

Enveloppe de bâtiment

Principes généraux

Les enveloppes des bâtiments dans lesquels nous vivons et nous travaillons se caractérisent par de nombreux paramètres fonctionnels, les principaux étant :

- isolation (parois opaques et parois vitrées) ;
- étanchéité à l'eau et à l'air ;
- comportement par rapport aux apports solaires (hiver et été) ;
- confort thermique et acoustique ;
- inertie ;
- éclairage naturel des locaux ;
- qualité de l'air intérieur ;
- intégration dans l'environnement ;
- etc. (on pourrait ajouter, par exemple, l'impact sur l'environnement lors de la déconstruction [1])

En ce qui concerne le secteur de la construction neuve, la nouvelle réglementation thermique (RT2000) [2], tient compte de la plupart de ces paramètres. Si l'on considère essentiellement les critères de performance thermique (isolation, étanchéité à l'air, gestion des apports solaires, inertie) on peut dire pour simplifier que cette nouvelle réglementation (qui englobe le résidentiel et le tertiaire) situe les niveaux de performance (de référence) :

- **en résidentiel**, au niveau de ce qui se faisait déjà de « performant » avant la RT2000 (pour fixer les idées, niveau Gvref - 15 % environ) ;

- **en tertiaire**, à un niveau « très performant » par rapport à ce qui se faisait avant, que ce soit au niveau de l'enveloppe ou au niveau des systèmes énergétiques.

Il est couramment admis que le secteur tertiaire a été hissé relativement haut au travers de cette nouvelle réglementation [3]. Sans compter que l'on prend d'ores et déjà en compte pour ce secteur les consommations d'éclairage [4] et bientôt celles de la climatisation, ce qui paraît souhaitable compte tenu des besoins de climatisation élevés de nombreux bâtiments tertiaires y compris en mi-saison).

Par rapport aux évolutions de ces dernières années, on pourrait dire que les priorités changent, les rapports de forces évoluent, du coup les efforts d'améliorations trouvent de nouvelles voies ; en effet :

- **l'isolation** (des murs et des parois vitrées) est devenue plutôt « **très performante** » ;
- par voie de conséquence, certaines déperditions, comme les **déperditions linéiques** (ponts thermiques) ou les **déperditions par renouvellement d'air**, prennent une **importance relative croissante** ;
- **le confort d'été devient également une préoccupation grandissante**, d'autant plus que le tertiaire (où cette préoccupation est la plus « légitime » dans la mesure où ce paramètre influence fortement les conditions de travail dans les locaux) vient d'être « englobé » dans une réglementation unique ;

- **l'acoustique est devenue aussi un enjeu de premier plan**, sachant que les différents modes constructifs peuvent jouer sur les transmissions du bruit entre l'intérieur et l'extérieur ou entre les locaux eux-mêmes (tandis qu'on s'isole mieux du bruit extérieur - ex. doubles-vitrages -, les bruits intérieurs prennent de plus en plus de poids) ;
- par rapport au confort d'été et aux économies d'énergie, les **préoccupations liées à la protection solaire deviennent également de plus en plus importantes** ; il faut profiter au maximum du soleil en hiver (sans être ébloui dans les locaux de travail) et s'en protéger au maximum en été pour éviter les surchauffes ;
- les forts niveaux d'isolation thermique et de protection solaire vers lesquels on évolue, font qu'en été les apports internes de chaleur deviennent prépondérants : éclairage, bureautique...

On observe donc que les rapports de forces évoluent en fonction des progrès technologiques, des progrès réglementaires et des préoccupations de confort global des occupants.

En outre, il faut bien sûr parler non seulement des constructions neuves (celles qui sont concernées par la RT2000) mais aussi des bâtiments existants où les enjeux sont considérables en termes de performances énergétiques et dans lesquels les possibilités d'améliorations trouvent d'autant plus d'impact économique.

L'ADEME, bien sûr toujours préoccupée par ces enjeux énergétiques et environnementaux, poursuit ses travaux pour explorer, exploiter le plus de pistes possible permettant de limiter l'impact des bâtiments (enveloppes et systèmes) sur ces enjeux. En matière d'enveloppe de bâtiment, l'ADEME apporte son soutien sur différents thèmes, dont la liste évolue régulièrement.

Techniques d'isolation des parois opaques

L'isolation dynamique

- Présentation

On distingue **trois types d'isolation dynamique** :

1. l'isolation pariétodynamique,
2. l'isolation perméodynamique,
3. l'isolation thermodynamique.

Avec ces procédés, les locaux sont protégés contre les agressions extérieures climatiques et acoustiques. Ils interviennent sur l'enveloppe du bâtiment, sur le mode de chauffage mais aussi sur la gestion de l'air.

Le but de cette technique d'isolation, comme toute isolation traditionnelle, est de réduire les déperditions mais, ici, les échanges de chaleur sont plus complexes :

- la lame d'air permet un échange de chaleur convectif entre l'air de la lame d'air et les éléments solides de la paroi. C'est une récupération sur les déperditions du bâtiment,

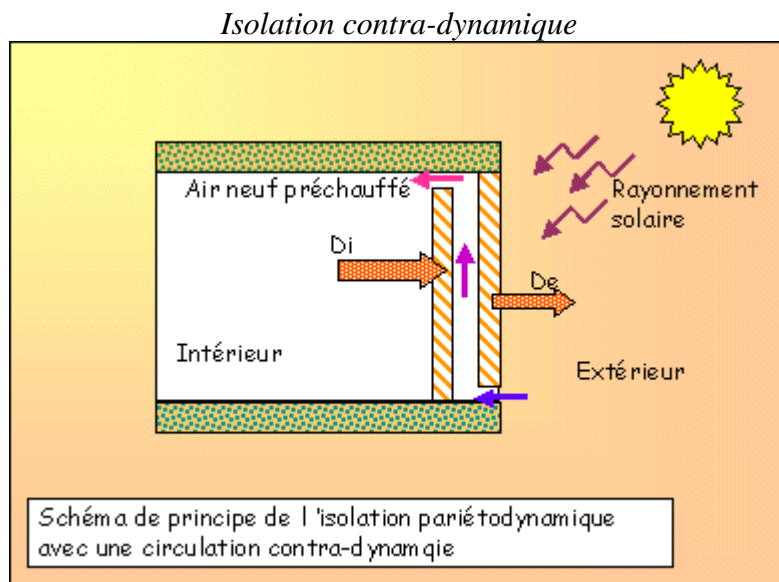
- la lame d'air se réchauffe grâce aux apports solaires, surtout si la paroi extérieure est transparente,
- les apports solaires profitent aussi aux éléments solides de la paroi qui sont responsables de l'inertie du bâtiment. Ils stockent l'énergie et la restituent déphasée par rapport aux apports solaires.

Trois principes d'isolation dynamique sont présentés ici, sachant que **la plus intéressante dans le contexte des procédés de chauffage basse consommation est l'isolation pariétodynamique bilame avec un circuit d'air contra-dynamique**. Elle est le meilleur compromis entre le coût d'installation, la mise en œuvre et les performances thermiques. De nombreuses autres solutions sont possibles mais ne correspondent pas aux critères des systèmes de chauffage basse consommation qui sont rappelés ici : trouver le moyen qui allie une mise en œuvre simple, une technique peu sophistiquée et des performances significatives sur les économies d'énergie.

1- L'isolation pariétodynamique

Grâce à cette isolation, **la façade d'un bâtiment est transformée en échangeur de chaleur**. Un espace est créé dans la paroi où de l'air circule, en général en circuit ouvert. L'échange de chaleur se fait alors entre ce fluide et les éléments solides de cette paroi. Le but est de préchauffer l'air de renouvellement.

L'air se déplace de l'extérieur vers l'intérieur comme indiqué sur la figure ci-dessous, avec un mouvement ascendant, grâce à une légère dépression générée par la ventilation mécanique contrôlée (VMC).



Pendant son déplacement, l'air recueille par convection une part des déperditions du bâtiment et, ainsi préchauffé, il pénètre dans le local. Les déperditions par conduction diminuent : $De < Di$

Avec :

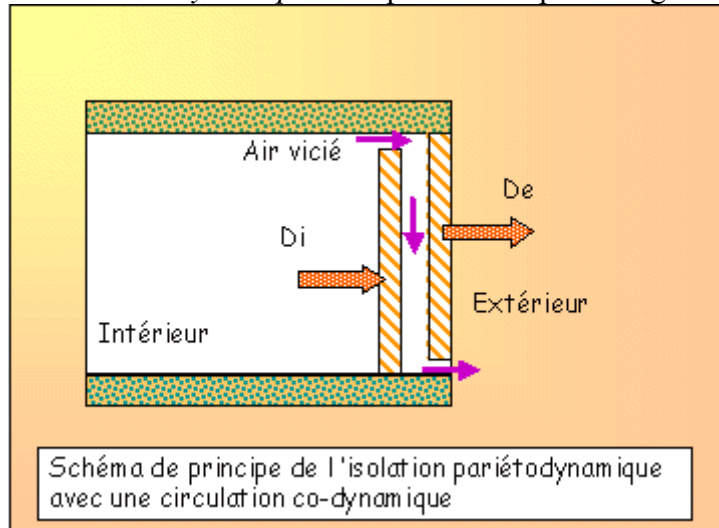
- Di : flux des déperditions avant l'isolation, à l'intérieur, en W,
- De : flux des déperditions après l'isolation, à l'extérieur, en W,

C'est une ultime valorisation des déperditions.

Remarques : Le rayonnement solaire chauffe aussi les éléments solides des parois, ainsi que la lame d'air dans le cas où l'isolation est bi-lame et où l'élément solide extérieur de la paroi est transparent.

L'isolation pariétodynamique peut être considérée comme un système basse consommation performant.

Isolation co-dynamique : Ce procédé est plus marginal.



L'air a un mouvement descendant entre l'intérieur et l'extérieur.

Ainsi, l'air vicié chaud pris dans la pièce passe dans la paroi, s'épuise thermiquement par convection le long des parois de la lame d'air.

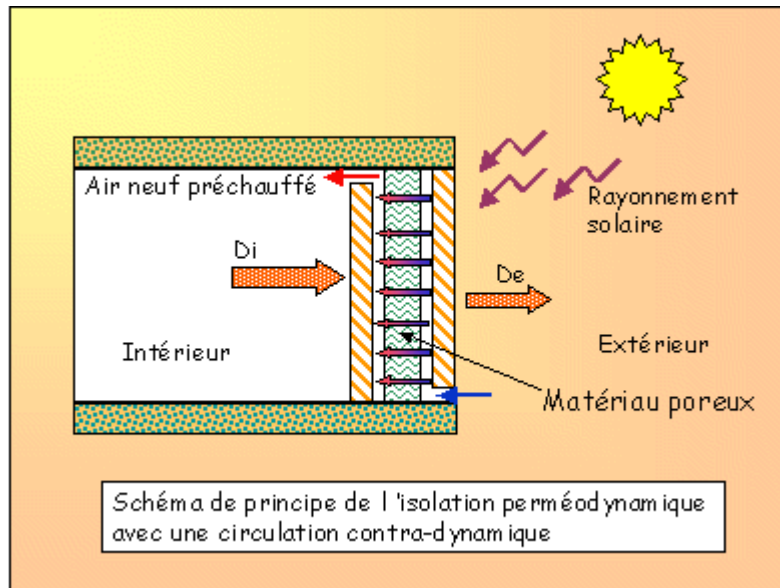
Par rapport à une isolation extérieure avec une lame d'air statique, la température de la lame d'air est ici plus élevée et les déperditions par conduction sont donc plus faibles : le gradient de température entre le local et l'intérieur de la paroi diminue.

Remarque : Si la paroi extérieure valorise le rayonnement solaire par effet de serre, c'est à dire si elle est transparente ou translucide alors on parle d'isolation héliodynamique.

2- L'isolation perméodynamique

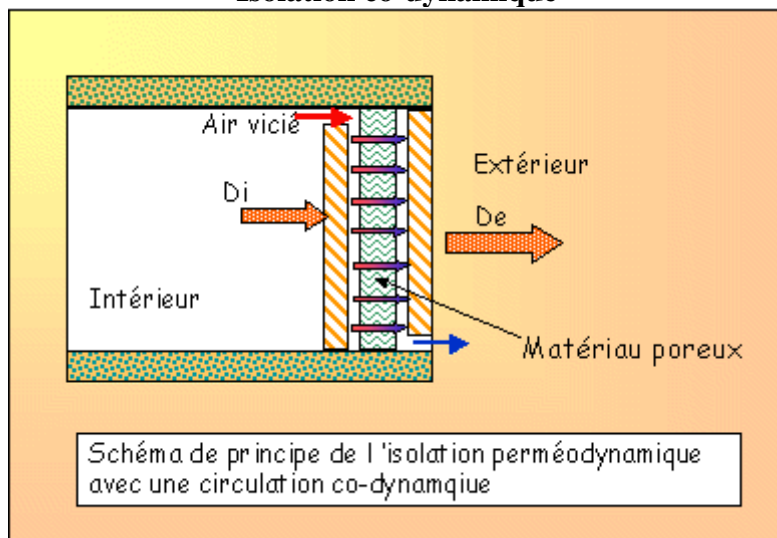
Dans le cas précédent, il pouvait y avoir une ou plusieurs lames d'air. Ici, il y a obligatoirement **deux lames dans lesquelles circulent de l'air et entre lesquelles se trouve un matériau poreux** comme de la laine de verre. L'air circule en circuit ouvert de l'extérieur vers l'intérieur ou inversement et traverse perpendiculairement le matériau poreux.

Isolation contra-dynamique



L'air circule de la zone froide vers la zone chaude. Comme précédemment, captant une part du flux des déperditions par conduction, il se préchauffe avant de rentrer dans le local. Ainsi, comme le montre la figure ci-contre : $De < Di$.

Isolation co-dynamique



Le principe est quasiment équivalent à celui de l'isolation pariétodynamique co-dynamique. L'air chaud, traversant l'isolant poreux, cède de la chaleur dans la paroi et ainsi réduit l'écart de température entre le local et l'intérieur de la paroi.

La résistance thermique est augmentée en diminuant l'écart de température entre le local et l'intérieur de la paroi.

3- L'isolation thermodynamique

Dans ce cas, une isolation perméodynamique est mise en œuvre mais ici, **la circulation d'air se fait en circuit fermé sur l'évaporateur d'une pompe à chaleur air/air ou air/eau**. Ce procédé est intéressant car, grâce au circuit fermé, les performances globales de l'installation

sont augmentées en récupérant de l'énergie sur l'air extrait. Toutefois l'installation d'une pompe à chaleur ne répond pas ici aux critères des systèmes de chauffage basse consommation.

Critères de choix pour l'isolation dynamique:

1. Aspect environnemental

- valorisation du rayonnement solaire,
- récupération d'énergie sur les déperditions,
- nécessité de l'installation d'une VMC.

2. Géographiques et climatiques

Pas de région privilégiée.

3. Types de bâtiments

Systèmes adaptés à tous les types de bâtiments (résidentiel, habitat collectif, immeuble de bureaux, locaux scolaires et hospitalier...),
Possibilité de mettre en œuvre l'isolation paroi-dynamique sur des parois verticales (murs), obliques (rampants) et horizontales (plafond et plancher).

4. Amélioration des conditions de vie

Critères	Effet de l'isolation dynamique
Gains thermiques	Réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage de 15 à 20% par rapport à une isolation statique intérieure.
Avantages économiques	Pour que le coût soit le plus avantageux possible, il est préférable de mettre en œuvre des produits (en particulier des isolants) industrialisés. Les économies réalisées doivent être calculées en tenant compte des gains sur l'isolation acoustique, sur la qualité de l'air. En général, en deux ans, les gains de consommation d'énergie, amortissent l'investissement.
Confort des occupants	Le phénomène de paroi froide disparaît grâce à ce genre d'isolation. les parties solides intérieures sont à une température suffisamment élevée pour que le point de rosée ne soit pas atteint (l'air ne libère pas son humidité).A l'intérieur du bâtiment, l'atmosphère est plus agréable. L'air conserve son degré d'hygrométrie naturel, il est moins sec que dans les bâtiments où l'installation est traditionnelle.
Gains acoustiques	L'air neuf est introduit à partir de la paroi dynamique et non plus directement à travers les bouches auto ou hygro-réglables. La paroi constitue alors un piège à sons qui permet d'obtenir un isolement des parois aux bruits aériens de 40 dBA. Cela contribue à réduire à un niveau acceptable les bruits issus de la circulation routière, de transport par rail et d'aéroports.

Confort d'été	L'inertie des bâtiments est modifiée, les parois emmagasinent de la fraîcheur la nuit pour la restituer la journée. L'inertie créée capte les surchauffes et les restitue au fur et à mesure des besoins. Le confort créé ainsi est similaire à celui des anciennes maisons à forte inertie.
---------------	--

Aspects réglementaires:

- Des systèmes commercialisés sont titulaires d'un avis technique pour la mise en oeuvre,
- une VMC conforme à l'arrêté du 24 mars 1982 relatif à l'aération des logements doit être aussi mise en oeuvre.

Éléments de pré-dimensionnement:

Les paramètres à prendre en compte pour déterminer les performances d'une isolation dynamique sont :

- **la paroi** : la conduction thermique, l'épaisseur des parois solides,
- **la lame d'air** : l'épaisseur, la hauteur de la paroi, le débit d'air,
- **les conditions climatiques et environnementales** : la température d'entrée de l'air, la température ambiante de l'intérieur, les apports solaires, le rayonnement nocturne.

Remarques : pour la détermination du débit d'air dans une isolation perméodynamique, il faut considérer la nature du milieu poreux et ses pertes de charge. En revanche, ni les apports solaires, ni le rayonnement nocturne ne sont à prendre en compte.

L'isolation pariétodynamique ne se comporte pas comme une paroi à lame d'air non ventilée. Elle influence les déperditions par renouvellement d'air. Les règles Th G de la réglementation thermique de 1988 (§ 2.7 Minoration due à la présence d'un échangeur de chaleur) précisent l'atténuation des déperditions (Δd) dans le cas d'un échangeur entre air entrant et paroi :

$$\Delta d = 0,34 \times q \times \eta \quad \text{en W/°C}$$

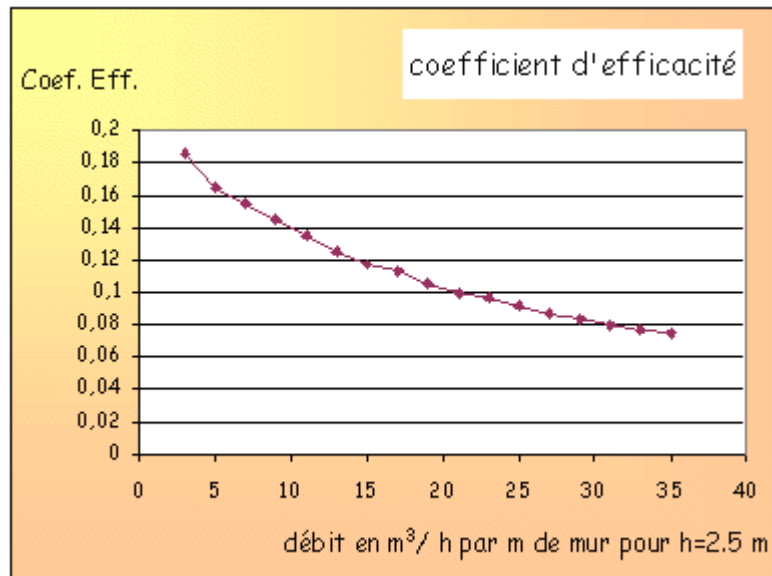
avec :

q : débit d'air entrant, passant dans l'échangeur de chaleur, exprimé en m³/h

n : l'efficacité de l'échangeur de chaleur

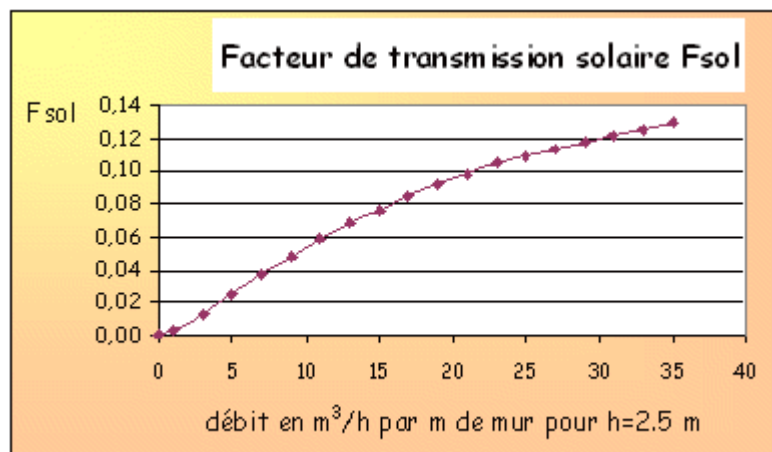
Dans ces règles, le calcul de l'efficacité est réalisé pour une isolation monolame.

Le graphique ci-dessous provient d'une étude du CSTB concernant les isolations dynamiques double lame d'air Thermophonie. Il donne cette efficacité en fonction du débit pour une hauteur de 2,5 m.



L'isolation dynamique intervient de même dans le calcul des besoins de chauffage, comme précisé dans l'annexe 3 §2 « paroi à lame d'air traversée par l'air entrant dans le logement (système pariétodynamique) » des règles Th BV de septembre 1988. Ces règles donnent une formule pour calculer le facteur de transmission solaire F_{ts} dans le cas d'une isolation mono-lame.

Une étude du CSTB donne sur un graphique (ci-dessous) les valeurs de F_{ts} dans le cas d'une isolation bi-lame. Le facteur de transmission solaire est fonction du débit d'air.



Grâce à ces deux coefficients, on tient compte de l'influence d'une isolation pariétodynamique bi-lame sur les déperditions et les besoins de chauffage du bâtiment considéré.

- **Mise en œuvre:**

Chaque système d'isolation pariétodynamique a des spécificités de mise en œuvre propre. Seules les grandes lignes sont rappelées ici. Pour plus de précisions, il est préférable de se référer aux prescriptions de chaque fabricant.

1. Isolation par l'extérieur

Préparation

- s'assurer que les surfaces des façades sont propres. Si nécessaire faire un ragréage,
- réaliser les entrées d'air dans le mur avec par exemple des tubes de PVC de 100 mm de diamètre,

Isolation

- mettre en place une structure afin de faciliter la fixation de l'isolant,
- disposer les plaques d'isolant en partant du bas en réalisant l'étanchéité entre elles afin d'éviter toute fuite d'air,
- penser à la circulation de l'air entre les lames d'air en réalisant des passages,

Peau extérieure

- penser aux réservations pour les bouches d'entrée d'air extérieures. Pour le rez-de-chaussée, elles peuvent être par exemple des gaines de PVC de diamètre de 100 mm, pour les étages elles sont réalisées au niveau du joint horizontal bas sur toute la largeur,
- attention : ne pas oublier de découper au droit de ces bouches la toile de verre pour permettre le déplacement d'air,

Cas particuliers:

Dans le cas d'un volet roulant intérieur ou extérieur, il est préférable de consulter les prescriptions du fabricant. De même, il faut se référer à ces prescriptions pour les angles, les joints de dilatation...

2. Isolation par l'intérieur

Il s'agit de la même mise en œuvre que l'isolation par contre cloison. Il faut se référer aux prescriptions des fabricants. Il faut tout de même au préalable, percer le mur pour les entrées d'air.

De manière générale, que ce soit une isolation dynamique intérieure ou extérieure, il faut prévoir une protection, comme une grille, contre les éventuels insectes qui pourraient boucher la circulation de l'air.

3. Maintenance d'une isolation dynamique

- bonne tenue dans le temps,
- protéger les entrées d'air extérieures contre l'encrassement et les insectes,
- décrasser les grilles d'entrées d'air intérieures,
- maintenance normale de la VMC.

Vitrages

Les fenêtres des bâtiments sont souvent très pénalisantes au niveau du bilan thermique. Le procédé de l'isolation pariéto-dynamique permet au contraire de rendre ces surfaces

actives contre les déperditions. Une telle fenêtre s'intègre parfaitement dans un projet d'architecture bioclimatique. Ces systèmes sont aussi appelés "fenêtres dynamiques" ou "parois vitrées ventilées".

- Fenêtres pariéto-dynamiques
- Vitrages électrochromes
- Aérogeles de silice

Fenêtres pariéto dynamiques:

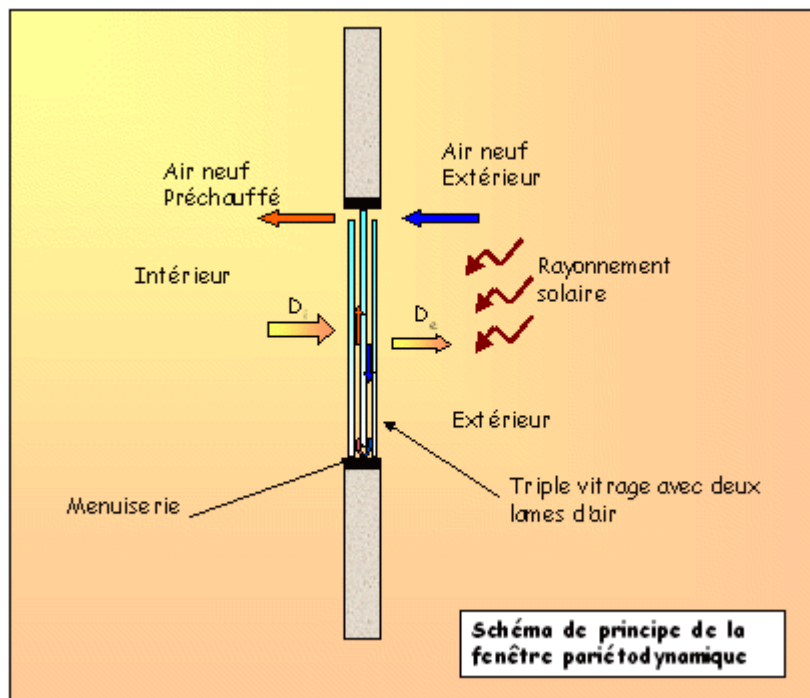
Présentation:

Tout l'intérêt de ces fenêtres repose sur leur menuiserie.

1. Principe

Le principe de fonctionnement est quasiment le même que celui de l'isolation pariétodynamique bi-lame.

L'air extérieur entre par des ouvertures (14x100 mm) situées dans le haut de la menuiserie de la fenêtre. Il circule dans deux lames d'air réalisées grâce un triple vitrage et pénètre dans le local par l'intermédiaire d'une bouche d'entrée d'air auto-réglable (12x100 mm) située en partie haute de la menuiserie, pour ne pas gêner les occupants.



Durant son passage dans les deux lames d'air, l'air se réchauffe car :

- il récupère une part des déperditions thermiques,
- il profite du rayonnement solaire grâce à l'effet de serre dû au vitrage.

Remarques :

La nuit, si un volet roulant est fermé en laissant une ouverture en partie basse, une troisième

lame d'air est créée. Ainsi, la paroi vitrée ventilée peut encore fonctionner correctement ; l'efficacité est améliorée par rapport à un fonctionnement nocturne sans volet.

L'effet de ce dispositif peut aussi être amélioré par l'usage de vitrages peu émissifs. Ce type de fenêtre n'intervient pas seul. Pour contrôler le passage de l'air, l'installation de ces fenêtres est en général associé à une ventilation mécanique contrôlée (VMC).

2. Système de chauffage utilisé

Ce dispositif a notamment été mis au point pour réduire la consommation et la facture énergétiques dans le cas d'un chauffage électrique.

3. Protections solaires

Elles sont indispensables, d'autant plus si le rapport entre la surface totale de vitrages et la surface des murs est supérieur à 10 %.

Il faut surtout les prévoir sur les fenêtres orientées au sud/sud-ouest afin d'éviter les surchauffes estivales.

En été, la température de la lame d'air intérieure est supérieure à celle de la lame d'air extérieure, le sens de circulation de l'air s'inverse alors. Ce phénomène peut être renforcé en générant une légère surpression dans les locaux. Une baisse de 4° C de température est alors possible.

Critères de choix:

1. Aspect environnemental

La mise en œuvre de fenêtres pariétodynamiques permet de réaliser d'importantes économies d'énergie. L'objectif est en général d'obtenir un gain thermique de 60 % par rapport à une même installation sans fenêtre dynamique.

2. Géographiques et climatiques

- Adapté à toutes les régions de France,
- les protections solaires sont impératives, notamment dans le sud de la France,
- dispositif encore efficace avec une exposition peu favorable telle qu'une orientation nord avec un ciel nuageux.

3. Types de bâtiments

- Adapté à tous les bâtiments, notamment l'habitat collectif, en particulier lors de travaux de rénovation,
- menuiseries réalisées en PVC, en aluminium ou en bois,
- permet de s'affranchir partiellement des règles en matière de rapport entre surface vitrée et surface pleine.

4. Amélioration des conditions de vie

Critères	Effet des fenêtres pariétodynamiques
Confort thermique	amélioration de l'isolation du bâtiment, absence de courant d'air frais, limitation de l'effet de paroi froide,

Confort acoustique	isolement du bâtiment contre les bruits routiers, gain acoustique de 33 à 38 dBA,
Qualité de l'air	permet de réguler le débit d'air du système de ventilation, pas d'apparition de condensation sur les fenêtres, les vitrages à l'intérieur sont à une température supérieure à celle des vitrages d'une fenêtre classique, le point de rosée n'est pas atteint, débit d'air suffisamment faible pour ne pas être ressenti par l'occupant.

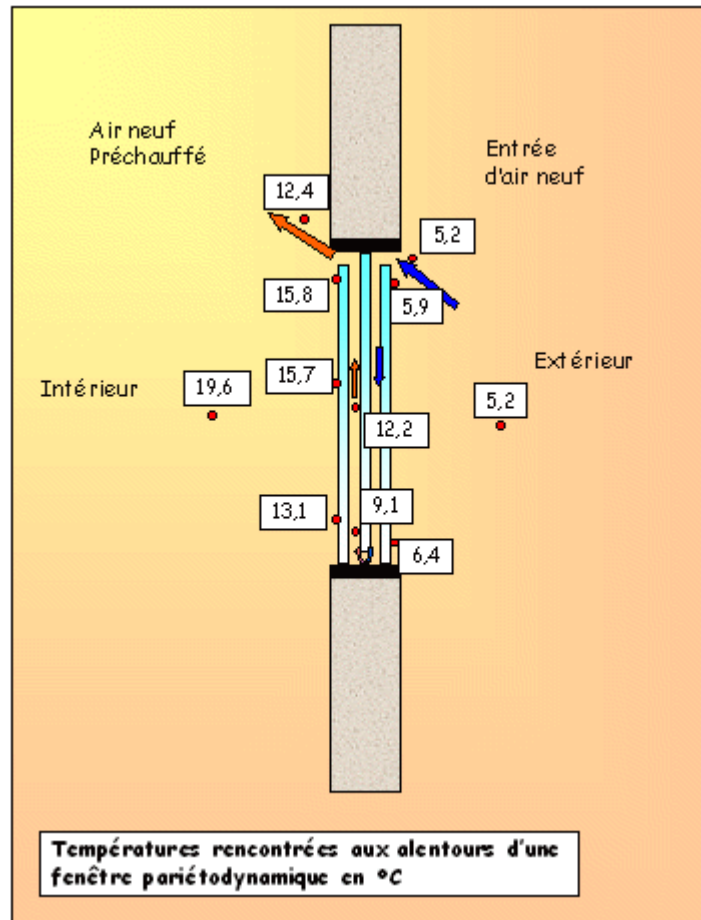
Aspects réglementaires:

Les fenêtres pariéto-dynamiques sont associées en général à une ventilation mécanique contrôlée mais parfois aussi naturelle. Dans tous les cas, il faut respecter les textes réglementaires relatifs au renouvellement d'air.
L'installation des fenêtres doit également assurer l'étanchéité des locaux.

Eléments de pré-dimensionnement:

Une étude a été réalisée dans des logements de la société des HLM du Mans. Les résultats présentés ici sont issus de PROMOCLIM Tome 21 n°4 de juillet/août 1990 à propos du comportement énergétique in situ de fenêtres pariétodynamiques.

Dans l'appartement témoin, équipé de fenêtres pariétodynamiques dans les pièces principales (chambres, séjour), les autres fenêtres étant des doubles vitrages classiques, 60 à 70% du renouvellement d'air total passent par les fenêtres pariétodynamiques. Autrement dit, 60 à 70% du renouvellement d'air est préchauffé avant de pénétrer dans le logement.



Lorsque à l'extérieur l'air est à 1° C, il pénètre dans la pièce à une température toujours supérieure ou égale à 9° C. Le gain minimum est donc de 8°C.

La figure ci-dessus indique les températures mesurées aux alentours d'une fenêtre dynamique. Les mesures ont été réalisées la nuit, sans vent. Des simulations de calcul ont été effectuées et sont conformes aux mesures dans le cas d'un débit de l'ordre de 8 m³/h.

L'expérimentation de ces fenêtres montre que, le jour, les déperditions sur l'air neuf sont réduites de plus de 50 % et la nuit, de plus de 60 %, par rapport à une entrée d'air statique à la température extérieure et pour un débit de 15 m³/h par fenêtre,

Des simulations numériques ont permis d'évaluer l'économie réalisée grâce aux fenêtres pariétodynamiques par rapport à des doubles vitrages. La consommation d'énergie pour le chauffage est réduite de l'ordre de 25 %.

Mise en œuvre, maintenance:

- Mêmes précautions d'étanchéité de montage sur le bâti que pour des menuiseries à double vitrage,
- protéger les entrées d'air durant toute la durée des travaux.
- nettoyage intégral des fenêtres une fois par an. Ce nettoyage peut être fait par les usagers.