des parois du local a un impact important sur le taux d'éclairage naturel. Plus le facteur de réflexion est grand (parois très claires), meilleur sera le niveau d'éclairage.

Les coefficients de réflexion des murs, planchers et meubles proches de la fenêtre ont plus d'impact que les coefficients de réflexion du plafond et des murs plus éloignés.

Des peintures foncées sont donc moins pénalisantes pour l'éclairage naturel si elles sont appliquées sur des parois éloignées des fenêtres que sur les parois proches.

2.7 Facteurs supplémentaires

La quantité de lumière naturelle dans un local est fortement influencée par la présence d'obstacles éventuels.

L'architecte peut intervenir à certains niveaux :

- réduire les surfaces de châssis (châssis fixes, sans divisions...)
- éviter toute obstruction par des tentures, store... (laisser au minimum 30cm de mur de chaque côté de la baie)
- préférer des protections solaires mobiles et même réglables pour éviter la réduction de l'éclairage naturel en dehors des périodes de risque de surchauffe ;
- tenir compte des ombres portées par l'environnement bâti et végétal pour la conception des fenêtres ;
- organiser l'espace intérieur par rapport aux ouvertures.

Et seul l'occupant peut intervenir à d'autres :

- éviter l'obstruction par des objets, plantes vertes... placés devant les fenêtres ;
- nettoyer régulièrement les vitres.

Sources :

- A. DE HERDE et S. REITER, *L'éclairage naturel des bâtiments*, Ministère de la Région wallonne, 2001.
- MATRICIEL, Projet RELOSO, *Méthodologie de renouveau des logements sociaux*, 2009.

Éclairage naturel en fonction du type de châssis.



100%
Sans fenêtre.



80%
Châssis fixe.



55%
Double ouvrant.



45%
Croisillons.





PROTECTION SOLAIRE

> Façades : limiter les gains solaires pour assurer le confort thermique

Les gains solaires sont un atout pendant la période de chauffe, mais dans des maisons très bien isolées, la chaleur du rayonnement solaire qui franchit le vitrage et pénètre à l'intérieur y est conservée longtemps, ce qui peut amener des problèmes de surchauffe.

Il est donc essentiel de pouvoir protéger les vitrages du rayonnement solaire. Le type de protection solaire dépend de l'orientation de la surface vitrée à protéger ainsi que des autres stratégies de lutte contre les surchauffes déjà mises en place. Un auvent est toujours moins efficace qu'un store mobile, mais il peut être satisfaisant au Sud tandis que les orientations est et ouest nécessitent des protections verticales de type store, ou coulissants.

Une stratégie de protection solaire, pensée dès le début du projet, peut être source d'inspiration. Auvents, volumes en saillies, dessin des ouvertures, sont autant d'occasions de développer une architecture de qualité tandis qu'à l'inverse, une protection solaire ajoutée en fin de conception peut ruiner l'esthétique d'une façade...



1. INDICATEURS UTILES

- Le facteur solaire (g) est le rapport entre l'énergie solaire entrant dans le bâtiment et l'énergie solaire reçue à la surface extérieure. On peut considérer le facteur solaire d'un vitrage seul, de la protection solaire seule ou de l'ensemble constitué du vitrage et de la protection solaire. A l'exception des stores de type « screen », la valeur g d'une protection solaire dépend de l'orientation, du jour et de l'heure, elle n'est donc pas constante. La valeur g de l'ensemble « protection + vitrage » doit prendre en compte l'effet négatif éventuel d'une zone de concentration de chaleur entre la protection solaire et le vitrage.
- Le facteur d'ombrage est défini comme le pourcentage de surface opaque d'une protection solaire, ce qui est exactement l'inverse du « pourcentage d'ouverture » (OF) mentionné dans la description de certains stores. Ces appellations sont un peu obsolètes, mais toujours utilisées.
- La transmission lumineuse t_l est le pourcentage de lumière du jour traversant la fenêtre. On cherche toujours les solutions qui permettent une transmission lumineuse maximale pour assurer l'éclairage naturel des espaces intérieurs.



Photo : S. Rouche



Photo : S. Rouche



Photo : S. Reiter



Photo : S. Reiter



2. LE CONTEXTE

2.1 La surface et l'orientation des fenêtres

Le dimensionnement et le positionnement des fenêtres sont faits en tenant compte des nombreuses fonctions de la fenêtre, ce qui nécessite des choix et des compromis.

- **Éclairage naturel** : 20 % de la surface au sol est une valeur indicative, plus la fenêtre est en hauteur, plus la lumière pénètre profondément dans l'espace. Les allèges vitrées n'amènent que peu de plus-value en matière d'éclairage naturel.
- **Ventilation naturelle intensive** : si la ventilation est unilatérale, la hauteur la plus grande permettra le débit le plus important. Si la ventilation est transversale, ce qui est préférable, les fenêtres larges sont optimales.
- **Protection solaire** : la protection de baies au Sud (de Sud-Est à Sud-Ouest) peut se faire par un auvent, la protection des fenêtres à l'est et à l'ouest doit se faire par des écrans verticaux. On minimise donc la surface de fenêtre pour ces deux orientations.
- **Déperdition thermique** : malgré les améliorations importantes, les fenêtres sont toujours nettement moins isolantes que les parois opaques. Une surface trop importante augmente donc le besoin de chauffage. Les déperditions peuvent éventuellement être compensées par les gains solaires en saison froide, surtout au Sud, et surtout dans le cas de triple vitrage très isolant.
- **Composition** : les fenêtres sont aussi un élément architectural participant à la composition d'un ensemble et plus particulièrement des façades.
- **Vues** : le contact avec l'extérieur et la valorisation de vues intéressantes sont des éléments à prendre en compte.

Les vitrages en pente ou horizontaux, du fait qu'ils sont plus perpendiculaires au rayonnement solaire, amènent énormément de gains solaires en été. S'ils sont nécessaires pour leur apport d'éclairage naturel, ils sont positionnés de préférence sur le versant nord et, sinon, ils sont impérativement équipés de protections solaires efficaces (store).

Les vitrages exposés au Nord sont les moins critiques au niveau des surchauffes mais sont néanmoins responsables de gains solaires non négligeables en été. On peut les équiper d'écrans verticaux ou de retours latéraux. Les autres orientations sont prioritaires et l'ombrage des baies nord n'a pas été considéré dans les simulations.

2.2 Les caractéristiques du bâtiment

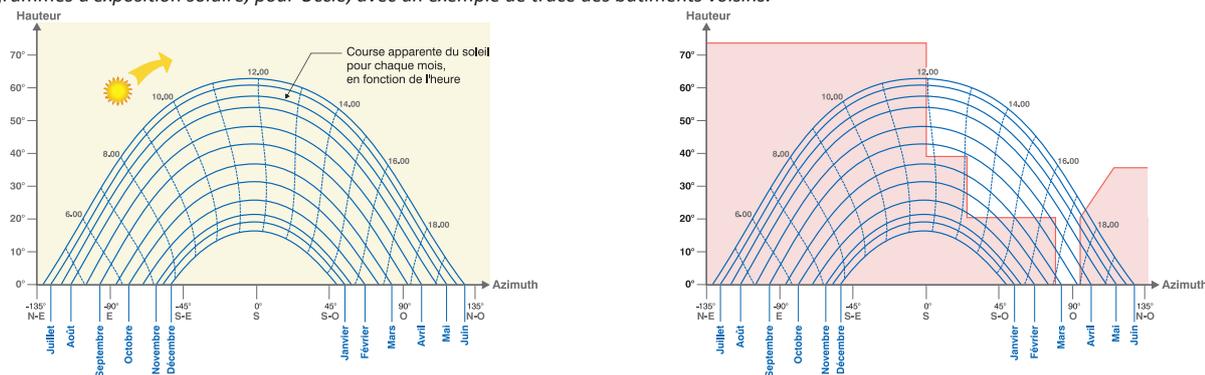
Chaque projet est un cas particulier. Le niveau de protection solaire nécessaire pour assurer le confort des occupants dépend des caractéristiques du bâtiment en termes d'inertie, de ventilation, de niveau d'isolation, de gains internes, de volumétrie, de taille, de disposition et d'orientation des fenêtres¹.

Les gains solaires sont déterminés par la localisation du bâtiment, mais aussi par les ombres portées par son environnement, végétal et construit. Si une fenêtre est à l'ombre de son environnement, il est inutile de la munir d'une protection solaire.

Pour évaluer la situation, il faut dessiner les ombres portées sur le diagramme d'exposition solaire, pour chaque fenêtre. Les hauteurs sont exprimées en degré. La végétation peut alors être prise en compte, et le diagramme permet d'identifier les moments et les orientations du rayonnement solaire.

Plus d'information dans Energie plus > les techniques > la façade > théorie > ensoleillement².

Diagrammes d'exposition solaire, pour Uccle, avec un exemple de tracé des bâtiments voisins.





3. LES DIFFÉRENTES PROTECTIONS SOLAIRES

3.1 Protection fixe : Auvent

Un plan horizontal au dessus de la fenêtre offre une protection très intéressante.

Avantage :

- pas d'obturation de la vue ;
- permet les gains solaires en hiver, quand le soleil est bas ;
- arrête le rayonnement solaire en été, quand le soleil est haut ;
- pas de manipulation, peu d'entretien, coût limité.

Désavantage :

- protection optimale uniquement pour une orientation sud. Les orientations sud-est et sud-ouest nécessitent des profondeurs d'auvents supérieures ;
- réduction permanente de l'éclairage naturel ;
- réduction des gains solaires, en fonction des choix de dimensionnement, même en période où ils sont intéressants ;
- la fixation d'un auvent doit se faire sans provoquer de pont thermique, ce qui mène parfois à construire une structure parallèle.

Dimensionnement : le pourcentage de protection de la fenêtre dépend de

- la hauteur du soleil ;
- la position de la protection par rapport à la fenêtre ;
- le rapport entre la largeur de la protection et la hauteur de la fenêtre ;
- les dimensions, l'espacement et l'orientation des lames éventuelles.

Au minimum : une protection totale de la fenêtre au zénith du mois de mai (55° pour l'orientation Sud) ce qui correspond à une profondeur d'auvent égale à la moitié de la hauteur de la fenêtre si l'auvent est positionné directement au-dessus de la fenêtre.

Pour une orientation sud-est ou sud-ouest, l'angle solaire sera plutôt de 45° en mai, et pour une protection totale de la fenêtre, il faut une profondeur égale à plus de 80 % de la hauteur de la fenêtre.

La plupart des logiciels de dessins CAD permettent de visualiser les ombres portées, en fonction du jour, de l'heure et de l'orientation. Un rapide schéma permet aussi de prédimensionner très facilement un auvent.

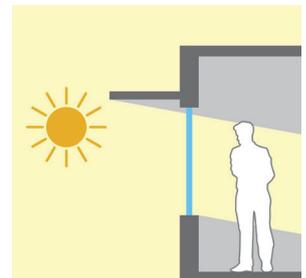
Le facteur solaire g d'une fenêtre munie d'un auvent varie dans le temps. Il peut être calculé très facilement grâce à un logiciel gratuit : Parasol¹.

3.2 Protection fixe : Éléments devant la fenêtre

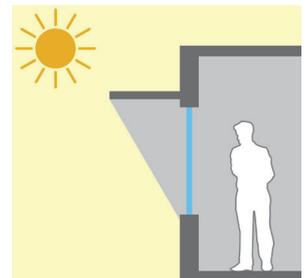
À certains endroits, on peut imaginer une protection solaire fixe devant la fenêtre.

- La protection solaire peut être très efficace, même pour l'Est et l'Ouest.
- L'efficacité dépend des dimensions, espacements et orientations des lamelles².
- La pénétration de lumière naturelle est limitée, mais reste intéressante.
- La vue est réduite.
- Possibilité de jeux de lumière.
- Les gains solaires sont limités, même en hiver.
- Création d'une certaine intimité par rapport à l'extérieur.
- Coût réduit par rapport à une protection solaire mobile.

L'espacement et l'orientation des lamelles peuvent varier, les lamelles peuvent aussi être placées verticalement pour des orientations est ou ouest. Une continuité avec un bardage bois peut être réalisée.



Hiver : Le soleil peut pénétrer.



Été : La fenêtre est protégée.



Photo : S. Reiter

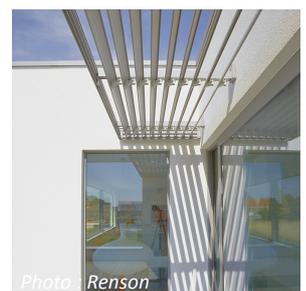


Photo : Renson



Photo : A. Branders

¹ Logiciel Parasol, téléchargeable sur www.ebd.lth.se/english/software/parasol/

² Le facteur g d'une telle protection peut également être calculé à l'aide du logiciel «Parasol»



3.3 Protection fixe : Les vitrages solaires et protections par film autocollant sur le vitrage

Le choix d'un vitrage se fait en fonction de ses caractéristiques :

- d'isolation : le coefficient U (ou U_g). Plus il est petit, plus le vitrage est isolant ;
- de facteur solaire g, plus il est petit, moins les gains solaires sont importants ;
- de transmission lumineuse tl, plus elle est grande, plus la lumière passe à travers le vitrage.

Il existe des doubles vitrages « solaires » qui ont un facteur solaire faible, tout en ayant une transmission lumineuse assez élevée et un coefficient d'isolation performant (environ $1 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Valeur repère pour le facteur g de ce type de vitrage : entre 25 et 45 %.

Avantages :

- protection solaire qui n'obture pas la vue et diminue peu le passage de lumière naturelle ;
- coût moins important que pour un store extérieur (mais efficacité moindre aussi !)
- pas de « technologie », de risque de panne, ... ;
- facile à mettre en œuvre, pas de risque de pont thermique ni de défaut d'étanchéité à l'air ;
- protection solaire visible seulement par l'aspect de la surface du verre. Ni auvent, ni store, ni caisson de store... ;
- les protections par film autocollant ne sont pertinentes qu'en rénovation, quand les vitrages sont déjà placés. Ils fonctionnent de la même façon que les vitrages « solaires ».

Inconvénients :

- protection solaire permanente, qui limite aussi les gains solaires intéressants en hiver ;
- efficacité moins importante qu'une protection solaire classique ;
- prix plus élevé que des doubles vitrages « classiques » ;
- aspect plus « réfléchissant » du verre, ou légèrement teinté. À voir avant de commander...

3.4 Protections mobiles : Stores, panneaux coulissants, volets, ...

Le principe est celui d'une protection solaire qui vient se placer devant le vitrage quand le rayonnement solaire risque de provoquer des surchauffes.

Différents systèmes mobiles :

- stores extérieurs, soit enroulés, soit relevés ;
 - * impérativement situés à l'extérieur. Les stores intérieurs sont peu efficaces contre les surchauffes, les stores situés entre 2 vitrages sont beaucoup moins efficaces aussi,
 - * nécessité d'un espace en haut de la fenêtre pour un caisson (entre 8 et 15 cm pour les « screens », en fonction de la longueur du store). Attention au risque de pont faible au niveau de l'isolation. Certains fabricants proposent un caisson intégré à la menuiserie du châssis (à prévoir avant le placement de la menuiserie),
 - * nécessité d'un profil latéral de guidage du store. La résistance mécanique au vent est un des points faibles du système, il faut y faire attention.
 - * pour limiter l'effet défavorable d'une couche d'air chaud entre le vitrage et le store de type « screen », cet espace doit être ventilé,
 - * mécanisation/automatisation facile, généralement prévue par les fabricants,
 - * entretien et nettoyage nécessaire.
- panneaux coulissants / pivotants ;
 - * nécessité d'un espace de stockage quand ils ne sont pas devant les vitrages, la géométrie de la façade doit être conçue en conséquence,
 - * impact esthétique important, la composition de la façade doit en tenir compte,
 - * fixation des éléments : attention aux ponts thermiques.



Photo : Renson



Photo : A. Branders



Différents types d'écrans

- Les écrans textiles (ou « screen ») : avec de nombreuses possibilités de facteur solaire, matière, couleur, transmission visuelle. Généralement associés à un système de stores.
- Les lamelles, en aluminium ou en bois. Leur orientation peut être fixe ou variable. Leur facteur solaire (g) dépend des dimensions, espacement, orientation, couleur et matériau des lamelles. Il varie en fonction de l'heure et du jour de l'année.
- Pour les panneaux et volets, tout autre type d'écran peut être envisagé, au gré de votre imagination (métal tissé, ...).

Dimensionnement

Pour l'ensemble constitué de la protection solaire et du vitrage (vertical), il est conseillé d'atteindre une valeur g inférieure à 20 %. Moins encore si le vitrage est en pente ou horizontal.

Stores de type « screen » :

le facteur solaire est indépendant de la position du soleil. Les fabricants renseignent souvent le facteur solaire g de l'ensemble¹, avec plusieurs choix de type de vitrage. Ce facteur dépend des facteurs solaires du vitrage et de la protection, ainsi que de l'effet négatif d'une couche d'air chaud emprisonnée entre le vitrage et le store. La valeur combinée à considérer est celle correspondant à un vitrage dont le facteur solaire g est proche de celui du vitrage du projet.

Lamelles :

Le facteur solaire dépend des dimensions, de l'espacement, de l'orientation, de la couleur et du matériau des lamelles. Une estimation très rapide et facile du facteur solaire g moyen peut être faite grâce au logiciel « Parasol² ». Pour un même facteur solaire g, une solution où les lamelles sont plus étroites limitera plus la vue et l'apport de lumière naturelle qu'une solution où les lamelles sont plus larges (mais attention à la résistance au vent). Dans le cas d'un store, l'épaisseur des lamelles influence la hauteur du caisson nécessaire à leur stockage en position relevée.

Automatisation

La plupart des fabricants proposent une automatisation de la protection solaire. Celle-ci se fait en général sur base d'une sonde de température intérieure et d'une mesure du rayonnement solaire. Dans le cas des stores, une mesure de la vitesse du vent est aussi prise, pour éviter les dégâts mécaniques éventuels.

Avantage :

- performance. Le bon usage des protections solaires est garanti, indépendamment de la présence des occupants, la maison limite ses gains solaires quand il y a un risque de surchauffe.

Inconvénients :

- coût ;
- consommation électrique des moteurs ;
- augmentation de la « technicité » de la maison, nécessité d'entretien, risque de mauvais réglage du système et de pannes.

L'automatisation des protections solaires n'est pas un impératif. Une gestion manuelle par l'occupant peut s'avérer tout à fait efficace si ce dernier est conscient des risques et anticipe les surchauffes (fermeture des protections avant de quitter la maison pour une journée d'été ensoleillée par exemple). Les stores, qui risquent d'être endommagés par grand vent, seront préférentiellement automatisés.

S'il est manuel, le contrôle des protections solaires doit se faire de l'extérieur (ou de l'intérieur après ouverture de la fenêtre) pour préserver l'étanchéité à l'air du bâtiment.



3.5 Protections végétales

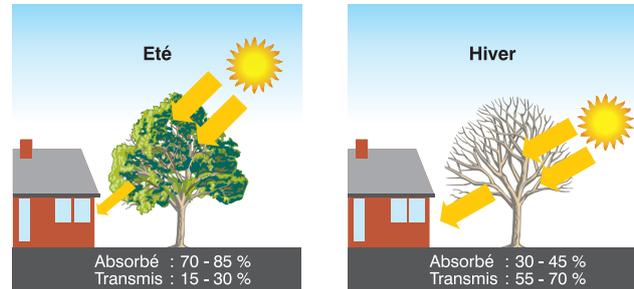
La végétation peut servir d'écran d'ombrage. Les arbres et arbustes caducs laissent passer une faible partie du rayonnement solaire en été et une partie plus importante en hiver, ce qui est intéressant. Le choix de l'espèce et la distance de plantation sont déterminants pour l'efficacité de la protection solaire.

Avantages :

- coût réduit ;
- amélioration de l'environnement, biodiversité...

Inconvénients :

- un arbre ne pousse pas en un jour... ;
- variation de l'ombrage non contrôlée ;
- réduction de la lumière naturelle même en dehors des périodes de surchauffe.



3.6. Une idée de coût¹:

Le prix des auvents réalisés à l'aide d'éléments architecturaux (débordement de toiture, ...) est difficilement évaluable.

- Store de type screen : 200 €/m²
- Moteur d'automatisation d'un store : 200 €
- Auvent constitué d'un cadre et de lamelles alu : 250-350 €/m²
- Panneau coulissant avec lamelles en aluminium : 500 €/m²

4. L'EFFET DES PROTECTIONS SOLAIRES

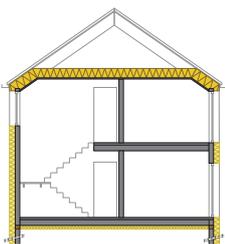
Le risque de surchauffe dépend de multiples facteurs. Les gains internes, les surfaces de vitrages, la géométrie, l'orientation, les possibilités de ventilation, l'inertie du bâtiment, etc, ...

Le calcul PEB utilise une méthode simplifiée pour évaluer la surchauffe par secteur énergétique. L'effet des protections solaires est pris en compte par l'intermédiaire d'un facteur de réduction des gains solaires.

Chaque cas est un cas particulier, mais les simulations dynamiques réalisées et présentées ci-dessous peuvent donner quelques repères. La fiche 2.3 sur les surchauffes donne aussi une vision plus globale de la problématique et complète l'information donnée ci-dessous.

La situation étudiée est celle d'une maison passive de 150 m² utilisables, d'inertie importante.

Les hypothèses non modifiées sont :



- Bloc silico-calcaire
- Isolant fibre de bois
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

- orientation arrière au Sud ;
- proportion de vitrage des façades : 20 % de la surface au sol des pièces de vie :
 - * 26 % de la façade sud,
 - * 15 % de la façade nord,
 - * 12 % de la façade ouest,
 - * 8 % de la façade est.
- ventilation de base par un système double flux avec échangeur de chaleur ;
- ventilation intensive « estivale » dans le séjour et le bureau si la température intérieure est supérieure à 22°C et la température extérieure est supérieure à 18 °C ;
- gains internes suivant un profil quotidien, avec une moyenne de 4.8 W/m² en continu ;
- ventilation nocturne faible. La ventilation est déclenchée par l'occupant dans les chambres et le hall. Condition à 22 h : T° intérieure > 22°C et T° extérieure > 15 °C, entre le 1er mai et le 30 septembre. Le débit est de 4 V/h (correspondant environ à l'ouverture des fenêtres en position oscillante), l'espace est ventilé entre 22 h et 7 h.

La surchauffe est exprimée par le pourcentage du temps annuel où la température opérative est supérieure à 25 °C. On observe la température moyenne de la maison et la température du séjour exposé au Sud et soumis à des gains internes importants. La différence entre ces deux valeurs dépend fortement de la répartition des gains interne, dans l'espace et dans le temps, ainsi que des caractéristiques géométriques de la maison (volume ouvert ou cloisonné)².

Pour rappel, la maison simulée a une inertie thermique très importante. La situation dans le cas d'une inertie plus faible sera moins favorable³.

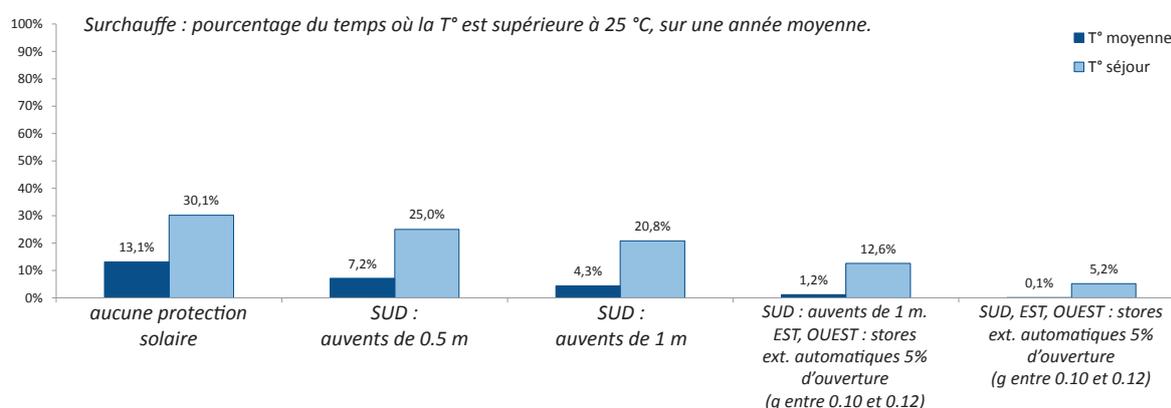


4.1 Auvents, stores ou combinaison des deux ?

Les auvents ont de nombreux avantages, mais ne sont efficaces que pour l'orientation sud (ou très proche). Ils peuvent être combinés avec des stores devant les vitrages orientés est et ouest. Le graphe ci-après permet de comparer l'efficacité des différentes stratégies.

Les stores sont automatiquement baissés si les conditions suivantes sont réunies :

- la température opérative intérieure dans la pièce est supérieure à 21°C ;
- le rayonnement solaire incident sur la façade est supérieur à 504 kJ/hm² (il reste baissé jusqu'à un rayonnement de 432 kJ/hm² pour éviter des mouvements répétés aux alentours de la limite) ;
- entre le 1er avril et le 30 septembre.

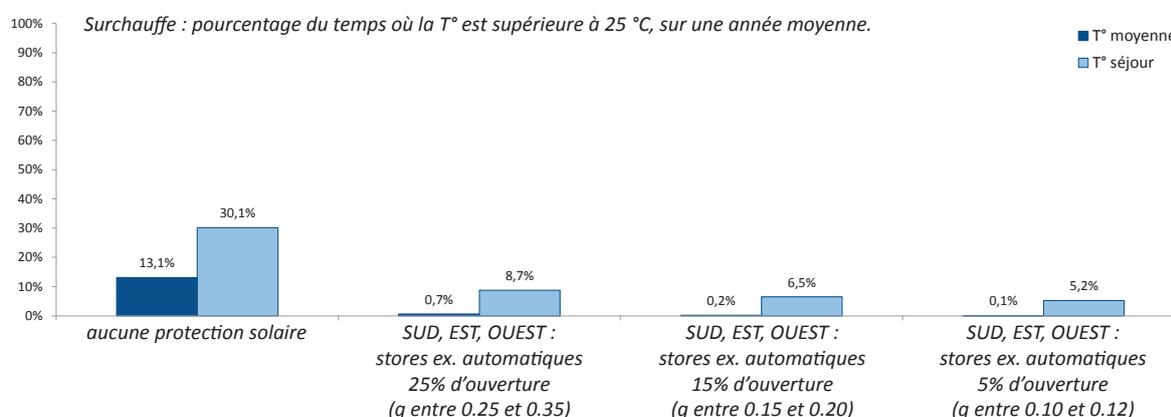


On constate l'efficacité supérieure des stores sur les autres stratégies, ainsi que la nécessité d'un auvent de grande dimension (1m correspond à 50 % de la hauteur des baies du rez-de-chaussée) pour une protection efficace.

4.2 Store : quel facteur solaire ?

Le logiciel de simulation définit les ombrages de type store par leur « proportion de surface opaque ». Ce qui correspond à l'inverse du « pourcentage d'ouverture » défini par certains fabricants. Le graphe ci-dessous montre l'effet de différents stores, caractérisés par leur « proportion de surface opaque ».

Il n'y a pas d'équivalence évidente entre cette valeur et un facteur solaire g. Un rapport approximatif a été fait sur base des caractéristiques de produits disponibles sur le marché. Le facteur solaire g donné est celui de l'ensemble vitrage + store, avec un facteur solaire de vitrage g = 0.59.



Le choix d'un store se fait toujours par un compromis entre son facteur d'ombrage (on favorise la protection solaire la plus efficace possible) et son taux de transmission lumineuse (on favorise la protection solaire qui laisse passer le plus de lumière naturelle possible et obstrue le moins possible la vue vers l'extérieur).

GUIDE POUR LA CONCEPTION DE MAISONS NEUVES DURABLES

PROTECTION SOLAIRE



N° de fiche :

2.5

Liens :

2.3, 2.4

Sources :

- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), *Guide pour la construction et la rénovation de petits bâtiments*, éditions IBGE, 2009.
- MATRIciel, Projet RELOSO, *Méthodologie de renouveau des logements sociaux*, 2009.
- Architecture et climat, *Energie' : conception et rénovation des bâtiments tertiaires*, Ministère de la Région wallonne, 2010.
- M-C DUBOIS, *La conception des systèmes d'occultation solaire*, présentation dans le cadre de formations de l'ordre des architectes du Québec, 2009.



VENTILATION NATURELLE INTENSIVE

> Concevoir une ventilation efficace pour assurer le confort thermique

La ventilation naturelle intensive, de jour ou de nuit, permet d'améliorer considérablement le confort d'une habitation et de limiter les périodes de surchauffe. Ceci est d'autant plus vrai que l'inertie de la maison est importante.

Le taux de ventilation dépend de la géométrie de l'espace et des ouvertures, des conditions de températures intérieures et extérieures et de la vitesse et de l'orientation du vent.

Les principes à mettre en œuvre pour optimiser la ventilation naturelle sont :

- *l'effet de cheminée, ou la ventilation par différence thermique : maximiser la hauteur des ouvertures, ou la différence de hauteur entre les ouvertures multiples ;*
- *la transversalité : la ventilation des espaces est réalisée via des ouvertures sur deux façades différentes ;*
- *le vent : On veille à tenir compte des vents dominants pendant la période estivale.*

Concevoir un bâtiment qui peut être ventilé naturellement avec des débits importants nécessite de considérer cet aspect dès les premières étapes du projet d'architecture.



photo: S. Rouche



photo: Renson



photo: A. Branders

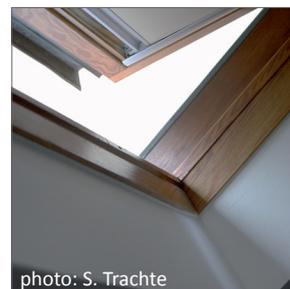


photo: S. Trachte

1. DÉFINITION, OBJECTIFS ET CONDITIONS D'UNE VENTILATION NATURELLE INTENSIVE

La ventilation naturelle consiste en une amenée d'air extérieur et en une évacuation d'air intérieur via des ouvertures, sans aide de ventilateurs mécaniques.

La ventilation intensive n'a pas le même rôle que la ventilation de base, ou hygiénique, qui assure le renouvellement d'air pour garantir la qualité de l'air intérieur. Les débits d'une ventilation intensive sont nettement supérieurs.

La ventilation intensive a plusieurs objectifs :

- évacuer la chaleur excessive due aux apports solaires et/ou internes ;
- décharger thermiquement la masse du bâtiment ;
- améliorer la sensation de confort thermique des occupants en période de surchauffe. La vitesse de l'air permet en effet d'augmenter les échanges de chaleur par convection et favorise l'évaporation à la surface de la peau ;
- évacuer des polluants ou des odeurs en cas d'utilisation exceptionnelle (forte occupation ponctuelle...).

La ventilation naturelle intensive de refroidissement ne pourra se faire que dans certaines conditions :

- pas de contexte extérieur pénalisant (bruit, pollution de l'air) ;
- pas de problème de sécurité, une bonne protection contre les intrusions doit être assurée ;
- la température de l'air extérieur doit être inférieure à la température de l'air intérieur.



2. PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Deux « moteurs » de la ventilation naturelle

Le tirage thermique :

La différence entre les densités de l'air intérieur et extérieur provoque un tirage thermique qui fait monter l'air chaud et humide et descendre l'air froid et sec. Ce tirage thermique peut s'exercer au sein d'une même pièce ou sur l'ensemble du bâtiment, on parle alors souvent de l'effet de cheminée.

Le vent :

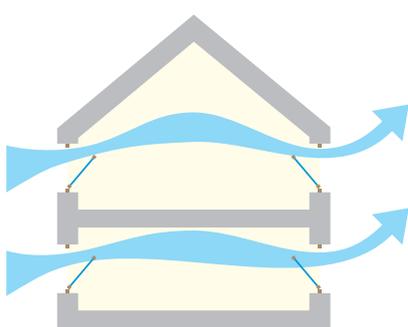
La pression de la façade au vent est supérieure à la pression sur les autres façades. Cette différence de pression induit un déplacement d'air de la haute vers la basse pression si l'espace dispose d'ouvertures dans deux façades différentes.

En l'absence de vent, la différence d'ensoleillement des différentes façades provoquera aussi une différence de pression, mais aucun modèle, à notre connaissance, ne permet de l'évaluer.

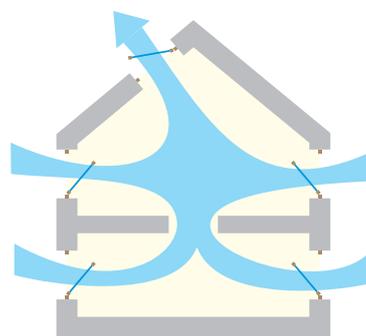
3. PRINCIPES DE CONCEPTION

Une stratégie de ventilation performante permet de garantir un taux de renouvellement d'air important avec des ouvertures limitées, comme l'ouverture des fenêtres en position oscillante.

Seule une modélisation permet d'estimer précisément les taux de ventilation, mais l'application de quelques principes permettra souvent de générer une ventilation efficace dans les habitations. Il s'agit d'optimiser les conditions pour les deux « moteurs » de ventilation naturelle.



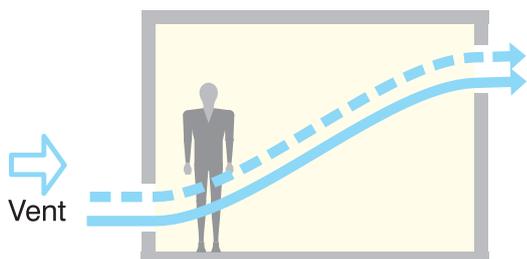
Transversalité. On profite de l'effet du vent en disposant des ouvertures sur différentes façades. Il est donc nécessaire de prévoir des passages d'air entre les façades en cas de surchauffe (plan ouvert, ouverture complète des portes intérieures, création d'impostes ouvrantes, ...).



Effet de cheminée. On veille à créer une grande différence de hauteur entre les ouvertures. Les ouvertures hautes pouvant être des fenêtres de toiture. Il faut permettre les passages d'air entre les ouvertures des différents étages en cas de surchauffe.

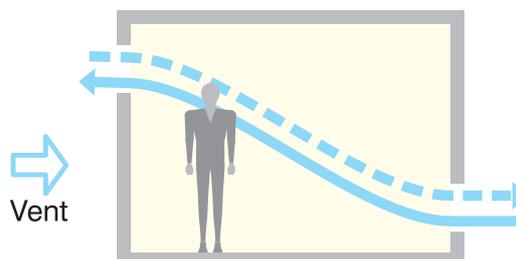
Pour le bon fonctionnement d'une ventilation transversale, le tirage thermique et l'effet du vent doivent se renforcer et non s'opposer. Pour ce faire, l'ouverture la plus basse est placée du côté au vent pour les vents dominants (en période de surchauffe), et, si possible, du côté ombré l'après-midi.

Favorable.



→ : mouvement dû au vent
 → : mouvement dû à l'effet de cheminée

Défavorable



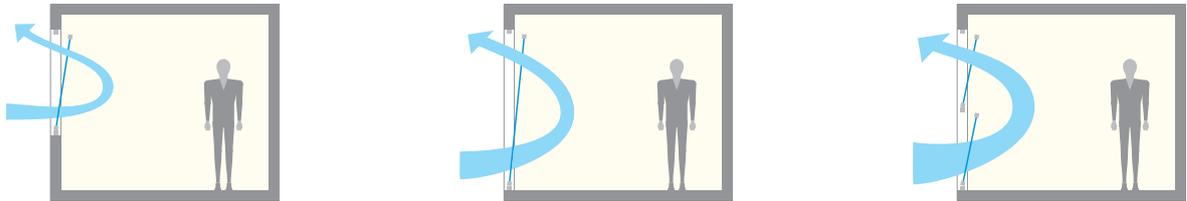
→ : mouvement dû au vent
 → : mouvement dû à l'effet de cheminée



3.1 Quelques schémas et principes pour une bonne conception¹

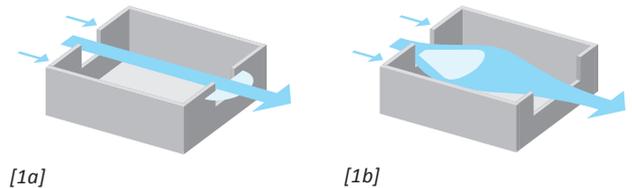
Plus la fenêtre est haute, plus le débit de ventilation est important.

Une ouverture oscillante n'est pas optimale parce que l'ouverture est plus importante en haut qu'en bas.

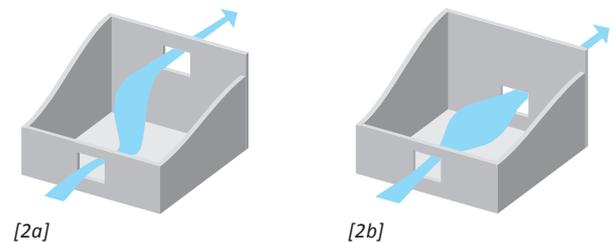


Dédoubler la fenêtre provoque un débit plus important. La solution illustrée sur le troisième schéma est peu réaliste, mais le principe peut être décliné à l'infini.

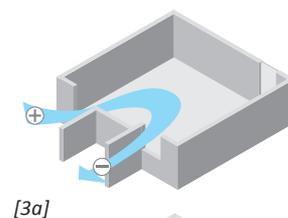
Pour une ventilation transversale, le débit maximal est atteint quand les deux ouvertures ont la même taille [1a]. Une ouverture de sortie plus grande [1b] provoque une augmentation de la vitesse de l'air à l'entrée, et une dispersion plus importante.



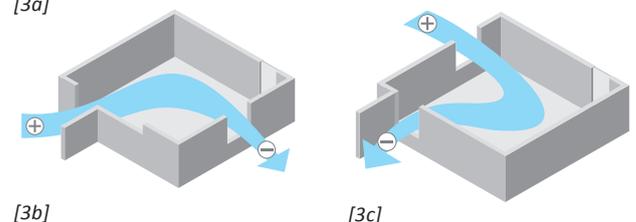
Un changement de direction du flux [2a] de ventilation provoque une meilleure distribution de la ventilation dans l'espace que si les ouvertures d'entrée et de sortie sont alignées [2b].



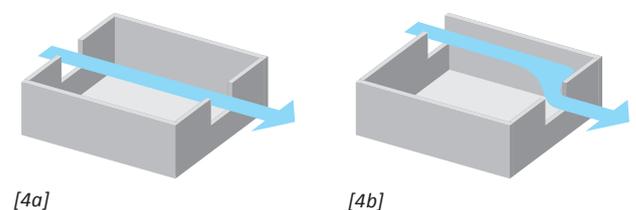
Des éléments extérieurs peuvent modifier la pression sur les façades. On retiendra particulièrement le premier schéma [3a] qui permet d'induire une ventilation entre deux fenêtres situées sur une même façade grâce à la présence d'obstacles.



Les éléments verticaux proches des fenêtres permettent aussi de renforcer une ventilation entre deux façades perpendiculaires [3b] et [3c].



Le positionnement d'une fenêtre au milieu du mur d'une pièce [4a] provoque un flux d'air qui va se disperser dans l'espace. Si, par contre, la fenêtre est très proche d'un mur [4b] ou d'un plafond, le flux d'air va «coller» à la paroi. Si cette paroi possède une forte inertie, l'effet de la ventilation sur le rafraîchissement de l'espace sera optimisé.



¹ Certains des schémas ci-dessous sont repris de l'ouvrage *Passive solar architecture for mediterranean area - design handbook* - JOINT RESEARCH CENTRE.



4. PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT

Pour quantifier une ventilation naturelle, on parlera de :

Débit de ventilation [m^3/h] : C'est le volume d'air extérieur entrant, égal au volume d'air intérieur évacué, par heure.

Taux de renouvellement d'air [1/h] : C'est le nombre de fois où le volume d'air de la zone est remplacé par de l'air extérieur, par heure. C'est le débit total entrant (= débit total sortant) divisé par le volume de la zone.

L'enjeu est de dimensionner les ouvertures pour atteindre un certain débit de ventilation. Il faut donc pouvoir estimer le débit en fonction de la position et des dimensions des ouvertures. Comme ce débit dépend aussi des conditions de températures et de vent, les hypothèses considérées ont énormément d'impact sur les résultats.

Ces hypothèses de température et surtout de vent sont difficiles à évaluer. Des méthodes simples permettent une première approximation, mais pour une conception plus fine, des modélisations sont nécessaires.

Quelques exemples de définition des hypothèses :

- les simulations dynamiques sur une maison basse énergie à forte inertie montrent qu'en période de surchauffe, la différence de température moyenne entre l'intérieur et l'extérieur se situe entre 6 K et 7 K ;
- dans la littérature, les hypothèses d'un $\Delta T^\circ = 7$ K et $V_{vent} = 1.5$ m/s au sommet du toit sont considérées comme représentatives de la situation belge en période de surchauffe¹ ;
- pour évaluer la ventilation nocturne, le logiciel PHPP recommande les hypothèses $\Delta T^\circ = 1$ K et $V_{vent} = 0$ m/s. Comparées aux 2 points ci-avant, ces hypothèses semblent peu favorables ;
- pour évaluer la ventilation diurne, le logiciel PHPP recommande les hypothèses de $\Delta T^\circ = 4$ K et $V_{vent} = 1$ m/s.

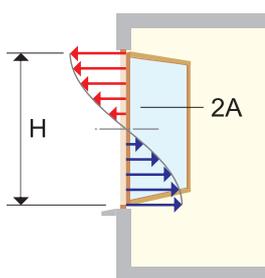
4.1 Le cas d'une ventilation unilatérale

C'est le cas dans lequel l'ouverture où les ouvertures sont disposées sur une seule façade. Dans le cas le plus fréquent, seul le tirage thermique induit le mouvement d'air. La différence de pression due au vent est considérée comme négligeable sur la façade.

Objectif : Créer une différence de hauteur maximale entre deux baies ou maximiser la hauteur d'une baie unique.

Exemples de cas

- *Ouverture complète d'une fenêtre* : évaluation du débit de ventilation (Q_v)



$$Q_v = (1/3) \cdot C_d \cdot L \cdot H \cdot \sqrt{(g \cdot H \cdot \Delta T / T_e)} \cdot 3600 \quad [m^3/h]$$

avec,

C_d : coefficient de perte de charge (entre 0.6 pour les petites ouvertures et 0.75 pour les grandes)

L : largeur de l'ouverture

H : hauteur de l'ouverture

g : 9.81 m/s^2

ΔT : différence entre la T° extérieure (T_e) et la T° intérieure (T_i)

T_e : température extérieure en Kelvin = $273 + T^\circ \text{ ext en degrés Celcius}$ (le logiciel PHPP considère $T_e = 298 \text{ K}$ (= 25°C))

Le logiciel PHPP propose une feuille de calcul de la ventilation naturelle. Chaque ouverture fonctionnant indépendamment des autres, le débit total de ventilation est égal à la somme des débits par toutes les ouvertures de la maison. Il est dès lors facile d'évaluer le taux de renouvellement d'air.

Il faut rester prudent quant aux hypothèses d'ouverture, l'occupant ne laisse certainement pas la fenêtre du rez-de-chaussée grande ouverte pendant toute la nuit, pour des raisons de sécurité.

- *Ouverture basculante d'une fenêtre*

Des comparaisons entre les formules utilisées par le logiciel PHPP et celles de l'AIVC² montrent des résultats assez proches et les débits estimés via le PHPP donnent les résultats les moins optimistes, ils pourront donc être utilisés sans crainte. La formule est plus complexe et n'est pas détaillée ici.

¹ Rapport de la maison Pleiade.

² Note technique 23 de l'AIVC Air Infiltration and Ventilation Centre.



4.2 Le cas d'une ventilation transversale

C'est le cas dans lequel les ouvertures sont disposées sur des façades différentes. La ventilation fonctionne alors par une combinaison du tirage thermique et de l'effet de la différence de pression entre les façades.

En théorie, si la vitesse du vent est nulle ou si la direction du vent est parallèle aux deux façades, seul le tirage thermique intervient dans la ventilation. En pratique, on peut observer une différence de pression entre deux façades due à leur différence d'ensoleillement. Cette caractéristique induit un mouvement d'air de la façade ombrée vers la façade ensoleillée, même en l'absence de vent. Il n'y a pas, à notre connaissance, de modèle permettant d'évaluer cet effet.

La ventilation transversale permet d'atteindre des débits assez importants avec des ouvertures de ventilation réduites.

Les différents éléments dont dépendent l'effet du vent sur la ventilation sont :

- la taille des ouvertures et leurs caractéristiques (coefficient de perte de charge) ;
- la différence de pression entre deux ouvertures, elle-même dépendante des coefficients de pression et de la vitesse du vent. Ces coefficients de pression sont généralement obtenus par des essais en soufflerie, ce qui est peu réaliste dans le cas de l'étude d'une maison individuelle ;
- la vitesse et l'orientation du vent, qui dépendent de la météo et des caractéristiques du site.

Les hypothèses sont très difficiles à définir. Un dimensionnement n'est possible que par l'étude complète du cas particulier.

Pour ne pas risquer de surévaluer la ventilation naturelle, on tient souvent uniquement compte du tirage thermique pour le dimensionnement.

En Belgique, les périodes les plus critiques au niveau de la surchauffe sont souvent des périodes où le vent est faible. Cette hypothèse reflète donc assez bien la réalité.

Concrètement, si la ventilation thermique et la ventilation due au vent ne s'opposent pas, on peut considérer que les débits réels sont supérieurs aux débits calculés s'il y a possibilité de ventilation transversale.

4.3 Ordre de grandeur :

Le guide pratique pour la ventilation naturelle des habitations, publié par la Région wallonne, renseigne une méthode de dimensionnement très simplifiée qui consiste à assurer, dans chaque local :

- Dans le cas d'une ventilation unilatérale : une surface nette de la partie ouvrante des fenêtres au moins égale à 6.4 % de la surface au sol du local.
- Dans le cas d'une ventilation transversale : une surface nette de la partie ouvrante des fenêtres au moins égale à 3.2 % de la surface au sol du local, chaque façade comportant au moins 40 % de la surface d'ouverture totale.

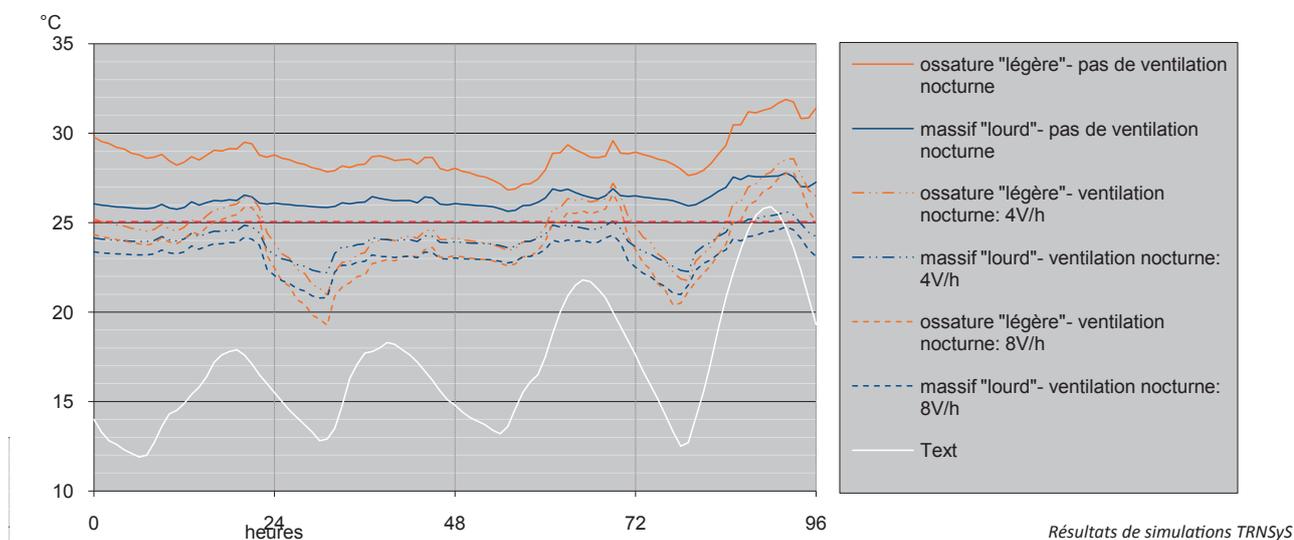


5. IMPACT SUR LE CONFORT THERMIQUE

Les points suivants sont les conclusions de l'analyse d'une série de simulations dynamiques réalisées avec le logiciel TRNSYS sur une maison, avec 5 cas d'inertie et deux niveaux d'isolation (basse énergie et passif)¹.

5.1 Évaluation des surchauffes en fonction de la ventilation nocturne

La ventilation nocturne a été, au départ, simulée dans sa mise en oeuvre la plus simple. Seules les chambres sont ventilées, la ventilation se fait par l'ouverture manuelle des fenêtres en position oscillante sous certaines conditions. L'ouverture se fait quand, à 22 h, la température intérieure dans la chambre est supérieure à 22 °C et la température extérieure est supérieure à 16 °C. La ventilation commence à 22 h et s'arrête à 07 h le lendemain matin. Il n'y a jamais de ventilation nocturne entre le premier octobre et premier mai. Les taux de renouvellement d'air choisis (4 V/h et 8 V/h) sont basés sur l'expérience de la maison Pleiade².



Température moyenne opérative dans la maison pendant 4 journées au mois de mai.

Niveau d'isolation : PASSIF, pas d'ombrage.

Ventilation nocturne manuelle dans les chambres en cas de surchauffe, avec des taux de renouvellement d'air de 0, 4 et 8 V/heure.

Le graphe ci-dessus permet d'observer plusieurs phénomènes :

- la ventilation nocturne naturelle permet de limiter les surchauffes. Cependant, cette stratégie, seule, n'est souvent pas suffisante pour assurer le confort. Les gains solaires et internes d'une maison bien orientée et dont les fenêtres ne sont équipées d'aucun dispositif d'ombrage sont excessifs en période estivale et à l'entre-saisons. Une stratégie de contrôle des apports solaires est absolument nécessaire ;
- la diminution de température n'est pas proportionnelle à l'augmentation du taux de ventilation. Le bénéfice du passage de « pas de ventilation nocturne » à « ventilation nocturne de 4 V/h » est supérieur à celui du passage d'un débit de 4 V/h à un débit de 8 V/h ;
- une forte inertie thermique dans le bâtiment (en bleu) permet de réduire les surchauffes par rapport à une faible inertie (en orange)³.

Il est essentiel de bien garder en mémoire que dans le cas illustré ci-dessus, la ventilation est manuelle. Elle n'a lieu que dans le cas où l'occupant, après observation des conditions intérieures et extérieures, décide d'ouvrir la fenêtre. On verra plus loin l'impact de ce paramètre.

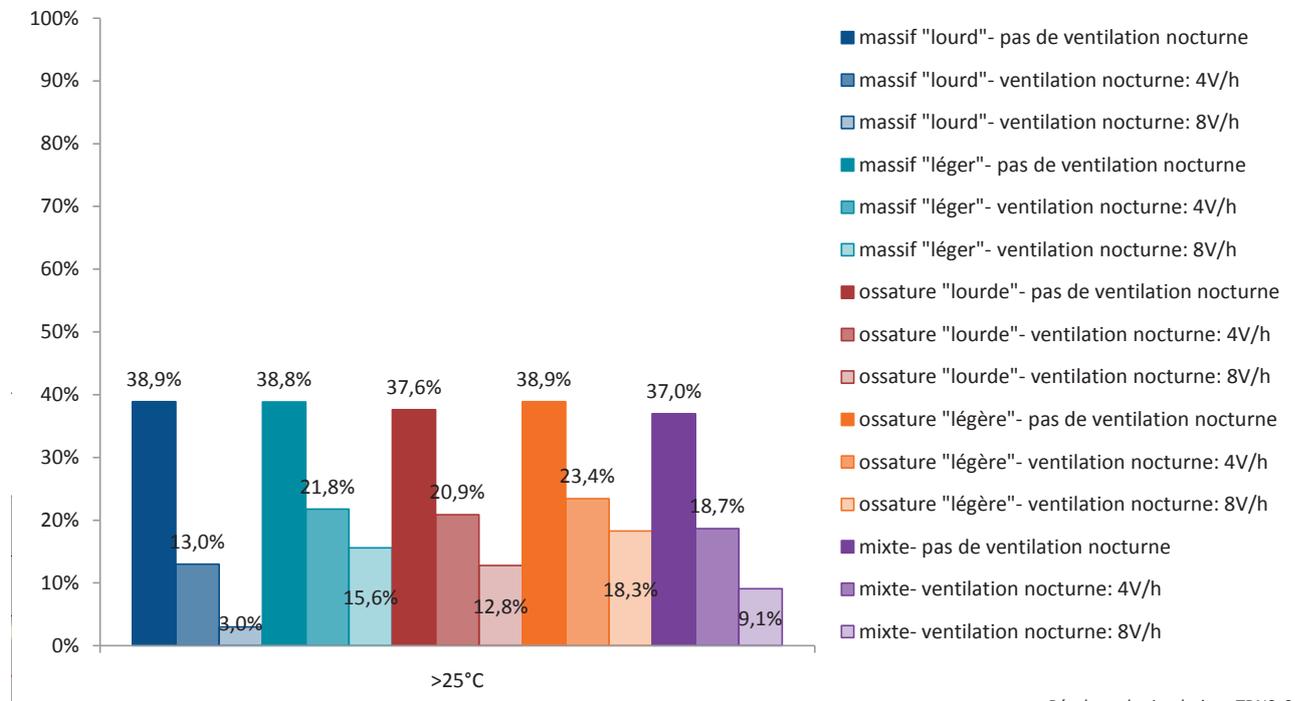
¹ Les détails concernant les modélisations sont disponibles dans l'annexe « Simulations dynamiques de maisons basse énergie ou passives »

² Rapport de synthèse de la maison Pleiade

³ plus d'informations sur l'impact de l'inertie sur le confort dans la fiche 3.4



Sur une année complète : Impact de la ventilation nocturne et de l'inertie thermique



Résultats de simulations TRNSys.

Surchauffe : pourcentage du temps annuel où la température opérative moyenne de la maison est supérieure à 25 °C

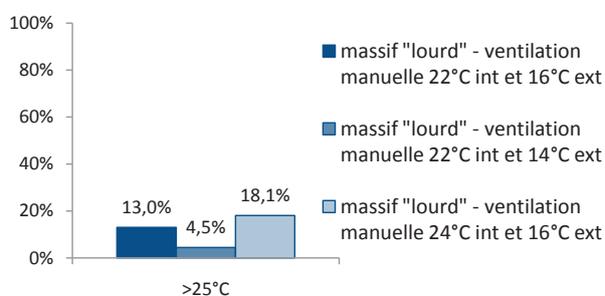
Niveau de performance : PASSIF, pas d'ombrage.

Ventilation nocturne manuelle dans les chambres, en cas de surchauffe, avec un taux de renouvellement d'air constant, de 22 h à 7 h

Le graphe ci-dessous reprend le critère de surchauffe tel qu'utilisé dans le calcul PHPP. Sur une année complète, la ventilation nocturne intensive avec un taux de renouvellement d'air de 8 V/h, couplée à un bâtiment à forte inertie, assure un confort thermique acceptable. Un tel taux de renouvellement d'air n'est possible que par une stratégie de ventilation performante sur toute la maison ou par des ouvertures unilatérales de très grandes dimensions. L'impact de l'inertie est important, cet aspect est détaillé dans la fiche 3.4.

5.2 Régulation d'une ventilation nocturne

L'efficacité d'une ventilation nocturne manuelle dépend fortement de l'occupant.



Surchauffe : pourcentage du temps annuel où la température opérative moyenne est supérieure à 25 °C.

Niveau de performance : PASSIF, pas d'ombrages.

Ventilation nocturne manuelle avec différents critères de décision et un taux de renouvellement de 4 V/h.

Dans la modélisation, on considère une ouverture à 22 h, si la température intérieure est supérieure à 22 °C et la température extérieure supérieure à 16 °C. Si l'occupant agit suivant d'autres critères, l'impact de la ventilation nocturne est modifié.

Le graphe ci-contre illustre l'effet d'une modification du critère qui détermine l'ouverture des fenêtres pour la ventilation nocturne.

On observe qu'un critère d'ouverture basé sur une température extérieure moins élevée améliore fortement l'effet de la ventilation nocturne sur la limitation des surchauffes. Cependant, ce critère donne aussi lieu à des températures inférieures aux exigences de confort qui, si le chauffage reste allumé toute l'année, provoque des surconsommations.

Si l'occupant est moins réactif et attend d'avoir une surchauffe importante avant d'ouvrir les fenêtres, le résultat est moins efficace !

GUIDE POUR LA CONCEPTION DE MAISONS NEUVES DURABLES

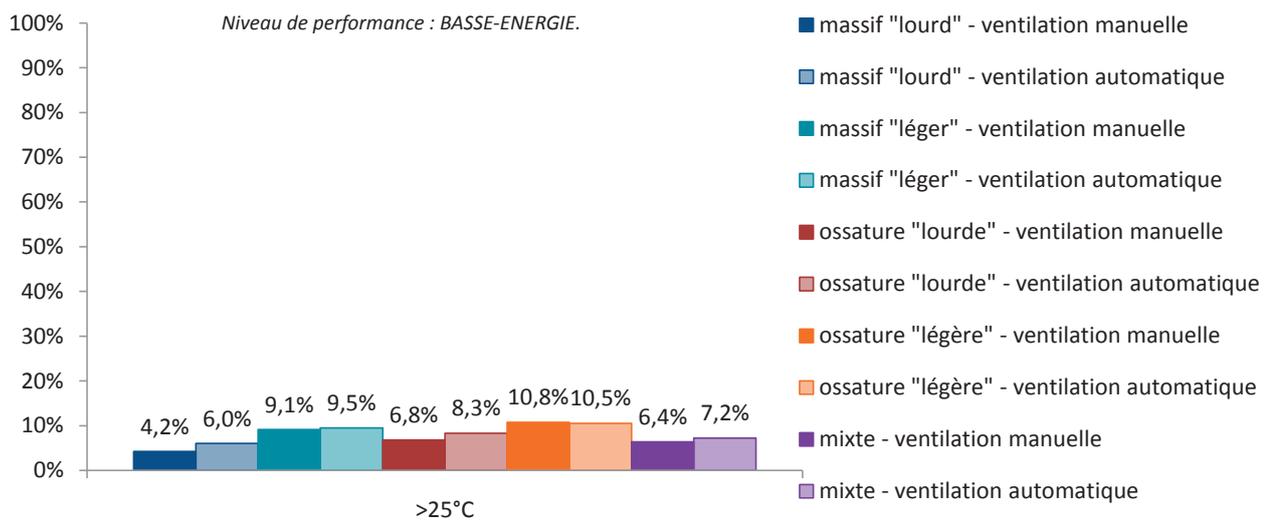
VENTILATION NATURELLE INTENSIVE



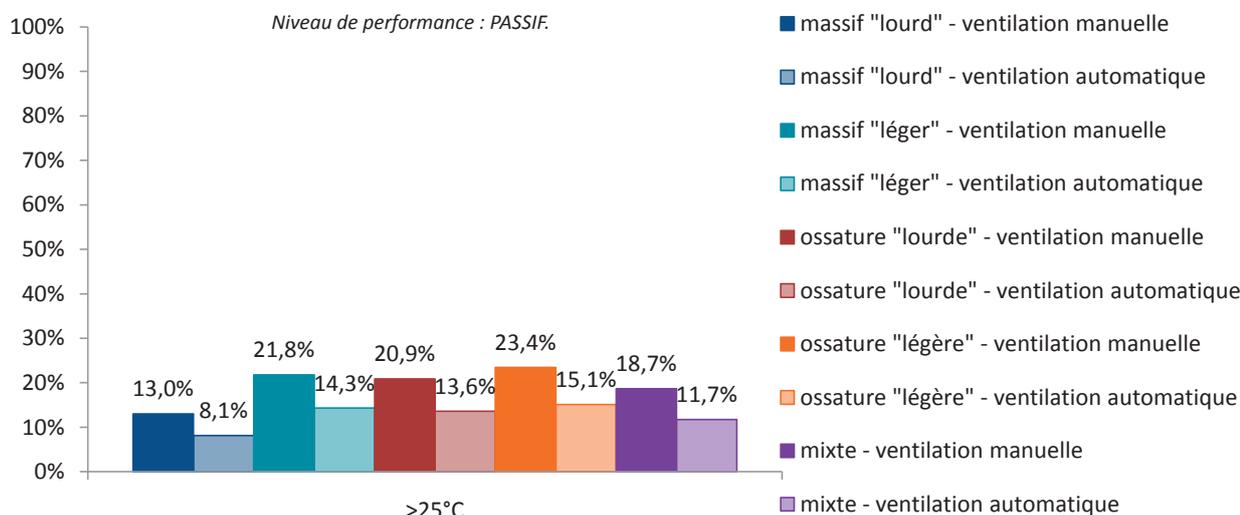
N° de fiche : **2.6**
 Liens :
 2.3, 2.4, 3.4

La régulation la plus performante est celle qui permet de déclencher l'ouverture ou la fermeture des baies automatiquement en fonction des caractéristiques thermiques intérieures et extérieures. Ce type de régulation nécessite une ouverture mécanisée des fenêtres, reliée à des sondes de températures.

Dans les maisons passives en particulier, cette solution technologique permet d'améliorer l'efficacité de la ventilation nocturne et d'améliorer le confort. Les désavantages d'un tel système sont le coût, l'augmentation de la technicité de l'habitation, le risque de panne, etc...



Résultats de simulations TRNSys



Résultats de simulations TRNSys

Surchauffe : pourcentage du temps annuel où la température opérative moyenne est supérieure à 25 °C

Pas d'ombrages.

Ventilation nocturne dans les chambres, en cas de surchauffe, avec un taux de renouvellement de 4 V/h.

Deux possibilités de régulation : soit manuelle, soit automatique.

Le premier graphe montre que dans les cas des maisons basse consommation d'énergie, une automatisation de la ventilation nocturne n'amène pas d'amélioration par rapport aux surchauffes. Ceci est dû au fait que les surchauffes sont moins importantes que dans les maisons passives et que les critères d'ouverture manuelle correspondent bien aux besoins réels de ventilation nocturne.

Le second graphe montre que dans le cas de maisons passives dans lesquelles le risque de surchauffe est important, l'automatisation de la ventilation est intéressante. L'intérêt de cette technologie diminue avec la mise en place d'autres stratégies de lutte contre les surchauffes (protections solaires, ...).



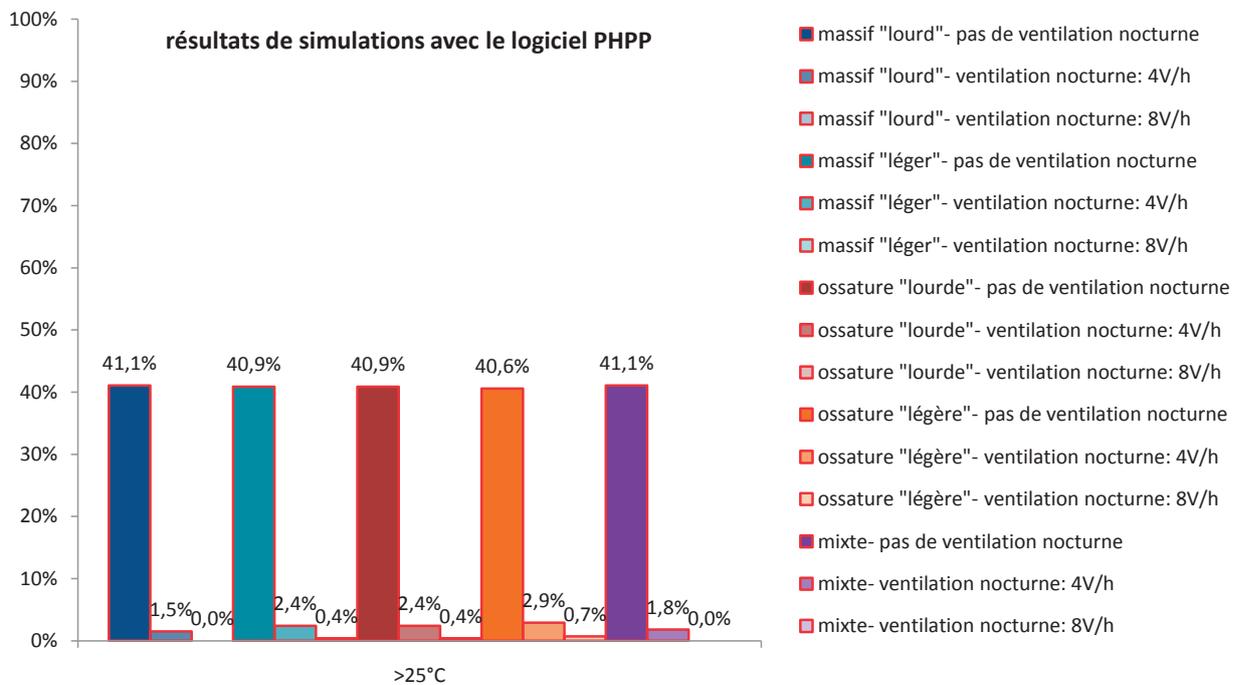
La ventilation nocturne intensive automatisée permet d'éviter un rafraîchissement « trop » important des espaces. Il est clair que si la gestion est manuelle, il risque d'y avoir des moments où la température intérieure descend en dessous de 16 °C. Ce qui peut être considéré comme un inconfort, et même donner lieu à un déclenchement du système de chauffage et provoquer par là des consommations « parasites ».

L'automatisation des ouvertures de ventilation manuelle intensive améliore sensiblement l'efficacité de cette stratégie dans le cas des maisons passives.

5.3 L'impact de la ventilation nocturne évalué par le logiciel PHPP

Le logiciel PHPP propose une méthode relativement simple pour évaluer les performances des bâtiments passifs. C'est un outil performant, conçu au départ pour évaluer le besoin de chaleur. Le logiciel propose une évaluation du risque de surchauffes et de l'efficacité de certaines stratégies pour les limiter.

Cependant, l'évaluation des surchauffes par un calcul statique est très compliquée et les résultats obtenus quant à l'efficacité d'une ventilation nocturne sont très optimistes par rapport à la même évaluation réalisée à l'aide du logiciel dynamique TRNSyS. Les résultats pour la maison passive sont proposés ci-dessous, et peuvent être comparés aux résultats obtenus avec le logiciel dynamique TRNSyS et présentés en début de paragraphe (5.1).



Surchauffe : pourcentage du temps annuel où la température opérative moyenne est supérieure à 25 °C.

Niveau de performance : PASSIF, pas d'ombrages.

Ventilation nocturne manuelle dans les chambres, en cas de surchauffe, avec un taux de renouvellement d'air constant, de 22 h à 7 h.

L'évaluation de l'effet d'une ventilation naturelle intensive par un calcul PHPP (modèle statique) donne des résultats très optimistes par rapport aux résultats obtenus par des simulations dynamiques sur le logiciel TRNSyS.

Le calcul PEB ne permet pas encore de tenir compte de la ventilation intensive comme stratégie de limitation des surchauffes.

Sources :

- E. GRATIA et A. DE HERDE, *Thermique des immeubles de bureaux*, Ministère de la Région wallonne, Presses universitaires de Louvain, 2006.
- CIFFUL, *La ventilation naturelle des habitations - guide pratique pour les menuisiers*, Ministère de la Région wallonne, 2002.
- JOINT RESEARCH CENTRE, *Passive solar architecture for mediterranean area - design handbook*.
- W. FEIST PASSIV HAUS INSTITUT, *Logiciel de conception des maisons passives 2007 - PHPP 2007*, Plateforme maison passive, 2007.
- ARCHITECTURE ET CLIMAT, *Les conclusions de PLEIADE*, www-climat.arch.ucl.ac.be/pleiade/pleiade_conclusions.htm.
- AIVC, Technical note AIVC23 - *Inhabitant behaviour with respect to ventilation, a summary report of IEA annex VIII*, International Energy Agency, 1988.



GESTION DE L'EAU DE PLUIE SUR LA PARCELLE

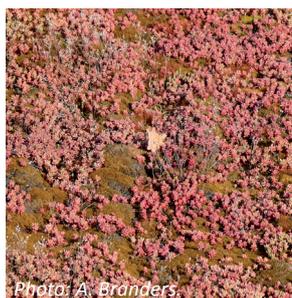
> Éviter autant que possible d'évacuer les eaux de pluie vers l'égout

Le cycle naturel de l'eau est perturbé par l'activité humaine.

L'urbanisation augmente la quantité de surfaces imperméables, ce qui bouleverse complètement le chemin de l'eau de pluie. À l'échelle d'une parcelle privée, l'objectif est de limiter l'impact de l'habitation sur le cycle naturel en limitant la quantité d'eau de pluie évacuée vers le réseau d'égouttage.

Les points clés à considérer au moment de la conception d'un projet sont :

- limiter les surfaces imperméables (toitures, accès, stationnement, ...) ;
- prévoir l'infiltration des eaux de pluie collectées sur la parcelle (noue, bassin sec ou en eau, fossé, ...) ou leur évacuation postposée avec un débit régulé ;
- privilégier les toitures vertes, en tenant compte des épaisseurs et du poids propre ;
- prévoir une citerne de récupération d'eau de pluie.



1. IMPACT D'UNE CONSTRUCTION SUR LE CYCLE DE L'EAU

L'implantation d'une habitation transforme un espace non urbanisé en zone bâtie. À l'échelle du territoire, la quantité de surfaces imperméables augmente par la création de toitures, terrasses et abords imperméables. La surface de terrain perméable et couvert de végétation est dès lors réduite et le cycle de l'eau de pluie s'en trouve modifié.

Dans le cas des zones naturelles plantées, la présence de végétation réduit le ruissellement. En moyenne, seulement 20 % de la pluie ruisselle, le reste s'infiltré, s'évapore ou est évapotranspiré par les plantes. Sur une surface imperméable, 80 à 90 % des eaux de pluie ruissellent.

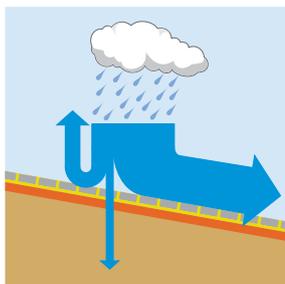
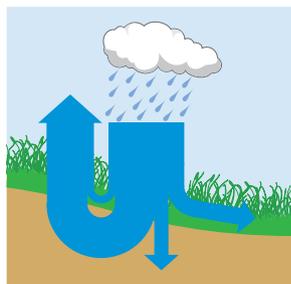


Schéma illustrant les différents chemins de l'eau de pluie. Le ruissellement est beaucoup moins important dans le cas d'une zone plantée que dans celui d'une zone peu perméable (chemin d'accès, parking, ...) ou imperméable (toiture, ...).



Problématique :

Les eaux de ruissellement sont traditionnellement évacuées vers le réseau d'égouttage public, se mélangeant alors aux eaux grises et noires¹. L'augmentation du volume d'eau dans le réseau d'égouttage a deux conséquences principales :

- augmentation du risque de saturation du réseau, ce qui peut provoquer des inondations ;
- dilution de la pollution et augmentation du volume d'eau à traiter dans les stations d'épuration, impliquant une diminution de leur efficacité et une dépense énergétique et financière supplémentaire.

La diminution de la quantité d'eau infiltrée dans le sol et l'augmentation du ruissellement implique aussi :

- réduction de l'épuration naturelle par le passage à travers la terre ;
- assèchement des nappes phréatiques et des sols.
- érosion des sols.

2. SOLUTIONS À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE DE LOGEMENT

Le premier objectif est de limiter les surfaces imperméables et le ruissellement.

- En plus d'une réflexion programmatique se souciant d'une certaine économie de l'espace habitable², la volumétrie sera choisie pour minimiser l'emprise au sol du bâtiment. On construit donc pas trop grand et plutôt en hauteur.
- Les surfaces des abords tels que chemins d'accès, aires de stationnement, terrasses, sont les plus perméables possible.
- En tenant compte de sa taille, l'espace du jardin est planté d'espèces variées avec arbres et buissons, qui limitent le ruissellement plus que le gazon.

Le deuxième objectif est de limiter et de retarder le transfert de l'eau ruisselée sur les surfaces imperméables vers le réseau d'égouttage.

Dans ce but, on peut mettre en œuvre différentes techniques compensatoires à l'imperméabilisation :

- Certains dispositifs locaux d'infiltration de l'eau de pluie permettent de la soustraire au volume d'eau évacuée. Cela revient à dire que l'eau qui provient du ruissellement des surfaces imperméables n'est pas rejetée vers le réseau d'égouttage, mais infiltrée sur place. On agit par exemple au niveau de la sortie d'une descente d'eau pluviale ou à l'exutoire du trop-plein d'une citerne d'eau de pluie, en mettant en œuvre l'une ou l'autre technique, suivant le volume à infiltrer, la nature du sol et l'espace disponible. On parle ici de noue, de bassin sec, de bassin en eau, de fossé, de massif ou de puits drainant.
- Les toitures vertes sont imperméables, mais offrent une possibilité de retenir l'eau de pluie.
 - * La proportion d'eau évacuée est réduite par évaporation et évapotranspiration des végétaux.
 - * L'évacuation de l'eau se fait avec un certain retard et avec un débit plus faible par rapport à la période de pluie.
- Les citernes de récupération d'eau de pluie permettent de stocker cette eau et de l'utiliser pour une série d'usages domestiques. Cependant, si la citerne est pleine au début de l'épisode de pluie, son efficacité est nulle et le volume de l'eau de pluie évacuée à l'égout ne sera pas diminué.
- Les citernes de rétention d'eau de pluie (ou citernes d'orage) se remplissent pendant les périodes de pluies et se vident en continu, avec un faible débit, vers le réseau d'égouttage. Ce système ne réduit pas le volume d'eau évacué, mais limite les risques d'inondation en aval.



Photo : V. Mahaut.

Pavement perméable.



Photo : V. Mahaut.

Évacuation de l'eau de pluie.

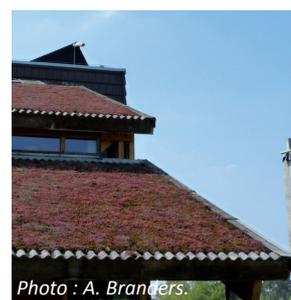


Photo : A. Branters.

Toiture verte extensive.



Photo : www.maison-passive.be

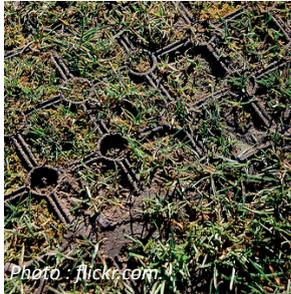
Citerne d'eau de pluie.

¹ On appelle eaux grises, les eaux usées venant des lavabos, éviers, douches, etc, polluées surtout par des détergents et des graisses, et eaux noires, les eaux fécales venant des WC.

² Référence à la fiche 2.2: AVANT-PROJET: PROGRAMME

2.1 Les différentes surfaces perméables pour l'aménagement des abords

Attention, une évacuation de l'eau reste à prévoir, en particulier si le sol est argileux.



Dalles gazon.

- En béton ou matériau synthétique
- Gazon occupant jusqu'à 95 % de la surface
- Posées sur une sous-couche et une fondation perméable
- Épaisseur totale : 25 - 55 cm selon la charge
- Peuvent aussi être remplies de graviers



Graviers ou galets.

- Solution simple et économique
- L'épaisseur et la granulométrie à mettre en œuvre sont fonction de la charge
- Ne convient que pour un trafic léger
- Un ajout périodique de granulats permet de boucher les trous qui se forment



Pavement perméable à larges joints, percés, en béton poreux.

- La perméabilité dépend du type de pavé choisi
- Les joints et percements sont remplis de sable/gravier fin ou de végétation (option qui réduit la perméabilité).
- En légère pente pour que l'eau excédentaire puisse être infiltrée dans une surface plantée voisine
- Posées sur une sous-couche et une fondation perméable
- Attention certains bétons poreux résistent mal au gel
- Ce type de pavé existe aussi en terre cuite

2.2 Les dispositifs d'infiltration de l'eau sur la parcelle



Bassin en eau.



Fossé d'infiltration.



Chemin de l'eau à ciel ouvert.



Noue.

Le principe de ces dispositifs est de créer une zone où l'eau de pluie qui ruisselle sur les surfaces imperméables est infiltrée dans la terre au lieu d'être évacuée vers le réseau d'égouttage général.

- L'espace disponible conditionne le choix du dispositif.
- Le *chemin de l'eau*, à ciel ouvert, peut être un élément structurant pour le projet, un apport esthétique autant qu'environnemental.
- Le *relief* de la parcelle est très important et doit être connu. L'eau va toujours vers le point le plus bas...
- Si la *nappe phréatique* se situe à moins de 1m de la surface, l'infiltration est impossible.
- La *perméabilité du sol* doit toujours être évaluée avant un dimensionnement.
- Un *exutoire* doit toujours être prévu pour évacuer les eaux excédentaires éventuelles vers le réseau d'égouttage et non vers une parcelle voisine ou un espace public... La seule alternative est un surdimensionnement important du dispositif d'infiltration.
- Il est déconseillé de placer un dispositif d'infiltration à moins de 6 m d'une cave non étanchéifiée.

Les **bassins d'infiltration secs** sont de simples dépressions. Ils sont appelés noues ou fossés s'ils se développent en longueur. Ils sont plantés ou couverts d'un matériau perméable. L'eau ne s'y accumule que pendant les périodes de pluie. Les *bassins en eau* comprennent une partie basse rendue imperméable. L'eau y reste en permanence. Au-dessus d'un certain niveau, les berges sont perméables et permettent d'infiltrer l'eau excédentaire accumulée pendant une pluie.

Les **massifs d'infiltration** sont des zones remplies de matériaux poreux (graviers, argile expansé, ...) entourés d'un géotextile. Ils sont appelés tranchées, lits ou puits selon qu'ils se développent en longueur, en surface ou en profondeur. Ils permettent de stocker plus d'eau que les bassins, et viennent parfois compléter ceux-ci.

Si l'infiltration est impossible, ces dispositifs peuvent être reliés au réseau d'égouttage et servent alors de réservoir temporaire. L'écoulement à débit régulé avec un retard sur la période de pluie réduit le risque d'inondation.



2.3 La toiture verte, extensive ou intensive

L'impact positif sur la réduction des eaux de ruissellement est d'autant plus important que la végétation est abondante et diversifiée en hauteur. Le facteur de ruissellement variera de 0.6 (extensive faible épaisseur) à 0.1 (intensive avec arbustes et arbres).

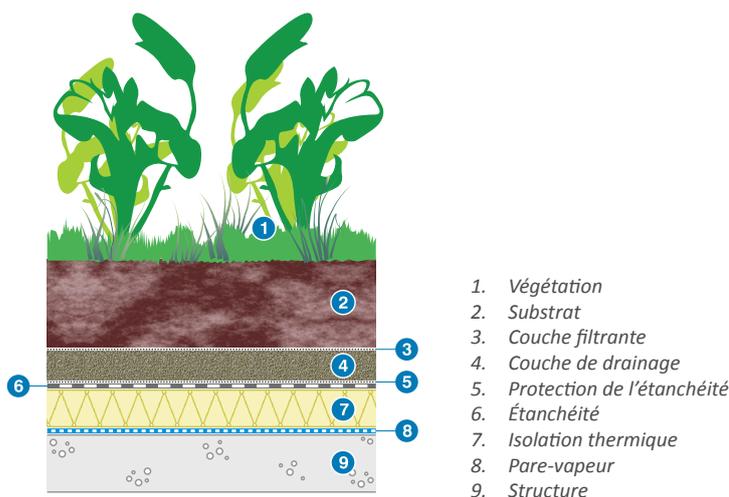
Autres avantages :

- Amélioration de la durée de vie de la toiture grâce à la protection de l'étanchéité.
- Amélioration de l'isolation acoustique.
- Amélioration de la protection incendie.
- Impact positif sur la qualité de l'air grâce à la photosynthèse des végétaux, à la réduction de la pollution par particules en suspension, et amélioration du micro-climat local par la diminution de la réflexion et par la régulation hygrométrique des végétaux.
- Impact positif sur la biodiversité.

Inconvénients :

- Pollution des eaux rejetées, ce qui rend le système incompatible avec une citerne d'eau de récupération.
- Entretien, coût...

Schéma de principe



toiture verte extensive	toiture verte intensive
pente de 0 à 35° sous certaines conditions	toiture plate
épaisseur du substrat : 2-15 cm	épaisseur du substrat : > 15 cm
hauteur des végétaux : 3-35 cm	hauteur des végétaux : > 50 cm
mousses, graminées, plantes grasses	tout, de la mousse à l'arbuste, en fonction de l'épaisseur de substrat
surcharge de 30-90 kg/m ²	surcharge > 300 kg/m ² , impact sur la structure
entretien faible ou même nul	entretien régulier nécessaire
à priori non accessible	peut être accessible
100-170 €/m ²	140-185 €/m ²



2.4 La citerne de récupération d'eau de pluie

Objectifs

- Réduire le volume d'eau de pluie évacué par le réseau d'égouttage. L'efficacité d'une citerne de récupération dépend du niveau de remplissage de la citerne en début de pluie. Elle peut être doublée d'une citerne de rétention (citerne d'orage).
- Réduire la consommation d'eau de ville en la remplaçant par de l'eau de pluie (entretien, arrosage, wc, lessives). Une utilisation rationnelle de l'eau reste prioritaire, même dans le cas d'une récupération de l'eau de pluie pour certains usages.
- Augmenter la durée de vie des appareils et diminuer la pollution par le savon par l'utilisation d'eau de pluie moins calcaire que l'eau de ville.

Solutions techniques

- Citerne de jardin ; réservée à la prise d'eau en direct.
- Citerne placée dans un grenier ; évite la nécessité d'une pompe, mais la structure doit être prévue en conséquence et les questions d'étanchéité à l'air et d'isolation des tuyaux d'eau de pluie doivent être considérées avec soin en cas de pénétration des tuyaux dans le volume chauffé.
- Citerne placée dans une cave ou enterrée dans le jardin (en béton ou en matière synthétique).



Photo : www.plubo.be/index
Citerne de jardin.

Bilan écologique

Le bilan environnemental global d'un système de récupération de l'eau de pluie a été réalisé par l'EPFL (Suisse). Le rapport souligne que, si l'approvisionnement en eau potable ne pose pas de problème, les coûts environnementaux de la mise en oeuvre, du fonctionnement et de l'entretien du système de récupération de l'eau de pluie peuvent être supérieurs au bénéfice environnemental. Il est donc essentiel d'être attentif aux facteurs influençant l'impact écologique positif du placement d'un système de récupération d'eau de pluie :

- Quantité d'eau suffisante pour remplacer, au minimum, les chasses d'eau et l'eau de lessive (l'eau pour l'entretien et l'arrosage pourrait être fournie par une citerne de jardin, moins coûteuse et ne nécessitant pas de pompe).
- Utilisation de la gravité comme moteur de distribution de l'eau (citerne dans le grenier).
- Absence d'autre alternative pour l'infiltration de l'eau de pluie et d'un réseau public séparatif (dans le cas d'un tel réseau, les eaux de pluie sont évacuées séparément des eaux usées et fécales, et souvent ramenées vers un bassin d'orage ou un ruisseau...).

Dimensionnement

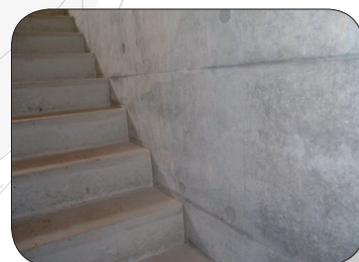
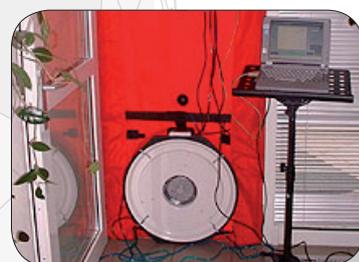
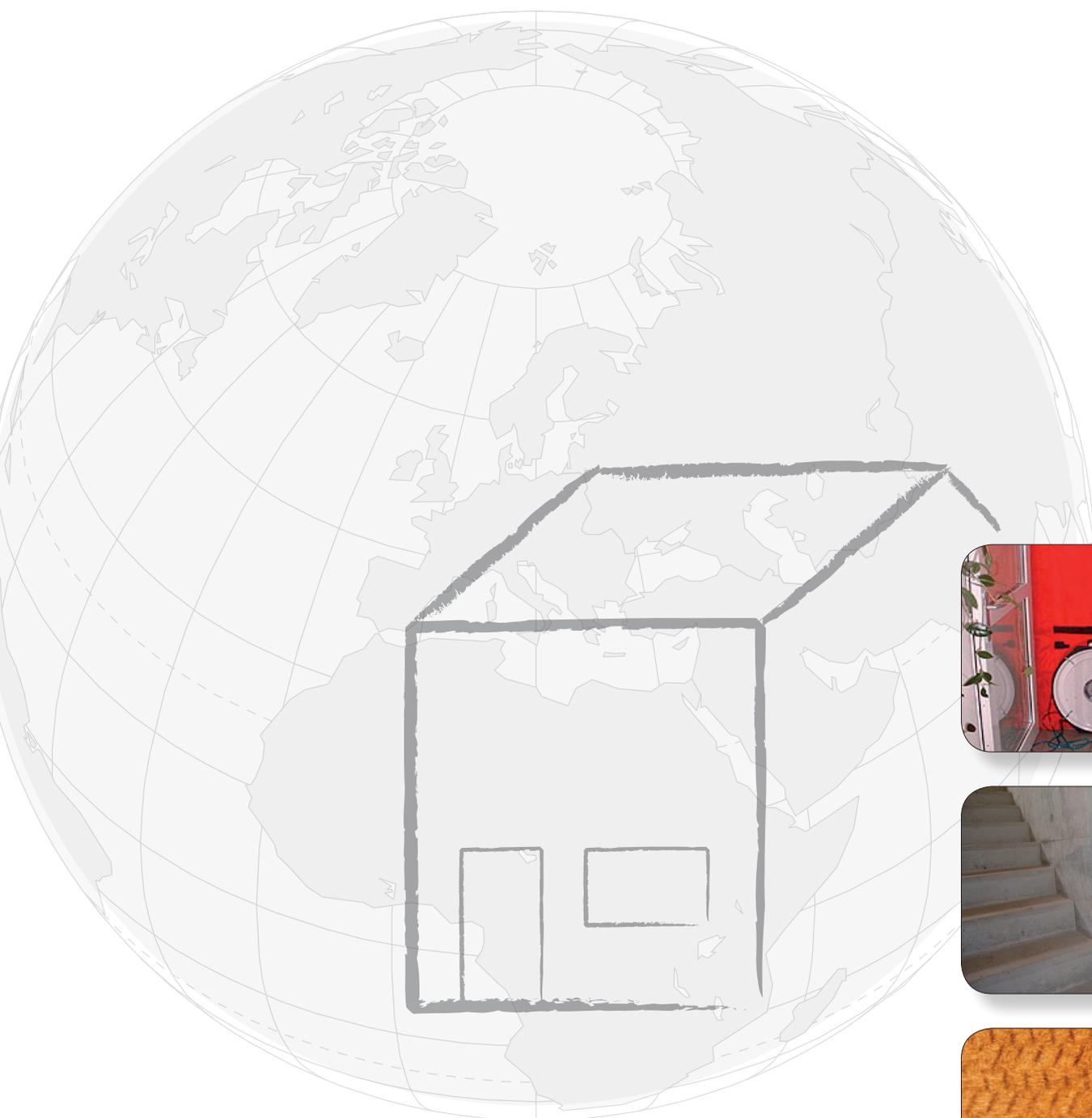
- Pour le prédimensionnement du volume de la citerne, on peut considérer entre 33 et 50 litres par m² de toiture.
- Pour un dimensionnement plus précis, un outil d'aide est disponible sur le site de l'IBGE¹ <http://www.ibgebim.be/Templates/Professionnels/Informer.aspx?id=2472>.
- Pour l'implantation d'une citerne enterrée, il est nécessaire de conserver une distance de 3 m minimum avec les fondations et racines d'arbre, et de la localiser en zone non carrossable.

Sources.

- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), *Guide pour la construction et la rénovation de petits bâtiments*, Éditions IBGE, 2009.
- V. MAHAUT, *L'eau et la ville, le temps de la réconciliation*, 2009.
- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), *Outil de gestion de l'eau sur la parcelle*, <http://www.ibgebim.be/Templates/Professionnels/Informer.aspx?id=2472>, 2009.
- O. JOLLIET, École polytechnique de Lausanne - GECOS, *Analyse du cycle d'approvisionnement en eau et récupération d'eau de pluie*, EFEFP, Berne, 2002.
- Vlaamse Milieumaatschappij, *Waterwegwijzer voor architecten*.
- *Exemple de gestion d'eau pluviale via des aménagements urbains* : présentation du CRR.

¹ Attention, cet outil a été réalisé en considérant la pluviométrie bruxelloise..

3 Projet





ISOLATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE

> Isoler, bien sûr, mais comment ? Jusqu'où ? Pour quel impact ?

Une isolation performante est un des aspects clés de la conception d'un bâtiment durable. Se pose alors la question du niveau d'isolation à atteindre, de la manière d'y arriver, des caractéristiques, non seulement thermiques, mais aussi environnementales des matériaux à utiliser...

Une démarche cohérente vise à minimiser la consommation totale du bâtiment, sur toute sa durée de vie, dans les limites (souvent budgétaires) de son maître d'ouvrage. Il faut tenir compte de l'énergie consommée pour le chauffage, mais aussi pour tous les autres systèmes, ainsi que du bilan écologique de tous les matériaux de construction mis en œuvre.

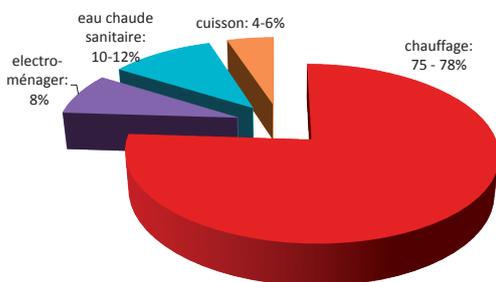
Une attention particulière doit être portée à tous les détails de jonctions pour éviter les ponts thermiques qui causent des déperditions supplémentaires et peuvent être sources de problèmes de condensation.

Une isolation performante permet aussi d'améliorer le confort intérieur du bâtiment par l'augmentation des températures des surfaces intérieures.



1. ISOLATION PERFORMANTE : OBJECTIFS

1.1 La diminution du besoin de chauffage



source : ICEDD.

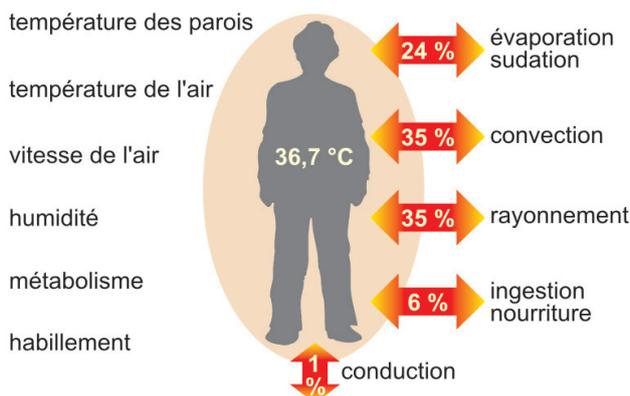
Répartition des consommations d'énergie dans le logement.

En moyenne, le chauffage est responsable de 75 à 78% de la consommation énergétique du secteur résidentiel. C'est donc la première cible en matière d'économie d'énergie.

La consommation d'énergie pour le chauffage dépend des déperditions thermiques du bâtiment, de ses pertes par ventilation et par infiltrations, de ses gains solaires et internes et des caractéristiques de ses systèmes.

L'isolation de l'enveloppe du bâtiment permet de réduire les déperditions thermiques à travers les parois.

1.2 L'augmentation du niveau de confort



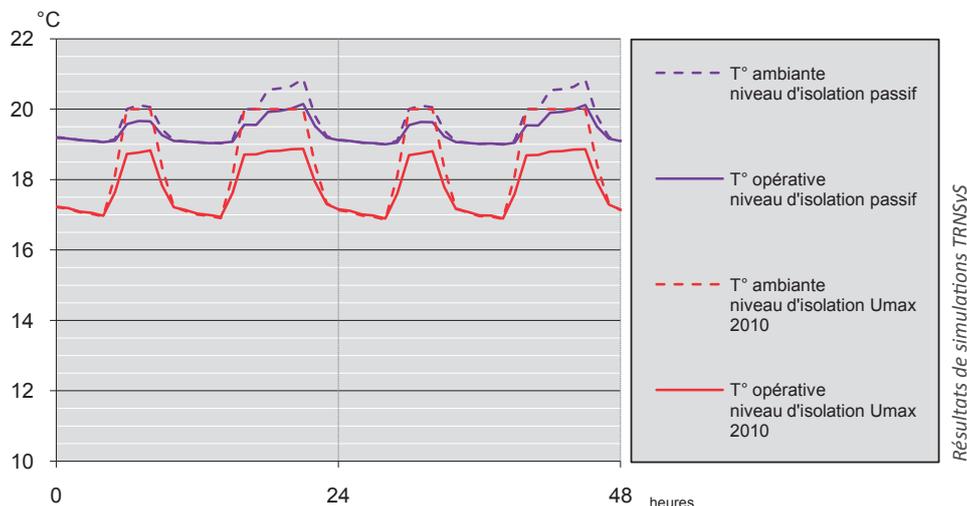
Le confort thermique dépend des 6 paramètres physiques illustrés par le schéma ci-contre.

La température opérative est la température ressentie par l'individu. De manière simplifiée, on considère que c'est la moyenne entre la température de l'air et la température des parois.

Dans un bâtiment mal isolé, les parois de l'enveloppe sont froides tandis que dans un bâtiment très bien isolé, elles se rapprochent fortement de la température de l'air. Le phénomène de «paroi froide» disparaît et le confort de l'occupant est amélioré.



Graphe des températures opératives et ambiantes dans le séjour pendant 48h au mois de janvier. La contrainte de chauffage est fixée à 20°C pendant les périodes d'occupation. Seuls le niveau d'isolation et le taux d'infiltration varient.



Le graphe ci-dessus montre que, pour une même température de consigne de chauffage (20 °C pendant les périodes d'occupation), la température opérative, qui est la température ressentie par l'occupant, est plus élevée dans une maison passive que dans une maison « K55 ». La différence avoisine un degré.

En pratique, en conservant un confort équivalent, on peut aussi diminuer la température de consigne du chauffage, et réaliser une économie d'énergie supplémentaire.

Le parc immobilier belge est très mal isolé, les maisons qui sont réellement « K55 » ne sont pas fréquentes et pour la plupart des gens, l'amélioration du confort par rapport à une situation antérieure sera supérieure à celle décrite ici.

Une isolation accrue permet de réduire les consommations d'énergie de chauffage de la maison et d'améliorer la sensation de confort des occupants.

2. DONNÉES UTILES QUAND ON PARLE D'ISOLATION

2.1. Définitions

Conductivité thermique λ d'un matériau [W/mK]

Représente la quantité de chaleur transférée par conduction dans le matériau, par unité de surface et par une unité de temps sous un gradient de température de 1 degré. De façon générale, les valeurs lambda des matériaux sont renseignées dans l'annexe VII de l'AGW du 17/04/2008. Pour un matériau spécifique, la valeur lambda déclarée est souvent plus avantageuse que celle indiquée dans la norme et peut être utilisée si le matériau est caractérisé par un marquage CE ou par un agrément technique¹.

Plus le λ est petit, plus le matériau est isolant.

Coefficient de transmission thermique U d'une paroi [W/m²K]

Représente la quantité de chaleur transférée par la paroi, par unité de surface et par une unité de temps sous un gradient de température de 1 degré.

La valeur U d'une paroi dépend du rapport entre la conductivité thermique et l'épaisseur de chacune de ses couches.

Plus le U est petit, plus la paroi est isolée.



Niveau K d'un bâtiment

Le niveau d'isolation thermique globale K est un indicateur de la performance énergétique de l'enveloppe du volume protégé. Le niveau K est calculé sur base des déperditions thermiques au travers des parois, de la surface totale de déperdition et du volume protégé (et donc de la compacité).

Plus le K est petit, plus l'enveloppe est performante.

Niveau E_w d'un bâtiment

C'est le niveau de consommation d'énergie primaire, calculé pour une unité PEB. Il est le rapport entre la consommation annuelle d'énergie primaire de l'unité (la maison) et une consommation annuelle d'énergie primaire de référence, multiplié par 100. Le niveau E_w d'un bâtiment permet d'évaluer sa performance en termes de consommation d'énergie primaire, en considérant les consommations pour le chauffage, mais aussi pour la production d'eau chaude sanitaire, les auxiliaires et la production de froid éventuelle. Les gains solaires et internes ainsi que la production d'électricité ou d'eau chaude via des capteurs solaires sont considérés dans le calcul.

Le niveau E_w est calculé suivant la procédure PEB. La réglementation belge définit le niveau E_w maximal à ne pas dépasser dans le cas d'une construction neuve.

Plus le E_w est petit, plus le bâtiment est performant.

Standard passif

Le Standard passif est un niveau de performance énergétique défini très clairement par une série de critères sur l'étanchéité à l'air ($\eta_{50} \leq 0.6 \text{ h}^{-1}$), le besoin net de chauffage ($\leq 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$) et la consommation d'énergie primaire totale ($\leq 120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$). Le calcul doit être effectué par le logiciel PHPP en respectant certaines règles. Le standard passif n'impose aucune méthode, il impose un résultat final. Les coefficients de transmission thermique des parois renseignés ci-après le sont donc à titre purement indicatif et peuvent varier suivant le projet.

Niveau « basse-énergie »

Il n'existe aucune définition universelle de ce niveau de performance énergétique. Historiquement, ont été qualifiés de « basse énergie » tous les bâtiments qui étaient plus économes en énergie que ce qu'imposait la norme au moment de leur construction. Les critères d'évaluation du besoin d'énergie ne sont pas définis. Cette notion est donc très floue et variable suivant le moment et le lieu.

Dans ce document, le niveau de performance « basse énergie » correspond à un besoin de chauffage de $38 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$, évalué par le logiciel PHPP, pour une maison individuelle 4 façades étudiée. Les coefficients de déperdition thermique des parois sont détaillés ci-après. La maison considérée est par ailleurs équipée d'un système de ventilation double flux avec récupérateur de chaleur et est caractérisée par un taux d'infiltration faible ($\eta_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$).

Le niveau « basse énergie » est défini par un besoin d'énergie de chauffage (et de refroidissement) égal ou inférieur à $30 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ par le service public fédéral finances dans le cadre des réductions d'impôt (2010).

Éco-bilan d'un matériau

C'est l'analyse et la quantification de toutes les ressources utilisées et toutes les nuisances émises tout au long du cycle de vie du matériau, depuis la matière brute jusqu'au déchet.

On peut étendre l'analyse à une paroi, ou même à un bâtiment en considérant l'ensemble des éléments dont ils sont constitués et tous leurs assemblages.

Énergie grise d'un matériau

C'est l'énergie primaire utilisée pour la production, l'utilisation et l'évacuation d'un matériau, depuis l'extraction des matières premières jusqu'au traitement en fin de vie. L'énergie grise d'une paroi ou d'un bâtiment, est la somme des énergies grises de ses composants, ainsi que l'énergie nécessaire au transport jusqu'au chantier et à la mise en œuvre. Nous ne considérons pas ici ces deux derniers aspects, très difficiles à chiffrer.



1.2 Caractéristiques physiques des matériaux d'isolation

Matériaux et composants	Densité	Conductiv.therm	Chaleur spécif.	Capacité therm. ρC	Diffusivité	Effusivité	Résistance à la diffusion	
	ρ kg/m ³	λ W/mK	C J/kgK	ρC kJ/m ² K	$\lambda / \rho C$ m ² /s	$(\lambda \rho C)^{1/2}$ J/m ² Ks ^{1/2}	de vapeur d'eau μ sec	μ humide
ISOLANT THERMIQUE - base minérale								
laine de roche	[15 à 200] 100	[0,031 à 0,044] 0,035	1030	103,0	0,3398	60,04	2,00	1,00
laine de verre	[10 à 120] 60	[0,031 à 0,044] 0,035	1030	61,8	0,5663	46,51	2,00	1,00
verre cellulaire - panneaux	[100 à 150] 120	[0,038 à 0,050] 0,040	1000	120,0	0,3333	69,28	pratiquement étanche	
verre cellulaire - en vrac	[130 à 150] 130	0,089	900	117,0	0,7607	102,04	?	?
perlite expansée - panneaux	[140 à 240] 145	[0,050 à 0,065] 0,057	900	130,5	0,4368	86,25	5,00	5,00
perlite expansée - en vrac	[30 à 150] 90	[0,050 à 0,065] 0,057	900	130,5	0,4368	86,25	5,00	2,00
billes d'argile expansée	[200 à 400] 300	[0,090 à 0,160] 0,125	1000	300,0	0,4167	193,65	2,00	2,00
ISOLANT THERMIQUE - base synthétique								
polystyrène expansé	[10 à 50] 30	[0,031 à 0,045] 0,035	1450	43,5	0,8046	39,02	60,00	60,00
polystyrène expansé graphité								
polystyrène extrudé	[20 à 65] 35	[0,028 à 0,038] 0,035	1450	50,8	0,6897	42,15	150,00	150,00
polyuréthane - panneau	[20 à 65] 40	[0,023 à 0,029] 0,025	1400	56,0	0,4464	37,42	60,00	60,00
mousse phénolique - panneau	[20 à 50] 35	[0,022 à 0,038] 0,030	1400	49,0	0,6122	38,34	50,0000	50,0000
ISOLANT THERMIQUE - fibres végétales								
matelas de fibres de bois	75	0,040	1470	110,3	0,363	66,408	5,00	3,00
panneaux de fibres de bois	[150 à 250] 160	0,040	1470	235,2	0,170	96,995	5,00	3,00
matelas de cellulose	70	0,040	1900	133,0	0,301	72,938	2,00	1,00
cellulose en vrac	[20 à 60] 30	[0,035 à 0,055] 0,040	1600	48,0	0,833	43,818	2,00	1,00
panneaux de liège	120	0,040	1700	204,0	0,196	90,333	30,00	5,00
liège en vrac	100	0,040	1700	170,0	0,235	82,462	10,00	5,00
matelas en fibres de coco	[50 à 140] 100	0,040	1550	155,0	0,258	78,740	2,00	1,00
panneaux de fibres de chanvre	[20 à 70] 45	0,040	1550	69,8	0,573	52,820	2,00	1,00
panneaux de fibres de lin	25	0,040	1550	38,8	1,032	39,370	2,00	1,00
ISOLANT THERMIQUE - fibres animales								
laine de mouton	[30 à 90] 60	0,040	1500	90,0	0,4444	60,00		

Les valeurs λ , C, μsec et μhumide ont été définies selon :

- l'annexe A de la norme NBN 62-002 ;
- la norme NBN EN 12524 Matériaux et produits pour le bâtiment - propriétés hygrothermiques ;
- le calculateur U de la Région wallonne pour les matériaux non repris dans la norme.

Pour les matériaux non repris dans les outils précédents, les valeurs ont été définies selon différentes publications scientifiques dont :

- Construire, Atlas des matériaux, M. HEGGER, V. AUCH SCHWELK, M. FUCHS, T. ROSENKRANZ, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2009.
- Passivhaus - Bauteilkatalog, Ökologisch bewertete Konstruktionen, 3ème édition, Springer Wien New-York, 2009.

Pour certains matériaux, notamment les isolants, dont les valeurs ρ et λ sont comprises dans une échelle de grandeur, nous avons chaque fois donné :

- l'échelle de grandeur - exemple [0,031 à 0,045] ;
- la valeur utilisée lors des différentes analyses - exemple 0,035.

les valeurs λ qui peuvent être utilisées dans le cadre du calcul PEB sont :

- λ de la norme, renseignés dans l'annexe VII de l'AGW du 17/04/2008.
- λ spécifique d'un produit caractérisé par un marquage CE ou par un agrément technique, renseigné sur le site www.epbd.be.



1.3. Quelques valeurs de transmission thermique de parois en guise de repère

La transmission thermique des parois ne suffit pas pour déterminer le besoin de chauffage d'un bâtiment. D'autres paramètres interviennent, comme la surface de déperdition, la compacité du bâtiment, ses gains solaires et internes, les débits de ventilation et les caractéristiques d'un éventuel échangeur de chaleur sur l'air de ventilation.

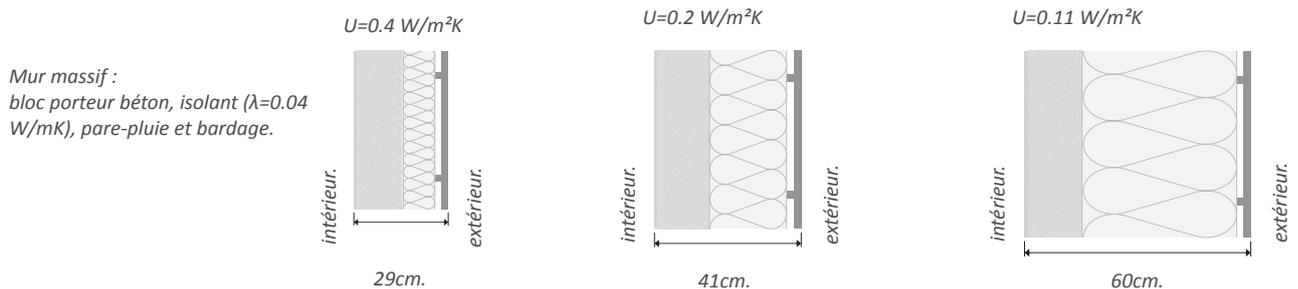
Parois de la surface de déperdition thermique du bâtiment	valeurs imposées en région wallonne, dans le cadre de la PEB (à partir de mai 2010)	valeurs conseillées pour atteindre le niveau « basse-énergie » tel que défini ici (38kWh/m ² .an)	valeurs conseillées pour atteindre le standard passif (15 kWh/m ² .an)
1. Fenêtres et autres parois translucides :			
- valeur globale pour l'élément	$U_{max} = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- valeur spécifique pour la partie centrale vitrée	$U_{max} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
2. Portes	$U_{max} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
3. Murs et parois opaques :		$U_{max} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$
- entre le volume protégé et l'air extérieur	$U_{max} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$		
- entre le volume protégé et un vide sanitaire ou une cave	$R_{min} = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$		
- entre le volume protégé et le sol	$R_{min} = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$		
4. Toitures et plafonds	$U_{max} = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,175 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$
5. Planchers :		$U_{max} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- entre le volume protégé et l'air extérieur ou les EANC (Espaces Adjacents Non Chauffés)	$U_{max} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$		
- entre le volume protégé et le sol, un vide sanitaire, une cave, ...	$R_{min} = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$		
6. Parois mitoyennes (parois entre deux volumes protégés ou deux appartements)	$U_{max} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$		

PEB :

Le calcul des coefficients de transmission thermique U des parois, en fonction des matériaux qui les constituent, est intégré dans le logiciel PEB. Il tient compte des joints de la maçonnerie si ceux-ci sont supérieurs à 3mm, des fixations mécaniques qui traversent la couche d'isolation (crochets, ...) et des éléments de bois dans la couche d'isolant (ossature, chevrons, ...).

1.4 Exemples de parois

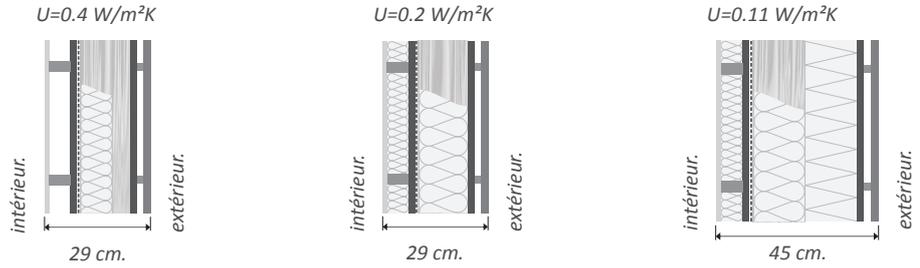
Les parois ci-dessous sont des exemples de compositions qu'on peut trouver dans un bâtiment « conforme à la réglementation PEB 2010 », « basse énergie » ou « passif ». Les épaisseurs peuvent varier suivant les performances des matériaux choisis.



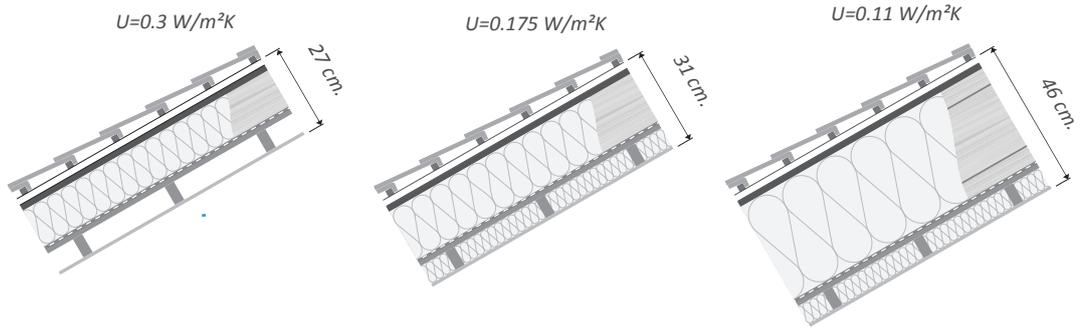


N° de fiche : **3.1**
 Liens :
 3.5

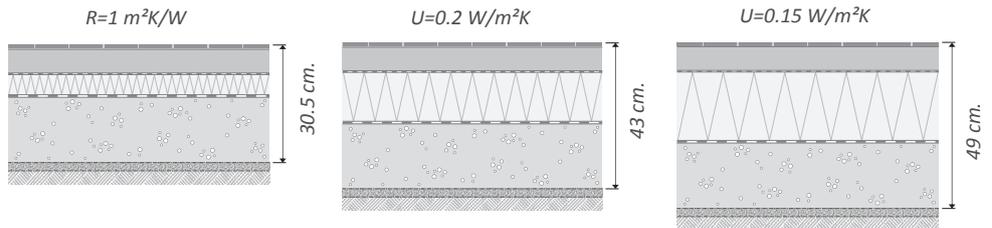
Mur ossature bois :
 Panneau de carton-plâtre,
 vide technique (éventuel-
 lement avec isolant), osb,
 structure et isolant ($\lambda=0.04$ W/
 mK), pare-pluie et bardage.



Toiture :
 tuiles, lattage et
 contre-lattage,
 pare-pluie, structure
 et isolant ($\lambda=0.04$
 W/mK), osb, vide
 technique (éventuel-
 lement avec isolant),
 panneau de carton-
 plâtre.



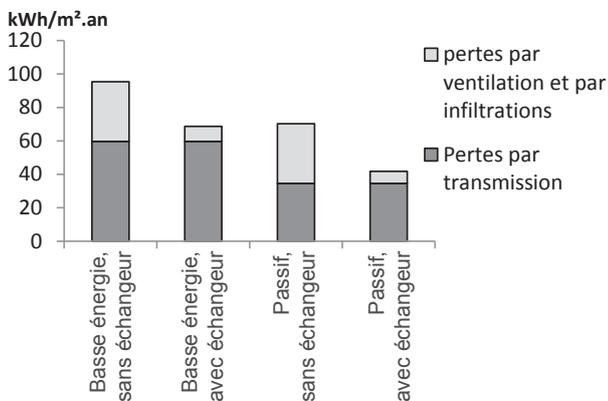
Dalle de sol :
 carrelage, chape de béton,
 isolant ($\lambda=0.03$ W/mK), dalle
 de béton, sable stabilisé.



2. INFORMATIONS POUR UNE CONCEPTION COHÉRENTE

L'isolation thermique est une priorité indiscutable dans le cadre d'une construction durable. Le principe est évident, mais la définition d'une limite l'est moins. Quand l'isolation est très performante, quelle devient la priorité ? L'objectif est de trouver un équilibre optimal entre les différents éléments qui permettent d'améliorer le bilan environnemental de la maison, de manière globale et dans les limites du budget...

2.1 Bilan des pertes thermiques : l'importance des déperditions par transmission



Dans une maison, on observe trois types de pertes de chaleur : transmission à travers les parois, ventilation et infiltrations d'air.

Le graphe ci-contre illustre le rapport entre les pertes par transmission et les pertes par ventilation et infiltrations dans une maison basse-énergie ou passive.

Les pertes par transmission à travers les murs peuvent être réduites par une amélioration de l'isolation ou par une diminution de la surface de déperdition.

Les pertes par ventilation peuvent être réduites par l'installation d'un échangeur de chaleur double-flux sur un système de ventilation mécanique.

Les pertes par infiltration peuvent être réduites en améliorant l'étanchéité à l'air du bâtiment.

Pertes de chaleur sur une année, par m^2 , pour une maison 4 façades, avec deux niveaux d'isolation (basse énergie et passif), calculées avec le logiciel PHPP¹. La maison est équipée ou non d'un échangeur de chaleur sur la ventilation mécanique.

Une isolation thermique performante doit toujours être complétée par une bonne étanchéité à l'air et un système de ventilation efficace.

¹ Les débits de ventilation correspondent à la situation belge.



2.2 Bilan des impacts écologiques : la performance des systèmes et le choix des investissements

La diminution de l'impact environnemental d'une maison se fait à plusieurs niveaux au point de vue énergétique.

- Limiter le besoin de chauffage, en réduisant les pertes (transmission à travers les parois, ventilation et infiltrations d'air) et en optimisant les gains solaires.
- Optimiser les systèmes pour réduire au maximum l'impact de l'énergie nécessaire (rendement, quantité d'énergie primaire et taux de pollution de l'énergie primaire utilisée).
- Assurer le confort thermique sans recours au refroidissement mécanique.

Le choix des systèmes est déterminant pour l'impact global du bâtiment sur l'environnement. Cet aspect est largement détaillé dans la fiche 4.2. On peut reprendre ici, comme exemple, le fait que la consommation en énergie primaire d'une maison passive dont le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont fournis par de l'électricité est similaire à celle d'une maison dont le besoin net de chauffage est quatre fois plus élevé (60 kWh/m².an) mais dont le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont produits par une chaudière au gaz.

Dans le contexte d'un budget limité, deux approches peuvent être envisagées. Le choix de l'une ou de l'autre reste celui du maître d'ouvrage.

- Une approche « à court terme » ou « à investissement ponctuel » mène à choisir les systèmes en parallèle avec le niveau d'isolation pour minimiser l'impact global du bâtiment. Cette approche exclut le chauffage électrique et peut aboutir à des performances moins exigeantes que celles du standard passif.
- Une approche « à long terme » ou « à investissement continu » mène à la réduction maximale des besoins d'énergie, quitte à opter pour une production de chaleur électrique dans un premier temps. Cette approche part du principe que la durée de vie de l'enveloppe du bâtiment est longue et que ses caractéristiques sont difficiles à améliorer, contrairement à celles des systèmes, qui pourront être remplacés par des systèmes moins polluants au cours de la vie du bâtiment.

2.3. Bilan des impacts écologiques : l'importance de la consommation de chauffage

Une isolation renforcée vise à diminuer la consommation de chauffage et par conséquent, la consommation d'énergies fossiles. Cependant, même si la problématique concernant la réduction des consommations d'énergie est une priorité majeure, elle n'est pas le seul aspect à considérer dans le cadre du développement durable. Si on observe l'ensemble des impacts du bâtiment, on constate que le secteur de la construction est responsable de :

- 50 % de l'exploitation totale des ressources naturelles (dont les énergies fossiles) ;
- 45 % de la consommation totale d'énergie ;
- 40 % de la production de déchets ;
- 16 % de la consommation d'eau, dont 1 à 2 % pour l'alimentation humaine.

Les stratégies actuellement développées se concentrent surtout sur les économies d'énergie d'utilisation, pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et limiter l'épuisement des ressources fossiles. Cette démarche a l'avantage de combiner une action sur la pollution globale et une action sur le portefeuille du particulier. Cependant, dans une approche complète et pour garantir la cohérence des choix par rapport aux principes du développement durable, il est essentiel de considérer l'ensemble des impacts du bâtiment sur l'environnement.

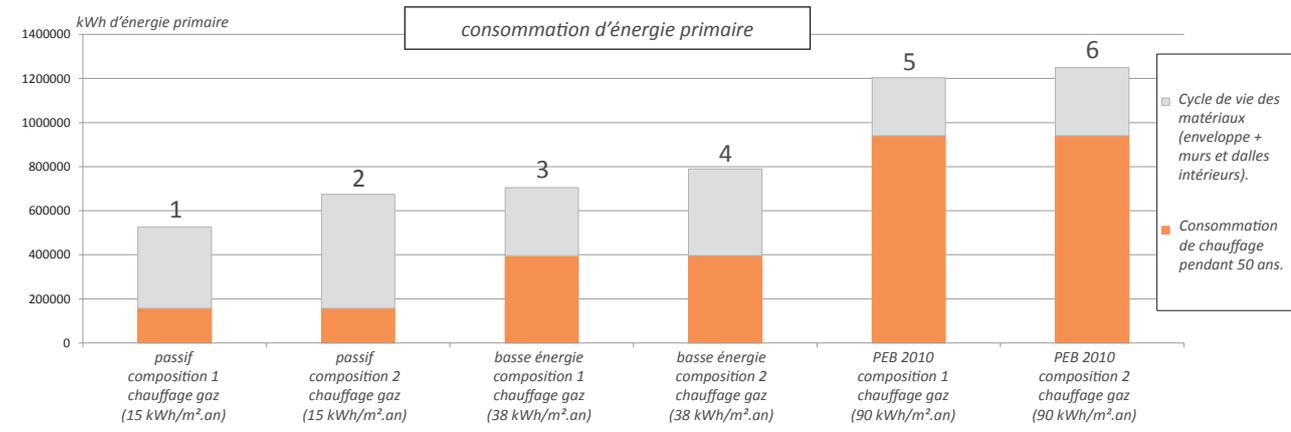
La prise en compte de l'impact des matériaux n'est pas encore du tout généralisée, mais la question se pose particulièrement dans les bâtiments très performants énergétiquement. En effet, l'augmentation du niveau d'isolation des parois a un effet pervers. Elle permet de réduire le besoin de chauffage, mais d'un autre côté, le supplément de matériaux mis en œuvre augmente l'impact environnemental de la paroi. Il est donc important de chiffrer les impacts respectifs pour trouver le meilleur équilibre global.

GUIDE POUR LA CONCEPTION DE MAISONS NEUVES DURABLES

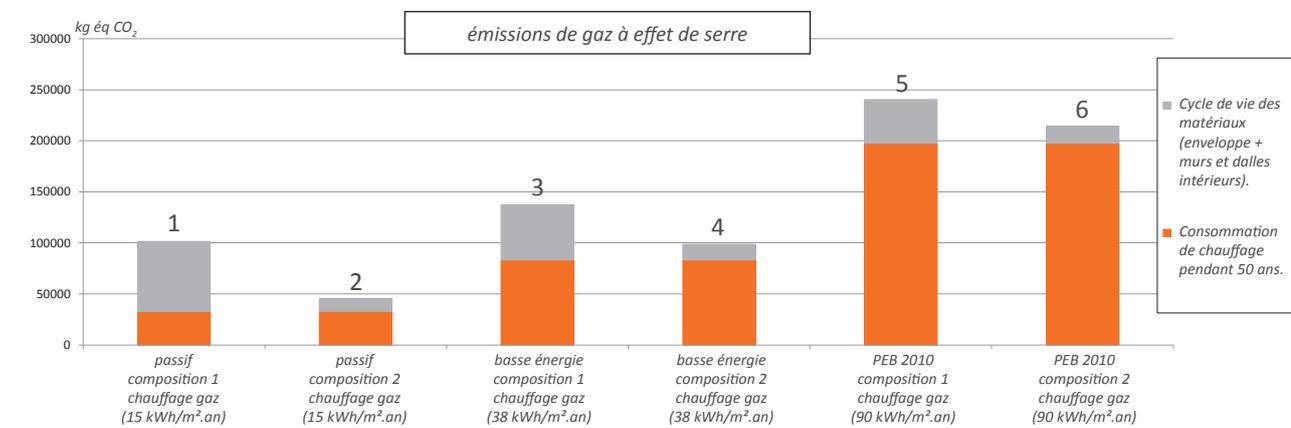
ISOLATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE



N° de fiche : **3.1**
Liens :
3.5



graphe 1.a



graphe 1.b

Consommation totale d'une maison en énergie primaire (1.a) et total des émissions de gaz à effet de serre d'une maison en kg éq CO₂ (1.b) sur une période de 50 ans, en considérant un chauffage au gaz avec un rendement total de 80%. L'impact des matériaux de construction d'une maison a été calculé en tenant compte de la fabrication du matériau, de son remplacement éventuel dans le cas d'une durée de vie inférieure à 50 ans et de son élimination en fin de vie¹.

- avec 3 niveaux d'isolation différents (les épaisseurs d'isolant varient pour atteindre les coefficients U renseignés au point 1.3) ;
- avec deux variantes au niveau des matériaux :
 - * composition 1 : utilisation de panneaux de laine de roche dans la toiture et dans les murs, de polystyrène extrudé dans la dalle de sol, murs en blocs silico-calcaires et bardage zinc ;
 - * composition 2 : utilisation de fibre de bois dans la toiture et dans les murs, de panneaux de polyuréthane dans la dalle de sol, murs en blocs béton et bardage bois.

Les graphes ci-dessus permettent de visualiser plusieurs phénomènes :

- Dans le cas d'une maison passive, l'énergie grise des matériaux de construction est plus importante que l'énergie primaire nécessaire pour le chauffage² (1a, colonnes 1 et 2). Ce phénomène serait toujours présent, mais un peu moins marqué si l'analyse était réalisée sur une période plus longue que 50 ans.
- Dans le cas d'une maison passive, si on observe les émissions de gaz à effet de serre, (1b), on constate une très forte dépendance au choix des matériaux (1b, colonnes 1 et 2).
- Pour des parois de composition identique, l'isolation jusqu'au standard passif permet de réduire la consommation globale d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre (colonnes 1 et 3, ou 2 et 4).
- Pour des parois de compositions différentes, la consommation d'énergie primaire et le taux d'émission de gaz à effet de serre dépendent à la fois du choix des matériaux et du niveau d'isolation (1a, colonnes 2 et 3 et 1b, colonnes 1 et 4).
- Les parois/matériaux qui émettent le moins de gaz à effet de serre ne sont pas toujours ceux qui sont caractérisés par la plus faible énergie grise. Ceci dépend fortement du type de matériau et du mode de fabrication.

¹ Toutes les informations sur les bilans environnementaux des matériaux sont disponibles dans le document «Choix des matériaux, écobilans de parois», publié par la Région wallonne
² à condition de ne pas utiliser l'électricité pour la production de chaleur.



L'impact du choix des matériaux n'est pas du tout négligeable dans le bilan environnemental global d'un bâtiment, surtout lorsqu'il atteint de bonnes performances énergétiques.

L'énergie grise d'un matériau et l'énergie primaire de la consommation de chauffage sont des indicateurs intéressants, mais totalement insuffisants pour évaluer l'impact écologique d'un bâtiment. Suivant le processus physico-chimique de fabrication des matériaux, et suivant le mode de production de l'énergie utilisée, d'autres polluants sont émis. L'émission de gaz à effet de serre est un autre indicateur, mais on pourrait aussi considérer la consommation en eau, la production de déchets ou l'épuisement des ressources...

Le calcul PEB permet une optimisation en tenant compte des pertes par ventilation, infiltrations, et déperditions thermiques, ainsi que de l'impact des systèmes choisis. Par contre, l'impact du choix des matériaux n'est pas pris en compte.

3. ISOLATION PERFORMANTE : ÉVITER LES PONTS THERMIQUES

3.1 Définition et enjeux

Le terme « pont thermique », utilisé généralement, n'est volontairement plus utilisé dans la réglementation afin d'éviter la connotation négative qui y est attachée. On parle de « nœud constructif ».

Dans le domaine du bâtiment, un pont thermique est la plupart du temps considéré comme un endroit où la résistance thermique de la paroi (unidimensionnelle et habituellement uniforme) est significativement modifiée par :

- un percement complet ou partiel de l'enveloppe du bâtiment par des matériaux ayant une conductivité thermique différente ;
- et/ou une modification de l'épaisseur de la construction ;
- et/ou une différence entre les surfaces extérieures et intérieures, comme lors de raccordements entre murs et sols, plafonds et toitures.

La présence d'un pont thermique a deux effets principaux :

- La création de déperditions thermiques supplémentaires, qu'il convient de comptabiliser. Pour un bâtiment bien isolé, l'augmentation des déperditions thermiques due à la présence de ponts thermiques peut aller jusqu'à 25 %.
- La diminution de la température de surface de la paroi intérieure, qui peut provoquer des phénomènes de condensation. Les problèmes d'humidité liés à la condensation risquent de dégrader la surface et de favoriser la présence de champignons, pouvant entraîner la ruine de certains éléments de l'ouvrage et avoir un effet néfaste sur la santé des occupants.



Photo : Klaus Sedlbauer
Moisissures à l'endroit d'un pont thermique.

Lorsqu'on fait attention à traiter correctement le détail d'exécution du point de vue thermique, les problèmes cités peuvent être réduits à un minimum et on ne peut, en principe, plus parler de pont thermique. C'est la raison pour laquelle le terme nœud constructif a été introduit. Ce terme couvre l'ensemble des endroits de l'enveloppe du bâtiment où apparaissent des pertes thermiques supplémentaires sans pour autant qu'on ait affaire à des pertes thermiques excessives et/ou à des problèmes de condensation ou de moisissures.

Dans une construction neuve : une conception attentive et une exécution soignée doivent permettre d'éviter les ponts thermiques. Si ce n'est pas le cas, ceux-ci sont pris en compte dans l'évaluation des déperditions et analysés au niveau de la condensation de surface pour éviter tout problème.

En Belgique, les calculs de déperditions thermiques sont toujours réalisés sur base des surfaces et dimensions extérieures du bâtiment. Cette caractéristique permet de négliger les ponts thermiques dits « géométriques » dus à une différence de surface entre l'extérieur et l'intérieur (angle dans l'enveloppe) si la couche d'isolant principale est continue dans l'angle et de même résistance thermique de part et d'autre de l'angle où les parois se rejoignent.



Les nœuds constructifs les plus classiques sont linéaires, aux endroits de jonctions, entre la dalle de sol et les murs porteurs, entre les seuils et la structure, entre la dalle de plancher et le mur de façade par exemple.

On peut aussi observer des nœuds constructifs ponctuels (perforation de l'enveloppe par un élément de résistance thermique moindre par exemple).

3.2 Évaluation

Évaluation des déperditions thermiques supplémentaires suivant la réglementation :

Le projet de modification de l'annexe IV de l'Arrêté PEB¹ fixe la prise en compte de l'incidence des nœuds constructifs sur le coefficient de transfert thermique par transmission. Dans celui-ci le choix est laissé entre trois méthodes : la méthode détaillée, la méthode de nœuds PEB-conformes et la méthode du choix du supplément forfaitaire pénalisant le niveau K.

- La méthode détaillée ('Option A') permet de déterminer le plus exactement possible l'influence des nœuds constructifs sur le flux de chaleur total. Tous les nœuds constructifs linéaires et ponctuels doivent dans ce cas être calculés individuellement.
- La méthode des nœuds PEB-conformes ('Option B') prévoit une petite pénalité forfaitaire sur le niveau K pour les nœuds constructifs à pont thermique négligeable. Pour ces nœuds constructifs, il suffit de montrer qu'ils sont 'PEB-conformes'. Il n'est pas nécessaire d'en déterminer les longueurs et le nombre, pour que le calcul puisse être effectué. Les nœuds qui ne sont pas PEB-conformes doivent être pris en compte individuellement.
- Si on choisit de ne pas prendre en compte l'influence des nœuds constructifs suivant la méthode détaillée ou la méthode des nœuds PEB-conformes, une pénalité forfaitaire ('Option C') est prévue.

Évaluation des déperditions thermiques supplémentaires par calcul :

Les ponts thermiques linéaires et ponctuels sont définis par leurs coefficients de transmission thermique linéaire ψ (W/mK) et ponctuel χ (W/K). Ces valeurs permettent d'évaluer les déperditions thermiques supplémentaires et peuvent en général être déterminées par plusieurs méthodes de calcul :

- la valeur exacte de ψ et/ou χ est déterminée à l'aide d'un calcul numérique validé. Les programmes de calcul numérique comme Trisco, Bisco, Therm² (logiciel libre), qui sont utilisés dans le cadre de la réglementation PEB, doivent (devront) satisfaire à toutes les exigences qui sont indiquées dans l'annexe A de la NBN EN ISO 10211:2008 pour une « méthode de haute précision » avec certaines adaptations qui sont (seront) définies par la (future) réglementation sur les ponts thermiques (annexe IV de l'Arrêté PEB) ;
- Une valeur approximative de ψ et/ou χ peut être obtenue selon la norme NBN EN ISO 14683 ;
 - * par un atlas des ponts thermiques (environ 20 % d'erreur) dont KOBRA est une version paramétrable gratuite en ligne³,
 - * par un calcul manuel (environ 20 % d'erreur),
 - * par les valeurs par défaut qui seront indiquées dans la (future) annexe IV de l'Arrêté PEB (environ 50 % d'erreur).

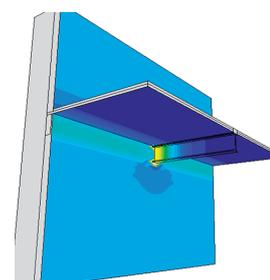
Évaluation du risque de condensation :

La NIT 153 publiée par le CSTC en 1984 est le seul document reconnu permettant l'évaluation du risque de condensation lié à la présence d'un pont thermique. Le « facteur de température », f_{Rsi} , d'un élément de construction doit être en tout point supérieur à une certaine valeur.

Le facteur de température f_{Rsi} en un point est la différence entre la température intérieure de surface en ce point et la température extérieure lorsque la différence de température entre l'ambiance extérieure et intérieure du local est égale à 1K pour une valeur de résistance d'échange thermique superficiel intérieur R_{si} . En Belgique, la valeur $R_{si} = 0.2 \text{ m}^2\text{K/W}$ est considérée.

La NIT préconise, pour une ambiance intérieure normalement humide, $f_{0.2} > 0.7$.

Dans le cas d'une ambiance plus humide (salle de bain, cuisine), un facteur de température plus élevé est conseillé.



Modélisation d'un pont thermique.
 Source : MATRIciel.

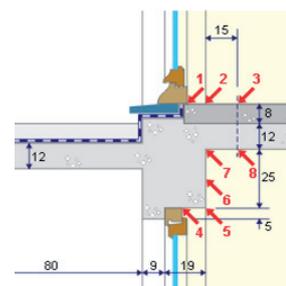


Schéma de contrôle du risque de condensation d'un pont thermique.
 Source : MATRIciel.

¹ Arrêté du Gouvernement Wallon du 17 avril 2008

² Téléchargeable via <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>

³ Téléchargeable à partir du site du CSTC (www.cstc.be) en tapant « kobra » dans le moteur de recherche. En cours de mise à jour actuellement.



3.3 Conception

Pour le standard passif, on néglige la déperdition due aux ponts thermiques si leur coefficient de transmission thermique linéique est inférieur à 0.01 W/mK^1 . Les « raccords certifiés maison passive » appartiennent à cette catégorie.

Dans la conception des détails, quelques solutions classiques pourront être facilement mises en œuvre pour éviter les ponts thermiques.

- Conservation de la continuité des couches d'isolant dans les différents éléments d'une connexion.
- Au niveau des murs massifs, dans le cas d'une isolation au dessus de la dalle de sol, des coupures thermiques sont prévues au niveau du premier lit de maçonnerie (béton cellulaire, verre cellulaire, ...).
- Les balcons éventuels ne sont pas constitués par le débordement d'une dalle massive, on favorise une structure indépendante.
- Au niveau du châssis, l'isolant de la façade doit avoir un contact suffisant avec le châssis ou sa coupure thermique, le cas échéant.
- ...

Sources:

- MATRIciel, *Projet RELOSO, « Méthodologie de renouveau des logements sociaux », 2009*
- A. De Herde et A. Liebard, *« Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », Le Moniteur, 2004*
- S. Trachte - Architecture et climat, *« Choix des matériaux, écobilans des parois », Ministère de la région wallonne, 2010*



LA CONCEPTION DES FENÊTRES

> Les différents éléments pour un optimum thermique

La fenêtre est un élément complexe qui remplit de multiples fonctions. Une bonne conception nécessite la prise en compte des différents objectifs pour dégager un optimum.

- Amenée de lumière naturelle
- Vue vers l'extérieur
- Performance au niveau de l'isolation thermique
- Apport de gains solaires (hiver) et protection contre les gains solaires (été)
- Possibilité d'ouverture pour une ventilation intensive
- Étanchéité à l'eau et à l'air
- Sécurité, limitation du risque d'effraction
- Performance au niveau de l'isolation acoustique

Le châssis, le vitrage, la mise en oeuvre, ainsi que le positionnement et le dimensionnement sont autant de facteurs que l'architecte et le maître d'ouvrage doivent définir pour répondre au mieux aux différentes exigences.



1. DÉFINITIONS

1.1 Thermique

Coefficient de déperdition thermique de la fenêtre U_w [W/m²K]

C'est la quantité d'énergie qui traverse la fenêtre, par heure, par m² et pour une différence de température de 1 K.

Plus le U_w est petit, plus la fenêtre est performante.

La valeur du coefficient thermique U_w de la fenêtre dépend de différents facteurs :

- le coefficient de déperdition thermique du châssis (U_c) ;
- le coefficient de déperdition thermique du vitrage (U_g) ;
- les caractéristiques de la combinaison de l'intercalaire, du châssis et du vitrage (Ψ_g) ;
- la proportion entre la surface de châssis et la surface de vitrage ;
- la présence, la surface (A_r) et les caractéristiques (U_r) de grilles de ventilation éventuelles ;
- la présence, la surface (A_p) et les caractéristiques (U_p) d'éventuels panneaux de remplissage ;

Le calcul simplifié de la valeur U_w peut être réalisé par les formules suivantes :

		partie vitrage et châssis	partie grille de ventilation	partie panneau de remplissage
$U_g \leq U_f$	$U_{w,T} =$	$0,7.U_g + 0.3.U_f + 3.\Psi_g +$	$\sum A_r(U_r - U_g) / \sum A_{w,d} +$	$\sum A_p(U_p - U_g) / \sum A_{w,d}$
$U_g \geq U_f$	$U_{w,T} =$	$0,8.U_g + 0.2.U_f + 3.\Psi_g +$	$\sum A_r(U_r - U_g) / \sum A_{w,d} +$	$\sum A_p(U_p - U_g) / \sum A_{w,d}$

Le tableau de la page 83 renseigne quelques valeurs à titre d'exemple.

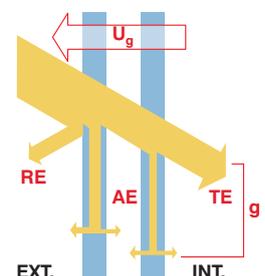
Facteur solaire g [%]

C'est le rapport entre l'énergie solaire entrant dans le bâtiment et l'énergie solaire reçue à la surface extérieure de la fenêtre.

Sur la quantité totale d'énergie reçue à la surface extérieure du vitrage, une partie est réfléchiée (RE), une partie est directement transmise (TE) et une partie est absorbée par le vitrage (AE), pour être réémise, partiellement vers l'intérieur et vers l'extérieur.

On peut considérer le facteur solaire d'un vitrage seul, d'une protection solaire seule, ou de l'ensemble constitué du vitrage et de la protection solaire.

Plus g est grand, plus les gains solaires sont importants, ce qui est souvent favorable en hiver et défavorable en été.





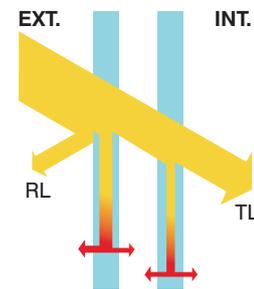
1.2 Éclairage naturel

Transmission lumineuse t_l

La transmission lumineuse t_l est le rapport entre la quantité de lumière naturelle entrant dans le bâtiment et la quantité de lumière reçue à la surface extérieure du vitrage.

Sur la quantité totale d'énergie lumineuse reçue à la surface extérieure du vitrage, une partie est réfléchiée (RL), une partie est directement transmise (TL) et une partie est absorbée par le vitrage (AL), pour être réémise sous forme de chaleur, partiellement vers l'intérieur et vers l'extérieur.

Plus t_l est grand, plus le vitrage laisse la lumière naturelle entrer dans le bâtiment.



2. OBJECTIFS ET ENJEUX

La fenêtre est un point critique de l'enveloppe. Elle constitue une surface moins bien isolée que les surfaces opaques des murs, elle est souvent source de défauts d'étanchéité à l'air, ...

Elle est par ailleurs essentielle au bien-être des occupants. Elle permet d'éclairer naturellement les locaux, elle offre des vues vers l'extérieur; si elle est ouvrante, elle permet la ventilation naturelle intensive et éventuellement le passage (portes vitrées). Elle permet de capter une partie du rayonnement solaire, source de chaleur gratuite.

Les caractéristiques thermiques optimales d'une fenêtre sont :

- un U_w minimal pour limiter les déperditions thermiques ;
- un t_l maximal pour optimiser l'éclairage naturel ;
- un g maximal pour permettre les gains solaires en hiver ;
- une protection solaire efficace pour limiter les gains solaires en période de surchauffe ;
- une possibilité d'ouverture et une grande hauteur pour permettre la ventilation naturelle ;
- une surface et une orientation adaptées ;
- une bonne étanchéité à l'air.

La conception des fenêtres concerne de nombreux aspects du bâtiment et a donc été abordée plusieurs fois au fil des fiches précédentes. Le lecteur peut donc se référer aux fiches sur l'implantation du bâtiment (1.2), sur la surchauffe (2.3), sur l'éclairage naturel (2.4), sur les protections solaires (2.5), sur la ventilation naturelle (2.6) et sur l'étanchéité à l'air (3.3).

Cette fiche concerne les performances thermiques de la fenêtre, les différents critères de choix en matière de vitrage, de châssis et de leur mise en œuvre.

3. PERFORMANCES THERMIQUES : LES COMPOSANTS DE LA FENÊTRE

Si l'impact de la fenêtre sur la performance du bâtiment dépend bien évidemment du contexte (orientation, inertie thermique, taille, ...), l'impact du choix de ses composants (châssis, vitrage, mise en œuvre ...) est essentiel.

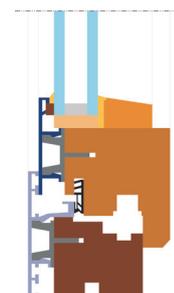
3.1 Le châssis

Avec l'apparition de vitrages de plus en plus performants, le châssis est devenu le point faible de la fenêtre.

Les matériaux les plus souvent utilisés sont les suivants :

- Le bois : Il permet d'atteindre des bonnes performances thermiques, ses qualités techniques sont bien connues. Son coefficient de dilatation thermique est proche de celui du verre, ce qui évite certains problèmes. La durée de vie d'un châssis en bois, bien conçu, bien mis en œuvre et dont le traitement est adapté à l'essence du bois, peut être très longue.

Un bois d'une très bonne classe de durabilité (afzélia, merbau, ...) ne nécessite pas de traitement de préservation et donc pas d'entretien. Il grise avec le temps, mais ses qualités ne sont pas altérées. Le bois d'une classe de durabilité moins performante peut aussi être mis en œuvre, il sera alors protégé, par un traitement (à entretenir) ou par un capot en aluminium (pas d'entretien). Le profil du châssis peut être massif, en lamellé collé ou composé de plusieurs couches différentes (une couche d'isolant peut être intégrée, pour augmenter les performances).



Profil de châssis en bois avec un capot aluminium.



Traditionnellement, l'épaisseur des châssis en bois est de 58 mm. Cependant, la tendance actuelle est d'augmenter les épaisseurs pour améliorer les performances. Les châssis passifs peuvent atteindre des épaisseurs de 120 mm.

Au niveau de l'impact des matériaux, le bois est une solution intéressante, surtout s'il est d'origine locale et même s'il est additionné d'un capot en aluminium. Il permet de stocker du CO₂ et peut être recyclé en fin de vie. Il est important de choisir un bois labellisé pour s'assurer de la gestion durable des forêts dont il provient. Les produits de traitement sont également choisis par rapport à leur impact sur l'environnement et la santé.

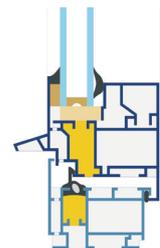
- Le PVC : Il permet de bonnes performances thermiques. Sa facilité d'entretien, sa durée de vie et son coût intéressant en font un matériau très utilisé pour les menuiseries extérieures. Les profilés sont fabriqués en usine et les formes particulières sont souvent impossibles à réaliser. La résistance mécanique du PVC se situe entre celle du bois et celle de l'aluminium (à coupure thermique). Le principal inconvénient du PVC est son coefficient de dilatation thermique élevé. Soumis à des faibles températures, le profilé se contracte, ce qui rend l'étanchéité (à l'eau et à l'air) de ces châssis plus difficile à assurer. Le phénomène de dilatation thermique est accentué par le choix d'une couleur foncée. Le bilan environnemental du PVC n'est pas bon, mais le matériau est recyclable.
- L'aluminium : Ce matériau, utilisé pour les menuiseries extérieures, permet d'atteindre des performances thermiques intéressantes à condition d'assurer des coupures thermiques efficaces. Les châssis aluminium sont solides, permettent des largeurs de profils assez faibles, et ne nécessitent pas d'entretien. Le coût des menuiseries en aluminium est assez élevé. Au niveau du bilan environnemental du matériau, la production d'aluminium nécessite une quantité importante d'énergie, mais le matériau peut être complètement recyclé.



Photo : www.afinco-nv.be
Profil de châssis passif bois et isolant, avec petits capots aluminium protecteurs.



Profil de châssis PVC.



Profil de châssis aluminium avec coupure thermique.

Le coefficient de déperdition thermique U_f des châssis dépend du matériau et du type de profil. Les châssis passifs, en PVC ou à base de bois, peuvent atteindre des valeurs U_f allant jusqu'à 0.7 W/m²K, un châssis aluminium « normal » atteint des valeurs U_f d'environ 2.5 W/m²K.

3.2 Le vitrage

Le choix d'un vitrage se base sur les trois paramètres qui caractérisent son niveau d'isolation (U_g), sa capacité à laisser entrer l'énergie solaire (g) et sa capacité à laisser entrer la lumière (tl).

Les vitrages permettant d'atteindre des performances énergétiques intéressantes sont composés de deux ou trois feuilles de verre, éventuellement recouvertes d'une couche métallique transparente ultra mince « basse émissivité » et séparées par une ou deux couches de gaz (air, argon ou krypton), qui sont maintenues à distance par des intercalaires.

L'objectif est toujours de minimiser les déperditions thermiques avec un facteur U_g le plus faible possible, et de maximiser le facteur de transmission lumineuse tl pour bénéficier d'un maximum d'éclairage naturel.

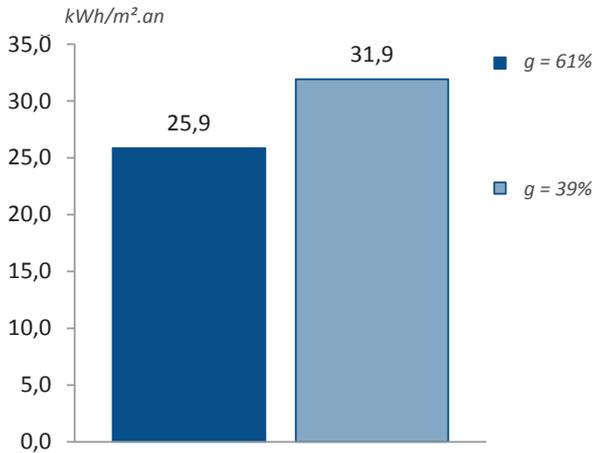
Concernant le facteur solaire g , le choix optimal dépend du contexte. D'une part, il est intéressant d'avoir un facteur solaire élevé, permettant des gains solaires importants qui réduisent le besoin net de chauffage en hiver. D'autre part, pour éviter l'inconfort de surchauffes liées à des gains solaires excessifs, il est nécessaire de contrôler ces derniers.

Dans le cas des maisons, il est préférable d'opter pour un vitrage avec un g le plus élevé possible, pour bénéficier d'un maximum de gains solaires en hiver, couplé à des protections solaires mobiles efficaces pour pouvoir limiter les gains solaires en période de surchauffe.

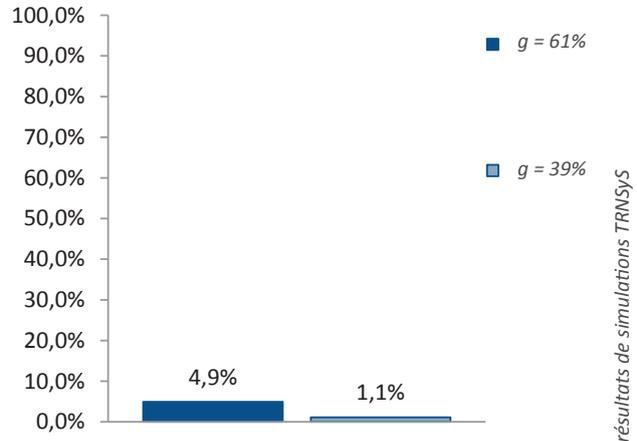


Le graphe ci-dessous illustre l'impact du choix d'un vitrage dont le facteur solaire est faible, sur le besoin de chauffage et sur le risque de surchauffes dans une maison basse énergie avec une forte inertie¹.

Impact du facteur solaire des vitrages



Besoin net de chauffage, en kWh/m².an, pour une maison 4 façades niveau de performance : basse énergie.
 Pas de protections solaires, ventilation nocturne manuelle de 4V/h hypothèses de charges internes « faibles ».



Surchauffe : pourcentage du temps annuel où la température moyenne intérieure est supérieure à 25°C, dans une maison 4 façades.
 Niveau de performance : basse énergie.
 Pas de protections solaires, ventilation nocturne manuelle de 4V/h hypothèses de charges internes « élevées ».

Le choix d'un vitrage dit « solaire » dont le facteur solaire est faible permet de réduire les surchauffes, mais implique une augmentation de la consommation de chauffage.

3.3 L'intercalaire

L'intercalaire est une pièce métallique ou plastique qui sert à maintenir l'espacement entre les feuilles de verre du vitrage. Sa présence provoque un pont thermique sur le périmètre du vitrage.

Une valeur de pont thermique linéaire Ψ_g est donc prise en compte dans l'évaluation des performances thermiques d'une fenêtre. Elle dépend de l'intercalaire, mais aussi du châssis et du vitrage. Elle peut varier entre 0.11 et 0.03.

Les dessins ci-contre montrent bien l'effet du choix de l'intercalaire sur la température à la limite entre le vitrage et le châssis. La température intérieure est plus faible (couleur moins rouge) dans le cas d'un intercalaire en aluminium.

Impact du choix de l'intercalaire sur la température de surface de châssis triple vitrage.



Intercalaires en aluminium.



Intercalaires à coupure thermique.

Schémas: PMP asbl

PEB :

La valeur Ψ_g est déterminée par un tableau, en fonction du vitrage, du châssis et de l'intercalaire. Une valeur exacte peut être calculée par la norme NBN EN ISO 10077-2.

PEB :

La combinaison entre le châssis, le vitrage et l'intercalaire permet de calculer, de manière simplifiée, le coefficient de déperdition thermique U_w de la fenêtre, par la formule simplifiée présentée en première page.

Le tableau ci-après indique quelques valeurs, dans le cas de châssis sans grilles de ventilation ni panneaux de remplissage. Les valeurs U_g et U_f et Ψ_g sont déterminées par la norme ou par un agrément (ATG ou CE) du produit.



châssis		vitrage avec intercalaires isolants ($\Psi_i = 0.07 \text{ W/mK}$)					
		double vitrage basse émissivité			triple vitrage		
		air	argon	krypton	argon	krypton	
type de châssis	U_f	$U_R=1.75$	$U_R=1.3$	$U_R=1.1$	$U_R=0.7$	$U_R=0.6$	$U_R=0.5$
PUR	2.80	2.28	1.96	1.82			
PVC	3 chambres	2.00	2.04	1.72	1.58		
	4 chambres	1.80	1.98	1.66	1.52		
	5 chambres	1.60	1.93	1.6	1.46		
bois épaisseur : 58 mm	dur (méranti, afzelia, ...)	2.14	2.08	1.76	1.62		
	résineux	1.91	2.01	1.69	1.55		
métallique (alu, acier, ...)	coupure thermique 20 mm	2.75	2.06	1.95	1.81		
	coupure thermique 30 mm	2.53	2.19	1.88	1.74		
châssis passif (68 - 100 mm) • bois + isolant et capot alu • bois + liège • PVC + PUR • ...	de 0.81 à 0.74				de 0.94 à 0.92	de 0.87 à 0.85	de 0.80 à 0.78

3.4 La taille des fenêtres

Étant donné l'impact du châssis et de l'intercalaire sur les déperditions thermiques, l'objectif est de maximiser la proportion vitrage/châssis, ce qui peut être réalisé par :

- le choix de grandes fenêtres, sans découpage intermédiaire ;
- le choix de fenêtres fixes quand l'ouverture n'est pas nécessaire pour la ventilation, l'entretien ou le passage.

3.5 Les ponts thermiques de mise en œuvre

La mise en œuvre des châssis dans la paroi provoque le plus souvent un pont thermique, qui crée une déperdition thermique supplémentaire. La valeur du pont thermique linéaire peut être calculée par un logiciel adéquat, ce qui permet d'en tenir compte dans l'évaluation de la performance du bâtiment.

L'objectif est de réduire au maximum ce pont thermique par une mise en œuvre adéquate.

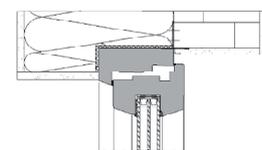
PEB : la jonction entre les châssis et la paroi est considérée comme un nœud constructif « PEB accepté » si l'une des deux conditions suivantes est remplie :

- le Ψ linéaire du pont thermique est inférieur à 0.1 W/mK ;
- la totalité de l'épaisseur du châssis ou de sa coupure thermique est en contact avec la couche d'isolant de la paroi.

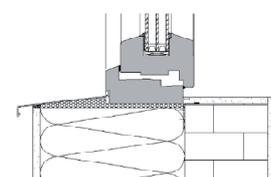
En pratique, deux caractéristiques techniques sont conseillées pour atteindre une valeur de pont thermique linéaire inférieure à 0.1 W/mK ¹ :

- Une épaisseur d'isolant doit recouvrir le dormant du côté extérieur ;
- Le châssis doit être complètement aligné avec la couche d'isolant du mur.

Exemple de mise en œuvre performante : le cas d'une finition extérieure avec un enduit sur isolant.



$\Psi_{\text{mise en œuvre, ébrasure}} = 0.00 \text{ W/mK}$



$\Psi_{\text{mise en œuvre, allège}} = 0.05 \text{ W/mK}$

¹ valeur limite pour pouvoir négliger un pont thermique dans le cadre du standard passif (logiciel PHPP)



3.6 L'étanchéité à l'air

L'étanchéité à l'air de la fenêtre influence l'impact de la fenêtre sur les performances énergétiques du bâtiment. Elle doit être assurée à plusieurs niveaux de la fenêtre.

- Entre le châssis et le vitrage, le joint doit être continu, du côté intérieur et extérieur.
- Entre le dormant et l'ouvrant, des joints souples doivent être prévus. Le réglage des châssis doit être tel que les joints soient serrés sur tout le périmètre de l'ouvrant. Les joints sont des éléments qui se dégradent au fil du temps, ils doivent donc être contrôlés et remplacés si nécessaire pour garantir l'étanchéité à l'air des châssis. Les châssis fixes présentent l'avantage d'éviter toute fuite à ce niveau-là. Les ouvertures simples sont aussi naturellement plus faciles à rendre étanche à l'air que les doubles ouvrants et les châssis coulissants.
- Entre le châssis et le mur, des membranes de raccord avec le pare-vapeur d'une ossature bois ou avec le plafonnage d'une construction traditionnelle doivent être prévues. Il est préférable de les fixer sur le châssis avant la pose¹.



Photo : proclima
 Raccord humide : bande adhésive collée avant placement du châssis.

4. L'IMPACT DES FENÊTRES

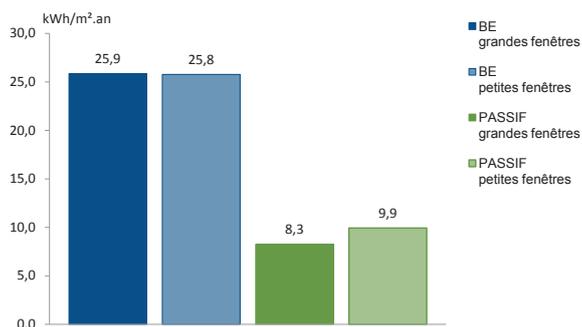
La conception d'une maison performante et confortable ne peut faire l'impasse sur une réflexion sur les ouvertures. Le premier graphe ci-dessous illustre l'intérêt d'une surface vitrée importante quand l'orientation est favorable (sud arrière), même dans le cas d'une conception tenant très peu compte de l'orientation. Dans le cas de la maison basse énergie, en augmentant la surface de vitrage, les déperditions supplémentaires sont juste compensées par les gains supplémentaires, dans le cas passif, le bilan est positif, les gains supplémentaires dépassent les déperditions thermiques supplémentaires.

Le second graphe illustre le risque potentiel qu'une surface de vitrage importante génère au niveau des surchauffes, sans protection solaire.

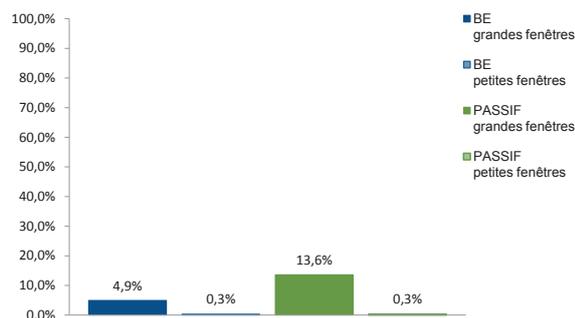
Les simulations ont été réalisées sur une maison ayant beaucoup d'inertie thermique, ce qui est optimal pour valoriser les gains thermiques en hiver et les absorber partiellement en été.

Impact de la taille des fenêtres

Grandes fenêtres (20 % de la surface au sol des locaux) : 26 % de la façade sud, 15 % de la façade nord, 12 % de la façade ouest et 8 % de la façade est
 Petites fenêtres (7 % de la surface au sol des locaux) : 11 % de la façade sud, 10 % de la façade nord, 4 % de la façade ouest et 0 % de la façade est.



Besoin net de chauffage, en kWh/m².an, pour une maison 4 façades.
 Niveau de performance : basse énergie et passif.
 Pas de protection solaire, ventilation nocturne manuelle de 4V/h
 hypothèses de charges internes « faibles ».



Surchauffe : pourcentage du temps annuel où la température moyenne intérieure est supérieure à 25°C, dans une maison 4 façades.
 Niveau de performance : basse énergie et passif.
 Pas de protection solaire, ventilation nocturne manuelle de 4V/h
 hypothèses de charges internes « élevées ».

Sources :

- F. SIMON, J-M. HAUGLUSTAIN, Brochure - La fenêtre et la gestion de l'énergie - Guide pratique pour les architectes, Ministère de la Région wallonne, 2001.
- B. Michaux, « Les menuiseries extérieures en bois », présentation dans le cadre de la formation « Le bois dans la construction », CSTC, 2008.
- CIFIUL, Guide PEB, Ministère de la Région wallonne, 2009.



ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

> Conception et exécution soignées pour minimiser les infiltrations d'air

L'enveloppe d'un bâtiment performant est la plus étanche à l'air possible. C'est le système de ventilation qui assure la qualité de l'air intérieur par un renouvellement suffisant.

En hiver, toute infiltration « parasite » provoque une perte d'énergie, diminue l'efficacité de la récupération de chaleur de la ventilation double-flux et peut provoquer des problèmes de condensation. Toutes les parois en contact avec l'extérieur doivent donc être pensées et réalisées pour éviter tout passage d'air à travers la paroi et toutes ses jonctions.

De la conception par l'architecte à l'exécution par les corps de métiers, tous les intervenants sont concernés par la problématique de l'étanchéité à l'air. Une bonne coordination, des entrepreneurs consciencieux et un contrôle efficace sont nécessaires pour atteindre des résultats satisfaisants.



1. INDICATEURS UTILES

L'étanchéité à l'air définit la propriété de l'enveloppe d'un bâtiment à ne pas permettre de passage d'air entre l'intérieur et l'extérieur. L'étanchéité à l'air est un critère essentiel pour atteindre une bonne performance énergétique et assurer la pérennité des ouvrages. Les transferts d'air et les transferts de vapeur d'eau sont deux choses très différentes à ne pas confondre.

Mesure

Le test « blower door » permet de mesurer le débit de fuite¹.

Le test se fait quand l'enveloppe du bâtiment est terminée, et sous certaines conditions météorologiques (pression atmosphérique et conditions de vent). Les ouvertures sont fermées (fenêtres, grilles de ventilation, ...).

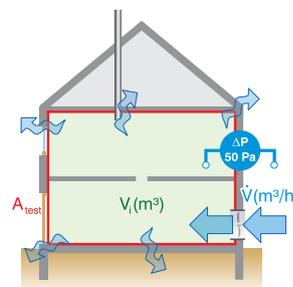
On place un ventilateur dans une baie, de manière étanche, pour créer une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur. On mesure les débits de fuites avec plusieurs différences de pression, avec le bâtiment en surpression et en dépression. On mesure le débit d'air que le ventilateur doit « ajouter » ou « extraire » pour maintenir une différence de pression donnée.

On détermine ainsi le débit de fuite pour une différence de pression de 50 Pa : \dot{V}_{50}



Expression du niveau d'étanchéité à l'air

- η_{50} [h⁻¹] : le taux d'infiltration d'air sous une différence de pression de 50 Pa
 $\eta_{50} = \dot{V}_{50} / V_i$ avec V_i : le volume intérieur du bâtiment (volume protégé)
valeur utilisée pour le standard passif
- \dot{v}_{50} [m³/h.m²] : le débit de fuite par unité de surface pour une différence de pression de 50 Pa
 $\dot{v}_{50} = \dot{V}_{50} / A_{\text{test}}$ avec A_{test} : la surface de l'enveloppe testée
valeur utilisée pour le calcul PEB



La valeur η_{50} permet d'évaluer le taux d'infiltration d'air moyen, pour une différence de pression entre 1 et 2 Pa. En Belgique, on utilise pour cela la formule² :

$$\eta = \eta_{50} / X$$

avec X= 10 pour un bâtiment très exposé au vent
X= 20 pour un bâtiment moyennement exposé au vent
X= 30 pour un bâtiment très protégé du vent

¹ Test réalisé suivant la norme NBN 13829: 2001

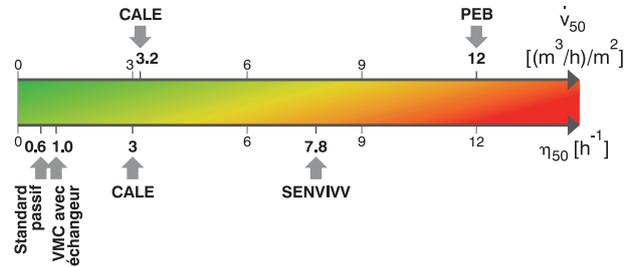
² Une autre formule est utilisée en Allemagne, et donc aussi dans le calcul PHEP



Repères

Le rapport entre les expressions η_{50} et v_{50} est égal à V_f/A_{test} , ce qui est similaire à la compacité du bâtiment.

- valeur exigée par le standard passif : $\eta_{50} = 0.6 \text{ h}^{-1}$
- valeur conseillée pour une ventilation double-flux avec récupération de chaleur : $\eta_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$
- valeur moyenne sur quelques maisons construites dans le cadre de l'action *Construire avec l'énergie* : $\eta_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$ et $v_{50} = 3.2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
- valeur moyenne sur 50 logements mesurés dans les années 90 dans le cadre de l'étude SENVIVV : $\eta_{50} = 7.8 \text{ h}^{-1}$
- valeur par défaut considérée dans le calcul PEB : $v_{50} = 12 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$



Ci-dessus : quelques valeurs repères pour l'infiltration des maisons.
Source: CSTC.

PEB :

La valeur considérée par défaut pour l'étanchéité à l'air est de $v_{50} = 12$. Cette valeur est pénalisante et peut être remplacée par la valeur réelle, attestée par une mesure. Plus d'informations disponibles sur le site www.epbd.be.

2. L'IMPORTANCE DE L'ÉTANCHÉITÉ A L'AIR

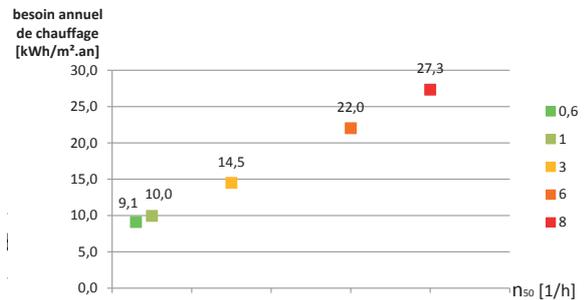
L'étanchéité à l'air a plusieurs objectifs :

- réduire les déperditions thermiques ;
- supprimer les transferts d'air au travers des parois et les problèmes de condensation qu'ils provoquent ;
- garantir la récupération d'un maximum de chaleur dans le système de ventilation double-flux.

Le graphe ci-contre reprend les résultats de simulations dynamiques TRNSys sur un modèle de maison passive dont seul le taux d'infiltration varie (seul le premier point vert répond au standard passif). On observe une relation linéaire entre l'étanchéité à l'air et le besoin de chauffage.

Plus les déperditions par transmission à travers les parois et par ventilation sont réduites (isolation performante et récupérateur de chaleur), plus les pertes par infiltration sont importantes dans le bilan thermique.

En fonction du taux d'infiltration, besoin net d'énergie de chauffage dans une maison 4 façades ossature bois et inertie moyenne, avec une enveloppe isolée suivant les critères passifs ($U = 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$), ventilation double flux, ...



Résultats de simulations TRNSys.

Dans un objectif de haute performance énergétique, l'étanchéité à l'air d'une construction est essentielle pour garantir son faible besoin de chauffage ainsi que la pérennité des matériaux mis en œuvre pour sa construction et l'efficacité de la récupération de chaleur d'un système de ventilation mécanique double-flux.

3. PRINCIPES DE CONCEPTION

Une étanchéité à l'air performante nécessite une bonne préparation dans l'élaboration du dossier d'exécution et une réalisation consciencieuse sur chantier.

3.1 Définition du volume étanche à l'air

- cohérence avec le volume protégé : les parois isolées doivent être étanches à l'air. Il ne faut pas oublier les parois de séparation avec une cave ou un garage, qui font partie de l'enveloppe et doivent donc être étanches à l'air ;
- possibilité de simplifier la mise en œuvre par le choix du volume :
 - * localiser les techniques comme le tableau électrique, la chaudière, ... à l'intérieur du volume étanche permet de limiter fortement le nombre de percements de l'étanchéité ;
 - * dans le cas où les combles ne sont pas utilisés, considérer le plafond du dernier étage comme limite isolée et étanche évitera les raccords autour des charpentes de l'étanchéité à l'air de la toiture.





3.2 Choix des matériaux et de leur position dans la paroi

- l'étanchéité à l'air peut presque toujours être assurée par un des éléments de la paroi assurant aussi une autre fonction. Le choix du matériau se fera donc par rapport au type de paroi et aux possibilités/facilités de raccord :
 - * sol : soit le béton, soit un panneau d'osb ou de multiplex,
 - * murs : soit l'enduit, à condition qu'il ne soit pas fissuré, soit un panneau d'osb ou de multiplex, soit une membrane pare/freine-vapeur,
 - * toiture : soit une membrane pare/freine-vapeur, soit le panneau d'isolant lui-même.
- la position de l'étanchéité à l'air est aussi choisie pour réduire au maximum les risques de dégradation et de percement de l'étanchéité au cours du chantier et de la vie du bâtiment (construction d'une contre-cloison technique, ...);
- au niveau des éléments de raccord, il est toujours préférable de privilégier les systèmes mécaniques pour assurer la durée de vie de l'étanchéité (un cordon de colle entre deux membranes, coincé mécaniquement sous une latte, aura une longévité sans doute plus grande que celle d'un ruban adhésif soumis à une tension).

3.3 Continuité de l'enveloppe étanche à l'air

- gestion des raccords pour un même matériau s'il est discontinu (bande adhésive sur les panneaux osb, jonctions des bandes de pare-vapeur, ...);
- gestion des connexions de différents éléments d'étanchéité (entre le plafonnage et le pare-vapeur, entre l'osb et la dalle de béton, entre le châssis et le mur, ...);
- éviter les percements / interruptions autant que possible (lés en attente, contre-cloison technique, ...).
- gestion des percements inévitables par les techniques (cheminées, ventilation, alimentation électrique, évacuation d'eaux, ...).

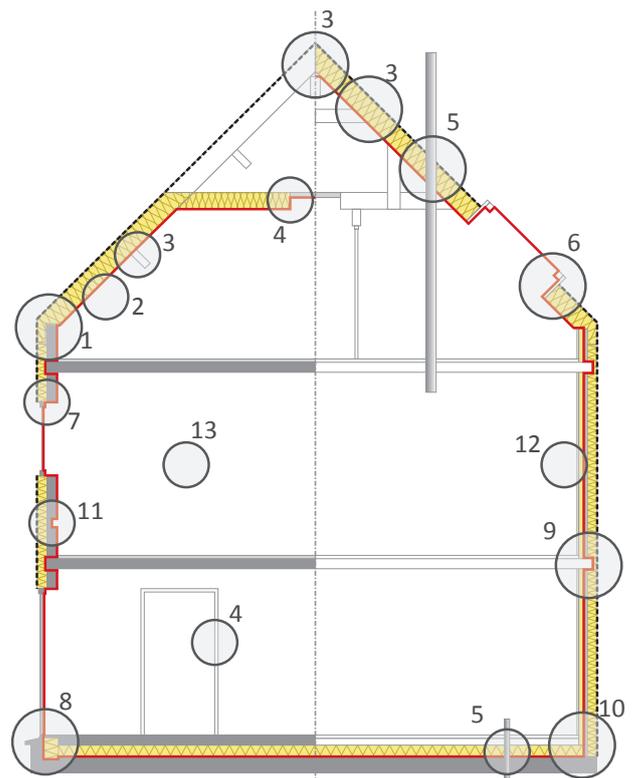
Tous les raccords doivent être prévus au niveau des dessins d'exécution, les détails doivent être fournis aux différents corps de métiers.

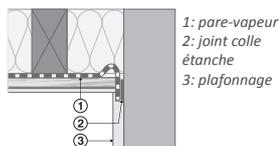
L'étanchéité à l'air n'est pas encore bien présente dans les habitudes des entrepreneurs et des ouvriers (ni dans celles des architectes d'ailleurs...). Il est essentiel que tous les intervenants du chantier soient conscients de l'utilité des dispositifs mis en oeuvre.

4. QUELQUES DÉTAILS COURANTS

Sont repris dans ce paragraphe, une liste non exhaustive des points critiques auxquels l'architecte et l'entrepreneur doivent être attentifs. Il est nécessaire de définir une solution pour tous ces détails avant leur réalisation.

Des solutions sont proposées, ce ne sont pas les seules. En se basant sur le principe de continuité d'une surface bien positionnée, d'autres détails peuvent être imaginés.

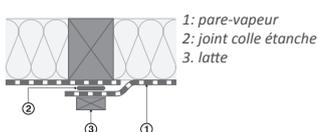
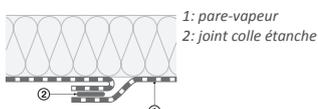
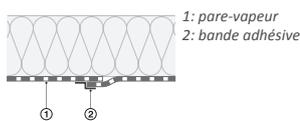




Raccord humide.



Photo : proclima
Raccord humide avec bande adhésive spécifique.



3 raccords secs entre membranes pare-vapeur.



arch: M. Steffens
Raccord sec entre panneaux.



photo:isocell
Bandes adhésives.

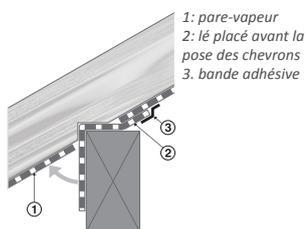


Photo: Proclima
Raccord autour d'une panne.



Photo: Proclima
Lé en attente sur panne faitière.

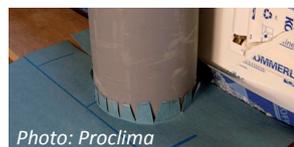


Photo: Proclima
Raccord en cours autour d'une colonne.



Photo: Siga
Raccord autour d'une cheminée.



Photo: Proclima
Raccord en cours autour d'une décharge.



Photo: cstc
Raccord dalle - décharge.

1. Raccord entre le mur et le pare-vapeur de la toiture :

- débordement du pare-vapeur, noyé dans l'enduit, avec ou sans bande de raccord spécifique (raccord humide) ou collé de manière étanche sur l'enduit ou le pare-vapeur d'une ossature bois et dissimulé par le parachèvement (raccord sec).

2. Raccord entre les différents éléments de l'étanchéité à l'air :

Raccords secs :

- raccord correct des membranes pare-vapeur ou freine-vapeur (collage sous latte, collage avec pli, collage à la bande adhésive, ...)
- raccord correct des panneaux osb ou multiplex (collage des joints à la bande adhésive)
- raccord correct de panneaux d'isolant rigides placés en continu au dessus des chevrons (resserrage à la mousse PU).

Raccords humides :

- raccord correct entre le plafonnage et les autres éléments d'étanchéité à l'air.

3. Raccords au niveau des pannes / fermes :

- placement de lés d'étanchéité (bandes de pare-vapeur) en attente avant la pose des chevrons pour un raccord facile et parfait avec le pare-vapeur ;
- raccord étanche autour d'une poutre au moyen de bande adhésive ou d'un joint.

4. Accès vers une zone non isolée (garage, grenier, cave) :

- trappe avec frappe et joint d'étanchéité ;
- porte étanche ;
- raccord au pare-vapeur par bande adhésive ou par collage de la membrane.

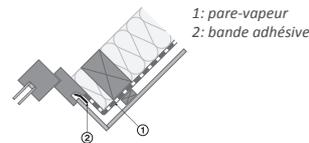
5. Étanchéité au niveau des percements (cheminées, impétrants, égouttage, ...) :

- éviter absolument les percements multiples proches (botte de cables, ...)
- raccord avec un pare-vapeur (membrane ou panneau): manchons préformés ou bande adhésive spécifique ;
- dans le sol : mousse PU si le percement est unique et aucun mouvement n'est à craindre. Attention, la mousse PU n'est une solution acceptable que dans ce cas très spécifique. Les mouvements mécaniques ou une différence de pression importante créent des fuites dans la plupart des autres cas (ne convient pas pour l'étanchéité à l'air des châssis).



6. Étanchéité d'une fenêtre de toiture :

- choix d'une menuiserie étanche, avec joints et bonne finition ;
- raccord étanche entre la menuiserie et le pare-vapeur (bande adhésive, collage de membrane pare-vapeur, ...). La meilleure solution est le collage de l'élément de raccord avant la pose de la menuiserie.



Raccord sec (ici avec bande adhésive collée après placement de la fenêtre).



Photo : proclima
Raccord sec avec bande adhésive collée avant placement de la fenêtre.

7. Étanchéité au niveau des fenêtres :

Au niveau du châssis lui-même :

- l'étanchéité entre l'ouvrant et le dormant, ainsi que l'étanchéité au niveau de la jonction entre le vitrage et le châssis doivent être parfaites. Le choix d'un châssis de qualité est primordial.

Au niveau du raccord entre le châssis et le mur :

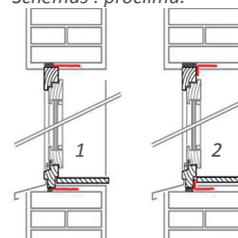
Les raccords devraient toujours être placés AVANT la pose des châssis. Cette solution est plus facile, rapide, plus économique et garantit un meilleur résultat.

- raccord sec à coller au pare-vapeur d'une ossature bois ou raccord humide à noyer dans le plafonnage dans le cas d'un mur maçonné. Un excès de longueur doit être prévu dans les coins pour permettre le raccord facile avec les plans de l'ébrasement (voir photos) ;
- raccord à la colle spécifique entre le châssis et un ébrasement en panneau. l'entièreté du système est ensuite placée et raccordée de manière étanche à la paroi (en général, cette technique s'applique pour les ossatures bois).

Si le raccord doit se faire après le placement du châssis :

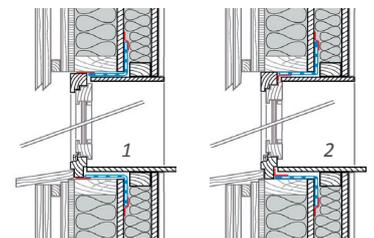
- dans le cas d'une ossature bois : raccord sec (souvent par bande adhésive) entre le châssis et le pare vapeur ou un panneau osb/multiplex qui fait le retour intérieur de la baie et est lui-même raccordé au pare-vapeur intérieur de manière étanche ;
- dans le cas d'un mur maçonné : membrane spécifique collée sur le bois et noyée dans le plafonnage (attention, cela nécessite une surcharge de plafonnage, un panneau de plâtre ou une latte supplémentaire pour dissimuler le collage de l'élément de raccord sur le bois) ;
- la tablette de fenêtre peut être placée avec un joint d'étanchéité pour assurer le raccord de la partie inférieure du châssis.

Schémas : proclima.



Raccord humide fenêtre - mur plafonné.

1 : avant placement de la fenêtre
2 : après placement de la fenêtre



Raccord sec fenêtre - ossature bois.

1 : avant placement de la fenêtre
2 : après placement de la fenêtre



Photo : proclima
Raccord humide : bande adhésive collée avant placement du châssis.



Photo : proclima
Raccord humide : bande adhésive collée avant placement du châssis.



Photo : proclima
Raccord sec : bande adhésive collée avant placement du châssis.



Photo : proclima
Raccord sec : bande adhésive collée avant placement du châssis.



Photo : T. Demeester
Raccord sec : bande adhésive collée après placement du châssis.



Photo : proclima
Raccord sec : bande adhésive collée avant placement du châssis.



Photo: cstc
Porte avec guillotine (le système est maintenu baissé pour les besoins de l'illustration).



Photo: Modelmo
Porte avec profil (avant la pose du seuil en pierre bleue et du revêtement de sol intérieur).

8. Étanchéité des portes extérieures :

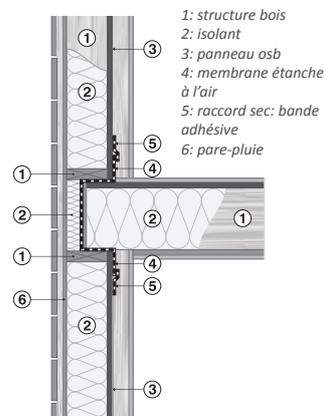
- porte-fenêtre, avec un dormant de menuiserie au sol (étanchéité +++);
- porte avec profil d'étanchéité métallique au sol. Le profil a une hauteur très faible. (étanchéité ++);
- porte avec guillotine (étanchéité +).



Photo: Proclima
Raccord plancher bois - ossature bois.



Photo: Proclima
Raccord plancher bois - ossature bois.



9. Raccord plancher - mur :

- plancher bois sur ossature bois : membrane pare-vapeur autour de l'extrémité des gîtes, en attente d'un raccordement avec le pare-vapeur intérieur ;
- plancher bois sur mur maçonné rendu étanche par le plafonnage : placement d'une membrane entre la « poutre » dans laquelle sont fixés les sabots et la maçonnerie. Membrane noyée dans le plafonnage en dessous et au-dessus des gîtes ;
- plancher béton sur mur maçonné : continuité entre le plafonnage du mur et du plafond et raccord entre le plafonnage du mur et la chape du plancher. En cas de percement des hourdis : attention, l'air extérieur peut s'infiltrer via les creux de l'élément béton. On doit donc rendre les percements intérieurs étanches ou obturer les bouts des hourdis (membrane, ...).



Photo: Proclima
Raccord sec : dalle - osb.

10. Raccord dalle de sol - murs ossature bois

- collage d'une membrane sur les deux supports (attention, à faire avant le montage des cloisons perpendiculaires).

11. Percement pour des raccordements électriques :

- création d'une contre-cloison technique permettant le passage de gaines à l'intérieur du volume étanche à l'air ;
- équipement étanche correctement raccordé au pare-vapeur / plafonnage.



Photo: www.kaiser-elektro.de
Prise de courant étanche.



Photo : Eisedicht
Élément pour raccord électrique.



Photo : Proclima
Cloison technique.



photo : Proclima
Blochets correctement noyés dans le plâtre.



12. Raccord du pare-vapeur d'une façade ossature bois au niveau d'une cloison perpendiculaire :

- pose d'une membrane en attente avant la pose de la cloison. Cette membrane est ensuite connectée au pare-vapeur par un raccord sec.



Photo : Proclima
Bande en attente avant la pose d'une cloison.

13. Continuité du plafonnage dans le cas où le plafonnage assure l'étanchéité à l'air :

- plafonnage ou membrane d'étanchéité dans les zones rendues inaccessibles par le placement de techniques (plomberie, électricité, ...) y compris dans les gaines.
- plafonnage des surfaces cachées derrière les systèmes pour WC suspendus ;
- plafonnage de la tranche des baies proches de la façade dans des cloisons en maçonnerie creuse ;
- plafonnage du grenier si ce dernier est dans le volume protégé, même s'il est inaccessible ;
- gestion du pied de mur, raccord entre le plafonnage et la dalle.



Photo : cstc
zone non plafonnée derrière des tuyauteries : INFILTRATIONS.



Photo : cstc
Zone non plafonnée en fond de WC : INFILTRATIONS.



Photo : cstc
Zone non plafonnée en pied de mur : INFILTRATIONS.

Autres possibilités :

L'étanchéité à l'air réalisée à l'extérieur de la structure.

Les raccords devront aussi être étudiés.

- au niveau d'une toiture de type sarking ;
- à l'extérieur d'une construction bois avec mardriers ou panneaux massifs ;
- par un système d'enduit sur isolant.



photo : Proclima
Étanchéité à l'air à l'extérieur de la structure (avant pose de l'isolation).

Quelques pièges à éviter :

- chatière ;
- boîte aux lettres dans la porte d'entrée ;
- hotte nécessitant une amenée d'air directe en continu ;
- poêle non étanche ;
- percement de l'étanchéité à l'air lors de la fixation d'éléments de décoration ou d'ameublement (spots, cadres, étagères, ...).



Photo : S. Trachte
Chatière.



Photo : S. Trachte
Boîte aux lettres dans la porte d'entrée.

GUIDE POUR LA CONCEPTION DE MAISONS NEUVES DURABLES

ÉTANCHÉITÉ À L'AIR



N° de fiche :

3.3

Liens : /

Sources :

- CSTC, *Étanchéité à l'air des bâtiments : les dossiers du CSTC n°1/2007*, 2007.
- D. LANGENDRIES - CSTC, *Présentation dans le cadre de la formation « Le bois dans la construction »*, 2008.
- A. BAIVIER - Proclima, *Présentation dans le cadre de formations sur l'étanchéité à l'air*, 2010.
- Ch. DELMOTTE - CSTC, *Présentation dans le cadre de la formation « Construire avec l'énergie »*, 2010, téléchargeable via le lien suivant : http://energie.wallonie.be/servlet/Repository/cale3_etancheiteair_mars2010.pdf?ID=12327&saveFile=true.



INERTIE THERMIQUE

> Batiment massif ou léger : impact sur la thermique du bâtiment

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à stocker et à restituer de la chaleur. Elle dépend des caractéristiques des matériaux en contact avec l'espace, de la «masse accessible à la chaleur».

Couplée à une ventilation qui permet la décharge thermique de la chaleur accumulée, une forte inertie permet d'améliorer le confort d'été et de limiter les surchauffes.

Pour maximiser l'inertie, on veille à :

- maximiser la masse et la capacité thermique des cloisons et dalles de sol ;
- privilégier un mode constructif permettant la mise en œuvre d'éléments massifs ;
- privilégier des isolants d'inertie assez forte dans les toitures et les parois creuses ;
- considérer l'emplacement et l'épaisseur des éléments massifs. Les parois intérieures et horizontales, ainsi que les premiers centimètres de masse sont les plus efficaces.

En hiver, la capacité de stockage de l'énergie solaire et sa restitution progressive permet de valoriser au mieux les gains solaires et de faciliter la régulation du système de chauffage.



1. INDICATEURS UTILES POUR QUANTIFIER L'INERTIE DES MATÉRIAUX

1.1 Caractéristiques statiques

- **Densité ρ** [kg/m³]
Masse par unité de volume du matériau.
- **Chaleur spécifique = chaleur massique C** [kJ/kg.K]
Quantité de chaleur (énergie) nécessaire pour augmenter de 1 K la température de 1kg de matériau. C'est donc l'aptitude à stocker la chaleur, exprimée par rapport à la masse de matière.
- **Capacité thermique ρC** [kJ/m³.K]
Quantité de chaleur (énergie) nécessaire pour augmenter de 1 K la température de 1m³ de matériau. C'est donc l'aptitude à stocker la chaleur, exprimée par rapport au volume de matière.
- **Conductivité thermique λ** [W/m.K], [kJ/h.m.K]
Quantité de chaleur qui traverse le matériau sur 1 m d'épaisseur, pour 1 m² de surface avec une différence de température de 1 K entre les 2 faces du matériau. C'est donc la capacité d'un matériau à transmettre la chaleur par conduction.

1.2. Caractéristiques dynamiques

- **Effusivité thermique E** [(W/m².K). h^{-1/2}]
Rapidité d'absorption d'un flux thermique instantané (par la surface d'une paroi). $E = (\lambda \cdot \rho \cdot C)^{1/2}$
- **Diffusivité thermique D** [m²/h] ou [m²/s]
Rapidité avec laquelle la chaleur se propage par conduction à travers le matériau. $D = \lambda / (\rho \cdot C)$

Les matériaux qui amènent une forte inertie thermique ont une densité, une chaleur massique et un coefficient de conduction thermique élevés (c'est à dire une forte effusivité).



Photo : www.maison-passive.be

Maison massive : murs à forte inertie.

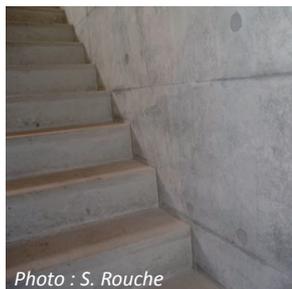


Photo : S. Rouche

Béton : forte inertie.



Photo : A. Branders

Isolant fibre de bois : inertie importante pour un isolant.



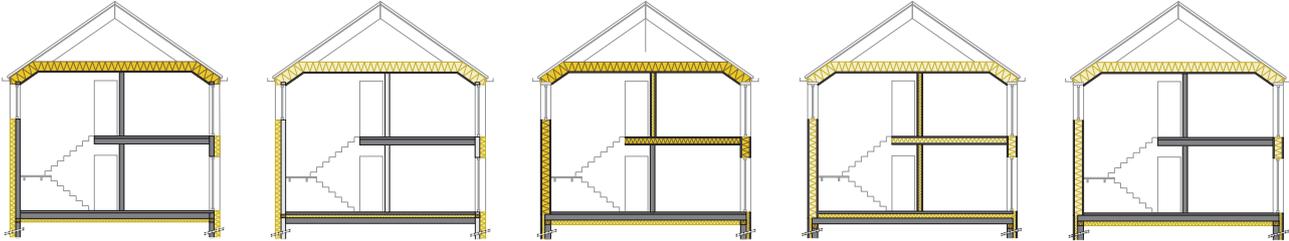
Arch : M. Steffens

Maison à ossature bois : seule la dalle béton a une forte inertie.



2. IMPACT DE L'INERTIE SUR LES SURCHAUFFES

Les points suivants sont les conclusions de l'analyse d'une série de simulations dynamiques réalisées sur une maison avec les 5 cas d'inertie décrits ci-dessous¹.



- bloc silico-calcaire
- isolant fibre de bois
- plancher béton
- dalle de sol béton accessible à la chaleur.

Massif « lourd »
 équivalent :
 PEB : peu lourd/mi-lourd
 PHPP : $n_{lourd} = 5$

- bloc béton cellulaire
- isolant laine minérale
- plancher béton
- dalle de sol béton inaccessible à la chaleur.

Massif « léger »
 équivalent :
 PEB : léger
 PHPP : $n_{lourd} = 2$

- ossature bois
- isolant fibre de bois
- plancher bois
- dalle de sol béton accessible à la chaleur.

Ossature « lourde »
 équivalent :
 PEB : léger
 PHPP : $n_{lourd} = 2$

- ossature bois
- isolant laine minérale
- plancher bois
- dalle de sol béton inaccessible à la chaleur.

Ossature « légère »
 équivalent :
 PEB : léger
 PHPP : $n_{lourd} = 1$

- façades ossature bois
- cloisons lourdes
- isolant laine minérale
- plancher béton
- dalle de sol béton accessible à la chaleur.

Mixte
 équivalent :
 PEB : peu lourd/mi-lourd
 PHPP : $n_{lourd} = 4$

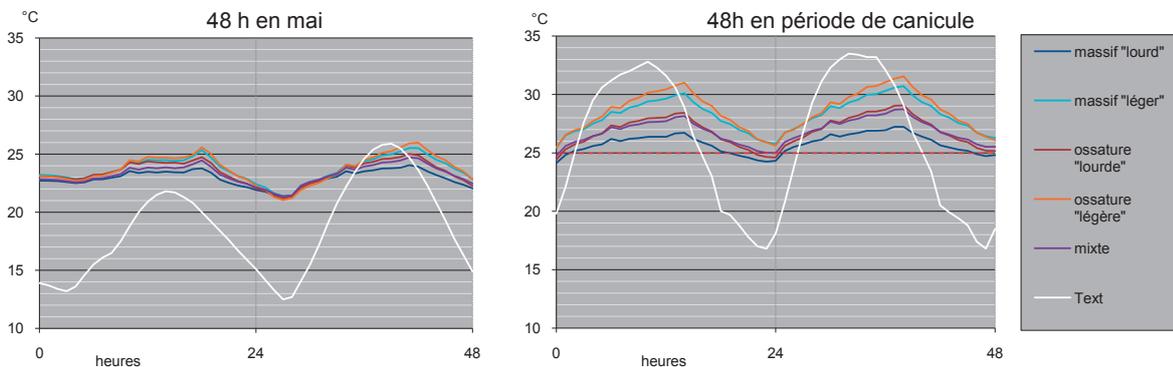
2.1 Évolution des températures intérieures en fonction de l'inertie

Dans le cas des maisons passives ou basse énergie, sans stratégie efficace de limitation des surchauffes, la température intérieure peut être excessive, même en dehors des périodes estivales. Le bâtiment est conçu pour bénéficier au maximum des apports de chaleur gratuits, il doit aussi être conçu pour assurer des températures confortables toute l'année.

L'inertie facilite la limitation des surchauffes. Elle permet d'emmagasiner une partie de la chaleur excédentaire et de la restituer plus tard. On peut observer dans le graphe ci-dessous, l'évolution des températures intérieures, pendant 2 jours au mois de mai, et en période caniculaire.

Températures moyennes intérieures pendant 48 h.

Niveau de performance : PASSIF, ventilation nocturne manuelle : 4V/h, ombrage par des auvents au sud (1 m d'auvent pour 2.1 m de baies au maximum) et par des stores extérieurs à l'est et à l'ouest.



Résultats de simulations TRNSyS.

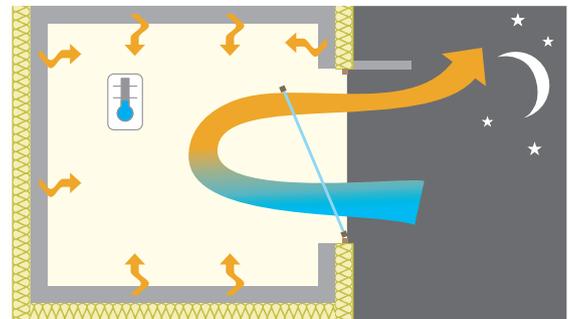
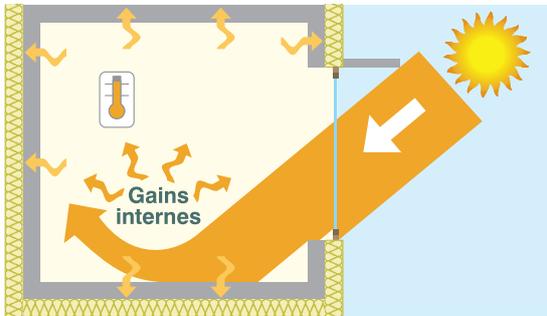
Les deux graphes ci-dessus illustrent le risque réel de surchauffe et l'impact positif de l'inertie, qui est encore plus déterminant en période de canicule.

¹ Les détails concernant les modélisations sont disponibles dans l'annexe «Simulations dynamiques de maisons basse énergie ou passives»



2.2 Inertie et ventilation :

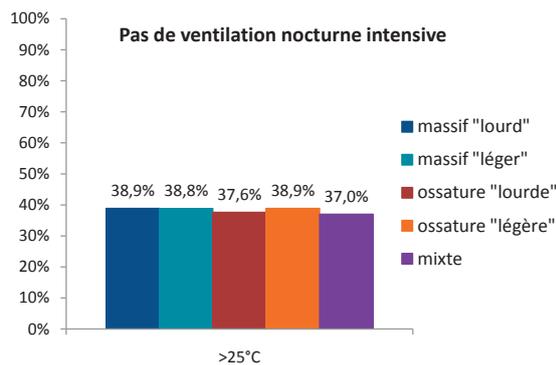
L'effet de l'inertie est à combiner avec la ventilation nocturne pour limiter les surchauffes.



Principe physique de chargement thermique des murs massifs pendant la journée, et de déchargement pendant la nuit.

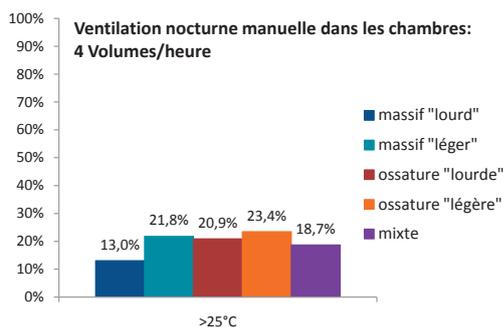
Surchauffe : pourcentage du temps annuel où la température opérative moyenne est supérieure à 25 °C.
Niveau de performance : PASSIF, pas d'ombrages.

Le calcul PHPP évalue les surchauffes en pourcentage du temps, sur une année, pendant lequel la température moyenne intérieure est supérieure à 25 °C. La surchauffe est exprimée de la même façon dans les graphes ci-contre, basés sur des résultats de simulations TRNSyS.

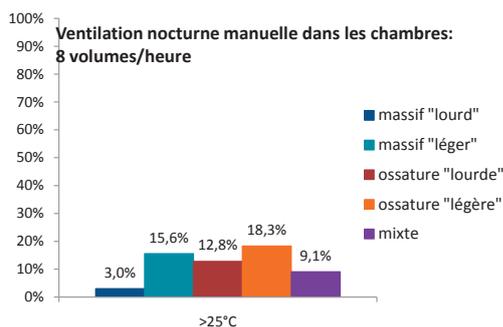


Les graphiques ci-contre concernent un bâtiment passif. Les graphes pour un bâtiment basse énergie peuvent être trouvés dans la fiche 2.6 sur la ventilation naturelle intensive. Les résultats sont similaires.

Le premier graphique montre que, quelle que soit l'inertie du bâtiment, sans stratégie de limitation des surchauffes, le critère de confort n'est pas atteint. L'impact de l'inertie n'est pas nul, mais n'est sensible que pour des températures plus élevées.



Le second graphique montre que l'inertie, couplée à une ventilation nocturne permet de réduire sensiblement les surchauffes. Cependant, une ventilation manuelle nocturne faible (via fenêtres oscillantes des chambres ici) ne permet pas d'assurer le confort thermique.



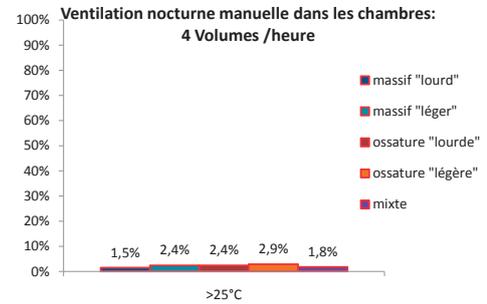
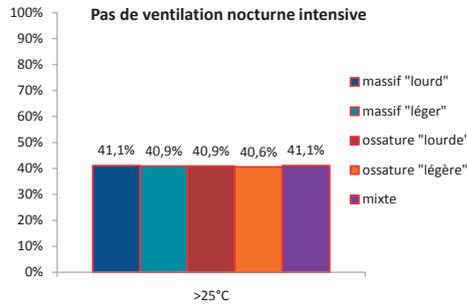
Le troisième graphique illustre la surchauffe dans le cas d'une ventilation nocturne plus efficace, mais toujours avec un déclenchement manuel. La température intérieure dépend fortement de l'inertie. Une construction très lourde (« massif lourd ») remplit les exigences de confort avec cette stratégie seule, mais tous les autres cas simulés ici, d'inertie plus faible, nécessitent la mise en oeuvre de stratégies complémentaires pour éviter les surchauffes excessives (protections solaires...).

Il est en outre intéressant de constater que l'inertie ajoutée dans une maison à ossature bois (cloisons lourdes au rez-de-chaussée, dalle de sol massive accessible, isolant en fibre de bois dans les murs et la toiture, cloisons et plafonds en fibro-plâtre, ...) influence valablement son comportement par rapport aux surchauffes. C'est la différence entre les deux cas « ossature lourde » et « ossature légère ».



Comment l'inertie est-elle prise en compte par un modèle statique comme le logiciel PHPP ?

Surchauffe : pourcentage du temps annuel où la température opérative moyenne est supérieure à 25°C.
 Niveau de performance : PASSIF, pas d'ombrages.



Résultats de simulations PHPP.

Évaluer la surchauffe par un modèle statique est un exercice difficile. Des simulations sur les 5 maisons d'inertie différentes ont été réalisées pour observer la manière dont le logiciel PHPP prenait l'inertie en compte pour l'estimation des surchauffes.

Le premier graphe montre que l'évaluation des surchauffes d'un bâtiment sans aucune stratégie d'été (pas de protection solaire, pas de ventilation nocturne) est très proche des résultats des simulations dynamiques détaillées ci-avant.

Par contre, le deuxième graphe montre que l'introduction d'une ventilation nocturne donne des résultats très optimistes par rapport à la limitation des surchauffes, et l'inertie des bâtiments n'a que très peu d'influence.

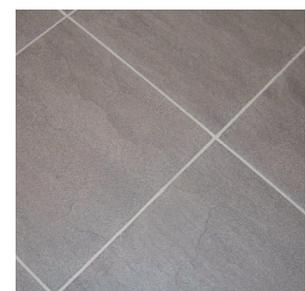
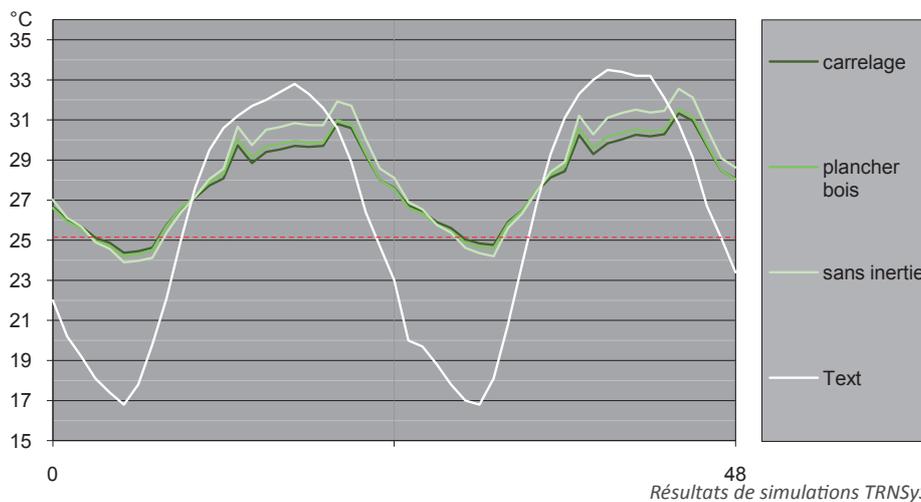
Comment l'inertie est-elle prise en compte dans le calcul statique de la PEB?

4 classes d'inertie thermique sont définies par la PEB (lourd, mi-lourd, peu-lourd et léger). Dans les calculs, la classe d'inertie du bâtiment influence le critère de surchauffe et la valorisation des gains internes. La définition des classes d'inertie et le modèle statique donnent des résultats beaucoup moins précis que les simulations dynamiques.

2.3 Inertie et revêtement de la dalle de sol

Un plancher bois sur une dalle de sol diminue peu l'effet de l'inertie de la dalle

Surchauffe : température opérative du séjour pendant 2 jours de canicule.
 Niveau de performance : PASSIF, ventilation nocturne : 4 V/h, ombrage par auvent au sud (1 m d'auvent pour 2.1 m de baies au maximum) et par stores à l'est et à l'ouest. Inertie moyenne.
 Variable : revêtement de la dalle de sol du rez-de-chaussée.



On peut observer que la température dans le séjour en cas de présence d'un plancher bois collé sur la dalle de sol béton est très proche de la température du même séjour si le revêtement de la dalle est un carrelage.

D'autres simulations montrent que sur une année moyenne, la différence entre les deux revêtements de sol est négligeable.



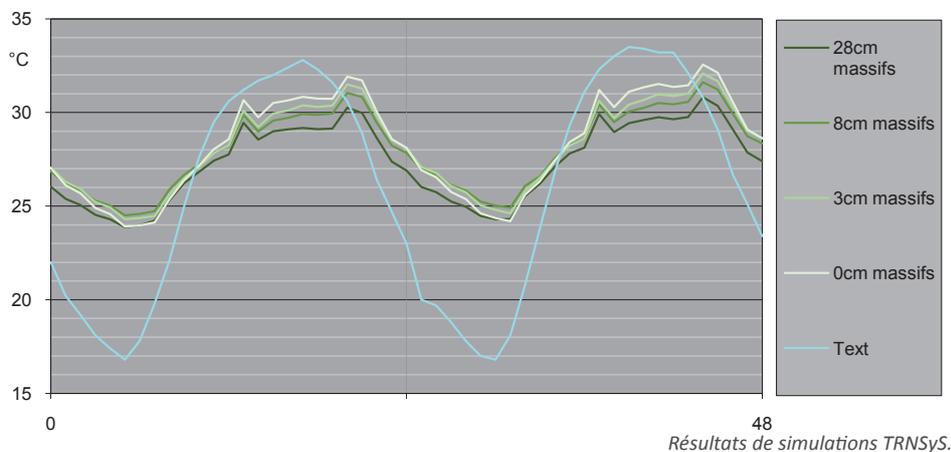
2.4 Inertie et épaisseur de masse accessible dans la dalle de sol

Carrelage sur chape sur dalle, carrelage sur chape sur isolant ou carrelage sur panneau de chape sèche : l'impact de l'épaisseur de masse accessible sur les surchauffes se fait surtout sentir en période de canicule.

Dans la pratique, il est plus facile d'isoler la dalle de sol entre la dalle en béton et la chape. Cette technique a le désavantage de réduire la quantité de masse accessible à la chaleur et donc de diminuer l'inertie de la zone. Des simulations ont été réalisées pour évaluer l'impact de cette diminution d'inertie sur les surchauffes.

Surchauffe : température opérative du séjour pendant 48 h de canicule

Niveau de performance : PASSIF, ventilation nocturne : 4V/h, ombrage par auvent au sud (1 m d'auvent pour 2.1 m de baies au maximum) et par stores à l'est et à l'ouest. Inertie moyenne. Variable : épaisseur massive accessible dans la dalle de sol.



Le graphe montre bien que l'inertie de la dalle de sol permet de réduire la température intérieure en période de canicule. La différence entre un sol avec une très faible inertie et un sol avec 28 cm de masse se situe entre 1.5°C et 2°C, toutes les autres caractéristiques étant identiques. Les températures de la zone dans le cas d'une chape sur isolant, avec 8 cm de masse accessible se situent à mi-chemin entre les deux cas extrêmes cités ci-dessus.

On peut donc conclure que la différence de T° n'est pas proportionnelle à l'épaisseur de masse accessible (ici : 0 cm - 3 cm - 8 cm - 28 cm).

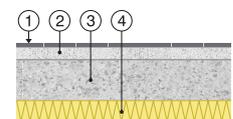
Les premiers centimètres de masse ont plus d'impact.

Cependant, la masse située au-delà de 10 cm de profondeur joue encore un rôle, même s'il est moindre.

Ce graphe est extrait d'un ensemble de simulations qui montrent que :

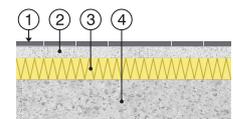
- sur une année complète, en dehors des périodes de canicule, la différence entre les cas disposant de 8 cm de masse accessible et de 28 cm de masse accessible est très faible ;
- L'impact de l'inertie de la dalle est d'autant plus important que l'inertie globale du bâtiment est faible ;
- la réaction est très similaire dans un cas de maison basse-énergie.

28 cm de masse accessible.



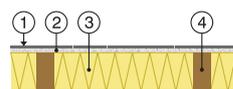
1. carrelage
2. chape de béton
3. dalle de béton
4. isolation

8 cm de masse accessible.



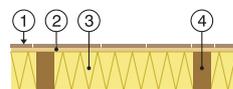
1. carrelage
2. chape de béton
3. isolation
4. dalle de béton

3 cm de masse accessible.



1. carrelage
2. chape sèche
3. isolation
4. structure bois

Pas de masse.



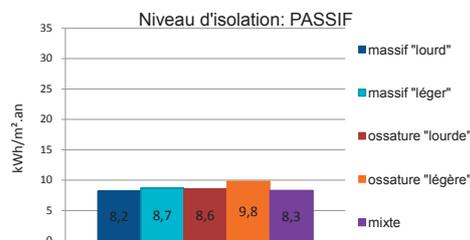
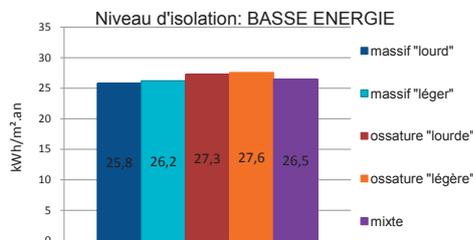
1. plancher bois
2. panneau dérivé de bois
3. isolation
4. structure bois



3. INERTIE ET CHAUFFAGE

3.1 Impact de l'inertie sur les besoins nets de chauffage

Besoin annuel de chauffage (kWh/m².an).



Résultats de simulations TRNSYS.

Une inertie thermique importante permet de valoriser au mieux les gains solaires et internes dans la maison et ainsi de réduire le besoin net de chauffage. Les résultats des simulations dynamiques effectuées montrent une économie potentielle pouvant aller jusqu'à 2kWh/m².an. Cette différence est faible, mais devient proportionnellement non négligeable dans le cas de bâtiments très performants.

Une inertie thermique importante entraîne une faible diminution du besoin net de chauffage.

3.2 Impact de l'inertie sur la consommation de chauffage. Influence sur la régulation.

Un système de chauffage est mis en œuvre pour répondre au mieux au besoin net de chauffage. De manière concrète, une certaine quantité de chaleur doit être produite, distribuée et émise au sein du bâtiment pour garantir le confort thermique des occupants. Cette production de chaleur aboutit à la consommation finale du système de chauffage.

Dans un bâtiment basse énergie, et plus encore dans un bâtiment passif, l'apport de chauffage nécessaire est caractérisé par des puissances très faibles (environ 2kW) et une demande très variable. En effet, il dépend fortement des gains internes et solaires et ceux-ci varient fortement dans le temps, notamment en fonction de la couverture nuageuse. Le système de chauffage doit donc pouvoir émettre à faible puissance et avec des cycles d'émission relativement courts. Si cet objectif n'est pas atteint, le risque est d'engendrer d'éventuelles surchauffes, sources d'inconfort et de surconsommation.

C'est à ce stade qu'intervient l'inertie du bâtiment. En effet, si le bâtiment possède une inertie importante et un système d'émission de chaleur principalement par rayonnement, ce sont les murs qui emmagasinent premièrement la chaleur pour ensuite la restituer à leur environnement, c'est-à-dire l'air de la pièce. Cet effet est intéressant pour les systèmes de chauffage, comme les poêles au bois, qui ont souvent une puissance nettement supérieure à 2 kW et qui doivent fonctionner pendant des périodes assez longues (supérieures à 30 minutes) pour avoir un rendement intéressant. Le mur emmagasine toute l'énergie, dont la quantité globale excède largement les besoins instantanés, et la redistribue lentement dans l'environnement à une puissance nettement plus faible.

En l'absence d'inertie, l'émission de chaleur par le système de chauffage s'accompagne directement d'une montée en température de l'air dans la pièce, si bien que l'on n'est pas à l'abri de surchauffes et de surconsommation. L'émission de chaleur doit pouvoir suivre les fluctuations des gains internes et solaires et être de faible puissance. Souvent, les systèmes de chauffage ne permettent pas de répondre efficacement à ces faibles puissances et à ces rythmes fluctuants. Il est alors préférable de découpler la production de chaleur et son émission. Cela se fait classiquement au moyen d'un réservoir tampon d'eau chaude.

En conclusion, pour répondre de manière efficace au besoin de chauffage sans engendrer des surchauffes ou surconsommations, il s'avère nécessaire d'intercaler un système de stockage qui va permettre de temporiser entre le système (la chaudière, le poêle, etc.) et l'émission de chaleur vers l'air de l'espace. Ce rôle peut être partiellement rempli par l'inertie des murs ou, avec plus de contrôle, par un découplage au moyen d'un ballon tampon d'eau chaude. Les deux peuvent bien évidemment être combinés.

L'inertie permet une régulation plus facile et plus économe du système de chauffage.



4. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES POUR CERTAINS MATÉRIAUX

Pour maximiser l'inertie d'un bâtiment, on veillera, dans les choix de techniques de construction et dans la sélection des matériaux, à introduire un maximum de masse à l'intérieur du bâtiment. Les matériaux à forte effusivité sont les plus intéressants (λ , ρ et C élevés).

Le tableau ci-dessous reprend les caractéristiques physiques d'une série de matériaux.

matériau	Conductivité thermique λ [W/m.K]	Capacité thermique C [kJ/kg.K]	Densité ρ [kg/m ³]	Diffusivité thermique D [m ² /s]	Effusivité thermique E [(W/m ² K) ^{1/2}]
matériaux en contact direct avec l'ambiance intérieure					
sol					
marbre	3,5	1	2 800	16,20	52,17
pierre bleue	2,9	1	2 687	13,99	46,52
chape de béton poli	2	1	2 275	11,39	35,55
carrelage : carreaux de grès	1,2	1	2 000	7,78	25,82
carrelage : carreaux de terre cuite	0,81	1	1 700	6,18	19,56
linoléum	0,17	1,4	1 200	1,31	8,91
plancher bois (résineux)	0,13	1,88	525	1,71	5,97
tapis	0,06	1,3	200	2,99	2,08
mur					
enduit à l'argile	0,66	1	1 500	5,70	16,58
enduit chaux	0,70	0,85	1 600	6,67	16,26
enduit plâtre	0,4	1	850	6,10	9,72
fibro-plâtre	0,32	1,1	1 150	3,28	10,60
carton-plâtre	0,25	1	800	4,05	7,45
matériaux structurels (souvent derrière/en dessous d'un matériau de surface)					
sol					
chape béton	0,37	0,84	1 200	4,76	10,18
panneau à particules de bois	0,15	1.88	600	1.72	6.86
murs					
maçonnerie bloc silico-calcaire	1,00	1,00	1 750	7,41	22,05
maçonnerie bloc béton	1,07	1,00	1 200	11,56	18,89
maçonnerie bloc terre cuite	0,28	1,00	850	4,27	8,13
maçonnerie bloc béton d'argile expansé	0,33	1,00	850	5,03	8,83
maçonnerie bloc béton cellulaire	0,16	1,00	450	4,61	4,47
matériaux isolants					
panneaux de fibres de bois	0.04-0.05	2.1	140 - 240	1.03 - 2.2	1.81 - 2.65
laine de cellulose	0.035-0.055	2.1	50 - 150	1.44 - 6.79	1.01 - 2.19
matelas laine de bois	0.04	2.1	75	3.29	1.32
cellulose en vrac	0.04	2.1	45 - 60	5.49 - 4.11	1.02 - 1.18
laine de roche	0.04	1.03	40-100	12.58 - 5.03	0.68 - 1.07
laine de verre	0.04	1.03	25-50	20.13 - 10.06	0.53 - 0.76
laine de chanvre	0.06	1.1	30	23.56	0.74
polystyrène extrudé	0.028-0.038	1.45	38	6.59 - 8.94	0.65 - 0.76
polyuréthane	0.023-0.029	1.4	30	7.09 - 8.95	0.52 - 0.58
polystyrène expansé	0.031-0.045	1.45	25	11.08 - 16.09	0.56 - 0.67



5. PRATIQUE : COMMENT CONSTRUIRE UN BÂTIMENT AVEC UNE FORTE INERTIE

Le type de structure, la géométrie du projet et le choix des matériaux déterminent l'inertie de la construction.

La construction traditionnelle permet assez facilement de concevoir un bâtiment avec une inertie importante.

Les maisons à ossature bois permettent une isolation importante avec des épaisseurs de parois raisonnables. Par contre, l'inertie de ce type de construction est plus faible. Elle peut être optimisée en ajoutant un maximum de masse dans les parois en contact avec l'intérieur.

La capacité d'absorption de chaleur d'une paroi dépend de ses caractéristiques physiques, mais aussi :

- de sa couleur : plus une paroi est foncée, mieux elle stocke la chaleur ;
- de la finition de sa surface : plus une paroi est rugueuse, mieux elle stocke la chaleur ;
- de sa position : les parois ayant le plus d'impact sont celles exposées au rayonnement direct : le sol près des fenêtres, les cloisons intérieures directement exposées ...

Quelques pistes concrètes pour augmenter l'inertie d'un bâtiment :

- Dalle de sol en béton, avec un revêtement sur chape :
 - * on favorise une dalle accessible, l'isolant est donc plutôt placé sous la dalle,
 - * on préfère un revêtement à forte effusivité (carrelage, pierre, ...).
- Cloisons intérieures les plus massives possibles :
 - * cloisons lourdes quand la structure le permet (maçonnerie pleine, blocs remplis de sable, ...),
 - * ajout de matériaux massifs dans l'ossature (terre crue, béton de chaux et de chanvre, ...),
 - * utilisation de panneaux de revêtement lourds (fibro-plâtre).



Arch : L. Vandormael

Construction mixte bois-béton.



Photo : Eureka

Remplissage d'une ossature avec des briques de terre crue.



Photo : Eureka

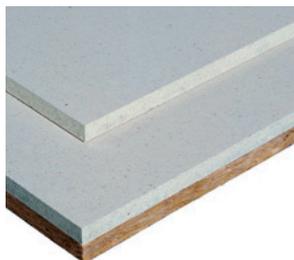
Remplissage d'une ossature avec un mélange d'argile et de paille (banchage).



Photo : A. Evrard

Remplissage d'une ossature en béton de chaux et de chanvre (banchage).

- Ajout de masse dans les planchers de l'étage :
 - * dalle béton (ou hourdis),
 - * planchers mixtes bois-béton,
 - * lestage des planchers bois (sable),
 - * chape sèche.
- Utilisation d'isolants à forte effusivité thermique (fibre de bois, cellulose, ...) :
- Utilisation d'enduits à forte effusivité pour augmenter l'inertie superficielle :
 - * enduit à l'argile,
 - * enduit à la chaux.



Plaques de fibro-plâtre.



Isolant : fibre de bois.



Flocons de cellulose.



Arch : Y. Piron.

Enduit à l'argile et enduit à la chaux.



CHOIX DES MATÉRIAUX

> Impact des matériaux sur l'environnement et la santé

Pour réduire l'impact global des bâtiments sur l'environnement, la diminution de la consommation énergétique est une priorité, mais la démarche ne se limite pas à l'énergie d'utilisation.

L'impact des matériaux de construction sur l'environnement n'est pas négligeable. De l'extraction des matières premières pour sa fabrication à son évacuation en fin de vie, tout matériau utilise des ressources naturelles, consomme de l'énergie, et produit des nuisances.

Le choix des matériaux et procédés de construction est en général déterminé par un ensemble de critères tels que les performances mécaniques et thermiques, le prix, la facilité de mise en œuvre, l'esthétique, la facilité d'entretien, ... Pour s'inscrire dans une démarche durable, il est essentiel d'ajouter à ces critères certaines exigences concernant le bilan environnemental des matériaux et leur impact sur la santé des occupants et des ouvriers.

Cette fiche présente les principes à respecter et introduit un outil d'évaluation des matériaux et des parois.



1. LES DIFFÉRENTS IMPACTS ET LES PRINCIPES À APPLIQUER POUR LES LIMITER

L'éco-bilan d'un matériau (aussi appelé analyse du cycle de vie) permet d'évaluer, quantitativement et qualitativement, l'ensemble des impacts d'un matériau sur l'environnement.

Un éco-bilan de matériau est l'analyse et la quantification de toutes les ressources utilisées et toutes les nuisances émises tout au long du cycle de vie du matériau, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'évacuation en fin de vie. On peut étendre l'analyse à une paroi, ou même à un bâtiment en considérant l'ensemble des éléments dont ils sont constitués et tous leurs assemblages. L'éco-bilan considère une série de critères tels que l'énergie grise, le taux d'émission de gaz à effet de serre, l'épuisement éventuel des ressources naturelles, l'utilisation d'eau, la production de déchets et leur type de traitement, etc.

Pour une conception durable, le choix d'un matériau de construction devra se faire par une analyse multicritère basée sur :

- ses caractéristiques techniques et physiques ;
- son bilan environnemental ;
- son intérêt économique ;
- ses impacts sur la santé des occupants et des ouvriers.

En amont de toute réflexion sur le choix des matériaux, le principe le plus efficace pour limiter leurs impacts reste que :

«Le matériau qui pollue le moins est celui qui n'est pas mis en œuvre».

- Limiter la quantité mise en œuvre à la quantité utile : les structures sont dimensionnées par un ingénieur pour éviter tout gaspillage de matériau.
- Limiter les surfaces d'enveloppe, plus complexes et polluantes que les parois intérieures. Ce qui nous ramène une fois de plus à favoriser la conception de bâtiments compacts et pas trop grands.

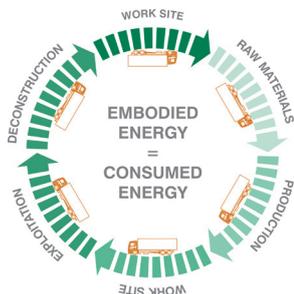
1.1 Consommation des ressources énergétiques

La production, la mise en œuvre et l'évacuation des matériaux consomment de l'énergie, et jusqu'à présent, l'énergie utilisée est principalement fossile. Or, les ressources en combustibles fossiles (pétrole et gaz) sont limitées et au rythme de consommation actuel, leur réserve sera épuisée dans moins d'un siècle.

La construction consomme aussi de l'énergie fossile au niveau du transport et de la mise en œuvre des matériaux (camions, bateaux, grues, etc.).



Photo : www.flickr.fr



Principe de l'analyse de cycle de vie, avec l'énergie grise comme critère.

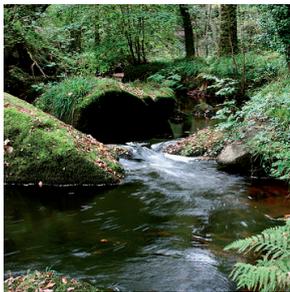


Photo : S. Rouche
 Matériaux pierreux triés.



Photo : S. Rouche

L'énergie grise d'un matériau est l'énergie primaire utilisée pour la production, l'utilisation et l'évacuation d'un matériau, depuis l'extraction des matières premières jusqu'au traitement en fin de vie. Cette énergie peut être fossile ou renouvelable. Ce paramètre n'est donc pas nécessairement représentatif des émissions polluantes liées au matériau. L'énergie grise d'une paroi, d'un bâtiment, est la somme des énergies grises de ses composants, ainsi que l'énergie nécessaire à leur transport et à leur mise en œuvre. Les outils détaillés ci-après ne considèrent pas le transport du site de production au chantier, ni les consommations des engins de chantier.

Pour limiter l'énergie grise d'un bâtiment, on choisit de préférence des matériaux dont le processus de fabrication est peu énergivore, et dont la provenance est peu éloignée.

1.2 Consommation des ressources non énergétiques

Tous les matériaux consomment de l'eau et des matières premières. Pour la sauvegarde d'un équilibre planétaire, il est essentiel de réduire l'impact de l'activité humaine sur le cycle de l'eau.

L'influence des matériaux sur l'épuisement des ressources naturelles dépend aussi de l'utilisation potentielle de matériaux recyclés pour leur fabrication. La valorisation de matériaux en fin de vie (déchets) dans des filières de recyclage permet de réduire efficacement l'usage des matières premières. Dans cette démarche, une étape de tri des déchets est indispensable, ce qui n'est pas évident à gérer sur chantier et nécessite une mise en œuvre permettant la séparation des différents composants en fin de vie.

Pour limiter la consommation des ressources naturelles, on favorisera l'utilisation des matériaux :

- fabriqués à base de matières premières renouvelables sur les périodes les plus courtes possible (bois, végétaux) pour éviter l'épuisement des matériaux non renouvelables (pierre, granulat, métaux, matériaux dérivés du pétrole, ...)
- dont la fabrication et la mise en œuvre consomment peu d'eau (construction sèche) ;
- à base de matériaux recyclés ;
- recyclables et assemblés de manière à pouvoir être triés en fin de vie (assemblages mécaniques).

1.3 Pollution atmosphérique

La production de l'énergie nécessaire tout au long du cycle de vie des matériaux, principalement réalisée à partir d'énergies fossiles, est une source d'émission de polluants. Certains processus chimiques intervenant dans la fabrication ou l'élimination des matériaux de construction émettent aussi des polluants atmosphériques. Les substances les plus émises sont le dioxyde de carbone (CO_2), le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (COV, dont le toluène, benzène, etc.), les particules fines ou très fines, ... Ces polluants sont dommageables pour l'environnement. Ils sont responsables du réchauffement climatique, de l'acidification de l'air, des eaux et du sol, de la réduction de la couche d'ozone et de la formation d'ozone troposphérique.

Pour limiter les émissions de polluants atmosphériques :

- utiliser les produits locaux permet de limiter la pollution atmosphérique due au transport ;
- proscrire les matériaux dont le procédé de fabrication est particulièrement polluant (un éco-bilan est nécessaire pour les identifier) ;
- l'utilisation du bois, s'il provient de forêts gérées durablement, permet de stocker le CO_2 absorbé par l'arbre et a donc un impact positif sur les émissions de CO_2 ;
- les matériaux produits dans des usines utilisant des énergies renouvelables sont à favoriser.



1.4 Impact sur le paysage et sur la biodiversité

La production de certains matériaux dégrade certains environnements naturels. C'est le cas de l'exploitation du bois, qui peut entraîner la déforestation quand elle n'est pas gérée de manière durable, c'est le cas de certaines exploitations de roche ou de minerais, ...

Pour limiter les impacts sur le paysage :

- utiliser du bois provenant de forêts correctement gérées (labels PEFC ou FSC, ou forêts belges...)
- préférer les matériaux recyclés.

1.5 Production de déchets

La fabrication, la mise en œuvre et la démolition entraînent inévitablement la production de déchets. Si ces déchets ne sont pas triés et valorisés dans des filières de recyclage ou de réutilisation, leur incinération ou leur mise en centre d'enfouissement technique (décharges) a un impact environnemental par l'émission de polluants atmosphériques (transport, incinération, ...), par les risques de pollution du sol et de l'eau, et par la consommation d'espace.

Pour limiter la production de déchets :

- réaliser des plans et métrés précis pour une évaluation facile de la matière à mettre en œuvre ;
- favoriser la pré-fabrication, qui permet une meilleure rationalisation des matériaux ;
- favoriser les matériaux en vrac qui permettent d'éviter les chutes de découpe ;
- organiser un tri des déchets et une évacuation vers les filières de recyclage existantes ;
- favoriser les assemblages mécaniques qui permettront le tri en fin de vie ;
- favoriser l'utilisation de matériaux recyclables.

1.6 Impact sur la santé

Ce domaine est complexe et une évaluation complète nécessiterait :

- des données scientifiques sur l'impact sur la santé de l'exposition à des polluants multiples, en fonction des concentrations, du temps d'exposition, et de leurs interactions éventuelles ;
- des données techniques sur la composition des matériaux, la concentration et la durée des émissions éventuelles, en fonction du contexte hygrothermique.

Les émissions primaires, issues des composants du matériau, sont importantes juste après la fabrication, diminuent de 60 à 70 % au cours des 6 premiers mois et disparaissent généralement après 1 an de mise en œuvre. Les substances toxiques couramment utilisées sont les métaux lourds, les biocides et fongicides, certains solvants (toluène, benzène, xylène), les COV dont le formaldéhyde, et certains additifs ignifuges. Les personnes les plus exposées sont les ouvriers.

La qualité de l'air intérieur est très importante pour le confort et la santé des occupants. La limitation des sources d'émissions toxiques (les matériaux en contact avec l'ambiance intérieure ont le plus d'impact) et une ventilation hygiénique suffisante sont de ce fait essentielles.

La pollution atmosphérique, détaillée au point 1.3 a aussi un impact sur la santé humaine, principalement sur les pathologies respiratoires et cardio-vasculaires.

Pour limiter les impacts sur la santé :

- privilégier les matériaux naturels, surtout pour les finitions intérieures ;
- privilégier les fixations mécaniques (éviter les colles) ;
- prévoir une ventilation correcte de l'espace intérieur.



Photo : carrières de la pierre bleue belge

Carrière de pierre bleue.



Photo : C. Massart

Tri des déchets de chantier.



Photo : VM Zinc

Le zinc : facilement recyclable.



Pictogrammes: www.inrs.fr.

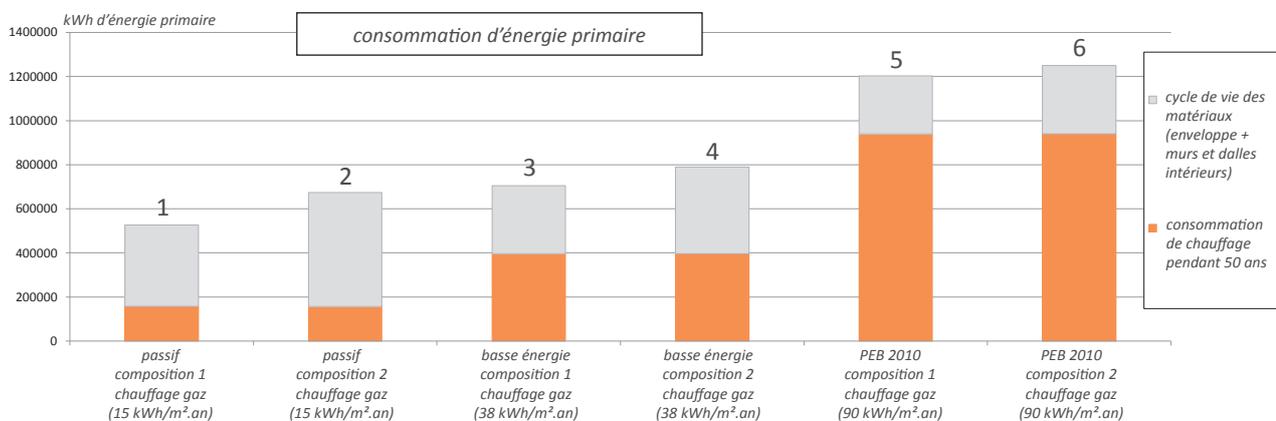


2. L'IMPORTANCE DU CHOIX DES MATÉRIAUX

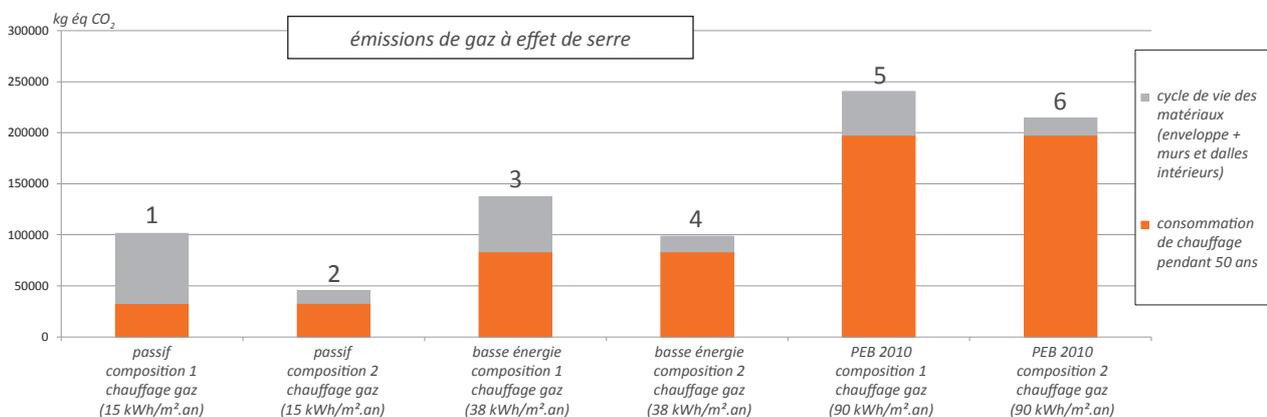
Pour limiter les dommages causés par le bâtiment sur l'environnement, les stratégies actuellement développées se concentrent surtout sur les économies d'énergie d'utilisation, pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et limiter l'épuisement des ressources fossiles qui y sont liées.

Si on observe plus globalement les impacts du bâtiment sur l'environnement, on constate que l'isolation accrue des parois a deux conséquences :

- augmentation de la quantité de matériaux mis en œuvre, principalement de l'isolant, ce qui augmente l'impact des matériaux de construction, en valeur absolue ;
- diminution de la consommation de chauffage, ce qui augmente l'impact des matériaux de construction en valeur relative.



graphe 1.a



graphe 1.b

Consommation totale d'une maison en énergie primaire (1.a) et total des émissions de gaz à effet de serre d'une maison en kg éq CO₂ (1.b) sur une période de 50 ans, en considérant un chauffage au gaz avec un rendement total de 80%. L'impact des matériaux de construction d'une maison a été calculé en tenant compte de la fabrication du matériau, de son remplacement éventuel dans le cas d'une durée de vie inférieure à 50 ans et de son élimination en fin de vie¹.

- avec 3 niveaux de performance différents (PEB 2010, basse énergie, passif²) ;
- avec deux variantes au niveau des matériaux :
 - * composition 1: utilisation de panneaux de laine de roche dans la toiture et dans les murs, de polystyrène extrudé dans la dalle de sol, blocs silico-calcaires et bardage zinc,
 - * composition 2: utilisation de fibre de bois dans la toiture et dans les murs, de panneaux de polyuréthane dans la dalle de sol, blocs béton et bardage bois.



Les graphes ci-contre permettent de visualiser plusieurs phénomènes :

- pour évaluer l'impact environnemental d'un bâtiment, il est essentiel de tenir compte de l'impact de ses matériaux de construction. Celui-ci est en effet loin d'être négligeable. Dans le cas d'une construction passive, l'énergie grise des matériaux de construction est plus importante que l'énergie primaire nécessaire pour le chauffage¹ (1a, colonnes 1 et 2) ;
- dans le cas d'une construction passive, si on observe les émissions de gaz à effet de serre (1b), on constate une très forte dépendance au choix des matériaux. (1b, colonnes 1 et 2) ;
- pour des parois de composition identique : l'isolation jusqu'au standard passif permet de réduire la consommation globale d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre (colonnes 1 et 3, ou 2 et 4) ;
- pour des parois différentes, la consommation d'énergie primaire et le taux d'émission de gaz à effet de serre dépend du choix des matériaux et du niveau d'isolation (1a, colonnes 2 et 3 et 1b, colonnes 1 et 4) ;
- les parois/matériaux qui émettent le moins de gaz à effet de serre ne sont pas toujours celles qui sont caractérisées par la plus faible énergie grise. Ceci dépend fortement du type de matériau et du mode de fabrication

3. L'ÉVALUATION

Le calcul PEB ne tient pas compte de l'impact environnemental des matériaux de construction dans l'évaluation d'un bâtiment.

Plusieurs outils permettent l'évaluation d'un matériau selon la méthode de l'analyse du cycle de vie:

3.1 Les outils « checklist »

Il s'agit d'une liste de critères, auxquels sont associés un système de cotation graduée et un facteur de pondération. Le résultat est calculé en additionnant les résultats pondérés pour chaque critère. Ce qui amène à une appréciation qualitative suivant le score, de type « à conseiller », ou « à proscrire ». La pondération définie implique un ordre d'importance dans les nuisances (l'émission de gaz à effet de serre a plus d'importance dans l'évaluation que l'épuisement des ressources, par exemple).

Exemple de ce type d'outils :

- norme NIBE (norme hollandaise) ;
- outil ECOBAU (fiches téléchargeables sur le site www.ecobau.ch) ;
- GREEN GUIDE TO HOUSING SPECIFICATIONS (Institut BRE, Angleterre) ;
- publication du CRTE: *LEITFADEN FÜR NACHHALTIGES-BAUEN UND RENOVIEREN* (Luxembourg).

3.2 Logiciels et outils « LCA »

Ces méthodes sont plus complexes et nécessitent une base de données complète sur tous les matériaux, « du berceau à la tombe ».

Exemple de ce type d'outils :

- écobilans KBOB (téléchargeables www.bbl.admin.ch/kbob), qui s'appuient sur la base de données ECOINVENT ;
- CATALOGUE CONSTRUCTION (téléchargeable sur www.catalogueconstruction.ch) ;
- ECO-BAT (logiciel payant sur www.ecobat.ch), spécialement conçu pour une évaluation rapide d'un bâtiment ;
- ECOSOFT (logiciel payant sur www.ibo.at), dont l'une des bases de données est ECOINVENT.

¹ à condition de ne pas utiliser l'électricité pour la production de chaleur.



3.3 Labels

Les labels dits « écologiques » permettent d'identifier les matériaux et produits répondant à des critères de protection de l'environnement, contrôlés et certifiés.

Exemples de labels :

- ECOLABEL EUROPEEN (inventaire des produits certifiés disponibles en Belgique sur www.ecolabel.be/fr/produits/index.html) ;
- NATUREPLUS (inventaire des produits certifiés sur www.natureplus.org/produkte) ;
- NF ENVIRONMENT (inventaire des produits certifiés sur www.ecolabel.com) ;
- BLAUER ENGEL (inventaire des produits certifiés sur www.blauer-engel.de/en/index.php) ;
- FSC et PEFC, labels spécifiques au bois, certifient la qualité de la gestion des forêts productrices ;
- GUT, label spécifique aux revêtements de sol textiles.



Considérer le bilan environnemental des matériaux de construction n'est pas une démarche évidente, d'abord parce que les outils disponibles ne sont pas nombreux et ensuite parce que, suivant les différents critères observés, un matériau peut avoir des performances très différentes. Par exemple, un isolant à base de fibre de bois est caractérisé par une énergie grise importante, mais par contre, son bilan au niveau du gaz à effet de serre est excellent, du fait qu'il constitue un stockage du CO₂ absorbé par l'arbre. Le béton est assez performant au niveau énergie grise mais consomme une quantité importante d'eau, ...

Le transport est aussi très difficile à prendre en compte. Un trajet en bateau est moins polluant qu'un trajet en camion, même s'il est plus court, l'origine de la matière première ne garantit pas le fait que le matériau n'ait pas voyagé, certains chambranles de portes sont fabriqués en Chine à partir de bois européens, et rapatriés après confection,...

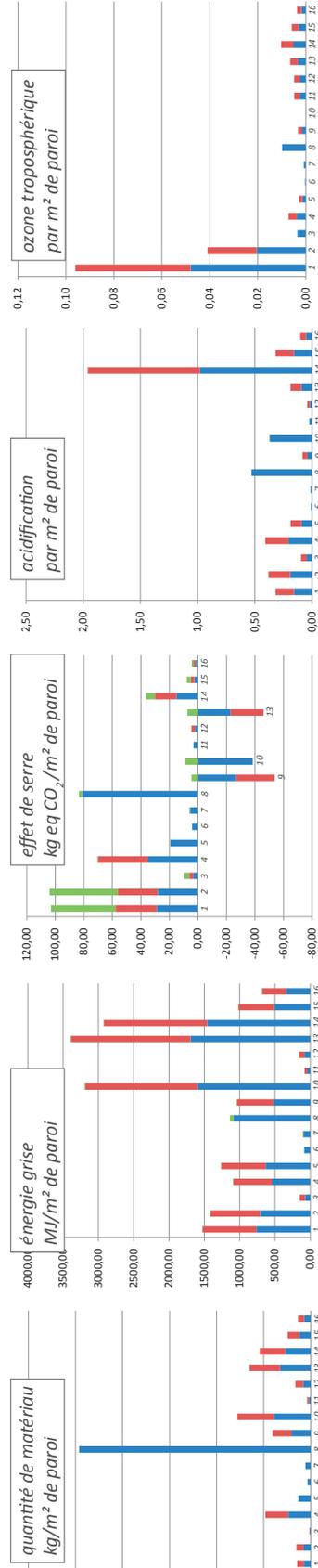
Dans le cadre de l'élaboration d'un outil d'aide à la conception des maisons individuelles basse et très basse consommation d'énergie, la Région wallonne publie, parallèlement à ce guide, un outil permettant d'évaluer les différents matériaux et différentes compositions de parois. Le document est intitulé « Choix des matériaux, écobilans des parois ».

Le tableau ci-contre est issu de cet ouvrage et permet de comparer les isolants sur le point de vue de l'impact des matériaux.



4. EXEMPLE D'ANALYSE : COMPARATIF DES MATÉRIEAUX ISOLANTS

n°	matériau		Densité kg/m³	Épaisseur m	Matière/m² paroi			Energie grise/m² paroi			Effet de serre/m² paroi			Acidification/m² paroi			Ozone troposphérique/m² paroi		
	fabrication	remplacement			total à éliminer	fabrication	remplacement	élimination	total	fabrication	remplacement	élimination	total	fabrication	remplacement	élimination	total	fabrication	remplacement
Isolants synthétiques																			
1	polystyrène expansé	30	0,24	7,20	7,20	14,40	3,89	1530,29	28,87	45,36	103,10	0,16	0,16	0,32	0,048	0,048	0,096		
2	polystyrène extrudé	35	0,24	7,56	7,56	15,12	4,08	1416,29	28,20	47,63	104,03	0,19	0,19	0,38	0,020	0,020	0,041		
3	polyuréthane - panneau	40	0,18	0,72	0,72	1,44	1,99	150,31	3,03	3,56	9,62	0,05	0,05	0,10	0,003	0,000	0,003		
Isolants minéraux																			
4	laine de roche	100	0,24	24,00	24,00	48,00	11,90	1096,70	35,04	35,04	70,56	0,20	0,20	0,41	0,004	0,004	0,007		
5	laine de verre	60	0,24	12,96	0,00	12,96	6,43	1267,70	19,31	0,00	0,26	0,09	0,09	0,19	0,001	0,001	0,003		
6	verre cellulaire - panneau	120	0,27	3,24	0,00	3,24	0,80	86,02	4,08	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,000	0,000	0,000		
7	perlite expansée - panneau	145	0,38	5,51	0,00	5,51	13,66	106,23	5,45	0,00	0,55	0,01	0,01	0,01	0,001	0,000	0,001		
8	baïlle d'argile expansée	300	0,82	246,00	0,00	246,00	54,91	1137,31	81,18	0,00	2,21	0,53	0,53	0,00	0,010	0,000	0,010		
Isolants à base végétale																			
9	fibres de bois - matelas	75	0,27	20,25	20,25	40,50	6,64	1044,25	-26,93	-26,93	4,58	0,04	0,04	0,08	0,002	0,002	0,003		
10	fibres de bois - panneau	160	0,27	38,88	38,88	77,76	12,75	3200,91	-38,49	0,00	8,79	0,37	0,37	0,00	0,000	0,000	0,000		
11	cellulose - matelas	70	0,27	1,89	1,89	3,78	1,11	81,25	3,04	0,00	0,09	0,02	0,02	0,02	0,002	0,002	0,005		
12	cellulose - vrac	30	0,27	8,10	8,10	16,20	4,76	162,23	2,19	2,19	0,39	0,02	0,02	0,04	0,002	0,002	0,005		
13	panneau de liège	120	0,27	32,40	32,40	64,80	10,69	3399,73	-23,00	-23,00	7,39	0,09	0,09	0,19	0,003	0,003	0,006		
14	fibres de coco - matelas	100	0,27	27,00	27,00	54,00	8,86	2930,26	15,12	15,12	6,10	0,98	0,98	1,96	0,005	0,005	0,010		
15	fibres de chanvres - matelas	45	0,27	12,15	12,15	24,30	3,99	1019,73	2,55	2,55	2,75	0,16	0,16	0,32	0,003	0,003	0,006		
16	fibres de lin - matelas	25	0,27	6,75	6,75	13,50	1,99	683,74	1,49	1,49	1,37	0,05	0,05	0,10	0,002	0,002	0,004		



Les matériaux sont comparés par unité de surface, avec une épaisseur telle que la transmission thermique de l'isolant soit égale ou inférieure à 0.15 W/m²K. Les graphes ci-dessus illustrent l'impact des différents matériaux suivant les 5 critères analysés. Les trois couleurs apparaissant dans les graphiques correspondent aux différentes phases du cycle de vie étudiées (fabrication, remplacement, élimination). Toutes les hypothèses d'évaluation ainsi qu'un ensemble de comparatifs de parois sont disponibles dans le document «Choix des matériaux, écobilans des parois».

GUIDE POUR LA CONCEPTION DE MAISONS NEUVES DURABLES

CHOIX DES MATÉRIAUX

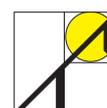


N° de fiche : **3.5**
Liens :
3.1

Sources :

- MATRIciel, Projet RELOSO, *Méthodologie de renouveau des logements sociaux*, 2009.
- S. Trachte - Architecture et climat, *Choix des matériaux, écobilans des parois*, Ministère de la Région wallonne, 2010.

4 Systèmes





VENTILATION HYGIÉNIQUE

> Les différents systèmes et le point sur la ventilation double-flux

Dans une maison, l'activité des occupants et certains matériaux émettent une série de polluants qu'il faut évacuer pour garantir la qualité de l'air intérieur. C'est le rôle essentiel de la ventilation hygiénique.

La ventilation entraîne une déperdition thermique (l'air neuf doit être chauffé) et influence donc directement les consommations de chauffage. Dans le contexte des maisons basse énergie et passives, l'isolation et l'étanchéité à l'air performantes limitent fortement les autres déperditions thermiques et l'impact de la ventilation devient proportionnellement important.

Le système de ventilation mécanique double-flux avec un échangeur de chaleur permet de ventiler efficacement et de limiter fortement les pertes thermiques par ventilation.

Ce système de ventilation peut en outre servir de vecteur pour un appoint de chauffage, être équipé d'un puits canadien, être muni d'un échangeur enthalpique, ...

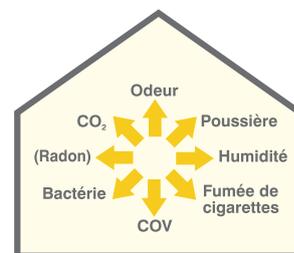


1. L'IMPORTANCE DE LA VENTILATION HYGIÉNIQUE

Dans le contexte d'un bâtiment performant, caractérisé par une isolation importante et une bonne étanchéité à l'air, les infiltrations sont faibles et totalement insuffisantes pour garantir un renouvellement d'air suffisant.

L'air intérieur est pollué par une série de substances :

- les hydrocarbures, comme les toluènes, benzènes, xylènes, sont des COV (Composés Organiques Volatils) présents dans certains solvants, colles, peintures, vernis ;
- les formaldéhydes sont des COV largement présents dans les éléments de construction (colles, résines, mousses isolantes en polyuréthanes, ...), dans certains textiles et désinfectants... et dans certaines laines de verre ou de roche. Ils sont également présents en grande quantité dans la fumée de cigarette ;
- le CO₂ n'est pas toxique, mais sa présence en trop grande concentration dans l'air indique une quantité insuffisante d'oxygène pour le bien-être des occupants ;
- l'humidité est dégagée par la respiration et les activités des occupants (cuisson, douche, ...) ou le séchage des matériaux mis en œuvre. Un taux d'humidité trop important (> 70 % HR) favorise une croissance microbienne et accentue les risques de condensation. Les risques de maladies respiratoires et les problèmes d'allergies s'en trouvent aggravés. Un taux d'humidité important (> 80 %) encourage aussi le développement de moisissures, qui sont la cause de multiples problèmes de santé (réactions allergiques provoquant des maladies respiratoires, réactions inflammatoires et infectieuses) ;
- le radon est un gaz radioactif, présent dans le sol en quantité très différente selon la région et le type de roche. Une grande quantité de radon dans l'habitat augmente fortement les risques de cancer du poumon ;
- les poussières, particules fines et fibres respirables peuvent provoquer des maladies respiratoires et allergiques ;
- les acariens sont responsables de réactions respiratoires allergiques.



Un renouvellement d'air suffisant est essentiel pour garantir la qualité de l'ambiance intérieure pour le bien-être et la santé des occupants. C'est le rôle de la ventilation hygiénique.

La législation prévoit une ventilation hygiénique de base, continue et de faible débit. Des débits sont indiqués, pour chaque pièce, en fonction de la surface et du type de local. Le système de ventilation mis en place doit pouvoir assurer ces débits.

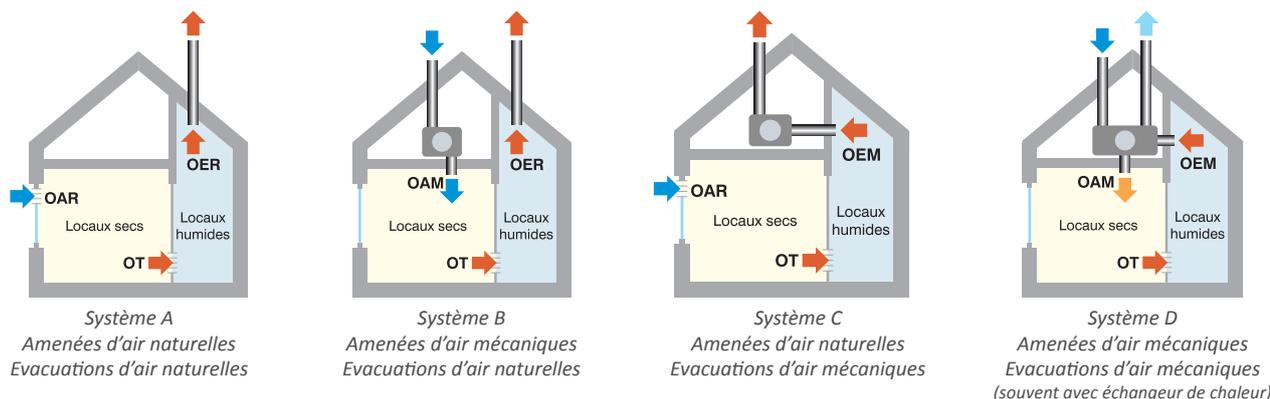


2. LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE VENTILATION

La norme NBN D50-001, en application depuis 1996, prévoit la possibilité de ventiler une habitation en plaçant :

- des amenées d'air frais dans les locaux « secs » (chambres, séjour, bureau, ...);
- des évacuations d'air vicié dans les locaux humides (wc, salle de bain, cuisine, buanderie, ...);
- des ouvertures de transfert entre ces différents locaux.

Les débits doivent être calculés suivant la norme, et garantis par l'un des 4 systèmes suivants :

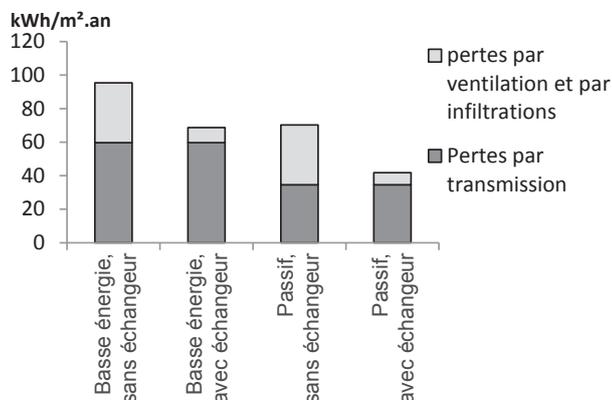


3. L'IMPACT DE LA VENTILATION SUR LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Dans le cas des systèmes A, B et C, l'air de ventilation est l'air extérieur, amené directement dans les pièces de vie. Sa température est le plus souvent inférieure à la température de confort intérieur, la ventilation provoque donc une déperdition thermique.

Le chauffage, avec les gains internes et solaires, compense les déperditions thermiques par transmission à travers les parois, par infiltrations et dues à la ventilation. Pour minimiser la consommation énergétique de chauffage, il faut réduire au maximum toutes ces déperditions thermiques.

Si l'isolation et l'étanchéité à l'air d'un bâtiment sont performantes, les déperditions thermiques par les parois et par infiltrations sont faibles et les pertes par ventilation deviennent proportionnellement importantes. La ventilation mécanique double-flux, équipée d'un échangeur de chaleur, permet de les limiter fortement.



Pertes de chaleur sur une année, par m², pour une maison 4 façades, avec deux niveaux de performance énergétique (basse énergie et passif), calculées avec le logiciel PHPP¹. La maison est équipée ou non d'un échangeur de chaleur sur la ventilation mécanique.

Les bâtiments considérés dans ce guide sont des maisons basse énergie ou passives. Dans le cadre d'une maison individuelle 4 façades, il est impossible d'atteindre de telles performances sans récupération de chaleur sur l'air extrait pour la ventilation. C'est la raison pour laquelle ce chapitre traite principalement du système de ventilation double-flux avec échangeur de chaleur.

Dans le cas de maisons mitoyennes très compactes et très bien isolées, il est éventuellement possible d'atteindre des performances comparables avec un système de ventilation naturelle ou partiellement naturelle (système C). Si c'est l'option choisie, on veille à une conception cohérente du système, permettant d'assurer les débits de ventilation requis par la norme. Plus d'informations sont disponibles dans la brochure «la ventilation naturelle des habitations» téléchargeable sur le site de la Région wallonne (<http://energie.wallonie.be>).

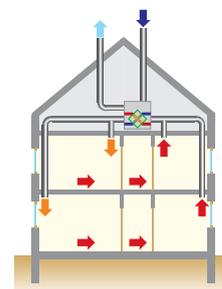


4. LA VENTILATION MÉCANIQUE DOUBLE-FLUX AVEC ÉCHANGEUR DE CHALEUR

Principe :

Un système de ventilation mécanique contrôlée fonctionne par la pulsion d'air neuf dans les locaux secs (chambres, bureau, séjour) et l'extraction de l'air vicié dans les locaux humides (salles de bains, cuisine, buanderie...). Un échangeur de chaleur permet de préchauffer l'air pulsé en le croisant avec l'air extrait.

Des ouvertures de transfert sont créées entre les locaux pour permettre le passage de l'air des locaux secs vers les locaux humides avant son extraction.



Principe d'une ventilation double-flux avec échangeur de chaleur

Rendement :

L'efficacité d'un système de ventilation avec récupération de chaleur dépend d'abord de l'étanchéité à l'air du bâtiment. Dans le cas d'une maison peu étanche, le système est partiellement court-circuité à cause des fuites d'air diverses. Une partie de l'air chauffé est évacuée par les fuites vers l'extérieur sans passer par l'échangeur, et une partie de l'air entre directement par les fuites, sans être préchauffé dans l'échangeur.

Pour assurer l'efficacité d'un système de ventilation avec récupérateur de chaleur, une bonne étanchéité à l'air du bâtiment est essentielle ($\eta_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$).

Par ailleurs, l'efficacité du système est déterminée par :

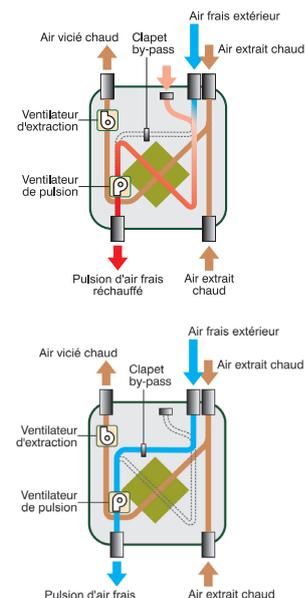
- le rendement de l'échangeur ;
- l'efficacité des ventilateurs ;
- la perte de charge à compenser (conception du réseau de distribution).

Quelques repères :

- le rendement d'un échangeur à contre-courant de bonne qualité est supérieur à 85 % (suivant la norme) ;
- le rendement thermique global du système : 93-97 % (> 85 % à cause des pertes thermiques du moteur des ventilateurs, qui participent au réchauffage de l'air pulsé) ;

remarque : la différence entre le rendement global et le rendement de l'échangeur doit être la plus petite possible, les kWh « gagnés » étant des kWh électriques « perdus » au niveau des moteurs des ventilateurs. Les constructeurs renseignent souvent uniquement le rendement global.

- la consommation électrique d'un système dépend des pertes de charge, de la qualité des ventilateurs et du débit à assurer. Comme repère, un système avec un débit de 325 m³/h en position maximale a une puissance d'environ 243 W, alors qu'en position minimale (absence, nuit...), sa puissance est réduite à 17 W. La consommation électrique est largement compensée par la diminution du besoin de chauffage.



Fonctionnement de l'échangeur : passage dans l'échangeur ou by-pass.

Le rendement global des échangeurs à plaques atteint 95 %. Ce qui signifie que pour une température extérieure de 0 °C et une température intérieure de 20 °C, l'air pulsé est préchauffé à 19 °C par le seul contact avec l'air extrait.

Conception :

L'installation d'une ventilation double-flux et de son réseau de tuyaux d'air n'est pas sans impact sur l'organisation des espaces et la localisation de zones et de gaines techniques. Une bonne conception est aussi essentielle pour assurer le rendement de l'échangeur et le confort acoustique.

La ventilation doit impérativement être considérée très rapidement dans la conception du projet.



Dimensionnement :

- le système doit être dimensionné pour pouvoir assurer, dans chaque local, les débits calculés suivant la norme (NBN D50 001), en tenant compte des pertes de charge du réseau. Les débits d'alimentation et d'évacuation doivent être assurés alors que toutes les portes intérieures sont fermées et toutes les ouvertures de transfert sont ouvertes ;
- le système doit être équilibré, avec un taux d'extraction égal au taux de pulsion. On augmente le débit calculé le plus faible (en général, le débit d'extraction) pour qu'il corresponde au débit calculé le plus important (en général le débit de pulsion) ;
- en pratique, le débit varie suivant le taux d'occupation et le système doit être dimensionné pour un rendement optimal en position de ventilation intermédiaire ;
- les conduites sont dimensionnées pour une vitesse d'air inférieure à 4 m/s pour éviter les nuisances sonores et limiter les pertes de charge ;
- les ouvertures de transfert doivent être dimensionnées en fonction des débits nécessaires. Elles peuvent être réalisées au moyen de grilles dans les portes ou dans les murs (acoustiques ou non) ou de fentes sous ou au-dessus des portes intérieures.

L'échangeur et les ventilateurs :

- localisés de manière « centrale » pour limiter la longueur des conduites ;
- situés dans un local peu sensible aux nuisances sonores (grenier, débarras, ...) ;
- l'accès à l'échangeur doit être facile pour l'entretien et le remplacement des filtres ;
- une évacuation des condensats doit être prévue, ainsi qu'une alimentation électrique ;
- prévoir une distance entre l'échangeur et la sortie du local pour le positionnement de silencieux (si nécessaire) ;
- proches des bouches de prise d'air extérieur et de rejet d'air intérieur ;
- l'échangeur est toujours équipé d'un by-pass, pour pouvoir pulser de l'air à la température extérieure quand c'est souhaitable (en cas de surchauffe par exemple). Le by-pass est souvent intégré dans le caisson de l'échangeur ;
- pour éviter le givrage de l'échangeur en cas de température extérieure trop basse, un système de dégivrage électrique est prévu. Le risque de givre peut aussi être évité en équipant le système d'un puits canadien ;
- le choix d'un moteur à courant continu pour les ventilateurs entraîne une économie d'énergie de l'ordre de 50 % par rapport aux moteurs à courant alternatif (environ 50 % sur la consommation électrique).

Le réseau :

- le tracé du réseau de ventilation doit être le plus simple et direct possible. L'objectif est d'éviter au maximum les coudes et changements de section pour limiter les pertes de charge et donc la consommation électrique des ventilateurs. Un tracé direct réduit aussi les risques de nuisances sonores ;
- le dimensionnement des conduites doit se faire sur base d'une vitesse de l'air inférieure à 4m/s, pour garantir un bon confort acoustique ;
- les conduites flexibles sont à éviter pour minimiser les pertes de charge ;
- les conduites peuvent être réalisées en acier galvanisé, en aluminium, en inox, en matière synthétique ou en béton. Les conduites en béton, par leur rugosité, augmentent les pertes de charge. Les conduites en matériau synthétique propagent le bruit ;
- il existe des conduits circulaires, rectangulaires et oblongs. Les conduits circulaires provoquent moins de pertes de charge que les conduites rectangulaires ;
- les jonctions entre les différents éléments de conduits doivent être étanches ;
- les conduits peuvent être isolés thermiquement, ce qui est essentiel si des conduites d'air frais traversent des locaux chauffés, si des conduites d'air « réchauffé » traversent des locaux non chauffés, ou s'il y a un système de chauffage sur l'air pulsé ;
- pour éviter les nuisances sonores, les coudes sont à éviter à proximité des bouches de ventilation.



Éléments d'assemblages étanches pour gaines métalliques de ventilation.

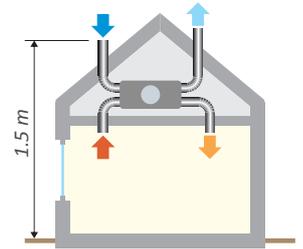
GUIDE POUR LA CONCEPTION DE MAISONS NEUVES DURABLES

VENTILATION HYGIÉNIQUE



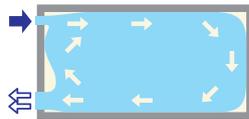
N° de fiche : **4.1**
Liens :
2.3, 4.2

- la prise d'air doit garantir une alimentation en air de qualité (éviter le trafic, la proximité des poubelles, ...);
- la prise d'air doit être située à une hauteur minimale de 1 m50 au-dessus du sol extérieur;
- il faut éviter une trop grande proximité entre l'évacuation et l'alimentation (éviter le by-pass);
- la prise d'air et la bouche de rejet doivent être protégées des intempéries et équipées d'un grillage pour éviter la pénétration de rongeurs;
- la disposition des bouches de pulsion et d'extraction dans les locaux est importante pour assurer la ventilation efficace de tout l'espace.



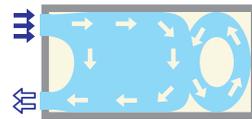
Localisation des bouches de prise et de rejet d'air.

bonne diffusion de l'air



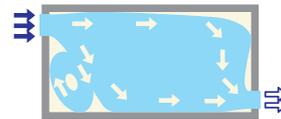
Bon : soufflage horizontal en haut à grande vitesse, reprise en bas sur le même mur.

mauvaise diffusion de l'air



Médiocre : soufflage horizontal en haut à faible vitesse et faible portée, reprise en bas sur le même mur (création d'une zone morte).

bonne diffusion de l'air



Bon : soufflage horizontal en haut à faible vitesse, reprise en bas sur le mur opposé.

mauvaise diffusion de l'air



Médiocre : soufflage horizontal en haut à grande vitesse, reprise en haut sur le mur opposé (création d'une zone morte).

Avantages :

- économie d'énergie de chauffage ;
- contrôle des débits de ventilation, et donc de la qualité de l'air intérieur ;
- filtrage de l'air pulsé. Élimination d'une partie des allergènes présents dans l'air extérieur (pollen, ...) et du bruit extérieur éventuel, par rapport à une amenée d'air naturelle ;
- possibilité éventuelle d'un apport de chauffage via l'air pulsé, si la puissance de chauffage nécessaire est suffisamment faible (passif) ;
- possibilité de coupler la ventilation mécanique à un puits canadien pour amener de l'air frais en été.

Inconvénients :

- coût relativement élevé (4 000 - 6 000 € pour une installation standard) ;
- encombrement assez important, au niveau de l'échangeur et au niveau des conduites. Faux plafonds éventuellement nécessaires dans certaines pièces (couloirs, halls) ;
- augmentation de la technicité du logement (risque de panne, entretien, ...);
- entretien nécessaire ;
 - * les filtres plats doivent être remplacés ou nettoyés tous les 6 mois,
 - * les ventilateurs doivent subir un entretien tous les 2 ans,
 - * l'échangeur à panneaux doit être contrôlé tous les 2 ans et nettoyé tous les 5 ans,
 - * les conduits aérauliques ne nécessitent normalement pas d'entretien dans le cas d'une bonne conception. La possibilité d'un nettoyage est cependant toujours un atout,
 - * les bouches d'alimentation, et surtout d'extraction doivent être nettoyées (environ 1 fois par an).
- risque de nuisance sonore si l'installation n'est pas bien conçue ou bien mise en œuvre.

5. SYSTÈMES COMPLÉMENTAIRES À LA VENTILATION MÉCANIQUE DOUBLE-FLUX

La ventilation mécanique permet le contrôle du débit pulsé et extrait dans l'habitation. Un réseau de conduite dessert tous les locaux. Certaines fonctions complémentaires peuvent être remplies via le système de ventilation.



5.1 La hotte

La hotte est un système de ventilation **intensive** qui sert à évacuer l'air pollué par la cuisson des aliments. L'air extrait est chaud et chargé d'odeurs, de vapeur d'eau et de graisse.

Une hotte classique (extraction mécanique avec un débit important, vers l'extérieur) pose deux problèmes

- Dans le cas d'une maison dont l'étanchéité à l'air est bonne, il est nécessaire de coupler l'extraction d'air avec une amenée d'air d'un débit équivalent. Un système d'amenée naturelle (une grille dans le mur de la cuisine) provoque une déperdition thermique, importante, y compris en période de non-fonctionnement de la hotte.
- Il est assez dommage de ne pas récupérer la chaleur émise par la cuisson dans l'échangeur de chaleur. Une hotte traditionnelle envoie tout cet air chaud directement vers l'extérieur

Première solution :

La hotte fonctionne sans évacuation. Avant d'être recyclé, l'air est filtré pour neutraliser les odeurs et capter les graisses (filtre à charbons actifs, à changer tous les trois mois environ, et filtre pour les graisses, à nettoyer régulièrement). Par ailleurs, la ventilation hygiénique de la cuisine permet d'évacuer l'humidité et de récupérer la chaleur de l'air vicié dans l'échangeur.

Deuxième solution :

Certains systèmes de ventilation double-flux proposent l'intégration d'une hotte spécifique dans le circuit. Il convient de vérifier que le débit d'air pulsé sera suffisant en période de fonctionnement de la hotte.

5.2 Le chauffage via l'air de ventilation

Principe :

Quand la puissance de chauffage requise pour atteindre la température de confort est très faible, la chaleur nécessaire peut être fournie en chauffant l'air à la sortie de l'échangeur avant de le pulser dans les pièces de vie. Ce type de distribution/émission de chaleur est détaillé dans la fiche 4.2. Quelques éléments essentiels sont indiqués ici, dans le cas d'un système centralisé via l'air de ventilation.

Avantages :

- pas de circuit de chauffage séparé, pas de corps de chauffe.

Inconvénients :

- envisageable seulement pour des très faibles puissances (passif avec des surfaces limitées) ;
- la température de chauffage de l'air est identique pour tous les espaces, quel que soit leur besoin de chauffage instantané (fonction des gains solaires et internes). La régulation est donc difficile ;
- en hiver, l'utilisation du système de ventilation à son débit maximum pour atteindre la puissance de chauffage nécessaire provoque une nuisance sonore légère ;
- en hiver, l'utilisation du système de ventilation à son débit maximum pour atteindre la puissance de chauffage nécessaire augmente le volume d'air neuf entrant, ce qui provoque un taux d'humidité relative trop faible ;
- l'apport de chaleur est toujours fourni dans les zones de pulsion. La salle de bain ne bénéficie donc que de la chaleur amenée via les ouvertures de transfert, ce qui est en général insuffisant.

5.3 Le puits canadien

Principe :

L'air neuf, avant d'être pulsé dans le bâtiment, passe dans un conduit enfoui dans le sol. La température du sol à une profondeur supérieure à 1m50 varie sensiblement moins que celle de l'air. Par ce passage et le transfert de chaleur avec le sol, l'air extérieur est réchauffé en hiver et rafraîchi en été. Le puits canadien est obligatoirement couplé à un système de ventilation mécanique contrôlée.

La conception, la nature du sol, la profondeur du conduit, sa longueur et son diamètre, les coudes et le matériau utilisé déterminent l'efficacité de l'échange thermique et la perte de charge à compenser par le système de ventilation.

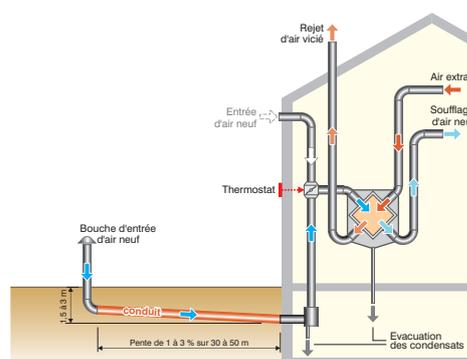


Schéma de principe d'un puits canadien.

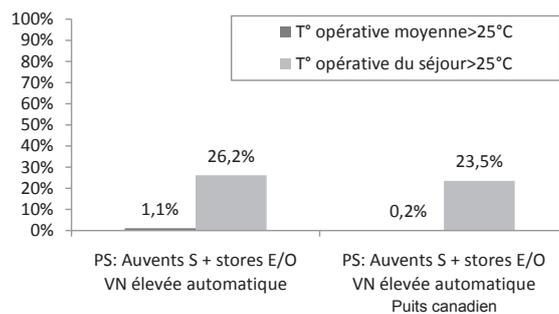


Avantages :

- en hiver, permet de préchauffer l'air avant son entrée dans l'échangeur, et le met hors gel, ce qui supprime la consommation pour le dégivrage les jours de gel. Les pertes par ventilation sont encore réduites et le besoin de chauffage aussi ;
- en été, possibilité de pulser de l'air frais dans les pièces de vie, au débit de la ventilation hygiénique.

Inconvénients :

- le coût est assez important (3 000 - 4 000 €) ;
- le bénéfice en hiver est assez réduit à cause de l'efficacité déjà très importante de l'échangeur (maximum 5-10 % d'économie sur le besoin de chauffage) ;
- le bénéfice en été est limité par le débit de ventilation hygiénique assez faible ;
- la présence d'un puits canadien augmente les pertes de charge et donc la consommation des ventilateurs ;
- la mise en œuvre est délicate, la pente doit être constante, l'évacuation des condensats efficace, et l'étanchéité du tuyau parfaite ;
- les conséquences au niveau de la qualité de l'air dans le cas d'une utilisation estivale (condensation de l'air extérieur chaud et humide dans le tuyau) sont encore peu maîtrisées. L'entretien doit en tout cas être possible ;
- nécessité d'un espace disponible (jardin).

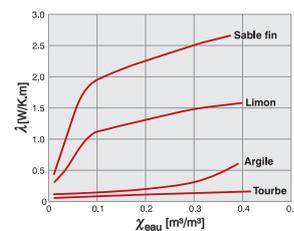


Impact du puits canadien sur la surchauffe. Surchauffe exprimée en pourcentage du temps annuel où la température opérative intérieure est supérieure à 25 °C. Dans le cas d'une maison 4 façades d'inertie très faible (ossature bois légère).

Conception - dimensionnement

L'objectif est d'atteindre une efficacité de 80 % (l'augmentation de la température de l'air atteint 80 % de la différence entre la température de l'air extérieur et la température du sol) et une perte de charge inférieure à 100 Pa.

- minimiser les pertes de charge :
 - * éviter les coudes,
 - * privilégier des conduites multiples plutôt qu'une grande longueur,
 - * favoriser les conduites larges.
- dimensionnement sur base d'une vitesse de 1 à 3 m/s ;
- profondeur du tuyau : entre 1.5 et 3 m ;
- pente du tuyau : 2 % pour l'évacuation des condensats ;
- système d'évacuation des condensats et de regard de visite ;
- matériau utilisé : le PVC, le polyéthylène et le polypropylène ont l'avantage d'être anti-bactériens, lisses et leur étanchéité est facile à assurer. Le béton ou la terre cuite ont l'avantage d'offrir un meilleur échange thermique, mais l'étanchéité est difficile à assurer (et un puits canadien non étanche est inutilisable) ;
- la prise d'air doit être :
 - * située à un endroit où l'air est de qualité,
 - * située à une hauteur minimale de 80 cm du sol,
 - * protégée des intempéries par un « chapeau » ou un coude,
 - * protégée de l'intrusion des insectes et rongeurs par un fin grillage,
 - * éventuellement équipée d'un filtre pour limiter la pénétration de poussières et de pollen.
- le puits canadien doit toujours être équipé d'un by-pass, qui permet la prise directe de l'air extérieur dans les cas où celui-ci est à une température plus avantageuse que la température du sol. Le by-pass est contrôlé par une sonde de température extérieure.



Conductivité thermique de différents types de sols. Plus la valeur lambda est élevée, plus le sol est conducteur et meilleur est le rendement de l'échange thermique.



*Photo : Architecture et climat
Prise d'air.*

5.4 Variante : échangeur géothermique (aussi appelé puits canadien à eau glycolée)

Principe :

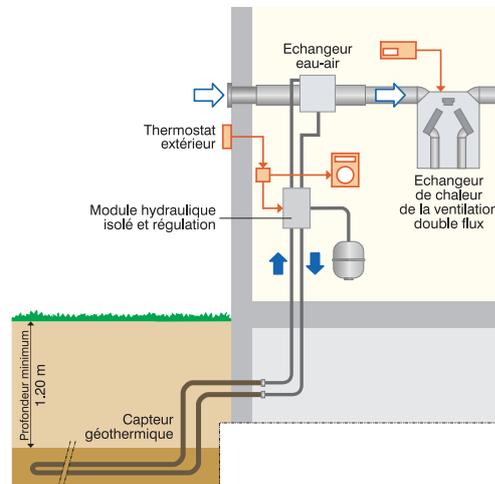
Un circuit fermé et enterré dans le sol permet l'échange thermique entre l'eau glycolée (fluide caloporteur) y circulant et la terre. Cette eau glycolée alimente un échangeur thermique installé sur l'alimentation en air, en amont de l'échangeur de la ventilation, ce qui permet le préchauffage (hiver) ou le rafraîchissement (été) de l'air entrant.

Avantages par rapport au puits canadien aéraulique :

- aucun risque pour la qualité de l'air ;
- mise en œuvre plus simple ;
- entretien très faible ;
- pas de perte de charge supplémentaire à compenser par la ventilation double-flux.

Inconvénient par rapport au puits canadien aéraulique :

- nécessité d'un circulateur et d'un échangeur, qui entraînent une consommation électrique supplémentaire.



Principe de fonctionnement d'un puits canadien hydraulique.

5.5 Système complémentaire : l'échangeur enthalpique

En hiver, l'humidité relative intérieure est souvent trop faible, ce qui peut entraîner un inconfort (irritation des yeux et des muqueuses, poussières, électricité statique). Ce phénomène est renforcé par un débit de ventilation élevé, comme dans le cas d'un système de chauffage via l'air de ventilation.

Principe :

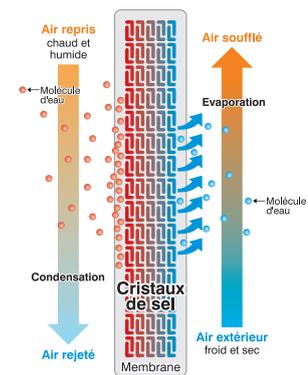
Pour garantir un niveau d'humidité relative confortable, on peut utiliser un échangeur de chaleur de type « enthalpique ». Les parois de ce type d'échangeur permettent un transfert de vapeur (jusqu'à environ 60 %) de l'air chaud extrait vers l'air froid entrant. L'eau est transférée sous sa forme moléculaire, sans passage possible de germes ou d'odeurs.

Avantage par rapport à un échangeur classique :

- augmentation du confort par le maintien d'une humidité relative suffisante.

Inconvénients par rapport à un échangeur classique :

- entretien supplémentaire ;
- prix plus élevé.



Principe du transfert de molécules d'eau à travers une membrane d'un échangeur enthalpique.

6. SYSTÈME DE VENTILATION MÉCANIQUE SIMPLE FLUX

Entre les différents systèmes de ventilation autorisés par la norme, le système D avec un échangeur de chaleur est le plus intéressant, d'un point de vue écologique, énergétique, confort, et économique à long terme. Néanmoins, si ce système n'est pas retenu, le système C, avec extraction mécanique offre des possibilités qui permettent de réduire les consommations énergétiques de chauffage.

Principe : extraction mécanique de l'air vicié dans les locaux « humides ». Les débits de la norme doivent pouvoir être assurés, mais ne sont pas nécessaires en continu. Certains fabricants proposent donc de réguler les débits d'extraction mécanique en fonction d'une sonde qui détecte le taux d'humidité et éventuellement la présence dans le local.

Avantage par rapport au système C « normal » :

- diminution du débit total de ventilation, et donc :
 - * diminution des déperditions thermiques de ventilation et du besoin de chauffage,
 - * diminution des consommations électriques des ventilateurs.

Inconvénients :

- peu de contrôle sur le taux de ventilation des locaux « secs ». Si la ventilation ne se déclenche pas dans les locaux humides (par exemple si l'humidité y reste faible), les locaux de vie ne sont pas non plus ventilés.



7. RECHERCHE D'UNE EFFICACITÉ SUPÉRIEURE...

Le système de ventilation idéal combinerait les avantages de :

- la récupération de chaleur d'un système mécanique avec échangeur, quand il en résulte une économie de chauffage, malgré la consommation électrique des ventilateurs ;
- l'absence de consommation d'énergie de la ventilation naturelle (système A) quand les gains internes et solaires suffisent à compenser les déperditions thermiques par transmission, infiltration et ventilation.

Un dédoublement des systèmes n'est pas envisageable en pratique, surtout que l'alternance idéale se fait parfois d'heure en heure sur une même journée.

Le système de ventilation mis en oeuvre dans le quartier durable de BedZED, au sud de Londres, propose une solution intéressante même si aucun exemple de ce système n'a encore été développé en Belgique.



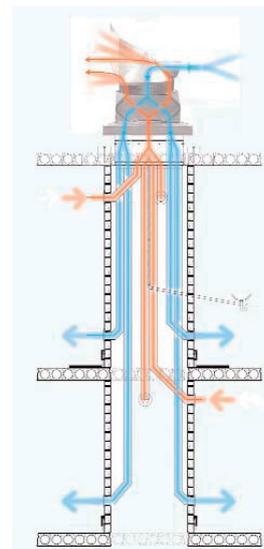
www.ZEDfactory.com
BedZED.



www.ZEDfactory.com
Maison « ruralZED » développée par ZEDfactory.



www.ZEDfactory.com/
zedfabric.htm
« Wind cowl » et échangeur.



Fonctionnement d'une cheminée de ventilation naturelle avec échangeur et « wind cowl ».

Il s'agit d'une ventilation naturelle avec échangeur de chaleur. L'effet de cheminée et l'effet du vent sont combinés pour déplacer l'air dans les conduites sans l'aide de ventilateurs mécaniques, en croisant l'air extrait et l'air pulsé pour préchauffer ce dernier. Aucune donnée scientifique n'est disponible, mais le rendement annoncé est de 70 % avec une hypothèse sur la vitesse du vent de 4m/s, ce qui est plausible en zone dégagée. Si ces affirmations sont justes, ce système est plus intéressant qu'une ventilation mécanique double-flux. En plus de l'avantage énergétique, l'absence de mécanisation supprime tout souci éventuel de régulation, de risque de panne, ...

Le système a déjà été mis en oeuvre pour des habitations individuelles standardisées développées par le bureau ZEDfactory.

Ce système est un exemple de l'impact d'une technologie sur l'architecture. L'élément technique a un impact visuel et spatial important et devient donc un élément architectural déterminant.

Sources :

- CIFIUL, *La ventilation mécanique des habitations*, Ministère de la Région wallonne, 2004.
- P. VAN DEN BOSSCHE, S. PRIEUS - WTCB, P. COOTJANS - DNI, *Ventilatiegids, stappen plan voor comfortabel en energiezuinig ventileren*, IWT - TETRA, 2007.
- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), *Guide pour la construction et la rénovation de petits bâtiments*, Éditions IBGE, 2009.
- S. TRACHTE - Architecture et climat, *Advanced housing renovation with solar and conservation*, Ministère de la Région wallonne - IEA37, 2009.
- Zedfactory, site internet : www.zedfactory.com.
- Storckair, site internet : www.ventilatie.com.



CHAUFFAGE & EAU CHAUDE SANITAIRE

> Description, adéquation aux bâtiments performants, critères de choix

Une conception soucieuse de l'environnement cherche avant tout à réduire le besoin d'énergie du bâtiment. Quand cet objectif est atteint, avec un degré dépendant des circonstances et des choix des intervenants, il reste une certaine quantité de chaleur à fournir pour assurer le confort des occupants : le chauffage des espaces et la production d'eau chaude sanitaire (ecs).

Dans le cas de bâtiments très performants, le besoin de chauffage est très faible et varie fortement en fonction des gains solaires et internes. La consommation pour produire l'eau chaude sanitaire devient proportionnellement très importante dans le bilan global, d'où la nécessité d'optimiser ce point.

Les bâtiments basse énergie ou passifs, en modifiant les besoins d'énergie et le fonctionnement des bâtiments, modifient sensiblement le mode de conception des systèmes. L'objectif est de définir des combinaisons qui permettent l'adéquation entre les besoins de chaleur et la réponse des systèmes pour les satisfaire, avec une consommation minimale, un bilan économique intéressant et un confort optimal.



1. CONTEXTE

Comme pour toute maison, il s'agit, par l'installation de systèmes, d'assurer le confort des occupants en termes de chaleur et d'eau chaude sanitaire.

Les maisons basse-énergie et passive ont un besoin de chauffage réduit mais néanmoins toujours présent. Quant à leur besoin d'eau chaude sanitaire, il dépend surtout du nombre et du mode de vie de ses occupants.

La conception des systèmes pour une maison basse énergie ou passive se fait en tenant compte des constats suivants :

- plus faible est le besoin de chauffage, plus le chauffage de l'eau sanitaire est déterminant dans l'efficacité globale du système. Le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont donc ici considérés ensemble ;
- plus faible est le besoin de chauffage, plus long est le temps de retour pour un investissement donné (la récupération de l'investissement financier par l'économie financière réalisée sur la consommation énergétique). Un système performant et coûteux est donc plus difficile à rentabiliser si la consommation est très faible ;
- les gains solaires et internes contribuent significativement au chauffage. (Pour le passif, la proportion est d'environ 2/3 de gains et 1/3 de chauffage pour vaincre les déperditions thermiques). Ces gains sont très variables dans le temps et dans l'espace. Pour les valoriser le mieux possible, il faut pouvoir émettre de la chaleur au bon moment, au bon endroit et avec la puissance nécessaire ;
- sauf exception, les puissances des systèmes de production de chaleur disponibles sur le marché sont trop importantes par rapport à la puissance nécessaire (max 2 kW pour le passif¹). La modulation est trop faible pour pouvoir accorder la production et la demande de chaleur. Quand la production est active, une puissance trop importante est donc produite ;
- pour garantir le rendement optimal et la minimisation des émissions de gaz nocifs et de particules fines lors de la combustion, les cycles de production de chaleur doivent être respectés.

SYSTEMES	gaz	pellets	bûches	PAC ² (standard)	mazout
durée du cycle	>5 min	>30 min	≈ 1 h	>20 min	?
P _N minimum	8 kW	5-8 kW	6-8 kW	6 kW	15 kW
modulation (% P _N)	10-30 %	30 %	50 %	20 %	50-75 %

Remarques : différents systèmes n'ont pas été envisagés ci-après :

- le mazout, en raison de la puissance trop importante et peu modulable des chaudières sur le marché actuel ;
- l'utilisation d'un réseau de chaleur, en raison des pertes de transmission trop importantes proportionnellement au faible besoin d'énergie ;
- la microcogénération. À l'heure actuelle, le système n'est pas encore appliqué à l'échelle de maisons individuelles basse-énergie ou passives. Il pourrait cependant être une piste intéressante pour le futur.

¹ puissance calculée pour une maison d'une surface d'environ 180 m²

² PAC: abréviation pour «pompe à chaleur»



On peut identifier deux stratégies pour le chauffage d'une maison basse énergie ou passive :

Première stratégie :

Suivre les besoins de chaleur du bâtiment. Le système doit être extrêmement réactif pour pouvoir fournir un complément de chaleur avec la bonne puissance, au bon endroit et au bon moment. Le besoin de chaleur étant très fluctuant en fonction des gains internes et solaires, ceci est totalement incompatible avec des cycles de production longs.

La conception du système vise donc à :

- découpler la production de la distribution/émission par l'installation d'un ballon tampon qui permet le stockage de chaleur dans un volume d'eau. C'est impératif pour les chaudières bois et sans doute nécessaire pour les chaudières gaz ;
- choisir une émission de chaleur principalement par convection (typique du chauffage par air).

Deuxième stratégie :

Respecter le cycle de production de chaleur sans suivre les besoins de chaleur « instantanés » du bâtiment. On produit et on émet donc la chaleur suivant des cycles longs, c'est le bâtiment en lui-même qui la stocke.

La conception du système vise donc à :

- optimiser la faible régulation possible en choisissant des systèmes dont la puissance est faible et modulable, dont le cycle n'est pas trop long et en concevant un bâtiment avec une forte inertie, capable d'engranger une grande quantité de chaleur, ceci pour éviter les surchauffes (et les surconsommations qui y sont liées) ;
- choisir une émission de chaleur principalement par radiation (typique du chauffage par un poêle).

2. SOLUTIONS : COMBINAISONS POSSIBLES

Le principe d'un apport de chaleur pour une maison reste le même, il se décompose en 3 fonctions :

- production de chaleur ;
- distribution de chaleur du lieu de production au lieu où la chaleur est nécessaire ;
- émission de chaleur.

Un système de régulation permet de coordonner les différentes fonctions par rapport aux besoins.

A cela s'ajoutent :

- la production d'eau chaude sanitaire ;
- la ventilation double-flux. La ventilation a son objectif propre, mais elle est parfois utilisée comme vecteur de distribution et doit être équipée d'un système de protection contre le givre.

En combinant les différentes techniques pour chaque élément, on obtient de nombreuses solutions.

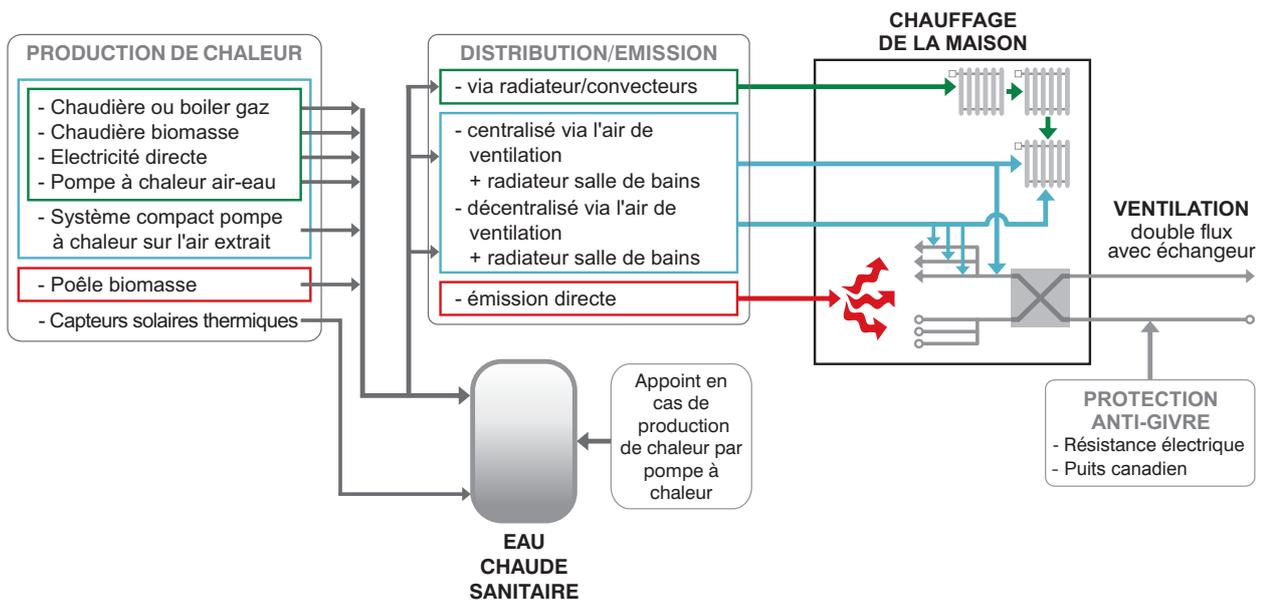


Schéma reprenant les différentes combinaisons possibles pour le chauffage des espaces et la production d'eau chaude sanitaire.

- Les modes de distribution/émission ne sont pas associables à tous les modes de production de chaleur. Les encadrements de couleur indiquent les combinaisons possibles.
- La distribution/émission via l'air de ventilation, centralisée ou non, n'est suffisante qu'en cas de puissance nécessaire très faible (maison passive).



2.1 Production de chaleur

2.1.1 chaudière ou boiler gaz

Environnement

Le gaz naturel est le combustible fossile le plus propre. Sa combustion dégage du CO₂, mais en quantité beaucoup moins importante que la combustion du mazout (-30 %) ou du charbon (-50 %). Par rapport à l'électricité, l'émission de CO₂ n'est pas nécessairement inférieure si on considère la part d'électricité produite par le nucléaire, mais elle ne produit évidemment pas de déchets radioactifs. La combustion du gaz ne dégage presque pas d'oxydes d'azote (NO_x) et pas de dioxyde de soufre (SO₂). Ces deux gaz sont responsables des pluies acides. L'émission de Composés Organiques Volatiles (COV) est aussi beaucoup plus faible que pour les autres combustibles fossiles.

Principe

Un système de production de chaleur par une chaudière à condensation au gaz est relativement conventionnel. Pour garantir un rendement optimal,

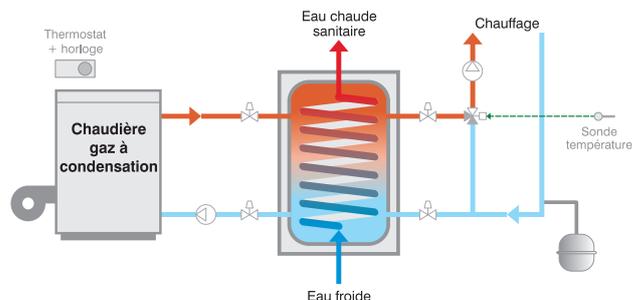
- il faut que le système travaille à «basse» température, c'est-à-dire que l'eau, après passage dans l'échangeur ou dans les émetteurs de chaleur (radiateur, ...), revienne à la chaudière avec une température inférieure à 50 °C, ce qui permet une bonne condensation de la vapeur contenue dans les fumées. Cette contrainte s'accorde très bien à des maisons basse énergie ou passive dans lesquelles la puissance d'émission nécessaire est faible.
- il faut que les cycles de combustion soient suffisamment longs (5-10 min minimum). L'émission de gaz nocifs et d'imbrûlés est plus importante pendant les phases de démarrage et le rendement maximal est atteint en régime. La chaudière fonctionne donc mieux dans un contexte de cycles longs. Cette contrainte s'accorde plus difficilement avec des maisons où les besoins sont faibles et très variables en fonction des changements de puissance des gains solaires et internes. C'est la raison de l'installation d'un ballon tampon d'eau chaude, qui constitue une réserve de chaleur et permet de découpler une production de chaleur, suivant des cycles longs et une distribution suivant des cycles généralement courts correspondant aux besoins réels.

La puissance de chauffage nécessaire tourne autour des 2 kW pour une maison passive et de 4 kW pour une maison basse énergie (sans tenir compte d'une puissance de relance).

La solution la plus performante est celle d'une chaudière couplée à un ballon tampon d'eau morte qui permet de chauffer l'eau chaude sanitaire via un échangeur.

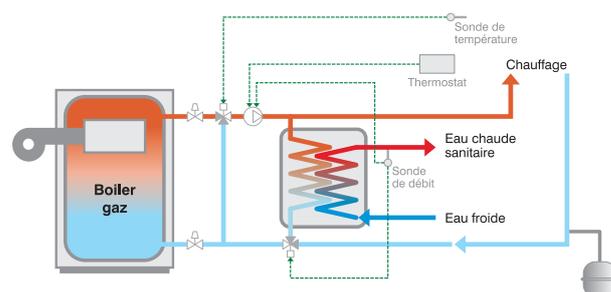
La capacité du ballon sera classiquement d'environ 200 l, ou 300 l s'il est couplé avec des capteurs solaires. La présence d'un ballon tampon offre plusieurs avantages :

- grande réactivité aux variations de demande de chaleur, régulation fine et confort accru des occupants
- conditions de combustion optimales, rendements plus élevés et pollution réduite
- faible fréquence de mise en route de la chaudière



Exemple de circuit avec une chaudière gaz à condensation.

Un système de production de chaleur par un boiler gaz est une solution plus économique qui peut être envisagée. Cependant, le rendement n'est pas aussi intéressant que celui d'une chaudière à condensation. Le système consiste en un boiler au gaz qui permet de chauffer l'eau pour le chauffage. Sur ce circuit vient se greffer un échangeur de chaleur avec l'eau chaude sanitaire, qui est alimenté en cas de demande d'eau chaude. Plus grand est l'échangeur, plus faible peut être la température du boiler et donc meilleur est le rendement.



Exemple de circuit avec un boiler gaz.



La production d'eau chaude sanitaire en semi-accumulation via un petit ballon d'eau chaude (25-30 l) est une autre possibilité. Cette solution implique une production de chaleur en instantané pour le chauffage, ce qui signifie qu'avec les chaudières gaz disponibles actuellement sur le marché, le système est surdimensionné et les cycles de combustion sont probablement très courts, ce qui amène une diminution du rendement effectif de la chaudière.

La production de l'eau chaude sanitaire en instantané (sans ballon tampon) n'est pas une bonne solution. La puissance nécessaire est de l'ordre de 36 kW. La différence avec la puissance nécessaire pour le chauffage est énorme et aucune chaudière sur le marché n'offre une possibilité de modulation si étendue. La chaudière est donc toujours fortement surdimensionnée et le rendement ne sera pas bon.

Le rendement d'une chaudière à condensation gaz est d'environ 105 % (PCS¹).

Avantages :

- encombrement faible ;
- très bon rendement ;
- pas de stockage de combustible ;
- entretien trisannuel ;
- faible émission de polluants (le gaz est l'énergie fossile la plus « propre ») ;
- technologie connue par les entrepreneurs ;
- coût d'installation moyen.

Inconvénients :

- nécessité d'une possibilité de raccordement au réseau de gaz naturel ;
- nécessité d'une évacuation des gaz brûlés sans risque d'intoxication au CO (chaudière étanche) ;
- dépendance à un gaz, fossile, dont l'approvisionnement est limité à long terme et risque d'être source de tensions géopolitiques.

2.1.2 chaudière bois

Environnement

Le bois utilisé comme combustible est une énergie renouvelable² si la forêt dont il provient est gérée de manière durable, ce qui est le cas des forêts wallonnes.

La quantité de CO₂ émise par sa combustion est équivalente au CO₂ absorbé par l'arbre pendant sa vie (processus de photosynthèse). Le bilan CO₂ global est donc très intéressant, mais il n'est pas strictement nul. En effet, l'extraction, le conditionnement et le transport du combustible nécessitent de l'énergie, et sont donc source d'émissions de CO₂.

La combustion du bois émet aussi d'autres polluants tels que le monoxyde de carbone, des oxydes d'azote, des composés organiques volatils (COV) et des particules très fines nocives pour la santé.

Les émissions de polluants sont d'autant plus importantes que la combustion ne se déroule pas dans les conditions optimales, d'où l'importance de l'utilisation d'appareils performants (chaudières à pellets, chaudières à bûches à gazéification) et de l'optimisation des cycles de combustion (cycles longs pour limiter les périodes de démarrage plus polluantes).

La qualité du combustible influence aussi fortement le rendement et la quantité d'émission de polluants.

- Les pellets sont standardisés et répondent en général à la norme allemande « DIN plus ». Une norme belge est en cours d'élaboration.
- Les bûches ne sont pas normalisées. Le critère de qualité principal est le taux d'humidité, qui doit être le plus faible possible.



Bûches.



Pellets.



Principe

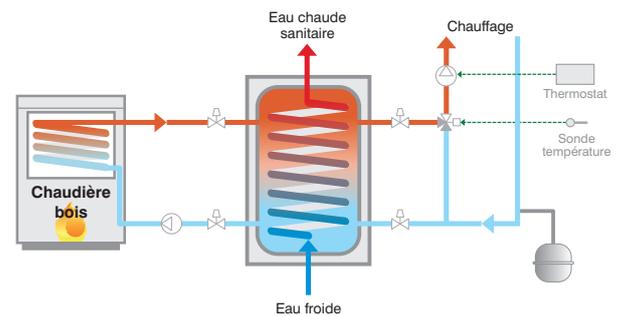
Au niveau des puissances, on se trouve dans une situation similaire à la chaudière gaz, mais plus marquée. Les petites puissances classiques tournent autour de 15 kW, seuls quelques constructeurs proposent des modèles de 6-8 kW. La plage de modulation est de 30 à 100 % de la puissance nominale pour les chaudières à pellets, et de 50 à 100 %, voire inexistante, pour les chaudières à bûches. Ces chaudières sont donc largement surdimensionnées (par rapport aux 2 à 4 kW environ requis pour le chauffage d'une maison passive ou basse énergie).

De plus, les chaudières doivent fonctionner un certain temps avant d'atteindre leurs performances nominales. On parle d'un cycle d'environ 1/2 h pour les pellets et d'environ 1 h pour les bûches.

La chaudière est donc nécessairement couplée à un ballon tampon, qui offre comme avantages :

- grande réactivité aux variations de demande de chaleur, régulation fine et confort accru des occupants ;
- conditions de combustion optimales, rendements plus élevés et pollution réduite ;
- faible fréquence de mise en route de la chaudière.

Le ballon est un stockage d'eau « morte » qui fournit l'eau chaude pour le chauffage et permet de chauffer l'eau sanitaire via un échangeur. La température de stockage est de préférence assez faible (45 °C) pour limiter les déperditions.



Exemple de circuit avec chaudière bois.

La taille du ballon dépend de la puissance et de la longueur du cycle de combustion, on peut considérer en première estimation, un ballon de 500 l pour une chaudière à pellets, et de 1 000 l pour une chaudière à bûches.

- Le prix du bois-énergie, par kWh produit, est inférieur au prix du gaz. Le prix des pellets est assez comparable au prix du mazout, les bûches sont moins chères. Le prix est assez variable suivant le conditionnement, la zone géographique et le fournisseur.
- Le rendement d'une chaudière bois tourne autour de 90 % (basé PCI).
- Le choix s'orientera de préférence vers une chaudière à condensation, équipée d'un échangeur supplémentaire qui permet de récupérer la chaleur de condensation des fumées. Leur rendement est supérieur.
- Étanchéité à l'air : si la chaudière est installée dans le volume protégé, elle doit être étanche à l'air, ce qui est rarement le cas pour les chaudières à bûches. Si la chaudière n'est pas située dans le volume protégé, il faudra être très attentif à l'étanchéité de tous les passages de techniques à travers l'enveloppe du bâtiment.
- La chaudière doit être très bien isolée pour éviter les déperditions et, si la chaudière est située dans le volume protégé, les risques de surchauffes.
- Un bon tirage doit être assuré, la suffisance de la ventilation mécanique prévue doit être vérifiée.
- L'alimentation de la chaudière peut se faire de manière manuelle (bûches ou pellets) ou automatique par une vis d'Archimède (pellets).

Avantages :

- performances environnementales intéressantes ;
- bon rendement pour les chaudières de qualité ;
- coût d'utilisation assez faible, surtout pour les bûches ;
- indépendance par rapport aux combustibles fossiles.

Inconvénients :

- espace nécessaire pour le stockage de combustible et pour un ballon de stockage relativement volumineux ;
- entretien annuel ;
- coût d'investissement assez élevé ;
- assez bruyantes. Placer la chaudière dans un endroit peu sensible.



Photo : www.maison-passive.be
Chaudière à pellets avec stockage.



2.1.3 électrique

Environnement :

Le chauffage électrique est caractérisé par des performances environnementales médiocres. Pour produire 1 kWh d'électricité, on consomme entre 2.5 et 3 kWh d'énergie primaire. L'émission de polluants provoquée par la production d'électricité est importante, que ce soient les gaz à effet de serre de la combustion dans les centrales électriques thermiques ou la génération de déchets radioactifs dans les centrales nucléaires.

De manière plus globale, utiliser de l'électricité pour produire de la chaleur, alors qu'on a, dans une centrale, utilisé de la chaleur pour produire de l'électricité (avec un rendement assez mauvais), est un peu absurde.

La part d'électricité «verte» dans la production totale d'électricité est encore faible. L'électricité devrait être réservée à des usages pour lesquels elle est vraiment nécessaire (faire fonctionner un ordinateur, un train, une lampe, ...).

Au niveau de la cohérence du projet, le choix d'une production de chaleur par l'électricité n'est pas défendable. Ça n'a pas de sens d'atteindre une performance énergétique importante au niveau de l'isolation, de l'étanchéité à l'air, etc, pour faire ensuite un pas en arrière au niveau du choix de la production de chaleur.

Le standard passif, dans sa version complète, comporte d'ailleurs un critère de besoin d'énergie primaire, qui doit être inférieur à 120 kWh/m².an. Ce critère n'est pas possible à atteindre avec une production de chaleur électrique (chauffage et ecs) sans une compensation par la production d'énergie renouvelable.

Principe :

La technique est très simple, la chaleur est produite par le passage d'un courant électrique dans des résistances. La puissance est totalement modulable. Le système est extrêmement réactif et peut répondre parfaitement aux variations du besoin de chauffage de l'espace. Le chauffage de l'eau sanitaire se fait avec accumulation dans un ballon (environ 200 l pour 4 personnes) ce qui permet de chauffer pendant la nuit, quand le prix est moins élevé.

L'investissement est très faible, mais le prix de l'électricité est élevé. À partir d'un besoin net annuel de chauffage de 30 kWh/m².an, un système de chauffage électrique n'est plus économiquement intéressant à long terme.

Avantages :

- pas de stockage de combustible, raccordement au réseau existant ;
- très bonne adéquation entre la demande de chauffage et la production de chaleur ;
- coût d'installation faible ;
- encombrement faible ;
- entretien faible.

Inconvénients :

- performances environnementales médiocres ;
- coût du kWh électrique important.

2.1.4 pompe à chaleur (PAC)

Environnement :

L'énergie consommée par les pompes à chaleur est l'électricité. Cependant, le cas n'est pas du tout similaire au chauffage direct par l'électricité grâce au coefficient de performance (COP) des pompes à chaleur. Souvent compris entre 2 et 4, celui-ci varie fortement, en fonction de l'installation, des conditions météorologiques et de l'usage.

La production d'électricité est polluante (voir paragraphe 2.1.3) mais l'usage qui en est fait pour chauffer par une pompe à chaleur est plus rationnel.

Le fluide frigorigène circulant dans une pompe à chaleur est polluant. On favorise donc les systèmes fonctionnant avec 2 fluides intermédiaires (3 circuits), dans lesquels l'utilisation de fluide frigorigène est limitée à la pompe à chaleur en elle-même. Ce choix limite le risque de pollution due à des fuites dans les capteurs.



Centrale nucléaire.

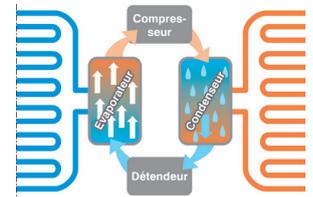


Principe :

Une pompe à chaleur (PAC) permet d'«extraire» de la chaleur d'une «source froide» (le sol extérieur, l'air, de l'eau, ...) et de l'injecter dans une « source chaude » (circuit d'eau ou d'air pour le chauffage de la maison ou de l'eau chaude sanitaire).

Une pompe à chaleur est un circuit frigorifique toujours composé de 4 éléments :

- l'évaporateur : le fluide frigorigène s'évapore en prélevant de l'énergie à la source froide (terre, eau, air extérieur, ...) ;
- le compresseur : il fait augmenter la pression et la température du fluide frigorigène à l'état gazeux. Cette opération consomme de l'électricité ;
- le condenseur : au contact de la source chaude, le fluide frigorigène se condense en transmettant de la chaleur au fluide secondaire (circuit d'eau ou d'air pour le chauffage de la maison ou de l'eau chaude sanitaire) ;
- le détendeur : la pression du fluide frigorigène à l'état liquide est réduite.



Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur.

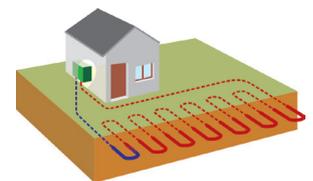
La pompe à chaleur est d'autant plus efficace que la différence de température entre la source froide et la source chaude sera faible.

L'efficacité des pompes à chaleur est exprimée par leur COP (coefficient de performance). Les tests et les informations des fabricants fournissent cette valeur, sous certaines conditions (ΔT° entre la source chaude et la source froide). Ce coefficient tient compte de la consommation électrique du compresseur, mais aussi des consommations d'énergie auxiliaires (ventilateurs, circulateurs, appoint éventuel).

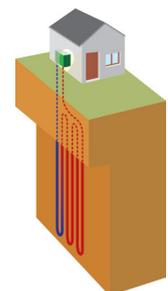
Cependant, seule la valeur du coefficient de performance annuelle (COPA ou SPF) permet de juger de l'efficacité réelle du système et peu d'information fiable est disponible à ce niveau. La performance annuelle dépend des conditions météo, du profil de la demande de chaleur et des caractéristiques de l'installation.

On distingue plusieurs types de pompes à chaleur suivant :

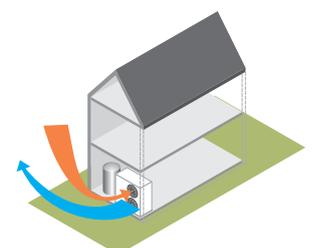
- la source froide ;
 - * l'air : captage aéraulique dans l'air extérieur, l'air vicié à la sortie de l'échangeur d'une VMC ou l'air d'un local en dehors du volume protégé,
 - * le sol extérieur : captage géothermique dans le sol du jardin, par un échangeur horizontal ou vertical,
 - * l'eau : captage dans la nappe phréatique ou dans les eaux de surface.
- la source chaude ;
 - * l'air intérieur,
 - * l'eau d'un circuit de chauffage / eau chaude sanitaire.
- les différents types de fonctionnement en terme de circuits de fluides ;
 - * fonctionnement en détente directe : un seul circuit. Le fluide frigorigène est le seul fluide caloporteur, il passe dans les capteurs, dans la pompe et dans les émetteurs de chaleur,
 - * fonctionnement mixte : deux circuits. Le fluide frigorigène passe dans les capteurs et dans la pompe à chaleur, l'énergie est ensuite transmise à un circuit d'eau chaude (radiateurs, ecs, ...),
 - * fonctionnement avec fluides intermédiaires : trois circuits. Le fluide frigorigène circule dans la pompe à chaleur, il capte l'énergie au contact d'un circuit d'eau glycolée / saumure (qui circule dans la source froide) et la transmet à un circuit d'eau chaude (radiateur, ecs, ...).



Pompe à chaleur : captage géothermique horizontal.



Pompe à chaleur : captage géothermique vertical.



Pompe à chaleur : captage aéraulique.

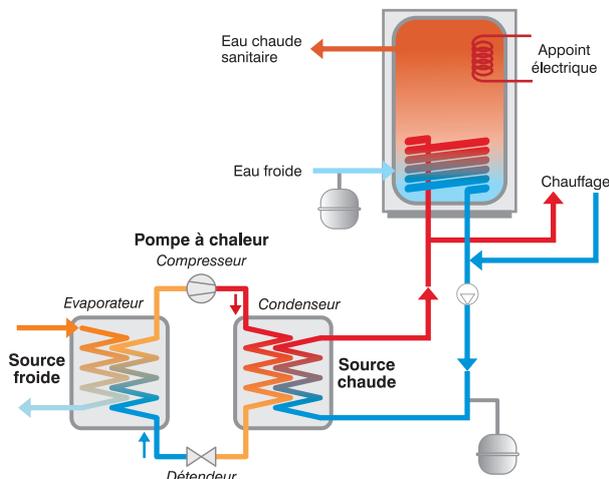
source froide	fonctionnement en détente directe (1 circuit)	fonctionnement mixte (2 circuits)	fonctionnement avec fluides intermédiaires (3 circuits)
AIR	PAC air - air	PAC air - eau	
SOL EXTERIEUR	PAC sol - sol	PAC sol - eau	PAC eau glycolée - eau PAC saumure - eau
EAU			PAC eau - eau



Le rendement d'une pompe à chaleur dépend fortement de la différence de température entre la source froide et la source chaude. En hiver, les capteurs géothermiques ont un meilleur rendement que les capteurs aérauliques. Le principe de base pour la conception d'un système avec pompe à chaleur est d'abaisser au maximum la température de production de chaleur. Pour permettre une production de chaleur à basse température, il faut que le bâtiment ait besoin d'une faible puissance de chauffage et/ou que les émetteurs soient de grande taille.

La PAC peut être dimensionnée selon deux modes d'exploitation :

- monovalent : la PAC fournit à elle seule toute la chaleur nécessaire. Quand la puissance nécessaire est importante, le rendement de la pompe à chaleur diminue ;
- bivalent : la PAC produit l'essentiel de la chaleur, mais une autre production peut fournir un appoint. Par exemple, si on dimensionne la PAC pour fournir la puissance nécessaire quand il fait -2 °C dehors (et pas -10 °C), on couvrira environ 90 % des besoins de chauffage avec la PAC. Le complément est souvent fourni par une résistance électrique directe.



Exemple de circuit avec pompe à chaleur.

Le mode d'exploitation bivalent permet de réduire la consommation totale en plus de réduire les coûts d'investissement si l'appoint est électrique.

Le chauffage de l'eau chaude sanitaire peut être réalisé par toutes les pompes à chaleur qui ne fonctionnent pas en détente directe (air-air et sol-sol). Comme la température de l'eau chaude sanitaire est plus élevée que la température de chauffage, le rendement global de l'installation est fortement influencé par la préparation d'eau chaude sanitaire. La température de sortie doit être la plus faible possible.

Comme pour tous les systèmes de préparation d'eau chaude sanitaire, il convient d'éviter le développement de légionelle. Si l'eau est stockée à basse température, il est nécessaire de chauffer le ballon à haute température pendant une courte période chaque semaine, pour éviter tout développement des bactéries.

Les pompes à chaleur avec un compresseur dont la puissance est modulable consomment moins. Cet élément intervient donc dans le choix d'un modèle.

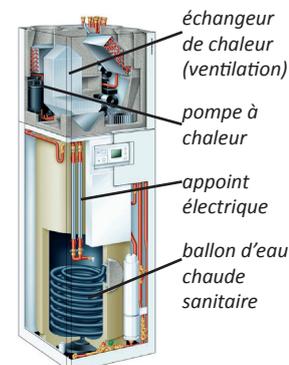
Certaines pompes à chaleur peuvent être inversées pour capter la chaleur dans la maison et la rejeter dans le sol, l'air ou l'eau. Ce type de système peut donc produire du froid en été.

Il faut cependant bien garder à l'esprit que pour exploiter la chaleur/fraîcheur gratuite disponible dans l'environnement, la pompe à chaleur consomme de l'électricité. On lui préfère donc toujours un refroidissement passif (ventilation naturelle, protections solaires, ...). Les pompes à chaleur réversibles sont sanctionnées dans l'évaluation PEB et au niveau des primes.

La plupart des pompes à chaleur peuvent être utilisées dans le cadre du chauffage d'une maison basse et très basse consommation d'énergie. Spécialement conçue pour le chauffage des maisons passives, la pompe à chaleur air-eau sur l'air extrait de la ventilation double-flux n'est utilisée qu'avec le chauffage de l'air de ventilation. C'est un système intégré qui combine ventilation double-flux avec échangeur, boiler et pompe à chaleur sur l'air extrait. Il a l'avantage de la compacité et de la facilité de régulation, mais les désavantages du chauffage par l'air, il est cependant moins cher qu'une PAC classique.

Avantages des pompes à chaleur :

- pas de stockage de combustible ;
- ni cheminée, ni d'amenée d'air nécessaire ;
- raccordement au réseau électrique existant ;
- pollution réduite (plus ou moins selon le COPA de l'installation).



Système compact vitres de Viessman.



Inconvénients des pompes à chaleur :

- pour garantir un bon rendement, les émetteurs du côté de la source chaude doivent être de grande taille. On préconise donc souvent de coupler pompes à chaleur et chauffage par le sol / les murs. Ce type d'émission, peu réactive, convient particulièrement dans le cas où les besoins de chaleur sont très stables, ce qui n'est pas du tout le cas d'une maison à très basse consommation d'énergie ;
- captage géothermique :
 - * nécessité d'une grande surface de pelouse (ou petits buissons) pour un captage horizontal,
 - * coût d'investissement élevé, surtout pour un captage vertical,
- captage sur l'air extérieur :
 - * rendement moins bon que le captage géothermique,
 - * nuisances sonores,
 - * encombrement dans le jardin,
 - * nécessité d'un dégivrage dans certaines conditions (inversion du cycle) ce qui fait baisser le rendement.
- captage sur l'évacuation d'air vicié d'une ventilation double flux :
 - * faible puissance disponible.
- captage sur l'air intérieur en dehors du volume protégé (cave, garage) :
 - * chaleur insuffisante si le volume est bien isolé,
 - * augmentation des déperditions de la maison par son interface avec ce volume qui devient froid.
- captage hydraulique :
 - * soumis à autorisation et généralement refusé en Région wallonne.

2.1.6 poêle à bois

Environnement

L'impact environnemental de la combustion du bois a été décrit dans le point 2.1.2 sur les chaudières bois. La situation dans le cas des poêles est néanmoins un peu moins favorable que pour les chaudières parce que le rendement d'un poêle est plus faible.

Principe

Le poêle émet directement la puissance de chaleur dans la pièce dans laquelle il est installé. Pour une question d'optimisation du rendement et de réduction des émissions polluantes, le cycle de combustion doit être relativement long (1/2 h pour les pellets, 1 h pour les bûches). La production de chaleur n'est pas modifiable rapidement pour répondre aux variations des besoins de chaleur de l'espace, celui-ci doit donc être capable d'emmagasiner cette chaleur sans donner lieu à des surchauffes. Dans le contexte de bâtiments dont les besoins de chauffage sont très faibles et de poêles dont la puissance avoisine les 10 kW (puissance minimale représentative du marché actuel), le confort est difficile à assurer avec un poêle qui émet la totalité de sa puissance dans l'espace (classique).

Cette solution doit être combinée à un autre système de production de chaleur pour fournir l'eau chaude sanitaire. Il s'agit le plus souvent d'un boiler électrique (peu écologique) ou d'un boiler gaz. Le système de production d'eau chaude est éventuellement couplé à des capteurs solaires.

Un poêle permettant le chauffage de l'eau chaude sanitaire fonctionne en émettant une partie de sa puissance dans l'ambiance (20-30 %), tandis que le reste (70-80 %) chauffe un circuit d'eau. L'eau chaude est stockée dans un ballon et permet de fournir l'eau chaude sanitaire et/ou d'alimenter un système de chauffage secondaire qui pourra répondre de manière plus souple et plus fine à des besoins ponctuels (par exemple, un radiateur dans la salle de bain, ou un appoint sur la pulsion d'air dans les chambres, ...)

Pour éviter les surchauffes avec un fonctionnement optimal du poêle :

- le poêle est placé dans un espace volumineux, dont les parois ont un maximum d'inertie ;
- le poêle lui-même a un maximum d'inertie (les poêles de masse permettent d'émettre une faible puissance pendant une longue durée) ;
- choix d'un poêle permettant une bonne modulation et un cycle de combustion le plus court possible (pellets).

La répartition de la chaleur dans l'espace se fait d'autant plus facilement que le volume est ouvert et que la position du poêle est centrale.

La combinaison d'une émission directe et d'une émission décentralisée permet d'avoir une certaine souplesse et d'ajouter de la réactivité au poêle, mais la régulation d'un tel système n'est pas simple.



Le chauffage de l'eau chaude sanitaire par un poêle à bois ne peut se faire qu'en période de chauffe, l'apport de chaleur du poêle n'étant pas du tout souhaitable en été. La production d'eau chaude doit donc être assurée par un autre système en été. Les collecteurs solaires semblent être une solution optimale. Ils doivent être dimensionnés pour qu'ensemble, les deux systèmes assurent la production d'eau chaude sanitaire tout au long de l'année. Si l'option « panneaux solaires » n'est pas retenue, tout autre système de production d'eau chaude sanitaire peut convenir, avec une préférence pour un chauffe-bain gaz ou une pompe à chaleur, plutôt qu'un chauffe-eau électrique, dont l'impact environnemental est mauvais.

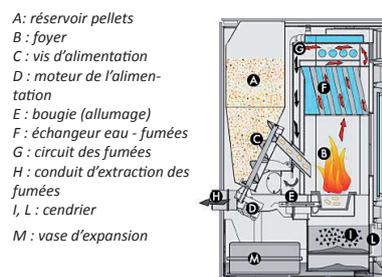
Un bon tirage doit être assuré, la suffisance de la ventilation mécanique prévue doit être vérifiée.

Avantages :

- performances environnementales intéressantes ;
- apport esthétique ;
- point chaud dans la maison, souvent apprécié ;
- coût inférieur à celui d'une chaudière bois.

Inconvénients :

- encombrement dans l'espace de vie ;
- risque de surchauffe si le système n'est pas adéquat ;
- nécessité d'une alternative pour l'eau chaude sanitaire ;
- dans le cas d'un poêle standard: difficulté d'assurer le confort dans les chambres et les salles de bains ;
- dans le cas d'un poêle avec production d'eau chaude : régulation complexe ;
- stockage du combustible, gestion de la recharge ;
- entretien annuel.



- A: réservoir pellets
- B: foyer
- C: vis d'alimentation
- D: moteur de l'alimentation
- E: bougie (allumage)
- F: échangeur eau - fumées
- G: circuit des fumées
- H: conduit d'extraction des fumées
- I, L: cendrier
- M: vase d'expansion

Schéma d'un poêle à pellets avec production d'eau chaude.
 Source : www.granuledebois.net.

2.1.7 capteurs solaires thermiques

Environnement :

Le soleil est la source d'énergie utilisée pour chauffer de l'eau. Elle est non polluante, inépuisable et gratuite, d'où l'intérêt écologique évident de cette technologie.

Principe :

Les capteurs solaires transforment le rayonnement solaire en chaleur grâce à un absorbeur (un corps noir caractérisé par des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basse). L'absorbeur transfère la chaleur à un fluide caloporteur (généralement de l'eau glycolée) circulant au travers de chacun des capteurs.

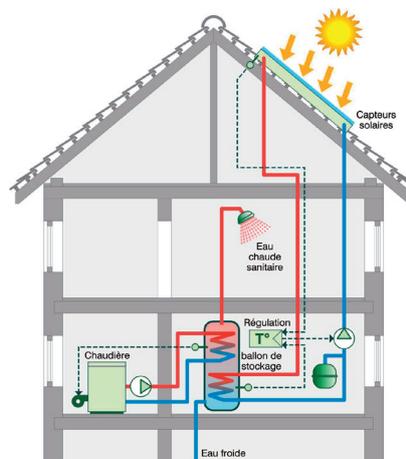


Schéma d'une installation solaire (ecs).

Lorsque la différence de température entre le fluide dans le capteur et l'eau dans le fond du ballon dépasse quelques degrés, les circulateurs s'enclenchent et le fluide caloporteur achemine alors l'énergie solaire depuis les capteurs vers le(s) ballon(s) de stockage, où il la transmet à l'eau en circulant dans un échangeur.

La production de chaleur par capteurs solaires thermiques est particulièrement adaptée à la production de l'eau chaude sanitaire. C'est cette application qui est principalement considérée dans ce paragraphe.

Un système de chauffe-eau solaire est toujours composé de 4 parties :

- le système de charge, comprenant les capteurs solaires, la boucle primaire ou solaire, un échangeur de chaleur ;
- le système de stockage : il s'agit généralement d'un ou de plusieurs ballons d'eau bien isolés thermiquement. Il permet de gérer le décalage temporel entre la demande de puisage et la production solaire ;
- le système d'appoint : la production de chaleur par capteurs solaires dépend de la météo et de la saison. Elle est donc fluctuante dans le temps. L'énergie produite n'est pas toujours suffisante pour fournir la chaleur nécessaire pendant toute l'année, un autre système de production de chaleur prend donc le relais quand c'est nécessaire, typiquement en hiver ;
- le système de décharge : partie de l'installation qui distribue l'eau chaude sanitaire aux points de puisage.

La fraction solaire, ou le taux de couverture solaire est le rapport entre l'énergie fournie par les capteurs solaires et la consommation globale d'énergie (pour l'ecs).



L'augmentation de la fraction solaire n'est pas proportionnelle à la surface de capteurs. Certains jours d'hiver, même une surface de panneaux importante ne suffit pas à produire la quantité d'eau chaude nécessaire. En été, par contre, plus la surface de capteurs est importante, plus vite le ballon de stockage est chaud. L'énergie solaire encore disponible ne peut alors plus être exploitée. On constate donc que plus la surface de capteurs est grande, plus leur taux d'utilisation est faible.

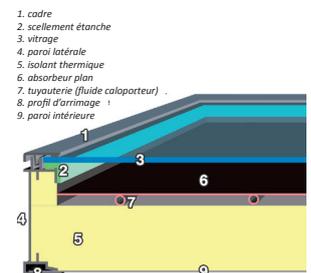
Il y a un équilibre à trouver entre :

- pas trop de surface pour garder un taux d'utilisation et un rendement intéressants ;
- assez de surface pour valoriser la ressource gratuite et non polluante qu'est le soleil.

En pratique, pour une maison unifamiliale, on vise une fraction solaire annuelle supérieure à 50 % pour pouvoir se passer au maximum de l'appoint en période estivale. Ceci permet d'éviter la mise en route du système d'appoint, qui est souvent assez énergivore sur des cycles de fonctionnement courts (chaudières).

Il existe différents types de capteurs :

- Les capteurs plans ;
 - * vitrés : les plus répandus, composés d'une plaque absorbante, d'une isolation thermique sur la face inférieure, d'une vitre sur la face supérieure et de tubes permettant la circulation de l'eau glycolée,
 - * opaques : les plus basiques, composés d'un ensemble de tuyaux opaques dans lesquels circule le liquide. Leur rendement est moins bon que celui des capteurs plans vitrés, sauf pour des différences de température très faibles. Ils sont principalement utilisés pour le chauffage de piscines.
- Les capteurs sous vide, avec absorbeur sur support en verre ou en cuivre. Le vide d'air permet de réduire les déperditions de chaleur par convection et par conduction thermique. Ce type de capteur permet d'atteindre des températures d'eau chaude à la sortie des capteurs beaucoup plus élevées que les capteurs plans. Dans les capteurs sous vide sur support en cuivre, l'absorbeur peut être orienté par rapport au soleil au moment de la pose (par exemple, pour une installation en façade). Leur coût est supérieur à celui des capteurs plans vitrés.



Capteur solaire plan vitré.

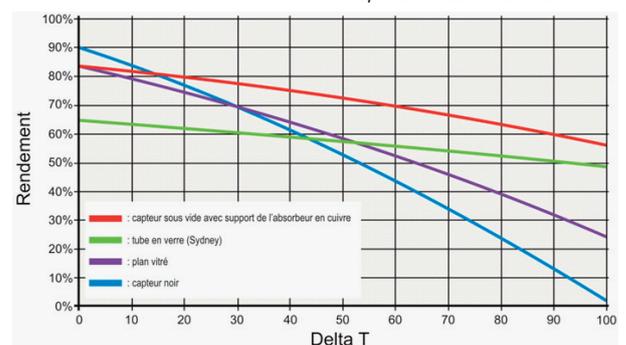


Capteur solaire sous vide.

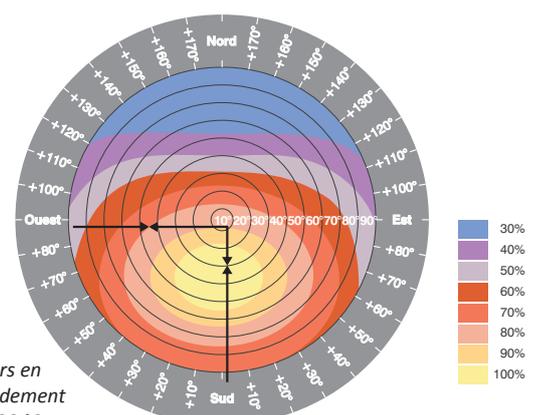
Le choix d'un type de capteur se fait en fonction de l'utilisation. Les capteurs les plus utilisés, en raison de leur rendement et de leur prix, sont les capteurs plans vitrés. Si la température nécessaire est faible (piscine), les capteurs plans opaques sont un choix optimal. Les capteurs sous vide seront utilisés pour des applications nécessitant des températures plus élevées.

On veille particulièrement à :

- l'orientation et la pente des panneaux. Une orientation sud avec un angle de 38° par rapport à l'horizontale est la position qui fournit le maximum de gains solaires par mètre carré sur l'année. C'est l'optimum dans le cas de fractions solaires faibles. Si on cherche un maximum d'autonomie, avec une surface de capteurs importante (fraction solaire élevée), l'objectif est alors d'optimiser la production hivernale et la pente la plus adéquate est plus importante (45°) ;
- éviter les ombrages sur les capteurs (cheminées, bâtiments voisins, végétation, etc...).



Rendement des différents types de capteurs en fonction de la différence de température (capteurs - ballon).



Graphique permettant d'évaluer la diminution du rendement annuel des capteurs en fonction de l'orientation et de l'inclinaison par rapport à l'horizontale. Le rendement maximal (100 %) correspond à une orientation sud et à une pente d'environ 38 °C.



Le rendement n'est que peu influencé par le mode de pose (intégrés dans la toiture en pente, ajoutés sur une toiture en pente ou sur trépiers sur une toiture plate).

Le ballon de stockage est un élément essentiel du système. Il permet de pallier à la non-simultanéité de la production et des besoins. En effet, c'est généralement lorsque les occupants sont absents que la production solaire se réalise (en journée). Or, le puisage, lui, se fait souvent le soir ou tôt le matin (douches...).

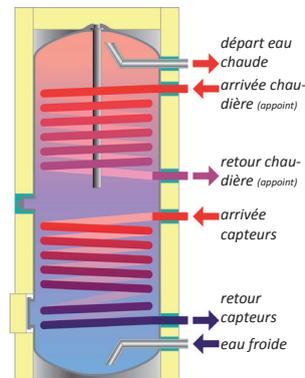
Pour optimiser le rendement des capteurs solaires, on favorise un ballon avec une bonne stratification. C'est-à-dire que la température dans le bas du ballon, où se situe l'échangeur solaire, reste relativement basse tandis que la température dans le haut du ballon est plus élevée. La place des échangeurs et leur raccordement doivent respecter cette stratification (échangeur solaire dans le bas du ballon, appoint dans le haut)

Il existe des boilers solaires avec une construction interne particulière qui, par un effet de cheminée, conduisent directement au point haut du boiler les calories apportées par le circuit solaire. Ce montage optimise la stratification.

Le dimensionnement du volume de stockage est crucial pour le rendement de l'installation : il est fait en fonction du profil de consommation des occupants et de la fraction solaire.

Volume optimal du boiler : 50 – 70 l d'eau par m² de capteurs installés.

- volume d'eau trop faible : montée en T ° trop rapide du boiler et chute du rendement du capteur ;
- volume d'eau trop important : rarement amené à bonne T ° grâce au solaire et donc, intervention trop fréquente de l'appoint.



Raccordement d'un ballon solaire.



Isolation performante du ballon.

Plus la température demandée est faible, meilleur est le rendement. Stocker l'eau à une température peu élevée est donc intéressant, mais amène deux désavantages : l'augmentation du volume de stockage nécessaire et le risque de légionellose. Cette bactérie dangereuse pour la santé prolifère dans les eaux stagnantes entre 25 et 45 °C.

La légionelle est un problème qui concerne tous les systèmes de préparation d'ecs. Deux stratégies peuvent être mises en œuvre pour l'éviter :

- augmenter périodiquement la température de stockage pour tuer les bactéries éventuellement présentes. (à 60 °C, 90 % des bactéries meurent dans les 5 minutes).
- travailler avec un ballon de transition, dit ballon d'« eau morte ». L'eau sanitaire circule dans un échangeur dans ce ballon, et ne stagne jamais, ce qui évite tout risque.

Pour limiter au maximum les déperditions, le ballon est bien isolé, ainsi que toutes les conduites. L'isolant utilisé pour les conduites doit résister à des températures très élevées (120 °C). L'isolation classiquement prévue pour les tuyauteries de chauffage ne convient pas.

Coût : Le coût d'une installation unifamiliale classique peut être évalué à 6 500 € (capteurs, circuit, ballon de stockage et régulation)¹.

Durée de vie du système : 25 ans minimum.

Le prédimensionnement d'une installation domestique de production d'eau chaude sanitaire par des panneaux solaires peut se faire à l'aide du schéma qui se trouve à la page suivante.

Avantages :

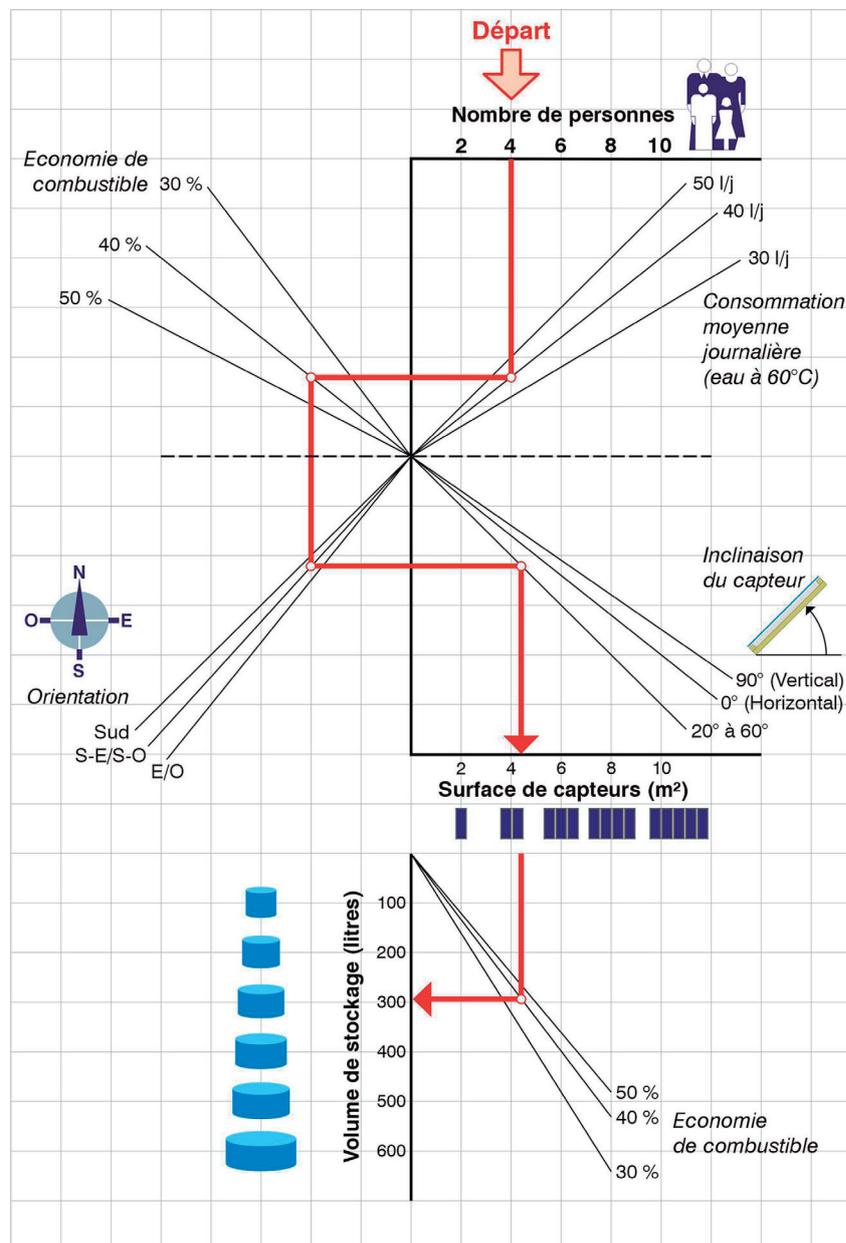
- production d'eau chaude sans pollution ;
- pas de combustible (ni coût d'utilisation, ni stockage, ni dépendance énergétique) ;
- technique simple et éprouvée.

Inconvénients :

- investissement assez important, malgré la présence des primes et déductions fiscales ;
- nécessité de disposer d'une surface de toiture bien exposée ;
- espace technique nécessaire pour le ballon ;
- si le capteur est installé sur une toiture plate (sur un trépied), il faut dimensionner la structure de la toiture pour supporter une charge de lestage de 70 à 100 kg/m² de capteurs, pour une hauteur de bâtiment jusqu'à 8 m.



Schéma permettant le prédimensionnement d'une production d'eau chaude sanitaire par capteurs solaires



Les systèmes combinés permettant aussi le chauffage solaire ne sont pas détaillés ici. L'intérêt de cette démarche n'est pas évident.

Techniquement, dans le contexte des maisons très basse consommation d'énergie ou passives, on travaille souvent avec un ballon tampon pour le chauffage. La participation des capteurs solaires au chauffage peut donc être facilement prévue.

Le problème reste le décalage entre la production solaire possible et le besoin de chauffage. Le chauffage est nécessaire en période hivernale, lorsque la production des panneaux est la plus faible. Pour les bâtiments optimisant les gains solaires passifs (par les fenêtres), la situation est encore moins favorable, les besoins de chaleur étant concentrés sur les périodes froides et non ensoleillées (les pires pour les capteurs solaires). La surface de capteurs nécessaire pour soutenir le système de chauffage est de ce fait difficilement rentabilisée.

La recherche actuelle s'oriente vers des solutions de stockage intersaisonniers, qui, avec de l'eau, demandent de l'espace, mais s'annoncent prometteuses.



Photo : www.baulinks.de
Ballon énorme (en jaune) pour un stockage intersaisonnier.



2.2 Distribution de chaleur

2.2.1 radiateurs ou convecteurs

De l'eau chaude circule dans un circuit qui alimente les radiateurs / convecteurs qui fournissent la chaleur nécessaire aux espaces de la maison.

C'est un chauffage tout à fait traditionnel, la seule variante étant le nombre de radiateurs et la taille de ces derniers. Dans une maison passive, un radiateur dans la salle de bain et un dans le séjour suffisent parfois, si on accepte une température légèrement inférieure dans les chambres.

Cette solution, totalement indépendante de la ventilation double flux, permet d'assurer un confort optimal et une régulation simple.

Dans le cas des maisons passives, l'isolation des fenêtres est tel qu'il n'y a plus de phénomène de rayonnement froid des fenêtres. Les radiateurs sont donc de préférence placés sur un mur intérieur, pour limiter les déperditions.

La différence entre un radiateur et un convecteur réside dans la proportion de chaleur rayonnée, plus forte dans le radiateur, et de chaleur transmise par convection, plus forte dans un convecteur. Les radiateurs produisent une chaleur plus agréable, mais pour des très faibles puissances, l'impact sur le confort n'est pas énorme.

Une bonne conception et un entretien régulier restent nécessaires pour garantir un système performant.

La nécessité d'installer un réseau d'eau chaude pour le chauffage en parallèle avec le circuit d'air pour la ventilation est un désavantage.

2.2.2 chauffage par le sol ou par les murs

Le chauffage par le sol est peu réactif, il convient bien dans le cas de faibles besoins très peu variables dans le temps. Ce qui n'est pas vraiment le cas des maisons basse énergie et encore moins des maisons passives. Un système trop peu réactif peut générer des surchauffes et des surconsommations.

S'il est envisagé, on cherche à ce qu'il soit le plus réactif possible en minimisant la température de l'eau (augmenter la surface d'échange et le nombre de tuyaux) et l'épaisseur de la dalle de sol autant que possible. Par ailleurs, l'inertie dans les autres parois est intéressante.

Le coût de ce type de système est assez important.

Ce système a l'avantage d'être complètement invisible et de ne prendre aucune place.

2.2.3 distribution/émission centralisée, via l'air de ventilation

Ce type de distribution n'est possible que pour les maisons passives, ne nécessitant qu'une très faible puissance.

Le principe est de profiter du circuit de ventilation pour distribuer la chaleur nécessaire au chauffage des pièces.

Par distribution centralisée, on considère une unique batterie de chauffage située sur le conduit de pulsion de l'air de ventilation, en aval de l'échangeur. La température de l'air pulsé est la même pour toutes les pièces, la puissance varie donc suivant le débit de ventilation et non suivant le besoin spécifique de chaleur. De plus, seules les pièces équipées d'une pulsion d'air reçoivent la chaleur directement, les espaces d'extraction (cuisine, salle de bain) ne sont alimentés que par les ouvertures de transfert, par lesquelles est amené l'air des locaux voisins (à la T° de l'air de ces locaux).

Assurer le confort dans tous les espaces par la distribution de chaleur centralisée via l'air de ventilation est très difficile, voir impossible. Les espaces qui ont des plus faibles apports solaires ou internes, qui n'ont pas d'amenée d'air, ou dont le taux de renouvellement d'air n'est pas très important (très grands par exemple) ne bénéficient d'assez d'apports de chauffage que si les autres espaces en reçoivent trop.

L'autre désavantage est une ambiance trop sèche en hiver. Quand la température extérieure est basse, l'humidité absolue contenue dans l'air extérieur est faible. Cet air, amené à l'intérieur par le système de ventilation et réchauffé, a une humidité relative très faible. Ce phénomène est le même quel que soit le système de ventilation et de chauffage. Cependant, il est amplifié si le débit de ventilation augmente, ce qui arrive dans le cas d'un chauffage par l'air. Quand la puissance au débit hygiénique est trop faible, le débit est augmenté pour amener plus de chaleur.

Les systèmes de ventilation avec échangeur de chaleur enthalpique permettent de résoudre ce problème¹.

Le système de distribution centralisée par l'air de ventilation a l'avantage d'être économique, de ne pas être visible dans les espaces de vie, et d'être simple à installer.

Pour la conception d'un tel système, il faut prévoir un appoint de chauffage dans la salle de bain et avoir un volume le plus ouvert possible pour avoir une température homogène dans toute l'habitation.

Les conduites sont isolées, surtout si elles traversent des espaces en dehors du volume chauffé.



2.2.3 distribution/émission décentralisée, via l'air de ventilation

Ce type de distribution n'est possible que pour les maisons passives, ne nécessitant qu'une très faible puissance.

Par distribution décentralisée, on considère plusieurs batteries de chauffe, situées soit en amont de chaque bouche de pulsion, soit seulement sur la bouche de pulsion du séjour, les chambres étant considérées comme confortables sans chauffage.

La décentralisation de la distribution permet de régler les problèmes de régulation, chaque local de pulsion recevant la quantité de chaleur dont il a besoin.

Excepté dans le cas d'une production de chaleur par l'électricité directe, à éviter pour des questions écologiques, ce type de distribution nécessite un circuit d'eau chaude, isolé, parallèlement au circuit d'air de ventilation, pour alimenter les batteries de chauffage en amont des bouches de pulsion.

Le problème du confort dans la salle de bain, qui n'est pas équipée d'une bouche de pulsion, reste le même que pour une distribution centralisée via l'air de ventilation. Il faut également prévoir un apport de chauffage indépendant.

Le problème d'une humidité relative trop faible en hiver reste le même que pour une distribution centralisée via l'air de ventilation. L'utilisation d'un échangeur enthalpique permet d'assurer le confort hydrique.

2.2.4 émission directe, pas de distribution

Le cas du chauffage par un poêle à bois est un peu particulier. La production de chaleur, sa distribution et son émission sont assurées par un seul élément : le poêle.

Dans le cas d'un poêle permettant de chauffer de l'eau, le système peut être complété par un autre mode d'émission. L'eau chaude produite par le poêle peut alimenter un ou plusieurs radiateurs ou une ou plusieurs batteries de chauffe sur l'air pulsé. On se retrouve alors avec un système de distribution/émission hybride, où l'émission directe est complétée par des radiateurs/convecteurs ou par une émission décentralisée via l'air de ventilation.

2.3 Système anti-givre pour la ventilation double-flux avec échangeur de chaleur

Lorsque la température de l'air pulsé est trop froide avant son entrée dans l'échangeur de chaleur, du givre se forme dans les ailettes de l'échangeur, obstruant le passage d'air et rendant l'appareil momentanément inutilisable. Pour résoudre ce problème, il est indispensable de prévoir un système qui garantit une température suffisante à l'entrée de l'échangeur. En général, les échangeurs sont d'office munis d'une batterie de dégivrage électrique. Un puits canadien, aéraulique ou hydraulique permet aussi de garantir une température suffisante à l'entrée de l'échangeur¹.

3. CHOIX : ANALYSE ECOLOGICO-ECONOMIQUE

Les performances énergétiques finales d'un bâtiment sont atteintes en travaillant sur deux niveaux. Le premier objectif est de diminuer les besoins d'énergie, dont le besoin net de chauffage de la maison. Le deuxième est de répondre efficacement au besoin de chaleur restant (chauffage et ecs). Dans le cas des bâtiments passifs, le besoin d'énergie est tellement faible que l'on peut se demander s'il est absolument nécessaire d'investir dans des systèmes de production efficaces. La différence est-elle représentative ? En outre, ceux-ci sont généralement plus chers à l'achat si bien que leur amortissement sera, par définition, plus long pour un bâtiment qui consomme moins. Il en va de même pour les systèmes basés sur les énergies renouvelables qui sont souvent caractérisés par des investissements plus élevés.

Pour répondre à ces questions, une étude multicritères a été réalisée pour fixer quantitativement les équilibres existant entre les performances économiques et environnementales. Le but est de trouver les approches efficaces au niveau énergétique et qui restent des choix économes.

La méthodologie de cette étude peut se résumer brièvement. On considère un bâtiment avec un besoin net spécifique de chauffage. Différents niveaux ont été analysés : 15 kWh/m².an pour le passif, 30 kWh/m².an, 45 kWh/m².an, 60 kWh/m².an et 120 kWh/m².an pour des performances minimales légales. En parallèle, on intègre un besoin brut d'ECS de 20 kWh/m².an et en besoin d'électricité pour toutes les fonctions domestiques de 18 kWh/m².an. On regarde ensuite les combinaisons de systèmes à même de répondre à ces besoins tout en évaluant leurs performances environnementales et économiques.

Pour un bâtiment passif, le besoin net de chauffage des locaux est inférieur à 20 kWh/m².an, valeur typique du besoin annuel en ECS. On voit que c'est la demande en ECS qui domine. Son impact sur l'efficacité globale est donc majeur.

¹ Informations complémentaires dans la fiche 4.2 sur la ventilation hygiénique



Malheureusement, les fabricants de systèmes donnent systématiquement moins d'informations sur les rendements obtenus pour la production d'ECS que sur la production de chaleur pour les locaux. Pourtant, il faut garder ce paramètre bien en vue.

Les performances environnementales sont analysées par la consommation annuelle en énergie primaire et la production annuelle d'équivalents CO₂ pour répondre aux besoins de chaleur et d'électricité. Concernant ces critères, on a intégré la production des centrales nucléaires dominantes sur le réseau électrique belge. Ces centrales sont caractérisées par un niveau d'émission de CO₂ relativement faible. Néanmoins, il reste la problématique des déchets nucléaires : le risque environnemental est déplacé des GES (Gaz à Effet de Serre) aux déchets. La considération simultanée de ces deux critères est essentielle pour évaluer l'impact environnemental d'une solution. En effet, certains vecteurs énergétiques, dont le bois, sont caractérisés par des énergies primaires plus élevées, mais des rejets de CO₂ nettement plus faibles sur la totalité de leur cycle de vie.

Les performances économiques sont évaluées sur base de l'investissement et sur base des coûts totaux sur la durée d'utilisation du matériel, fixée ici à 20 ans : il s'agit donc de l'investissement combiné aux dépenses énergétiques sur ces 20 ans. Afin de tenir compte d'évolutions du prix de l'énergie, on a considéré divers scénarios de croissance du prix de l'énergie. En outre, l'inflation a été intégrée au calcul. Parallèlement, les dépenses énergétiques réparties sur ces 20 ans sont actualisées.

On a considéré les approches basées sur l'électricité, le gaz et le bois-énergie ainsi que les pompes à chaleur. Le mazout n'a pas été étudié dans la mesure où les puissances nominales proposées semblent actuellement trop élevées pour réaliser un chauffage efficace de maisons unifamiliales passives ou très basse énergie.

3.1 Investissement : comparaison des solutions

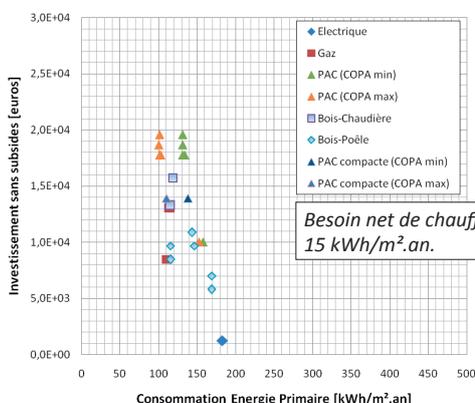


Figure [1.a].

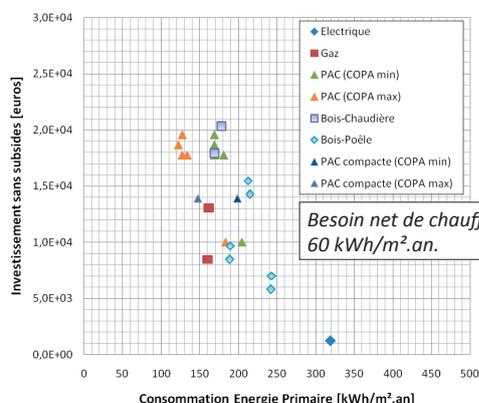


Figure [1.b].

Investissement en euros pour le système permettant le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire en fonction de la consommation d'énergie primaire, dans une maison passive avec besoin net de chauffage de 15 kWh/m².an (figure [1.a]), ou dans une maison basse énergie avec un besoin net de chauffage de 60 kWh/m².an (figure [1.b]) avec une surface chauffée de 175 m² et un volume protégé de 500 m³,

Nous ne rapportons pas ici les prix exacts utilisés dans l'étude. En fait, ceux-ci varient d'un fabricant et d'un installateur à l'autre. Pour simplifier, on a défini cinq grands niveaux d'investissement. Les prix intègrent tout le matériel ainsi que la main d'œuvre :

- pompes à chaleur classiques (eau-eau, sol-eau, saumure-eau): investissement très élevé ;
- chaudières bois ou pellets : investissement élevé ;
- poêles, à bûches ou à pellets, permettant la production d'eau chaude ou couplés avec un boiler gaz et chaudières au gaz : investissement moyen ;
- poêles classiques, à bûches ou à pellets, couplés à un boiler électrique : investissement bas ;
- production électrique, pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire : investissement faible.

Un investissement important pour réduire la consommation en énergie primaire est d'autant plus « efficace » que la consommation est importante. On peut s'en convaincre sur base des deux graphes ci-dessus en évaluant le coût du kWh en énergie primaire économisé.



3.2 Consommation d'énergie primaire et émission de gaz à effet de serre (GES): comparaison des solutions

3.2.1 Le cas d'une maison passive, avec un besoin net de chauffage de 15 kWh/m².an

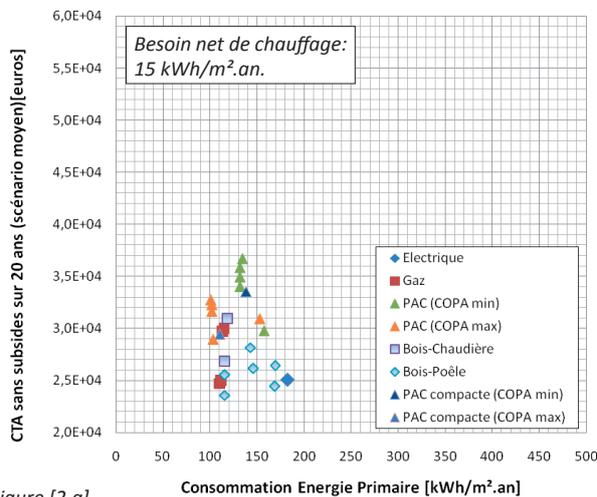


Figure [2.a].

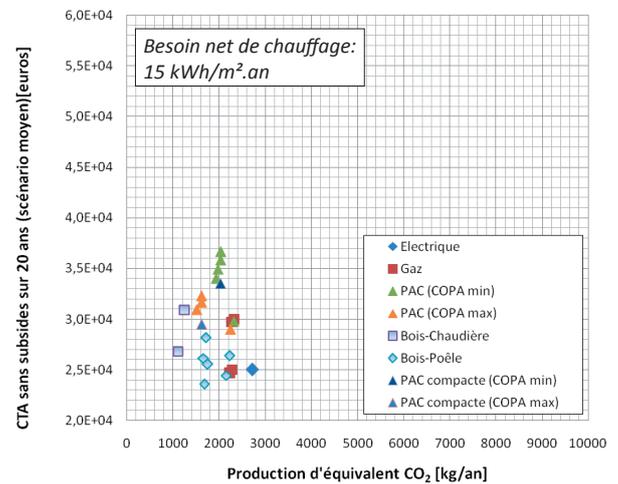


Figure [2.b].

Coûts totaux actualisés (CTA) des différents systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, sans panneaux solaires, en fonction de la consommation en énergie primaire [2.a] ou de l'émission de GES [2.b]. Pour une maison de 150 m² chauffés et d'un volume protégé de 500 m³, pour un besoin net de chauffage de 15 kWh/m².an et un besoin brut d'eau chaude sanitaire de 3000 kWh/an. Par défaut, la consommation en énergie primaire pour la consommation électrique domestique et la ventilation est de 62 kWh/m² et l'émission de CO₂ équivalent est de 915 kg/an.

- D'un point de vue économique, le système « **tout électrique** » est un optimum pour des très faibles consommations. Par contre, tant du point de vue de l'énergie primaire que de celui de l'émission de GES, l'électricité est la moins bonne des options. La consommation en énergie primaire d'une maison passive dont le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont fournis par de l'électricité est similaire à celle d'une maison dont le besoin net de chauffage est quatre fois plus élevé (60 kWh/m².an) mais dont le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont produits par une chaudière au gaz. L'effort pour économiser de l'énergie par l'isolation de l'enveloppe est alors perdu par l'inefficacité du système de chauffage.
Un des critères qui définit le standard passif est la consommation en énergie primaire, qui doit être inférieure à 120 kWh/m².an. Ce critère ne peut pas être respecté dans le cas d'un système électrique (chauffage et ECS). Malheureusement, le respect de ce critère n'est pas encore exigé pour obtenir le label « passif » en Région wallonne.
Dans le cas d'un système « tout électrique », l'ajout de 4 m² de capteurs solaires thermiques pour la production d'eau chaude sanitaire permet d'améliorer la situation. La consommation d'énergie primaire, l'investissement global et le « coût total actualisé » sont alors similaires au cas d'une chaudière gaz (sans capteurs solaires).
- La **chaudière gaz** comme système de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire est une solution intéressante. Le coût total actualisé est faible, la consommation d'énergie primaire est peu importante, seule l'émission de GES n'est pas très favorable.
- Concernant les **pompes à chaleur (PAC)**, les figures [2.a] et [2.b] montrent que l'investissement n'est pas économiquement intéressant pour de si faibles consommations, quels que soient les coefficients de performance (COPA) considérés. L'intérêt au niveau consommation d'énergie primaire n'est pas très marqué, les performances au niveau émission de GES sont intéressantes, mais ceci est dû au fait qu'en Belgique, une partie de l'électricité est produite par le nucléaire (peu d'émission de CO₂ mais déchets radioactifs). Les pompes à chaleur des systèmes compacts, moins chères que les classiques, ont un coût total actualisé plus favorable, mais restent globalement peu compétitives.
- Les systèmes au **bois** sont intéressants. Économiquement, considérant le coût total actualisé, les chaudières bois (bûches et pellets) restent moins compétitives que les chaudières gaz tandis que les poêles au bois, avec une production d'eau chaude sanitaire séparée, leur sont comparables. Les poêles permettant la production d'eau chaude sanitaire, couplés avec un boiler électrique pour l'été, ont un CTA un peu moins intéressant. Au niveau environnemental, les systèmes bois sont performants.



Les chaudières bois ainsi que les poêles combinés à un boiler gaz offrent les meilleures performances. Les poêles couplés à une production d'eau chaude électrique (toute l'année pour les poêles classiques ou seulement l'été pour les poêles avec production d'eau chaude intégrée) sont moins intéressants, la part de consommation électrique étant proportionnellement importante dans le cas d'une maison passive.

Les capteurs solaires thermiques sont ici aussi une solution qui permet d'améliorer la situation, en particulier dans le cas des poêles avec production d'eau chaude intégrée. Cependant, en ajoutant des panneaux solaires, l'investissement, moyen/bas au départ devient élevé, similaire à celui nécessaire pour une chaudière bois.

3.2.2 Le cas des maisons basse consommation d'énergie, avec un besoin net de chauffage de 30 kWh/m².an, 45 kWh/m².an et 60 kWh/m².an

Les figures [3.a], [3.b], [4.a], [4.b], [5.a], [5.b] illustrant ce paragraphe sont à la page suivante. L'augmentation de la consommation accentue les différences entre les systèmes.

- Le système « **tout électrique** » est encore économiquement intéressant pour des maisons dont le besoin net de chauffage est de 30 kWh/m².an, il devient peu intéressant à partir de 45 kWh/m².an et s'exclut d'un point de vue économique à partir de 60 kWh/m².an. Les conclusions au point de vue environnemental restent les mêmes : c'est une solution à éviter.
- La **chaudière gaz** comme système de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire reste une solution compétitive. Au niveau des émissions de GES, plus la consommation augmente, moins la solution gaz est intéressante. La tendance est la même, mais moins marquée au niveau de l'énergie primaire.
- Concernant les **pompes à chaleur**, aussi bien économiquement qu'environnementalement, l'intérêt dépend fortement du coefficient de performance annuel (COPA) d'où la difficulté de donner un avis définitif sur ces technologies. Pour rappel, cette étude fixe des hypothèses (COPA min et COPA max) pour chaque technologie, mais les données fiables en la matière manquent pour évaluer les performances réelles des produits sur le marché. Si on considère les COPA les plus élevés, les performances par rapport à la consommation d'énergie primaire sont intéressantes (sauf pour la PAC air-air), si on considère les COPA les plus faibles, les performances sont moins bonnes que celles d'une chaudière gaz à condensation. Au niveau des émissions de GES, les pompes à chaleur sont performantes. Cependant, cet aspect est à nuancer par le fait que cette performance est due aux caractéristiques de la production d'électricité belge, basée sur le nucléaire. D'une part, ce type de production n'est pas censé perdurer dans l'avenir, et d'autre part, il engendre une autre pollution : les déchets nucléaires.
- La **chaudière bois** est la solution qui permet d'émettre le moins de GES. Dans le cas du bois, l'énergie primaire permet de quantifier le volume de bois extrait, conditionné, etc, ... Économiquement, la chaudière à bûches est plus intéressante que la chaudière gaz dès que le besoin d'énergie atteint 45 kWh/m².an. En deçà, gaz et bûches ont un coût total actualisé comparable. Le surinvestissement d'une chaudière à pellets n'est jamais récupéré sur la période de 20 ans considérée ici.
- Les seuls **poêles à bois** considérés ici sont ceux qui chauffent un circuit d'eau et permettent d'avoir un système d'émission hybride (émission directe par le poêle et décentralisée via un système de radiateur ou des batteries de chauffe sur l'air de ventilation pulsé). La production d'eau chaude sanitaire se fait ici par un boiler électrique pendant l'été. Ces poêles permettent de garantir le confort dans toutes les pièces et de produire l'eau chaude sanitaire, ils peuvent être à bûches ou à pellets. Leur coût est un peu moins important que celui des chaudières bois, leur rendement est un peu moins bon. La consommation en énergie primaire est plus importante que celle des chaudières bois, principalement à cause de la production d'eau chaude partiellement électrique. Le taux d'émission de GES reste intéressant.

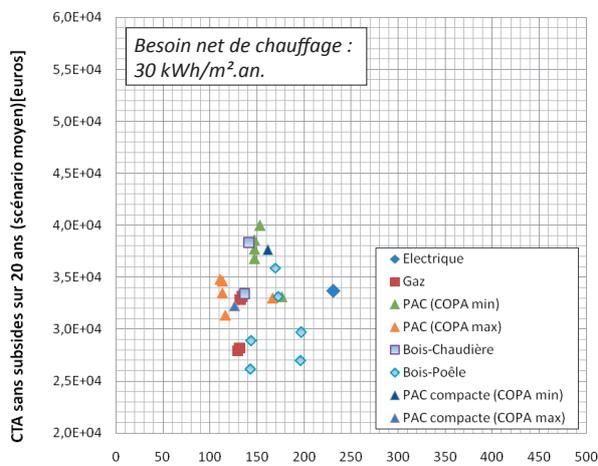


Figure [3.a].

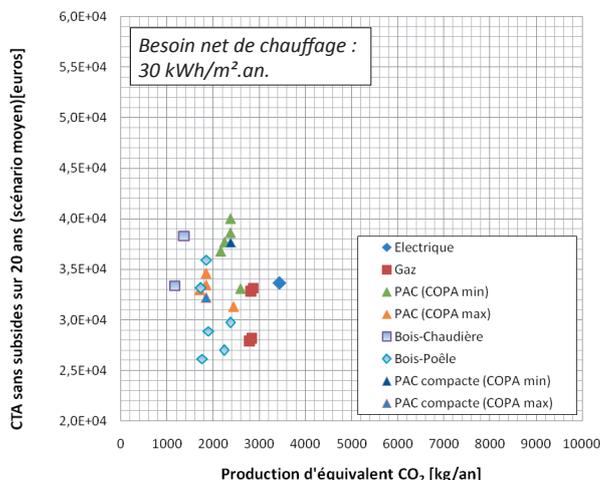


Figure [3.b].

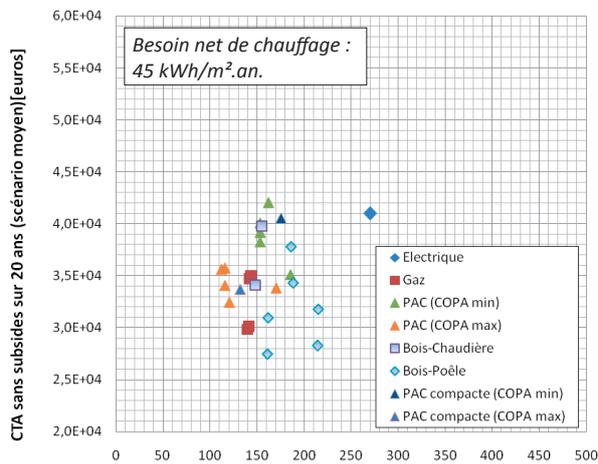


Figure [4.a].

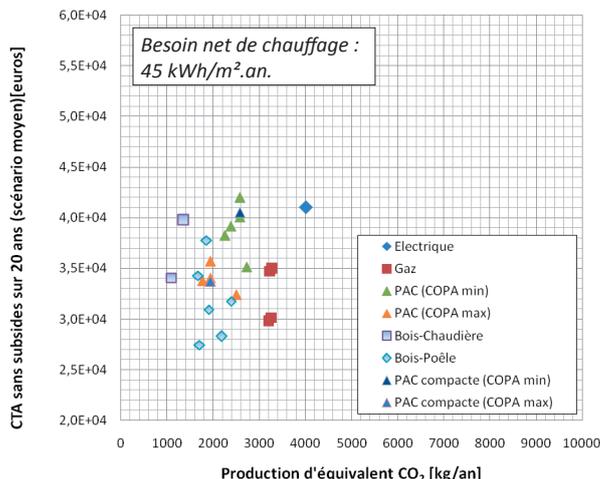


Figure [4.b].

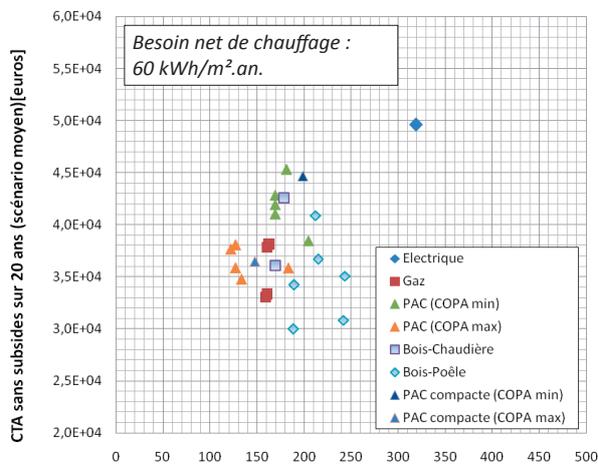


Figure [5.a].

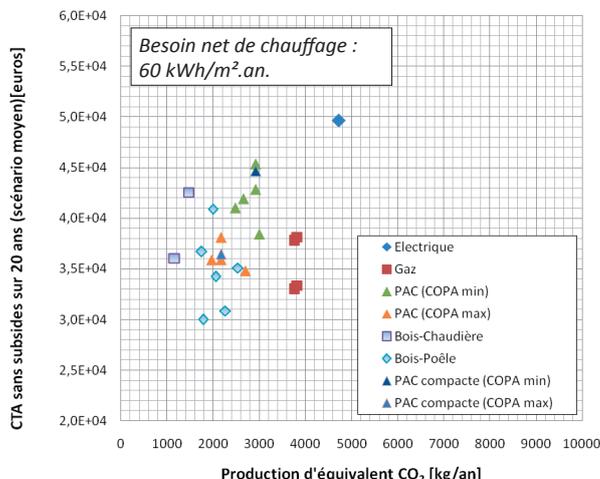


Figure [5.b].

Coûts totaux actualisés (CTA) des différents systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, sans capteurs solaires, en fonction de la consommation en énergie primaire ([3.a], [4.a], [5.a]) ou de l'émission de CO₂ ([3.b], [4.b], [5.b]). Pour une maison de 150 m² chauffés et d'un volume protégé de 500 m³, pour un besoin net de chauffage de 30 kWh/m².an ([3.a], [3.b]), de 45 kWh/m².an ([4.a], [4.b]) et de 60 kWh/m².an ([5.a], [5.b]). Le besoin brut d'eau chaude sanitaire est estimé à 3000 kWh/an. Par défaut, la consommation en énergie primaire pour la consommation électrique domestique et la ventilation est de 62 kWh/m² et l'émission de CO₂ équivalente est de 915 kg/an.

GUIDE POUR LA CONCEPTION DE MAISONS NEUVES DURABLES

CHAUFFAGE & EAU CHAUDE SANITAIRE



N° de fiche :

4.2

Liens :

3.1, 3.4, 4.1

Sources :

- L. GEORGES - Architecture et climat, *Élaboration d'un outil d'aide à la conception des maisons individuelles à basse et très basse consommation d'énergie : partie systèmes*, Ministère de la Région wallonne, 2009.
- Architecture et climat, *Energie* : conception et rénovation des bâtiments tertiaires*, Ministère de la Région wallonne, 2010.
- Cefortec asbl, APERe asbl et ENERSOL sprl, *Syllabus de remise à niveau des compétences pour le renouvellement de l'agrément des installations soltherm*, Ministère de la Région wallonne, 2006.
- MATRICiel, Projet RELOSO, *Méthodologie de renouveau des logements sociaux*, 2009.
- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), *Guide pour la construction et la rénovation de petits bâtiments*, Éditions IBGE, 2009.
- PASSIEFHUIS-PLATFORM vzw, *Technische installatiewijzer - ventilatie en klimatisatie van passief huizen met lage verwarmingsvermogens*, www.beterventileren.be.
- P. COBUT - Energy saving services, *Présentation sur les pompes à chaleurs dans le cadre de la formation « Le bois dans la construction »*, 2008.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, site internet : www.ademe.fr.



CAPTEURS SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

> Production d'électricité grâce au soleil

L'énergie du soleil est gratuite, non polluante et inépuisable. Les capteurs solaires photovoltaïques permettent de la transformer en énergie électrique.

On observe que la consommation électrique des ménages est plutôt à la hausse, augmentation due au nombre de plus en plus important d'appareils électriques dans les maisons.

La production d'électricité, que ce soit dans des centrales thermiques ou nucléaires, a un impact important sur l'environnement. Dans le cadre d'une maison durable, le premier objectif est de réduire le besoin d'électricité en installant des appareils efficaces (frigo, machine à laver, éclairage, ...) et en adoptant des réflexes d'économie d'énergie (éteindre les lampes, débrancher les appareils inutilisés, ...). Pour l'énergie restant à fournir, le système photovoltaïque est la solution idéale.

Cette technologie en pleine évolution est extrêmement prometteuse, son intérêt écologique et économique est démontré.

Cette fiche fournit les informations de base et s'inspire largement du site www.ef4.be



1. UNITÉS UTILISÉES

kilowatt (kW) : unité de puissance

C'est la puissance d'un système énergétique dans lequel est transférée uniformément une énergie de 1 kilojoule (kJ) pendant 1 seconde.

kilowattheure (kWh) : unité d'énergie

C'est l'énergie consommée lors du fonctionnement d'un appareil d'une puissance d'un kilowatt (1 000 watts), pendant une heure (= 1 kilowatt × 1 heure).

En pratique, 1 kWh vaut 3.6 MJ

kilowatt crête (kWc): unité de puissance dans des conditions standard

La puissance crête d'un système photovoltaïque correspond à la puissance électrique délivrée par ce même système dans des conditions standards d'ensoleillement (1 000 W/m²), de température (25 °C) et de standardisation du spectre de la lumière (AM 1,5). Pour la Wallonie, la puissance crête correspond plus ou moins à la notion de puissance maximale.

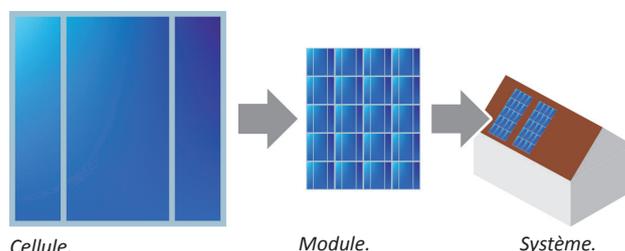
2. PRINCIPE

Une cellule photovoltaïque est formée de deux couches de matériaux semi-conducteurs. L'absorption de l'énergie des photons du rayonnement solaire par ces matériaux semi-conducteurs génère un courant électrique continu. La cellule est l'unité de base du système. Elle n'est pas commercialisée séparément.

Un module photovoltaïque est formé d'un ensemble de cellules connectées entre elles et encapsulées dans un matériau qui les protège de l'humidité et des chocs mécaniques. Les modules raccordés forment un système.

Un système isolé, quand le raccordement au réseau est impossible, nécessite le stockage de l'énergie dans une série de batteries.

Dans le cas d'un système raccordé au réseau, un onduleur transforme le courant continu généré par le module en courant alternatif, qui peut alors être transféré sur le réseau. Le raccordement au réseau offre l'énorme avantage d'éviter le stockage. Il fait le lien entre la production et la consommation d'électricité.



Cellule.

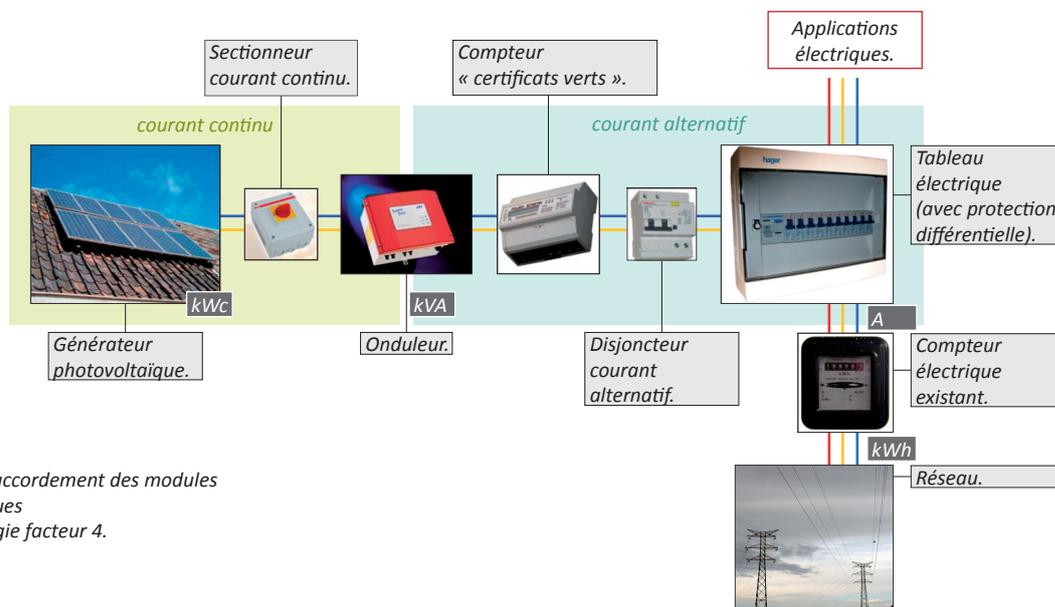
Module.

Système.



2.1 Principe du raccordement électrique

À l'heure actuelle, le raccordement pour les installations domestiques se fait suivant le schéma ci-dessous :



Principe du raccordement des modules photovoltaïques
source : énergie facteur 4.

L'électricité produite par les modules photovoltaïques est amenée au tableau électrique à partir duquel elle est utilisée pour des applications dans la maison et, en cas de surproduction instantanée, transmise au réseau électrique général. Dans les installations de moins de 10 kWc (ce qui est généralement le cas pour les maisons individuelles), le compteur électrique tourne alors à l'envers. Ce qui équivaut à dire que l'électricité photovoltaïque excédentaire produite à un moment donné donne droit à la même quantité d'énergie venant du réseau à un autre moment. (« re-vente » de l'électricité photovoltaïque au prix d'achat du réseau dans la limite de la quantité autoconsommée).

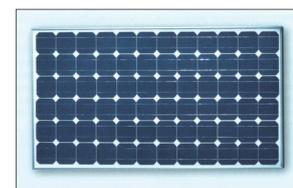
2.2 Les différents types de cellules :

- **Les cellules de première génération**

silicium monocristallin et silicium polycristallin

Ce type de cellules offre les meilleurs rendements sur le marché actuel.

La production des wafers de silicium, utilisé comme matériau semi-conducteur, consomme beaucoup d'énergie et est donc très coûteuse. Les cellules polycristallines ont un rendement et un coût plus faible que les cellules monocristallines.

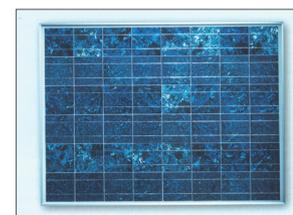


Cellules monocristallines.

- **Les cellules de deuxième génération aussi appelées couches minces (« thin films »)**

silicium amorphe (a-Si), diséléniure de cuivre indium (CIS) et tellure de cadmium (CdTe)

La couche de matériau semi-conducteur est plus mince, ce qui réduit le prix par rapport aux cellules de première génération, mais le rendement est moins élevé et le cadmium, utilisé dans certains cas pour la fabrication, est une substance toxique. Ces cellules peuvent être utilisées dans des modules flexibles.



Cellules polycristallines.

- **Les cellules de troisième génération sont en cours de développement**



3. INSTALLATION

3.1 Rendement du module, rendement du système

Le rendement est le rapport entre l'énergie solaire reçue par le module et l'énergie électrique fournie. Il n'est que rarement renseigné, mais peut être facilement calculé sur base de la puissance crête du module (mesurée sous condition d'ensoleillement de 1 000 W/m²).

Le rendement d'un module est égal à sa puissance crête par m² (en W/m²) divisée par 1 000 W/m².

La quantité d'énergie produite par un système photovoltaïque dépend de sa surface, de l'orientation et de l'inclinaison des cellules et du rayonnement solaire capté. Celui-ci dépend du jour et de l'heure de l'année, de la météo, de la propreté du module et des ombrages éventuels.

Attention ! Les ombrages éventuels des capteurs photovoltaïques peuvent faire chuter énormément leur rendement s'ils n'ont pas été considérés lors de la conception des raccordements électriques. Une rangée de cellules dans l'ombre peut rendre tout un module improductif.

Le rendement des modules diminue si leur température augmente. Il dépend donc aussi de la bonne ventilation de leur sous-face (une distance minimum de 5 cm entre le module et la toiture est conseillée).

L'efficacité du système est influencée par le rendement de l'onduleur. Celui-ci diminue également quand la température augmente. C'est un appareil bruyant, sa position à proximité des capteurs permet de limiter les pertes électriques dans le câblage de connexion.

facteur de correction		Inclinaison par rapport à l'horizontale (°)						
		0	15	25	35	50	70	90
Orientation	Est	88%	87%	85%	83%	77%	65%	50%
	Sud-Est	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	Sud	88%	96%	99%	max: 100%	98%	87%	68%
	Sud-Ouest	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	Ouest	88%	87%	85%	82%	76%	65%	50%

Facteur de correction, qui permet de tenir compte de l'influence de l'inclinaison et de l'orientation des modules sur leur rendement
source : énergie facteur 4

3.2 Dimensionnement

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque se base sur les critères suivants :

- autonomie (production d'électricité au moins équivalente à la consommation) ;
- surface disponible ;
- budget.

Pour dimensionner un système photovoltaïque fixe avec des panneaux rigides à base de silicium polycristallin, les chiffres suivants peuvent être considérés pour la Wallonie¹ :

- 8 m² ↔ 1 kWc ↔ 850 kWh par an * «facteur de correction²» ↔ environ 6 000 €³ (htva)

3.3 Durée de vie d'un système photovoltaïque

Les modules photovoltaïques sont souvent garantis 20 à 25 ans au niveau de leurs performances. On peut donc anticiper une durée de vie plus longue, pouvant même atteindre 40 ans.

Les onduleurs ont une durée de vie d'environ 10 ans. L'amélioration de la longévité est une des évolutions actuelles de ce type de matériel.

¹ chiffres renseignés par le facilitateur photovoltaïque pour la région wallonne: énergie facteur 4 (www.ef4.be)

² le facteur de correction est renseigné dans le tableau ci-dessus, il permet de prendre en compte l'inclinaison et l'orientation des panneaux

³ ce montant a été déterminé sur base d'une installation de 5 kWc. Il peut varier avec la surface, le type de matériel et l'installateur.



4. INTÉRÊT ÉCONOMIQUE

L'intérêt économique est caractérisé par un investissement assez important, avec un temps de retour évalué entre 6 et 9 ans (temps de retour maximum correspondant à la garantie sur les certificats verts).

L'installation de capteurs photovoltaïques est subsidiée par l'intermédiaire des certificats verts (le producteur d'énergie verte reçoit un certain nombre de certificats verts par mégawattheure produit) et de déductions fiscales. La valeur des certificats verts est variable, mais une valeur minimum de 65 euros est actuellement assurée par la Région wallonne, pendant 15 ans.

5. INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE

La fabrication d'une installation photovoltaïque ainsi que son élimination en fin de vie, nécessitent de l'énergie. Pour que la technologie soit intéressante sur le plan écologique, il faut bien évidemment que, sur sa durée de vie, le système produise plus d'énergie non polluante qu'il ne consomme d'énergie polluante.

L'impact environnemental d'un système photovoltaïque complet (les modules, les câbles, les cadres et l'électronique) a été évalué par une étude pour les pays de l'OCDE¹.

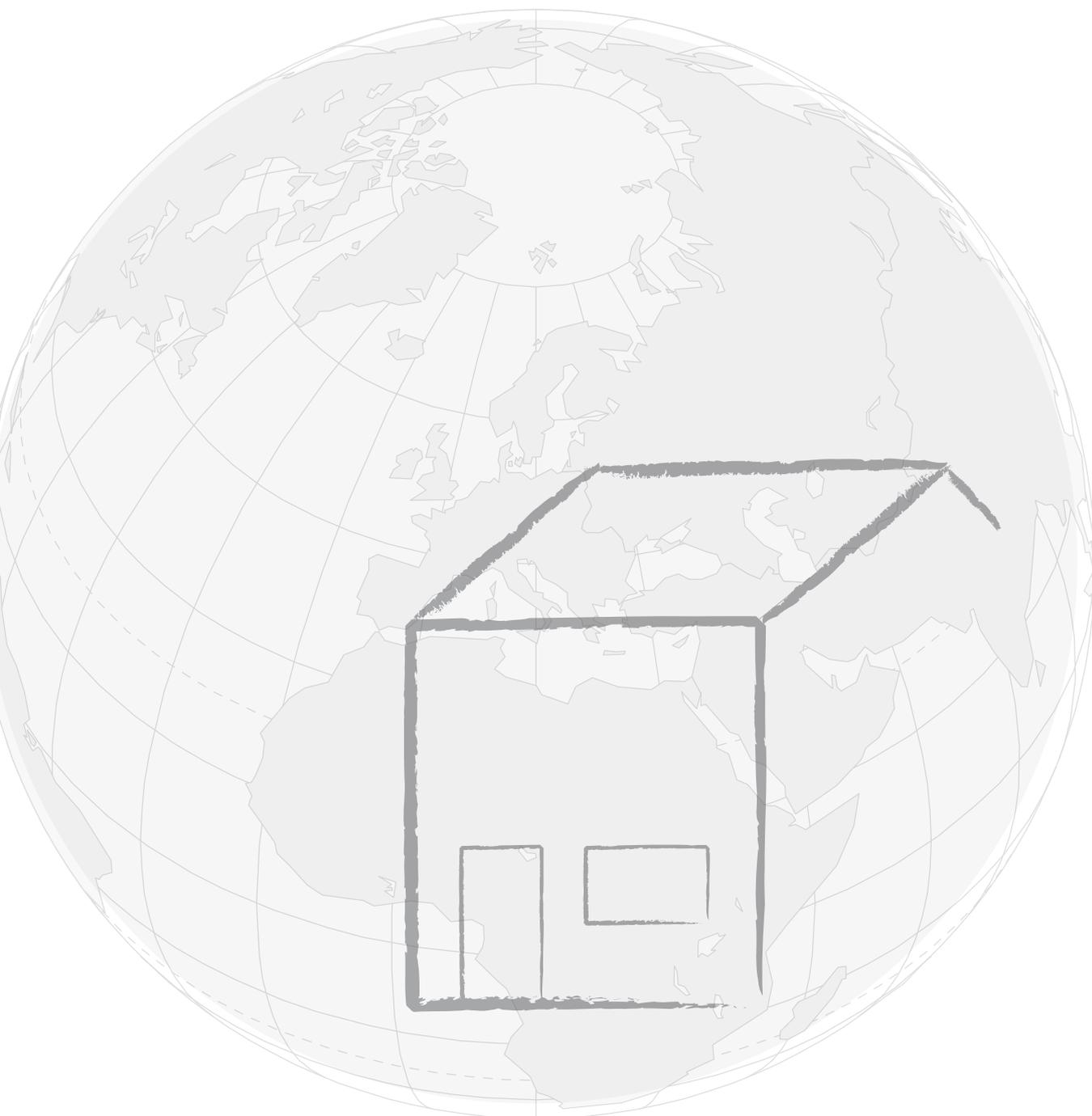
Pour la Belgique,

- Le temps de retour énergétique²: 3,21 ans pour un système sur toiture (4,68 ans en façade).
- Le facteur de retour énergétique³: 8,4 pour une installation sur toiture (5,4 en façade).
- Une installation photovoltaïque de 1 kWc peut éviter durant l'entièreté de sa vie, jusqu'à 8,5 tonnes de CO₂ (6,2 tonnes de CO₂ en façade).

Sources :

- Energie Facteur 4, facilitateur énergie photovoltaïque pour la région wallonne, site internet www.ef4.be.

Annexe





ANNEXE : SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

Ce guide finalise une recherche sur les maisons basse consommation d'énergie et passives. Pour identifier et quantifier l'influence de différents paramètres de conception, une modélisation dynamique a été réalisée sur le logiciel TRNSyS. Les résultats des simulations effectuées ont permis de dégager des conclusions sur de nombreux aspects du comportement des maisons étudiées, ils servent d'appui aux différentes fiches thématiques qui constituent ce guide.

Chaque projet est un cas particulier et l'analyse d'un bâtiment a ses limites quant à l'extrapolation des résultats à l'ensemble des bâtiments. Il est donc important de détailler ici toutes les hypothèses des simulations, pour que le lecteur puisse situer le propos et évaluer les similitudes et les différences avec son propre projet. Il est essentiel de considérer les résultats de manière relative, en comparant les différentes solutions entre elles et non par rapport aux quantités absolues qui, sorties de leur contexte, ne sont plus significatives.

1. L'OUTIL DE SIMULATION

Le logiciel TRNSyS (TRANsiant SYstem Simulation) est un logiciel de simulations dynamiques qui permet d'intégrer toutes les caractéristiques du bâti (emplacement, matériaux de construction utilisés, architecture globale...) et des systèmes afin de réaliser des simulations thermiques sur des bâtiments multizones. Le logiciel permet d'estimer les consommations d'énergie, les caractéristiques de température, ...

2. LES HYPOTHÈSES DES SIMULATIONS

2.1 Le climat

Les simulations ont été réalisées sur une période de 13 mois, de début juillet à fin juillet. Les données de la première année sont issues du fichier Météonorm pour Uccle, ce sont donc des valeurs moyennes pour les températures, l'ensoleillement, ... Le deuxième mois de juillet reprend les caractéristiques de l'été caniculaire de 1976.

2.2 Le bâtiment

Typologie :

La modélisation réalisée considère le cas d'une maison unifamiliale 4 façades très commune, répondant parfaitement au CWATUPE¹. Par rapport aux différentes typologies, le choix d'étudier une maison 4 façades est justifié par le fait que, d'une part, c'est le cas le plus défavorable (la mauvaise compacité en est la principale cause), et d'autre part, c'est aussi malheureusement la typologie la plus répandue en Wallonie pour les constructions neuves.

Une simulation sur la même maison, mais avec l'hypothèse que les deux pignons sont mitoyens a été réalisée. La surface totale de fenêtre est identique, les fenêtres initialement situées sur les pignons sont déplacées sur les façades dans le cas de la maison mitoyenne.

Surface :

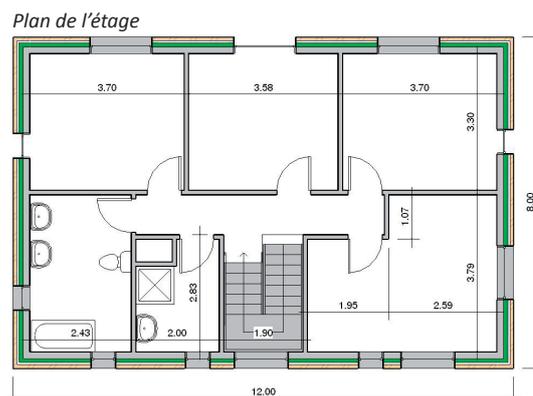
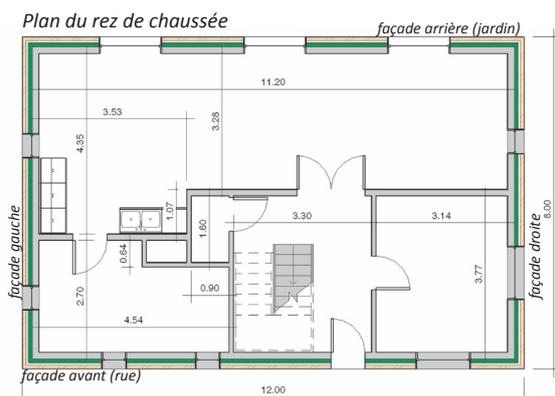
La surface² totale de plancher est égale à 152 m².

Orientation :

L'orientation SUD à l'arrière est considérée dans la plupart des simulations.

Plan :

Le plan est assez cloisonné, un hall d'entrée accueille l'escalier et est isolé du séjour. Le séjour est orienté vers le jardin. Chaque pièce est considérée comme une zone thermique dans les simulations. Les locaux du premier étage sont partiellement sous toiture (hauteur de 2 m minimum).



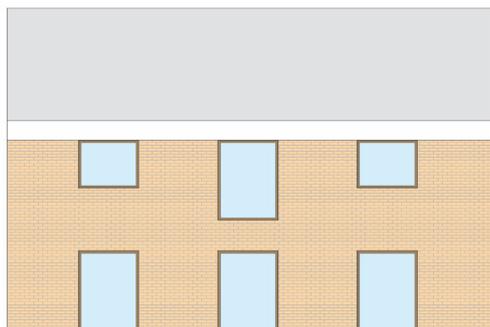
¹ Code wallon de l'Aménagement du territoire, de l'Urbanisme, du Patrimoine et de l'Énergie

² surface moyenne sur une série de maisons construites en 2005 et 2006 et ayant fait l'objet d'une demande de prime pour un coefficient d'isolation global performant (K45).

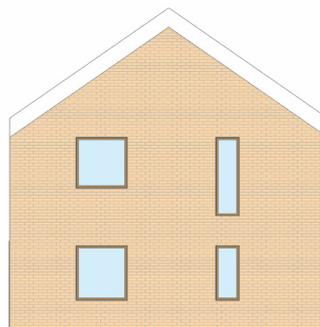


ANNEXE :

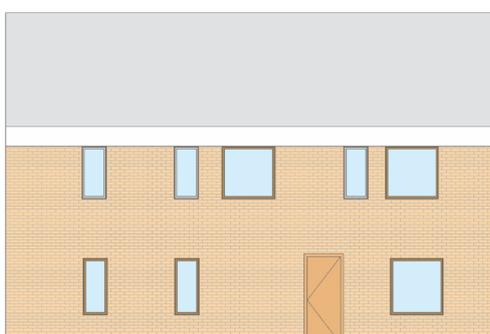
SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE



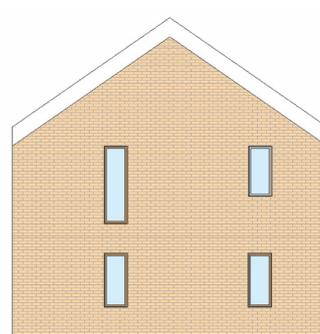
Façade arrière - jardin (AAA)



Façade droite (BBB)



Façade avant - rue (CCC)



Façade gauche (DDD)

Niveau de performance global :

La maison a été considérée avec deux niveaux de performance différents : le niveau BASSE ENERGIE et le niveau PASSIF. Étant donnée l'absence de définition universellement acceptée du niveau de performance «basse énergie», celui-ci est défini dans ce document par un besoin net de chauffage de 38 kWh/m².an, calculé avec le logiciel PHPP. Pour rappel, le besoin de chauffage d'une maison passive est évalué à 15 kWh/m².an avec ce même logiciel PHPP. Les deux niveaux de performance, dans le cas de la maison étudiée, nécessitent l'installation d'un système de ventilation double-flux. Les coefficients de déperditions thermiques des parois correspondants ont été définis (voir tableau ci-dessous)

Niveau de performance des parois :

Parois de la surface de déperdition thermique du bâtiment	niveau « basse-énergie » (38kWh/m ² .an)	niveau «passif» (15 kWh/m ² .an)
1. Fenêtres et autres parois translucides :		
- valeur globale pour l'élément	$U_{max} = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- valeur spécifique pour la partie centrale vitrée	$U_{max} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
2. Portes	$U_{max} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
3. Murs et parois opaques :		
- entre le volume protégé et l'air extérieur	$U_{max} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$
4. Toitures et plafonds	$U_{max} = 0,175 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$
5. Planchers	$U_{max} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{max} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$



ANNEXE : SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

Étanchéité à l'air:

Pour le niveau PASSIF, l'étanchéité à l'air est un critère de définition

$$\eta_{50} = 0.6 \text{ [h}^{-1}\text{]}, \text{ ce qui correspond}^1 \text{ à } \eta=0.03 \text{ [h}^{-1}\text{]}$$

Pour le niveau BASSE ENERGIE, l'hypothèse d'étanchéité considérée répond aux conseils du cstc en matière d'efficacité de la récupération de chaleur sur un système de ventilation double flux.

$$\eta_{50} = 1 \text{ [h}^{-1}\text{]}, \text{ ce qui correspond à } \eta=0.05 \text{ [h}^{-1}\text{]}$$

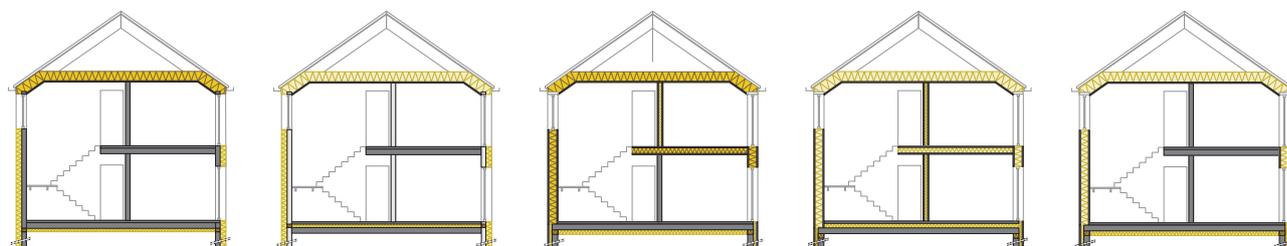
Façades :

Les fenêtres sont dimensionnées pour obtenir un taux d'ouverture de 20 % de la surface intérieure des locaux de vie. Pour garantir cette surface, un percement sur deux façades permettant un meilleur éclairage naturel et une ventilation transversale a été favorisé. Le taux de percement résultant de cette logique est de :

- 26 % de la façade sud
- 15 % de la façade nord
- 12 % de la façade ouest
- 8 % de la façade est

Composition des parois - inertie thermique :

L'impact de l'inertie thermique est un des paramètres étudiés. 5 cas d'inertie ont été définis, correspondant à différents modes constructifs et différents choix de matériaux.



- bloc silico-calcaire,
- isolant fibre de bois,
- plancher béton,
- dalle de sol béton accessible à la chaleur.

Massif « lourd »
équivalent :
PEB : peu lourd/mi-lourd
PHPP : $n_{\text{lourd}} = 5$

- bloc béton cellulaire,
- isolant laine minérale,
- plancher béton,
- dalle de sol béton inaccessible à la chaleur.

Massif « léger »
équivalent :
PEB : léger
PHPP : $n_{\text{lourd}} = 2$

- ossature bois,
- isolant fibre de bois,
- plancher bois,
- dalle de sol béton accessible à la chaleur.

Ossature « lourde »
équivalent :
PEB : léger
PHPP : $n_{\text{lourd}} = 2$

- ossature bois,
- isolant laine minérale,
- plancher bois,
- dalle de sol béton inaccessible à la chaleur.

Ossature « légère »
équivalent :
PEB : léger
PHPP : $n_{\text{lourd}} = 1$

- façades ossature bois,
- cloisons lourdes,
- isolant laine minérale,
- plancher béton,
- dalle de sol béton accessible à la chaleur.

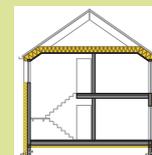
Mixte
équivalent :
PEB : peu lourd/mi-lourd
PHPP : $n_{\text{lourd}} = 4$

¹ l'équivalence entre le taux de perméabilité à l'air sous une différence de pression de 50 Pa et la perméabilité sous une différence de pression «classique» de 2 Pa est établie par le CSTC entre 10 et 30, dépendant du taux d'exposition au vent. 20 semble être une approximation acceptable (voir fiche 3.2 sur l'étanchéité à l'air)



ANNEXE : SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

CAS D'INERTIE 1 : MASSIF « LOURD »



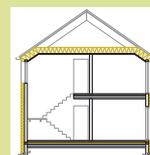
paroi	matériau	épaisseur [m]	conductivité thermique λ [W/mK]	Capacité thermique C [kJ/kg.K]	Densité ρ [kg/m ³]
mur de façade en contact avec l'extérieur	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	bloc silico-calcaire	0.15	0.91	0.91	1780
	polystyrène expansé avec graphite	0.148/0.280*	0.032	1.47	30
	enduit	0.02	1.5	0.84	1900
dalle de sol sur terre-plein	carreaux de grès	0.01	1.2	0.84	2000
	chape béton «isolante»	0.07	0.37	0.84	1200
	béton normal lourd armé	0.2	1.7	0.84	2400
	polystyrène extrudé	0.157/0.215*	0.035	1,45	35
toiture	plaque de fibro-plâtre	0.0125	0.32	1.1	1150
	isolation fibre de bois 93,7 %, chevrons 6,3 %	0.229/0.387*	0.046	2.08	164
	panneau de sous-toiture en fibre de bois	0.018	0.052	2.07	270
murs porteurs intérieurs	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	bloc silico-calcaire	0.15	0.91	0.91	1780
	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
cloisons intérieures	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	bloc silico-calcaire	0.10	0.91	0.91	1780
	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
plancher intermédiaire	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	hourdis béton	0.16	1.23	0.84	1200
	chape béton «isolante»	0.07	0.37	0.84	1200
	linoléum	0.003	0.19	1.47	1200

Les valeurs utilisées pour les simulations et renseignées dans ce tableau ne correspondent pas nécessairement à la norme en vigueur, elles sont alors relatives à certains matériaux et nécessitent une spécification avant d'être éventuellement réutilisées.

* Entre les parois utilisées pour la modélisation des maisons basse énergie et passives, seule l'épaisseur d'isolant change. Le tableau indique donc les deux épaisseurs utilisées : basse énergie/passif.


 ANNEXE :
 SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

CAS D'INERTIE 2 : MASSIF « LÉGER »



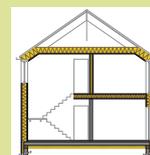
paroi	matériau	épaisseur [m]	conductivité thermique λ [W/mK]	Capacité thermique C [kJ/kg.K]	Densité ρ [kg/m ³]
mur de façade en contact avec l'extérieur	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	bloc de béton cellulaire	0.15	0.13	1.00	450
	polystyrène expansé avec graphite	0.115/0.245*	0.032	1.47	30
	enduit	0.02	1.5	0.84	1900
dalle de sol sur terre-plein	carreaux de grès	0.01	1.2	0.84	2000
	chape béton «isolante»	0.07	0.37	0.84	1200
	polystyrène extrudé	0.157/0.215*	0.035	1,45	35
	béton normal lourd armé	0.2	1.7	0.84	2400
toiture	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
	isolation laine minérale 93,7 %, chevrons 6,3 %	0.205/0.345*	0.041	0.9	56.5
	panneau de sous-toiture en fibre de bois	0.018	0.052	2.07	270
murs porteurs intérieurs	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	bloc de béton cellulaire	0.15	0.13	1.00	450
	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
cloisons intérieures	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
	laine minérale	0.10	0.04	0.84	25
	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
plancher intermédiaire	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
	laine de verre 80%, gîtage 20%	0.23	0.05	1.048	1600
	osb	0.015	0.15	1.88	600
	plancher bois (collé)	0.014	0.13	1.88	525

Les valeurs utilisées pour les simulations et renseignées dans ce tableau ne correspondent pas nécessairement à la norme en vigueur, elles sont alors relatives à certains matériaux et nécessitent une spécification avant d'être éventuellement réutilisées.

* Entre les parois utilisées pour la modélisation des maisons basse énergie et passives, seule l'épaisseur d'isolant change. Le tableau indique donc les deux épaisseurs utilisées : basse énergie/passif.


 ANNEXE :
 SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

CAS D'INERTIE 3 : OSSATURE BOIS « LOURDE »



paroi	matériau	épaisseur [m]	conductivité thermique λ [W/mK]	Capacité thermique C [kJ/kg.K]	Densité ρ [kg/m ³]
mur de façade en contact avec l'extérieur	plaque de fibro-plâtre	0.0125	0.32	1.1	1150
	vide et lattage	0.06	0.29	1.08	37.9
	osb	0.015	0.15	1.88	600
	isolant fibre de bois 90 %, ossature 10 %	0.15	0.05	2.08	178.5
	isolant fibre de bois	0,035 / 0,195*	0.04	2.1	140
	pare-pluie en fibre de bois	0.018	0.05	2.07	270
dalle de sol sur terre-plein	carreaux de grès	0.01	1.2	0.84	2000
	chape béton «isolante»	0.07	0.37	0.84	1200
	béton normal lourd armé	0.2	1.7	0.84	2400
	polystyrène extrudé	0.157/0.215*	0.035	1,45	35
toiture	plaque de fibro-plâtre	0.0125	0.32	1.1	1150
	isolation fibre de bois 93,7 %, chevrons 6,3 %	0.229/0.387*	0.046	2.08	164
	panneau de sous-toiture en fibre de bois	0.018	0.052	2.07	270
murs porteurs intérieurs	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	bloc silico-calcaire	0.15	0.91	0.91	1780
	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
cloisons intérieures rez-de-chaussée	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	bloc silico-calcaire	0.10	0.91	0.91	1780
	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
cloisons intérieures premier étage	plaque de fibro-plâtre	0.0125	0.32	1.1	1150
	laine minérale	0.10	0.04	0.84	25
	plaque de fibro-plâtre	0.0125	0.32	1.1	1150
plancher intermédiaire	plaque de fibro-plâtre	0.0125	0.32	1.1	1150
	fibre de bois 80 % gîtage 20 %	0.23	0.06	2.06	217.00
	osb	0.015	0.15	1.88	600
	plancher bois (collé)	0.014	0.13	1.88	525

Les valeurs utilisées pour les simulations et renseignées dans ce tableau ne correspondent pas nécessairement à la norme en vigueur, elles sont alors relatives à certains matériaux et nécessitent une spécification avant d'être éventuellement réutilisées.

* Entre les parois utilisées pour la modélisation des maisons basse énergie et passives, seule l'épaisseur d'isolant change. Le tableau indique donc les deux épaisseurs utilisées : basse énergie/passif.



ANNEXE : SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

CAS D'INERTIE 4 : OSSATURE BOIS « LÉGÈRE »



paroi	matériau	épaisseur [m]	conductivité thermique λ [W/mK]	Capacité thermique C [kJ/kg.K]	Densité ρ [kg/m ³]
mur de façade en contact avec l'extérieur	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
	vide et lattage	0.06	0.29	1.08	37.9
	osb	0.015	0.15	1.88	600
	laine de verre 90 %, ossature 10 %	0.174/0.15*	0.045	0.94	75
	laine de verre 93,7 %, lattage 6,7 %	0 / 0,175*	0.041	0.91	57
	pare-pluie en fibre de bois	0.018	0.05	2.07	270
dalle de sol sur terre-plein	carreaux de grès	0.01	1.2	0.84	2000
	chape béton «isolante»	0.07	0.37	0.84	1200
	polystyrène extrudé	0.157/0.215*	0.035	1,45	35
	béton normal lourd armé	0.2	1.7	0.84	2400
toiture	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
	isolation laine minérale 93,7 %, chevrons 6,3 %	0.205/0.345*	0.041	0.9	56.5
	panneau de sous-toiture en fibre de bois	0.018	0.052	2.07	270
murs porteurs intérieurs	plaque de carton-plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	laine de verre 90 % Ossature bois 10 %	0.16	0.045	0.94	75
	osb	0.15	0.91	0.91	1780
	plaque de carton-plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
cloisons intérieures pre-mier étage	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
	laine de roche	0.10	0.04	0.84	25
	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
plancher intermédiaire	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
	laine de verre 80%, gîtage 20%	0.23	0.054	1.048	125
	osb	0.015	0.15	1.88	600
	plancher bois (collé)	0.014	0.13	1.88	525

Les valeurs utilisées pour les simulations et renseignées dans ce tableau ne correspondent pas nécessairement à la norme en vigueur, elles sont alors relatives à certains matériaux et nécessitent une spécification avant d'être éventuellement réutilisées.

* Entre les parois utilisées pour la modélisation des maisons basse énergie et passives, seule l'épaisseur d'isolant change. Le tableau indique donc les deux épaisseurs utilisées : basse énergie/passif.



ANNEXE :

SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

CAS D'INERTIE 5 : STRUCTURE « MIXTE »
(façade ossature bois - intérieur massif)

paroi	matériau	épaisseur [m]	conductivité thermique λ [W/mK]	Capacité thermique c [kJ/kg.K]	Densité ρ [kg/m ³]
mur de façade en contact avec l'extérieur	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
	vide et lattage	0.06	0.29	1.08	37.9
	osb	0.015	0.15	1.88	600
	laine de verre 90 %, ossature 10 %	0.174/0.15*	0.045	0.94	75
	laine de verre 93,7 %, lattage 6,7 %	0 / 0,175*	0.041	0.91	57
	pare-pluie en fibre de bois	0.018	0.05	2.07	270
dalle de sol sur terre-plein	carreaux de grès	0.01	1.2	0.84	2000
	chape béton «isolante»	0.07	0.37	0.84	1200
	béton normal lourd armé	0.2	1.7	0.84	2400
	polystyrène extrudé	0.157/0.215*	0.035	1,45	35
toiture	plaque de carton-plâtre	0.0125	0.25	0.84	800
	isolation laine minérale 93,7 %, chevrons 6,3 %	0.205/0.345*	0.041	0.9	56.5
	panneau de sous-toiture en fibre de bois	0.018	0.052	2.07	270
murs porteurs intérieurs	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	bloc silico-calcaire	0.15	0.91	0.91	1780
	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
cloisons intérieures	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	bloc silico-calcaire	0.10	0.91	0.91	1780
	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
plancher intermédiaire	enduit plâtre	0.015	0.52	0.84	1300
	hourdis béton	0.16	1.23	0.84	1200
	chape béton «isolante»	0.07	0.37	0.84	1200
	linoléum	0.003	0.19	1.47	1200

Les valeurs utilisées pour les simulations et renseignées dans ce tableau ne correspondent pas nécessairement à la norme en vigueur, elles sont alors relatives à certains matériaux et nécessitent une spécification avant d'être éventuellement réutilisées.

* Entre les parois utilisées pour la modélisation des maisons basse énergie et passives, seule l'épaisseur d'isolant change. Le tableau indique donc les deux épaisseurs utilisées : basse énergie/passif.



ANNEXE : SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

MENUISERIES, identiques dans tous les cas d'inertie, mais fonction du niveau de performance					
porte intérieure	bois léger	0.03	0.15	1.2	500
porte extérieure basse énergie	bois lourd	0.07	0.19	1.88	600
porte extérieure passive	panneau dérivé de bois	0.014	0.15	1.88	600
	isolant 72% cadre en bois 28%	0.06	0.07	2	248
	panneau dérivé de bois	0.014	0.15	1.88	600
fenêtre basse énergie	vitrage	Ug=1.1 W/m ² K	g=0.609		
	châssis bois	Uf=1.8 W/m ² K	pourcentage châssis/fenêtre = 30 %		
fenêtre passive	vitrage	Ug=0.59 W/m ² K	g=0.584		
	châssis bois	Uf=0.85 W/m ² K	pourcentage châssis/fenêtre = 30 %		

2.3 Ventilation hygiénique

Les débits de ventilation de base ont été calculés suivant la norme NBN D50-001

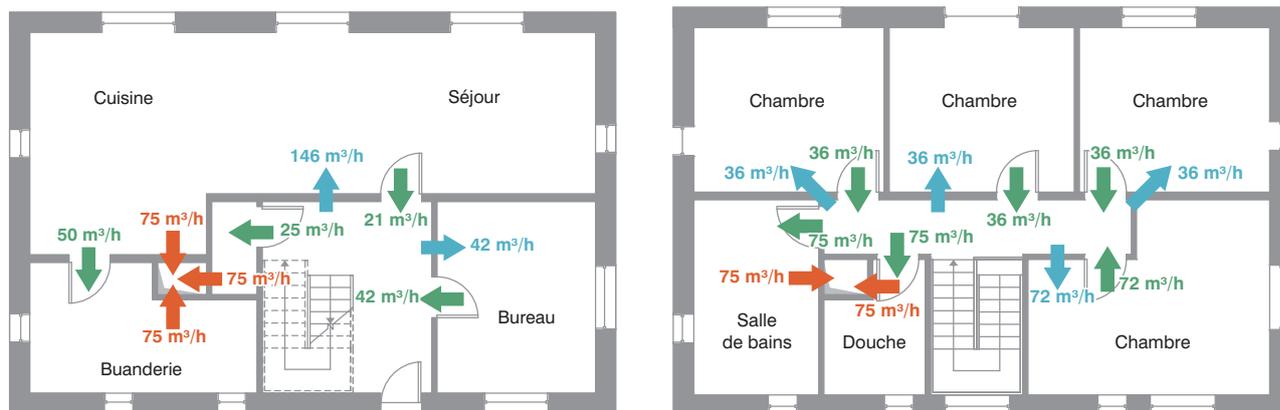


Schéma illustrant les débits nominaux, calculés suivant la norme. En bleu: les débits pulsés, en rouge, les débits extraits, et en vert, les débits transférés.

La ventilation est assurée par un système mécanique double-flux avec échangeur de chaleur. Le système est dimensionné pour assurer le débit correspondant à la norme en position maximale, en tenant compte des pertes de charge du réseau. Conformément aux indications du CSTC¹ et à l'usage des installateurs, ce débit n'est assuré qu'en situation d'occupation exceptionnelle (position 3 du ventilateur). Les positions intermédiaires de la régulation du ventilateur correspondent respectivement à des débits d'1/3 (position 1) et de 2/3 (position 2) du débit maximal.

Les taux de ventilation utilisés pour les simulations sont donc de :

- 2/3 du débit maximal en période d'occupation, la journée
- 1/3 du débit maximal en période d'absence et la nuit

L'échangeur est modélisé sur TRNSYS, avec un rendement de 85 %.

Le by-pass de l'échangeur enclenché quand la température de l'air extrait est supérieure à 21 °C.

¹ P. VAN DEN BOSSCHE, S. PRIEUS - WTCB, P. COOTJANS - DNI, «Ventilatiegids, stappen plan voor comfortabel en energiezuinig ventileren», IWT - TETRA, 2007



ANNEXE :

SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

2.4 Les gains internes

Deux scénarios d'occupation et de gains internes ont été utilisés pour la réalisation des simulations.

- Un scénario d'occupation intermittente avec des gains internes relativement faibles est utilisé pour les estimations de consommation. Cette hypothèse au niveau des gains internes, plutôt défavorable par rapport aux besoins de chauffage, permet de garantir que la consommation réelle n'est pas supérieure à l'estimation.
- Un scénario d'occupation continue, avec des gains internes relativement élevés a été utilisé pour les estimations des surchauffes. Cette hypothèse au niveau des gains internes, plutôt défavorable par rapport aux risques de surchauffe, permet de garantir que le confort réel ne sera pas inférieur au confort évalué.

Les hypothèses de puissance ont été fixées par rapport à la littérature et au logiciel PHPP.

Les charges internes d'appareils dont le fonctionnement n'est pas typique d'une certaine période de la journée sont réparties en continu (machine à laver, électroménager...).

Toutes les zones étant éclairées naturellement, l'éclairage artificiel ne sera comptabilisé que dans les horaires définis et dans des conditions de luminosité insuffisantes estimées de manière dynamique par le logiciel de simulation.

- l'éclairage artificiel est allumé si la valeur extérieure du rayonnement solaire sur une surface horizontale est inférieure à 120 W et que la maison est occupée.

l'éclairage artificiel est éteint si la valeur extérieure du rayonnement solaire sur une surface horizontale est supérieur à 200 W ou que la maison est inoccupée.

PROFIL DES GAINS INTERNES : scénario de gains internes faibles

		0h 7h	7h 7h15	7h15 7h30	7h30 7h45	7h45 8h	8h 12h	12h 13h	13h 16h	16h 18h	18h 19h30	19h30 20h	20h 22h	22h 24h	puissance
Z1	présence			2	4	5					4	2	5		70 W/pers
	lumière			1	1	1					1	1	1		6 W/m ²
	frigo/congélateur	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42 W
	tv										0.5	0.5	0.5		150 W
Z3	lessive	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11 W
Z4	présence										0.5				70 W/pers
	lumière										0.5				6 W/m ²
	ordi / imprimante										0.5				200 W
Z5	présence	1		1							0.5			1	70 W/pers
	lumière			1							0.5				6 W/m ²
Z6	présence	1	1								0.5			1	70 W/pers
	lumière		1								0.5				6 W/m ²
Z7	présence		1	1	1										70 W/pers
	lumière		1	1	1										6 W/m ²
Z8	présence	1	1								0.5			1	70 W/pers
	lumière		1								0.5				6 W/m ²
Z9	présence	2	1											2	70 W/pers
	lumière		1												6 W/m ²
Z10	présence		1	1									0.25		70 W/pers
	lumière		1	1									0.25		6 W/m ²

La puissance moyenne des gains internes correspondant à ce scénario est de 2.2 W/m² (répartis uniformément dans le temps et dans l'espace)


 ANNEXE :
 SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

Les hypothèses de gains internes ont beaucoup d'impact sur l'évaluation des surchauffes¹.

Le scénario utilisé présenté ci-dessous considère une occupation continue de l'habitation et un usage plausible, mais relativement producteur de charges internes. Une télévision allumée pendant 4 h (moyenne statistique belge), un ordinateur par chambre, cuisson : 1 taque pendant 15 min et 2 taques pendant 15 min et 2 taques pendant 30 min répartis sur la journée, un lave-vaisselle et différents appareils répartis sur toute la journée, un frigo et un congélateur, ...

PROFIL DES GAINS INTERNES : scénario de gains internes élevés															
		0h 7h	7h 7h15	7h15 7h30	7h30 7h45	7h45 8h	8h 12h	12h 13h	13h 16h	16h 18h	18h 19h30	19h30 20h	20h 22h	22h 24h	puissance
Z1	présence			2	4	5	5	5	5	3	4	4	5		70 W/pers
	lumière			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		6 W/m ²
	cuisson				0.5			0.5				1			3000 W
	frigo/congélateur	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42 W
	lave-vaisselle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13 W
	électro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	29 W
	TV									0.75	0.5	0.5	0.75		150 W
Z3	lessive	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11 W
Z4	présence									1	1	1			70 W/pers
	lumière									1	1	1			6 W/m ²
	ordi / imprimante									1	1	1			200 W
Z5	présence	1		1						0.3				1	70 W/pers
	lumière			1						0.3					6 W/m ²
	ordi									0.25					60 W
Z6	présence	1	1							0.3				1	70 W/pers
	lumière		1							0.3					6 W/m ²
	ordi									0.25					60 W
Z7	présence		1	1	1										70 W/pers
	lumière		1	1	1										6 W/m ²
Z8	présence	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	70 W/pers
	lumière		1							0.3					6 W/m ²
	ordi									0.25					60 W
Z9	présence	2	1											2	70 W/pers
	lumière		1												6 W/m ²
Z10	présence		1	1									0.25		70 W/pers
	lumière		1	1									0.25		6 W/m ²

La puissance moyenne des gains internes correspondant à ce scénario est de 4.41 W/m² (répartis uniformément dans le temps et dans l'espace).

¹ plus de détail dans la fiche 2.3 sur les surchauffes



ANNEXE :

SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

2.5 Le chauffage

Le chauffage est simulé par un apport de chaleur instantané, sans limite de puissance, pour atteindre une température de consigne dans tous les locaux, à l'exception de la buanderie. Aucune saison de chauffe n'est artificiellement imposée, la consigne doit être atteinte toute l'année.

La température de consigne est liée à la présence, à la nuit et au jour de la semaine

- période de présence en journée : consigne à 20 °C
 - * en semaine : 6 h -9 h et 16 h -22 h
 - * le we= 8 h -22 h
- période d'absence ou pendant la nuit : consigne à 16 °C

2.6 La ventilation naturelle intensive***Ventilation intensive diurne dans les pièces de vie***

Une ventilation naturelle intensive diurne est modélisée, dans le séjour et dans le bureau du rez de chaussée. Ses caractéristiques sont :

- taux de renouvellement d'air : 4 h⁻¹
- conditions d'ouverture, réévaluées tous les quarts d'heure :
 - * en période d'occupation
 - * et si la température de la zone est supérieure à la température extérieure
 - * et si la température de la zone est supérieure à 22 °C
 - * et si la température extérieure est supérieure à 18 °C

Ventilation intensive nocturne

Une ventilation naturelle intensive nocturne est prévue en cas de surchauffe. ses caractéristiques sont :

- taux de renouvellement d'air :
 - * VN faible : 4 h⁻¹
 - * VN élevée : 8 h⁻¹
- pièces ventilées: toutes les chambres et le hall
- conditions d'ouverture :
 - * manuelle : entre le 01/03 et le 01/11 (càd en dehors de la période de chauffe) si, à 22 h, la température extérieure est supérieure à 16 °C et la température intérieure est supérieure à 24 °C, alors ouverture entre 22 h et 7 h
 - * automatique : entre le 01/03 et le 01/11 (càd en dehors de la période de chauffe), évaluation tous les quarts d'heure, entre 22 h et 7 h, et ouverture si la température intérieure est supérieure à 22°. Fermeture quand la température intérieure est inférieure à 19 °C

Les hypothèses de débit pour la ventilation nocturne ne sont pas faciles à définir. En s'inspirant des mesures réalisées sur la maison PLEIADE, l'hypothèse d'une ventilation nocturne faible, obtenue par ouverture des fenêtres des locaux en position oscillante a été liée à un taux de renouvellement horaire de 4 h⁻¹.

Cette hypothèse a été validée par les simulations dynamiques en fonction des différences de températures observées en cas de surchauffe, et d'un calcul de débit sur base de la géométrie des fenêtres, suivant les formules du logiciel PHPP.

- Avec l'ouverture des fenêtres en position oscillante, avec un écartement de 10 cm,
- avec une différence de température moyenne, en période de surchauffe, comprise entre 5.4 et 8 °C suivant les locaux,
- en négligeant l'effet du vent et de toute ventilation transversale,

on obtient un taux de renouvellement horaire entre 3 et 4.4 h⁻¹. La ventilation la plus efficace étant celle du séjour, la modélisation était plus favorable en terme de limitation des surchauffes avec l'hypothèse dynamique de variation des débits en fonction des températures qu'en considérant un taux de renouvellement d'air constant, l'hypothèse de départ a été maintenue.

Le taux de renouvellement d'air retenu pour la modélisation d'une ventilation nocturne importante est de 8 h⁻¹. Ce taux a été choisi par rapport aux mesures effectuées sur la maison PLEIADE. Ce taux de renouvellement d'air nécessite en pratique une stratégie de ventilation entre les différentes zones, ou avec des surfaces d'ouverture importantes.



ANNEXE :

SIMULATIONS DYNAMIQUES DE MAISONS PASSIVES ET BASSE ENERGIE

2.7 Un puits canadien

Un puits canadien a été modélisé de manière simplifiée. Il n'a été activé que pour quelques simulations visant précisément à évaluer son effet bénéfique sur les surchauffes.

La température du sol est estimée par la température extérieure moyenne mensuelle, dans les limites inférieures et supérieures de 8 °C et de 15 °C.

Le puits canadien modélisé est un tuyau en HDPE d'une longueur de 40 m et d'un diamètre de 20 cm.

Le coefficient d'échange thermique est fixé à 25kJ/hm²K. Ce coefficient dépend de nombreux facteurs tels que les caractéristiques du conduit et la nature du sol. Le coefficient d'échange thermique est tel que les résultats sont similaires à ce qui a pu être mesuré dans certaines installations :

- été : 25 °C-30 °C extérieurs → 15 °C - 17 °C à la sortie du puits canadien
- hiver : 0 °C extérieur → 10 °C à la sortie du puits canadien

2.8 Protections solaires

L'ombrage dû à l'épaisseur de l'ébrasement est considéré dans les simulations. La distance entre le vitrage et le mur est de 7 cm et la profondeur de l'ébrasement considérée est de 10 cm.

Auvents

Des auvents sont pris en compte dans certaines simulations. Leurs caractéristiques sont

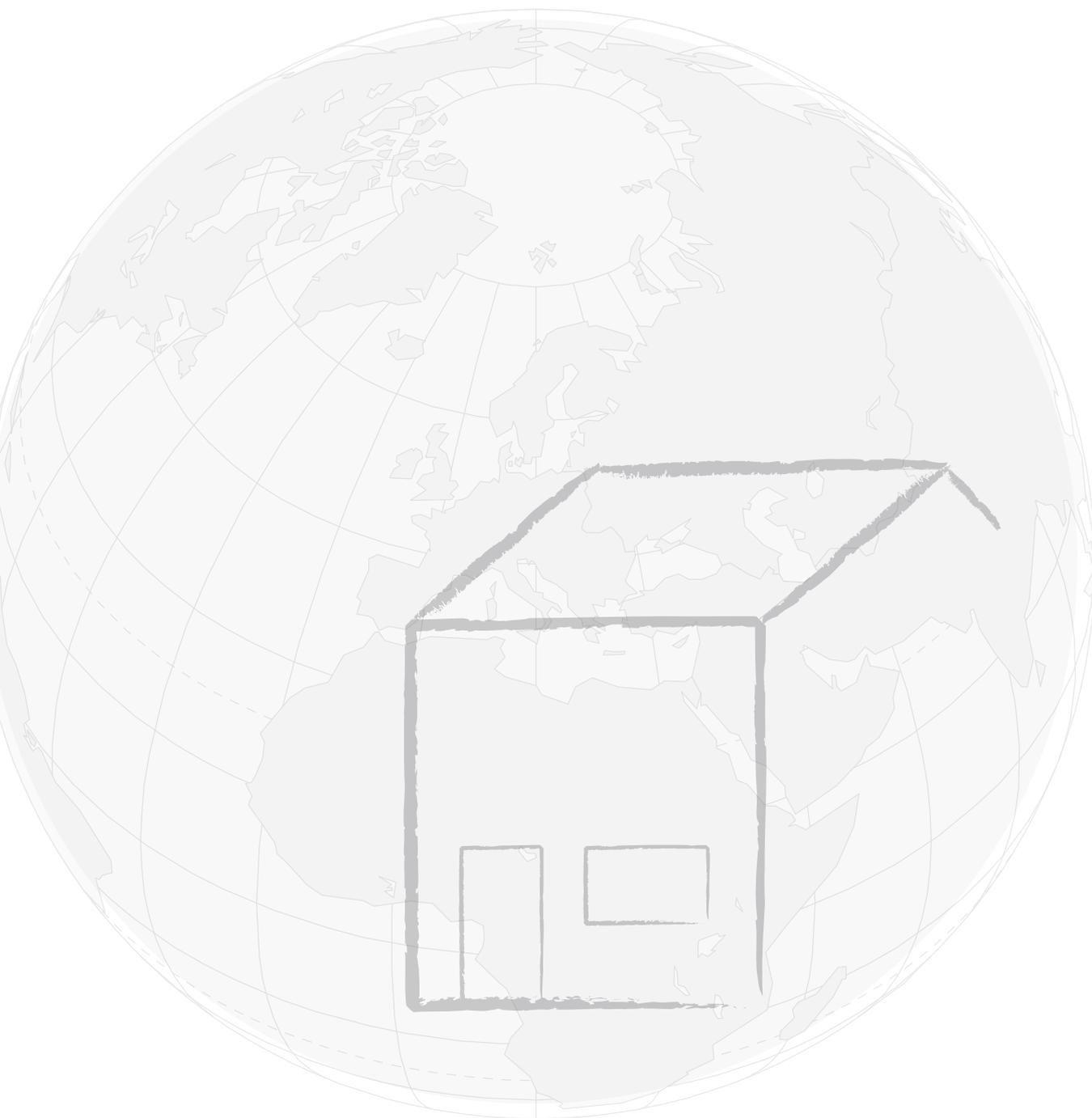
- une largeur égale à la largeur de la baie (14 cm plus large que le vitrage)
- une distance de 7 cm par rapport au vitrage
- une surface opaque et horizontale
- disposés en partie supérieure des fenêtres sud uniquement
- une profondeur variant en fonction des simulations, égale à 50 cm ou 1 m (identique pour toutes les fenêtres).

Stores

Des stores sont pris en compte dans certaines simulations. Leurs caractéristiques sont:

- une «proportion de surface opaque» variant suivant les simulations
 - * 75% (g_{global}^1 entre 0.25 et 0.35)
 - * 85% (g_{global}^1 entre 0.15 et 0.20)
 - * 95% (g_{global}^1 entre 0.10 et 0.12)
- Descente automatique du store si, entre le 01/03 et le 01/11 (càd en dehors de la période de chauffe)
 - * le rayonnement solaire incident est supérieur à 504 kJ/hm² et
 - * la température intérieure est supérieure à 21 °C
- La condition de remontée du store est fixée à un rayonnement incident de 432 kJ/hm² pour éviter les oscillations autour de la limite.

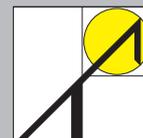
¹ Le facteur g est le facteur solaire de l'ensemble «protection + vitrage», avec un facteur solaire de vitrage g=0.59. La valeur de g_{global}^1 est approximée suivant différents produits disponible sur le marché,



Ce guide a été réalisé et finalisé en 2010 par:

ARCHITECTURE ET CLIMAT - UCL

Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie Architecturale
place du Levant, 1 à 1348 Louvain-La-Neuve
www-climat.arch.ucl.ac.be



Ce travail a été financé par:

Service Public Wallonie

DG04 Département de l'Énergie et du Bâtiment durable
avenue Prince de Liège, 7 à 5100 Jambes
<http://energie.wallonie.be>

