



Ventilation mécanique par insufflation dans l'habitat individuel

Rapport final

Martine BIANCHINA

Mars 2017

FORMATION
ÉTUDES & RECHERCHES
TRANSMISSION DU SAVOIR

Document établi par le COSTIC

> Droits de reproduction réservés



COSTIC

Comité Scientifique et Technique
des Industries Climatiques

Créateur d'horizons du Génie Climatique

Domaine de Saint-Paul

Bâtiment 16 • 102, route de Limours

78 471 Saint Rémy lès Chevreuse Cedex

Tél : 01 30 85 20 10 • Fax : 01 30 85 20 38 • E-mail : contact@costic.com

www.costic.com

Ventilation mécanique par insufflation dans l'habitat individuel

RAPPORT FINAL
Version n°2

Mars 2017

Etude réalisée par :

COSTIC

Domaine de Saint Paul
102, route de Limours
78471 Saint Rémy lès Chevreuse Cedex

Martine BIANCHINA

m.bianchina@costic.com

Cédric BEAUMONT

c.beaumont@costic.com

Etude réalisée pour :

ADEME

500 route des Lucioles
Sophia Antipolis
06560 Valbonne

Pierre DEROUBAIX

pierre.deroubaix@ademe.fr

Référence COSTIC : 45090

Référence client : 16MAR001193

Confidentialité : Version diffusable

SOMMAIRE

SOMMAIRE	5
INTRODUCTION.....	7
1. LES DIFFERENTS SYSTEMES DE VENTILATION	8
1.1. MISSIONS ET CONTRAINTES DE LA VENTILATION	8
1.1.1. <i>Le confort et l'hygiène</i>	8
1.1.2. <i>La préservation du bâti</i>	9
1.1.3. <i>Les économies d'énergie</i>	9
1.2. LES DIFFERENTS SYSTEMES DE VENTILATION	9
1.3. LA VENTILATION PAR INSUFFLATION.....	10
1.3.1. <i>Système centralisé ou décentralisé en 2 points</i>	10
1.3.2. <i>Système décentralisé avec insufflation dans toutes les pièces de vie</i>	11
1.3.3. <i>Avantages et inconvénients du système</i>	12
2. ANALYSE DE LA REGLEMENTATION	13
2.1. EN FRANCE	13
2.1.1. <i>Circulaire du 9 août 1978</i>	13
2.1.2. <i>Arrêté du 22 octobre 1969</i>	14
2.1.3. <i>Arrêté du 24 mars 1982 modifié</i>	15
2.1.4. <i>Arrêté du 30 juin 1999</i>	15
2.1.5. <i>Règlement ErP</i>	16
2.1.6. <i>NF DTU 68.3 P1-1-1</i>	16
2.2. EN ANGLETERRE	17
2.3. EN BELGIQUE	19
3. TRANSFERTS D'HUMIDITE DANS LES PAROIS	23
3.1. APPROCHES THEORIQUES	23
3.1.1. <i>La diffusion de vapeur</i>	23
3.1.2. <i>La diffusion de surface</i>	24
3.1.3. <i>La capillarité</i>	25
3.1.4. <i>Transfert d'air</i>	25
3.2. MODELISATION DES TRANSFERTS D'AIR : THESE DE CLEMENT BELLEUDY.....	26
3.2.1. <i>Etude</i>	26
3.2.2. <i>Bilan</i>	30
3.3. CONTROLE DE L'HUMIDITE DANS LES BATIMENTS: ARTICLE DE A. TENWOLDE ET W. ROSE	31
3.3.1. <i>Etude</i>	32
3.3.2. <i>Bilan</i>	36
3.4. REHABILITATION HYGROTHERMIQUE DES PAROIS ANCIENNES: ETUDE HYGROBA	37
3.4.1. <i>Etude</i>	37
3.4.2. <i>Bilan</i>	40
3.5. PERSPECTIVES: L'ETANCHEITE PAR L'EXTERIEUR THESE DE JELLE LANGMANS.....	41
3.5.1. <i>Etude</i>	41
3.5.2. <i>Bilan</i>	43

3.6.	SYNTHESE.....	44
3.6.1.	<i>Bilan général</i>	44
3.6.2.	<i>Limite des études bibliographiques</i>	45
4.	ETAT DE L'OFFRE.....	46
4.1.	SYSTEMES CENTRALISES EN 1 POINT.....	46
4.1.1.	<i>Murprotec</i>	46
4.1.2.	<i>Unelvent</i>	47
4.1.3.	<i>Envirovent</i>	48
4.1.4.	<i>Eoletec</i>	49
4.1.5.	<i>Ventilairsec</i>	50
4.1.6.	<i>Nuaire</i>	51
4.2.	SYSTEMES DECENTRALISES EN 2 POINTS.....	54
4.2.1.	<i>Unelvent</i>	54
4.2.2.	<i>Envirovent</i>	55
4.2.3.	<i>Ventilairsec</i>	55
4.3.	SYSTEME DECENTRALISE AVEC INSUFFLATION DANS TOUTES LES PIECES DE VIE	55
4.4.	SYNTHESE.....	58
4.4.1.	<i>Les configurations</i>	58
4.4.2.	<i>Le prix</i>	58
4.4.3.	<i>Les caractéristiques techniques produits</i>	59
4.4.4.	<i>La conformité réglementaire</i>	59
4.4.5.	<i>Les interrogations sur le système</i>	61
5.	RETOUR D'EXPERIENCE.....	62
5.1.	ETANCHEITE A L'AIR DANS LAS BATIMENTS DE OLIVIER SIEDLER	62
5.2.	REPLACEMENT D'UNE VI PAR UNE VMC HYGRO B	64
5.3.	DES REGLES MAL DEFINIES EN VI	64
	CONCLUSION.....	66
	BIBLIOGRAPHIE - WEBOGRAPHIE.....	67
	ANNEXES.....	69

INTRODUCTION

Le renouvellement de l'air intérieur des logements est indispensable pour assurer un taux d'oxygène suffisant aux occupants. Il est également nécessaire d'évacuer les différents polluants générés par les matériaux, les activités humaines et le métabolisme. En particulier, l'atmosphère intérieure d'un logement est chargée d'humidité par la respiration, la sudation, la cuisine, la toilette, etc.

Si cette humidité n'est pas évacuée, elle peut atteindre des taux inconfortables pour les êtres humains et favoriser l'apparition de moisissures et de bactéries. Dans certains cas, le pourrissement d'éléments de structure est à craindre.

Historiquement, la ventilation se faisait naturellement par les défauts d'étanchéité, l'ouverture des fenêtres et les conduits de cheminée. De nos jours, le renforcement des exigences vis-à-vis de l'étanchéité à l'air rendent la mise en place d'un système de ventilation indispensable pour éviter le phénomène de confinement.

Différentes techniques de ventilation existent en fonction de la mécanisation ou non des terminaux d'amenée et de sortie d'air.

Le sujet de cette étude concerne la Ventilation mécanique par Insufflation (l'acronyme « VI » sera utilisé dans ce rapport). La Ventilation Mécanique par Insufflation utilise le principe inverse de la VMC par extraction. Il s'agit d'introduire l'air neuf mécaniquement et d'évacuer naturellement l'air vicié en imposant une légère surpression dans l'habitat. Actuellement, la VI est principalement installée en réhabilitation.

Les Espaces Info Energies sont régulièrement sollicités par des particuliers sur ce type de solutions.

Au cours de ces dernières années, plusieurs projets ont été réalisés pour étudier la VI. Cependant, les retours d'expérience sont encore peu nombreux. C'est pourquoi l'ADEME a souhaité engager la présente étude dont un des objectifs est de contribuer à la rédaction d'un « avis de l'ADEME » consacré à la ventilation par insufflation.

La présente étude a pour objectif de faire un point précis sur les solutions de ventilation par insufflation, leurs avantages et limites, leur domaine d'application.

1. Les différents systèmes de ventilation

1.1. Missions et contraintes de la ventilation

Le système de ventilation a pour rôle d'apporter des conditions d'ambiance intérieure permettant d'assurer le confort et la santé des occupants tout en préservant le bâtiment.

Telle est la définition que l'on peut généralement trouver dans des ouvrages spécialisés pour décrire la ventilation dans l'habitat.

On distingue les missions suivantes pour la ventilation :

- Apporter l'air hygiénique nécessaire aux occupants,
- Evacuer les odeurs et les polluants accumulés par l'activité humaine,
- Eliminer l'excès d'humidité.

Ces missions sont à compléter par des contraintes réglementaires :

- Limiter les consommations énergétiques,
- Eviter la propagation du bruit,
- Limiter la propagation du feu d'un appartement vers un autre appartement.

D'autres contraintes plus générales viennent s'ajouter, comme :

- s'adapter à l'architecture et à l'usage des bâtiments et des locaux, susceptibles d'être modifiés dans le temps,
- ne pas coûter trop cher (matériel, mise en œuvre, maintenance),
- ne pas être trop difficile à utiliser,
- avoir des performances durables,

On peut classer ces points en trois catégories : la première concernant l'hygiène et le confort des occupants, la deuxième orientée sur la préservation du bâtiment et la dernière sur les économies d'énergie.

1.1.1. Le confort et l'hygiène

De la simple présence humaine aux activités domestiques en passant par l'utilisation de certains produits et matériaux, tout est source de pollution au sein d'un local.

Le confort des occupants est aussi dépendant de la vitesse de l'air circulant dans les pièces. Il est important que le renouvellement de l'air se fasse sans courant d'air. Le débit entrant dans le logement doit donc être proche de celui extrait afin que le logement reste en légère dépression.

Enfin le bruit engendré par les systèmes de ventilation doit être faible. Ce bruit est créé d'une part par le ou les ventilateurs, et d'autre part, par l'air circulant dans les réseaux de gaines. Ce critère entre donc en compte dans le choix des extracteurs et des diamètres des conduits installés.

1.1.2. La préservation du bâti

Du point de vue de la préservation du bâtiment, la ventilation permet de « réguler » l'humidité dans les locaux. On estime que l'humidité relative de l'air ramenée à la température intérieure de la paroi doit rester, en moyenne, inférieure à 75% pour éviter le développement de moisissures et réduire au minimum celui des acariens.

Pour le confort des occupants, il est indispensable de maintenir une humidité relative minimum de 30%, pour éviter les effets désagréables de dessèchement des muqueuses nasales et des lèvres. L'humidité est donc une des composantes majeures dans la caractérisation de la notion de confort.

1.1.3. Les économies d'énergie

Dans le contexte énergétique, la ventilation prend une place de plus en plus importante. En effet, le fait qu'elle soit d'un côté indispensable au confort et de l'autre énergivore, nécessite une réglementation visant d'une part à garantir un confort et une hygiène minimum et de l'autre une consommation maximale.

Les économies d'énergie à réaliser visent les consommations électriques du ventilateur et les consommations liées aux déperditions.

1.2. Les différents systèmes de ventilation

La ventilation des logements est classifiée selon 4 types de systèmes en fonction de la mécanisation ou non des terminaux d'amenée et de sortie d'air.

Type de ventilation	Amenées d'air	Sorties d'air	Description
Naturelle	Passives	Passives	Les débits d'air extraits et insufflés assurés par l'effet du tirage thermique et du vent ne sont pas maîtrisés.
Simple flux extraction	Passives	Mécaniques	Les débits d'air extraits sont maîtrisés. Le balayage de l'air s'effectue des pièces de vie vers les pièces de service.
Simple flux insufflation	Mécaniques	Passives	Les débits d'air insufflés sont maîtrisés.
Double flux	Mécaniques	Mécaniques	Les débits de soufflage et d'extraction sont maîtrisés, l'air neuf est filtré. Un échangeur de chaleur entre les deux flux permet la récupération d'énergie.

Figure 1 : Différents systèmes de ventilation

1.3. La ventilation par insufflation

La ventilation mécanique par insufflation permet le renouvellement de l'air ambiant en agissant, non pas sur l'extraction comme le fait la VMC simple flux, mais sur l'introduction de l'air neuf dans le logement.

La ventilation par insufflation suppose la mise en place d'un réseau de conduits de distribution raccordé au ventilateur qui distribue l'air dans le bâtiment.

La VI met le bâtiment traité en surpression, au contraire de la ventilation par extraction qui met le bâtiment en légère dépression. On estime généralement la différence de pression générée entre l'intérieur de l'habitation et l'ambiance extérieure à quelques pascals permettant à l'air de circuler entre les différentes pièces du logement.

L'air s'évacue ensuite par extraction naturelle par tous les orifices présents. Cela peut se faire grâce à des orifices d'extraction placés dans les pièces humides ou sur les menuiseries dans les pièces de vie.

Deux systèmes principaux se distinguent :

- Les systèmes centralisés,
- Les systèmes décentralisés.

1.3.1. Système centralisé ou décentralisé en 2 points

C'est la solution la plus courante et la plus simple à mettre en place dans l'habitat existant.

Le principe du système est représenté sur le schéma ci-dessous.

- Une prise d'air neuf située soit en toiture soit en façade, soit dans les combles permet d'introduire l'air dans le logement,
- L'air est ensuite envoyé dans le caisson de traitement d'air. Il peut être traité (filtration, chauffage) avant d'être insufflé en un ou deux points au centre de la maison,
- L'air vicié est évacué via les terminaux déjà en place : sorties d'air ou fenêtres dans les pièces techniques et/ou entrées d'air dans les pièces principales.

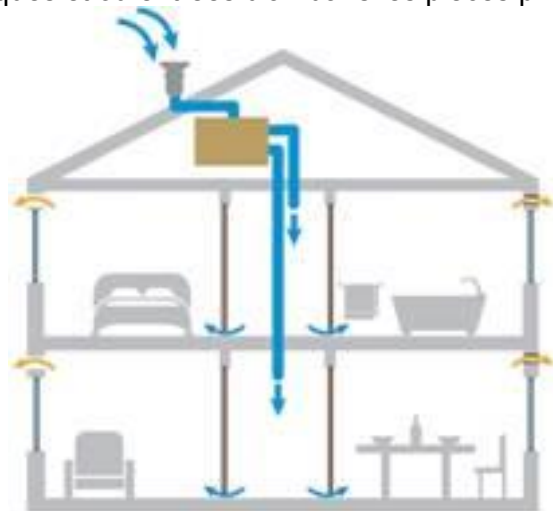


Figure 2 : Exemple de système de VI décentralisé en 2 points avec prise d'air à l'extérieur

Notons que dans le cas d'une maison T2, le système décentralisé en 2 points permettrait d'insuffler de l'air dans toutes les pièces de vie (séjour et chambre).

1.3.2. Système décentralisé avec insufflation dans toutes les pièces de vie

Cette solution nécessite la mise en place d'un réseau de soufflage.

Le principe du système est représenté sur le schéma ci-dessous.

- Une prise d'air neuf située soit en toiture soit en façade, éloignée autant que possible de sources de pollution permet d'introduire l'air dans le logement,
- L'air est ensuite envoyé dans le caisson de traitement d'air. Il peut être traité (filtration, chauffage) avant d'être insufflé via un réseau de soufflage dans toutes les pièces principales du logement,
- L'air vicié est évacué via les terminaux déjà en place : sorties d'air ou fenêtres dans les pièces techniques.

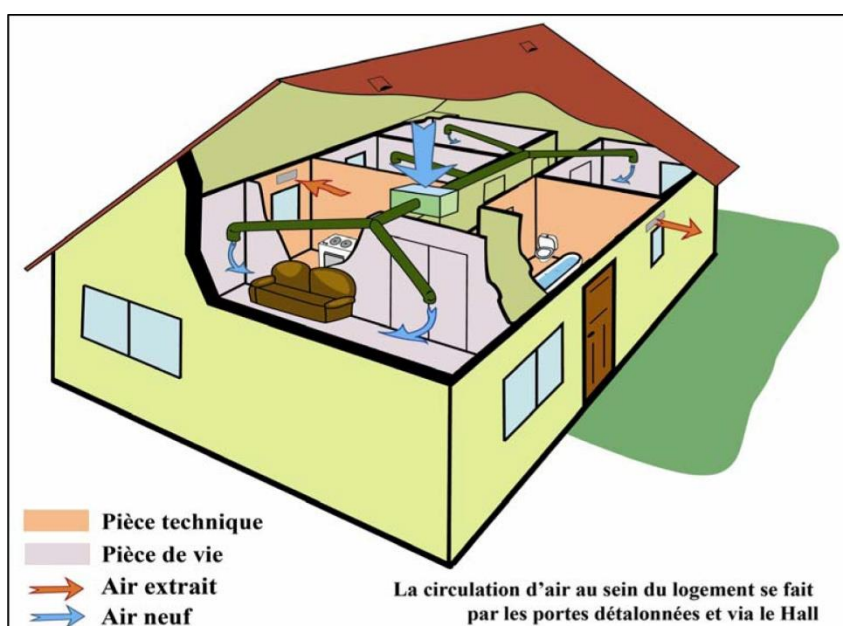


Figure 3 : Exemple de système de VI décentralisée

Avantages

- Un avantage important de la VI est la compacité du système et la simplicité de sa mise en œuvre, spécifiquement dans sa configuration dite centralisée. Dans ce cas de figure, un nombre très restreint de conduits est à mettre en place. Cette spécificité rend la VI particulièrement intéressante en rénovation.
En revanche, cet avantage devient moindre quand un réseau de soufflage est installé comme dans la solution décentralisée.
- Le principe de la VI reposant sur le contrôle de l'amenée d'air neuf, il rend possible son traitement (chauffage et filtration) de l'air neuf. On peut ainsi s'assurer de l'amenée d'air de qualité, ce qui peut s'avérer intéressant quand le public du bâtiment est particulièrement fragile.
- La mise en surpression du logement a des conséquences positives dans la lutte contre le radon et l'amélioration de la combustion des appareils à combustion.
- La solution décentralisée, via des conduits dédiés permet de supprimer les sorties d'air en façade, ce qui présente un avantage en zone bruyante.

Inconvénients

En contrepartie de ces avantages, la VI présente un certain nombre d'inconvénients.

Le premier est le manque d'études et de recul pour confirmer les qualités avancées ci-dessus : comme le système est très peu développé, il est difficile de savoir si les objectifs sont effectivement atteints.

Une mauvaise connaissance générale du système ne permet pas aujourd'hui de déterminer clairement si des pathologies spécifiques se développent à cause de la VI.

En particulier, on peut craindre que la surpression exacerbe le phénomène d'exfiltration d'air quand l'enveloppe du bâtiment présente des fuites d'air. L'air humide poussé vers l'extérieur par la surpression risque de se condenser à l'intérieur des parois, provoquant des problèmes allant jusqu'à la pourriture des matériaux de construction.

Nous proposons de développer cette problématique dans le chapitre 3, par le biais d'études bibliographiques.

2. Analyse de la réglementation

2.1. En France

Dans ce chapitre nous traiterons des différentes réglementations et normes pouvant s'appliquer la Ventilation par Insufflation.

2.1.1. Circulaire du 9 août 1978

La circulaire du 9 août 1978 est relative à la révision du Règlement Sanitaire Départemental type.

Elle traite dans son titre II des locaux d'habitation.

Article 23.1: « *Tout ce qui peut être source d'humidité et de condensation excessive doit être, en particulier, évité. **Le renouvellement de l'air doit être assuré** et les orifices de ventilation non obturés.* »

Article 24: « *Quand de l'air est distribué dans les locaux occupés, **il doit être prélevé en un point présentant le maximum de garantie quant à sa pureté.** L'air vicié doit être évacué directement à l'extérieur ou par les systèmes d'évacuation d'air vicié dont sont munies les pièces de service (cuisine, salle de bains, wc).*

Le rejet de l'air vicié ne doit pas constituer une gêne pour le voisinage. La ventilation des logements dans des bâtiments existants doit assurer un renouvellement efficace de l'atmosphère sans créer de courant d'air gênant. »

Article 40.1 : « *Les pièces principales et les chambres isolées doivent être munies d'ouvertures donnant à l'air libre et présentant une section ouvrante permettant une aération satisfaisante.*

Les pièces de service (cuisine, salles d'eau et cabinets d'aisances), lorsqu'elles sont ventilées séparément, doivent comporter les aménagements suivants en fonction de leur destination :

a) Pièce de service possédant un ouvrant donnant sur l'extérieur : ces pièces doivent être équipées d'un orifice d'évacuation d'air vicié en partie haute. En sus, les cuisines doivent posséder une amenée d'air frais en partie basse.

b) Pièce de service ne possédant pas d'ouvrant donnant sur l'extérieur : ces pièces doivent être munies d'une amenée d'air frais, soit par gaine spécifique, soit par l'intermédiaire d'une pièce possédant une prise d'air sur l'extérieur. L'évacuation de l'air vicié doit s'effectuer en partie haute, soit par gaine verticale, soit par gaine horizontale à extraction mécanique conformes à la réglementation en vigueur (1).

Lorsque ces pièces de service sont ventilées par un dispositif commun à l'ensemble du logement, ce dispositif doit être réalisé conformément à la réglementation en vigueur.

(1) Arrêté du 22 octobre 1969 relatif à l'aération des logements (Journal officiel du 30 octobre 1969). » (24/03/82 NDLR)

La VI prenant l'air neuf dans les combles pourrait ne pas satisfaire l'article 24 de la circulaire du 9 août 1978 qui demande un prélèvement en un point présentant le maximum de garantie quant à la pureté de l'air.

2.1.2. Arrêté du 22 octobre 1969

Article 1 : «L'aération des logements doit pouvoir être générale et permanente au moins pendant la période où la température oblige à maintenir les fenêtres fermées et la circulation de l'air doit pouvoir se faire principalement des pièces principales vers les pièces de service.

- En conséquence, le système d'aération doit comporter :

Des entrées d'air dans toutes les pièces principales, réalisées soit par des orifices en façade, soit par des conduits horizontaux ou verticaux, soit par un dispositif mécanique ;

Des évacuations d'air dans les pièces de service, au moins dans les cuisines, salles de bains et de douches, cabinets d'aisance et séchoirs intérieurs lorsque ceux-ci fonctionnent par ventilation, réalisées soit par des conduits verticaux à tirage naturel, soit par un dispositif mécanique pouvant assurer un renouvellement d'air d'environ une fois le volume des pièces principales par heure dans les conditions climatologiques normales d'hiver ;

Des passages de section suffisante assurant la libre circulation de l'air des pièces principales vers les pièces de service.

Toutefois pour les immeubles collectifs situés dans certaines zones climatiques et pour les habitations individuelles, une exception aux dispositions ci-dessus peut être faite dans les conditions définies aux articles 6 et 7 ci-après. »

Article 7 : «Dans les habitations individuelles isolées, jumelées ou en bande, on peut ventiler séparément chaque pièce et l'obligation d'une aération permanente ne subsiste que pour la cuisine.

En conséquence la construction et les équipements satisferont soit aux dispositions définies à l'article 1er ci-dessus, soit aux dispositions réduites suivantes :

La cuisine comporte une évacuation d'air réalisée par un conduit vertical à tirage naturel ou par un dispositif mécanique, l'entrée d'air correspondante étant située dans la cuisine ou dans une pièce principale ou un dégagement voisins et communicants avec la cuisine.

Les autres pièces de service comportent : soit une évacuation d'air réalisée par un conduit vertical à tirage naturel ou par un dispositif mécanique, l'entrée d'air correspondante étant située dans la pièce considérée ou dans une pièce principale ou un dégagement voisins et communicants avec la pièce considérée ; Soit un ouvrant donnant sur l'extérieur ou sur une gaine de large section ouverte sur l'extérieur en partie haute. » :

La VI centralisée ne répond pas à l'article 1 du 22/10/69, demandant des entrées d'air dans les pièces principales.

La VI décentralisée avec insufflation dans toutes les pièces de vie, associée à une évacuation d'air en cuisine est conforme à l'arrêté du 22/10/69.

2.1.3. Arrêté du 24 mars 1982 modifié

Article 1 : «L'aération des logements doit pouvoir être générale et permanente au moins pendant la période où la température extérieure oblige à maintenir les fenêtres fermées. [...]. La circulation de l'air doit pouvoir se faire principalement par **entrée d'air dans les pièces principales et sortie dans les pièces de service.**

L'aération permanente peut être limitée à certaines pièces dans les cas et suivant les conditions définis au chapitre II. »

Article 6 : «Pour les maisons individuelles isolées, jumelées ou en bande, situées dans les zones climatiques **H 2 et H 3** définies en annexe de l'arrêté du 24 mars 1982 relatif aux équipements et caractéristiques thermiques des bâtiments d'habitation, la construction et les équipements peuvent satisfaire aux dispositions réduites suivantes :

a) La cuisine comporte une sortie d'air réalisée par un conduit vertical à tirage naturel ou par un dispositif mécanique ;

b) Les autres pièces de service comportent :

- soit une sortie d'air réalisée par un conduit vertical à tirage naturel ou par un dispositif mécanique ;

- soit une ouverture extérieure obturable ;

c) **Chaque pièce principale possède une entrée d'air** réalisée par un orifice en façade, un conduit à fonctionnement naturel ou un dispositif mécanique. »

La VI centralisée ne répond pas à l'article 1 du 24/03/82, demandant des entrées d'air dans les pièces principales.

La VI décentralisée avec insufflation dans toutes les pièces de vie, associée à une évacuation d'air en cuisine est conforme à l'arrêté du 24/03/82 en zone H2 et H3.

2.1.4. Arrêté du 30 juin 1999

Article 6 : « Le niveau de pression acoustique normalisé, LnAT, du bruit engendré par une installation de ventilation mécanique en position de débit minimal ne doit pas dépasser **30 dB(A) dans les pièces principales et 35 dB(A) dans les cuisines** de chaque logement.»

La position centrale de la bouche d'insufflation en VI centralisée permet généralement de répondre aux exigences de l'article 6 du 30/06/99.

La conformité acoustique de la VI centralisée doit être réalisée.

2.1.5. Règlement ErP

Depuis le 1^{er} janvier 2016, les directives Ecoconception et Etiquetage énergétique sont obligatoires.

- La directive 2009/125/CE modifiée, dite « ErP » (Energy related product) ou « Eco-design » ou « Ecoconception » date du 21 octobre 2011. Elle conditionne le marquage CE des produits à des exigences d'ecoconception pour une efficacité énergétique meilleure avec un impact environnemental plus faible ;
- La directive étiquetage énergétique 2010/30/UE modifiée, dite « labelling » ou « Etiquetage » date du 19 mai 2010. Elle fixe les exigences en ce qui concerne l'information et l'affichage des performances énergétiques des produits.

Ces deux directives visent à améliorer l'efficacité énergétique des appareils commercialisés dans l'Union Européenne afin de contribuer à la protection de l'environnement.

Les unités de ventilation ayant une puissance absorbée inférieure à 30 W par flux d'air ne sont tenues qu'à une exigence d'information vis-à-vis du règlement n°1253/2014.
Certains ventilateurs d'insufflation font partie de cette catégorie.

Le règlement ErP ne prend en compte que la partie ventilation, pas la partie chauffage.

2.1.6. NF DTU 68.3 P1-1-1

Le NF DTU -3 ne s'applique pas. Néanmoins afin de répondre à l'article 24 de la circulaire du 9 août 1978, le chapitre 6.5.1 limite l'emplacement du rejet et des entrées d'air neuf.

6.5.1 [...] « Le rejet d'air extrait ainsi que la prise d'air neuf ne sont admis ni dans les combles ni dans les garages ni dans les vides sanitaires.

NOTE Cette disposition vise d'une part à éviter la réintroduction de l'air vicié dans les locaux et d'autre part à garantir la qualité de l'air neuf. »

2.2. En Angleterre

La réglementation est basée sur l'application de 20 « approved documents ». Il s'agit de guides pratiques approuvés par le secrétaire d'état et permettant de respecter la réglementation en vigueur ainsi que le code de la construction. Ces documents sont d'application obligatoire

Chacun d'entre eux est dédié à un thème.

La ventilation est traitée dans le document F. La dernière édition date de 2010 et remplace celle de 2006. Elle prend en compte les nouvelles exigences de la réglementation thermique 2010. Le document « Approved document » F dédié à la ventilation s'applique aux constructions neuves et à la rénovation.

Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour respecter les exigences des Approved documents :

- respecter les valeurs de débits présentées ci-après ;
- suivre la procédure de dimensionnement détaillée pour différentes configurations retenues (selon le système de ventilation sélectionné, la présence ou non de sous-sol...);
- **dimensionner soi-même le système.** Il faut alors prouver au BCB (Building Control Body) que le système respecte la réglementation thermique, notamment en ce qui concerne la qualité d'air et les différents niveaux de polluants à ne pas dépasser.

Les débits à respecter diffèrent selon le fonctionnement continu ou intermittent du système de ventilation mis en œuvre.

Ces débits sont définis pour le neuf. En rénovation, selon le système mis en œuvre, les débits décrits ci-après sont également à appliquer.

Pièces	Extraction intermittente	Extraction continue	
		Débit minimal en vitesse max.	Débit minimal en vitesse min.
Cuisine	30 l/s lorsque l'extraction est proche de la hotte (108 m ³ /h) sinon 60 l/s (216 m ³ /h)	13 l/s (47 m ³ /h)	Le débit total d'air extrait doit être au moins égal au débit de ventilation total pour l'ensemble des pièces habitables
Salle de bains	15 l/s (54 m ³ /h)	8 l/s (29 m ³ /h)	
Sanitaires	6 l/s (22 m ³ /h)	6 l/s (22 m ³ /h)	

	Nombre de chambres				
	1	2	3	4	5
Débit de ventilation total (en l/s) pour l'ensemble des pièces habitables ^{1,2}	13 (47 m ³ /h)	17 (61 m ³ /h)	21 (76 m ³ /h)	25 (90 m ³ /h)	29 (105 m ³ /h)

1 : En plus de ces exigences, le débit de ventilation minimal ne devrait pas être inférieur à 0,3 l/s par m² de surface de plancher (ceci inclut tous les étages).

2 : Ces estimations se basent sur une occupation par 2 personnes de la chambre principale et 1 personne pour les autres chambres. Ces valeurs sont données par défaut. Dans le cas où l'occupation des autres chambres est plus importante, il convient d'ajouter 4l/s par occupant.

Figure 4 : Débits de ventilation issus des 'approved documents'

Sur le marché du neuf

Quatre types de systèmes satisfont les normes de performances en terme de perméabilité du bâtiment :

- Système 1 : « intermittent extract fans with background ventilator » : l'air extérieur entre dans l'habitat par des grilles, des ventilateurs mécaniques (déclenchés à la demande) extraient l'air vicié des pièces humides.
- Système 2 : « passive stack ventilation » : l'air extérieur entre dans l'habitat par des grilles d'aération, l'air vicié est extrait des pièces humides par ventilation naturelle via un conduit vertical.
- Système 3 : « mechanical extract ventilation » : ventilation mécanique continue, les extracteurs d'air fonctionnent en continue ; systèmes centralisés ou décentralisés.
- Système 4 : « mechanical ventilation with heat recovery » : ventilation mécanique centralisée avec récupération de chaleur de l'air vicié, pour préchauffer l'air entrant dans l'habitat à l'aide d'un échangeur de chaleur.

D'autres systèmes de ventilation peuvent être autorisés s'ils bénéficient d'une accréditation du BBA (British Board of Agreement), **c'est le cas du système de ventilation par insufflation (Positive Input Ventilation).**



Figure 5 : Logo d'agrément du BBA

Sur le marché de la rénovation

Sur le marché de la rénovation énergétique du parc résidentiel, il n'existe pas d'obligation relative au remplacement du système de ventilation, mais de simples « **recommandations** ». La mesure incitative est le Green Deal. Lancé en janvier 2013, le Green Deal repose sur un cadre financier de type tiers investisseur, qui permet de rembourser l'investissement de départ par les économies d'énergie engendrées, sans que le remboursement excède ces dernières (c'est la « Golden Rule » ou Règle d'Or). Ce tiers investissement est proposé par le « Green Deal provider » et les remboursements sont prélevés par le fournisseur d'Energie pour rembourser le tiers investisseur.

Cette mesure est centrée sur l'économie d'énergie et ne concerne pas les systèmes de ventilation ; la Golden Rule se contente de recommander « de ne pas oublier d'optimiser la ventilation ».

Au Royaume-Uni et en Irlande, de nombreuses maisons ont été isolées ces dernières années dans le cadre de mesures d'économie d'énergie, mais la ventilation n'a pas été prise en compte ; ces maisons sont aujourd'hui confrontées à des problèmes de moisissures et d'humidité.

En Angleterre, la ventilation par insufflation est autorisée dans le neuf, si le système est approuvé par le Building Control Body .

En rénovation, aucune obligation ne porte sur le remplacement du système de ventilation.

2.3. En Belgique

La norme NBN D50-001 définit les exigences relatives au renouvellement d'air dans les bâtiments d'habitations.

Elle définit 4 modes de ventilation de base possibles dans les immeubles d'hébergement. Ils sont tous basés sur : une amenée d'air frais dans les locaux dits "secs" (bureaux, salle de séjour, chambre, ...), un transfert de cet air vers les locaux dits "humides" (sanitaires, cuisine, salle de bain, ...) et une évacuation de l'air vicié et humides dans ces derniers locaux.

Sens de l'air	Pièces	Débits (m³/h)		
		Débits nominal	Débit mini	Limite du débit
Amenée	Living	3.6 m³/hm²	75	150
	Chambre, bureau		25	72
Transfert	Extraction de la pièce	Living, chambre, bureau	25	
	Amenée vers la pièce	Salle de bains, WC	25	
		cuisine	50	
extraction	Cuisine, SDB, WC	3.6 m³/hm²	50	75
	Cuisine ouverte	-	75	-
	WC	-	25	-

Figure 6 : Débits d'air requis selon la norme NBN D 50-001

La norme NBN D 50-001 traite de tous les types de ventilation :

- Ventilation naturelle : Système A,
- Ventilation par insufflation Système B,
- Ventilation par extraction : Système C,
- Ventilation double flux : Système D.

Depuis le 1er mai 2016, des exigences sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) s'appliquent aux systèmes et notamment à la ventilation. Le CSTC a établi des infofiches consacrées à la ventilation en expliquant les principes de base et en clarifiant les rôles des différents intervenants dans l'installation d'un système de ventilation.

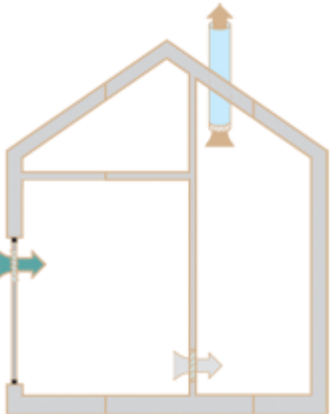
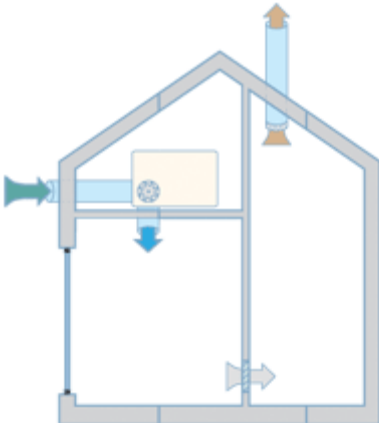
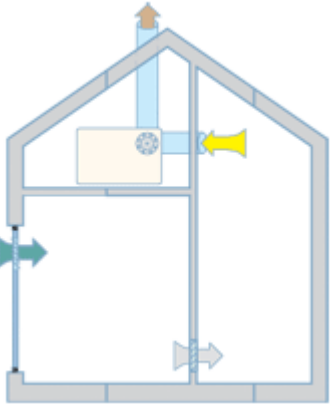
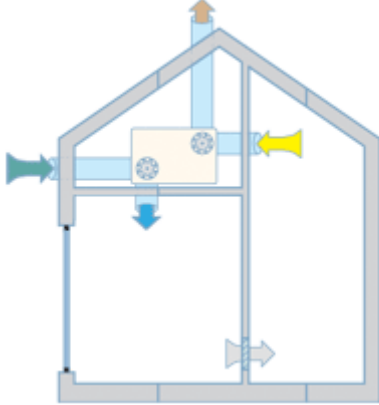
		Alimentation	
		Naturelle	Mécanique
Evacuation	Naturelle	Ventilation naturelle Système A 	Ventilation mécanique simple flux par insufflation Système B 
	Mécanique	Ventilation mécanique simple flux par extraction Système C 	Ventilation mécanique double flux Système D 

Figure 7 : Les 4 systèmes de ventilation en Belgique (Infofiche CSTC)

Nous nous sommes intéressés aux prises d'air neuf.

La seule exigence PEB concerne les prises d'air qui doivent être placées de telle manière à prélever de l'air extérieur.

Néanmoins, 'en dérogation à cette règle, et dans le résidentiel uniquement, la prise d'air pour les systèmes B et D peut être prévue de telle manière que l'air est aspiré d'un espace adjacent non chauffé (EANC). Dans ce cas, il faut prévoir, entre cet espace adjacent et l'environnement extérieur, une (ou plusieurs) ouverture(s) d'alimentation naturelle réalisant le débit total de conception minium exigé pour une différence de pression de 10 Pa'.

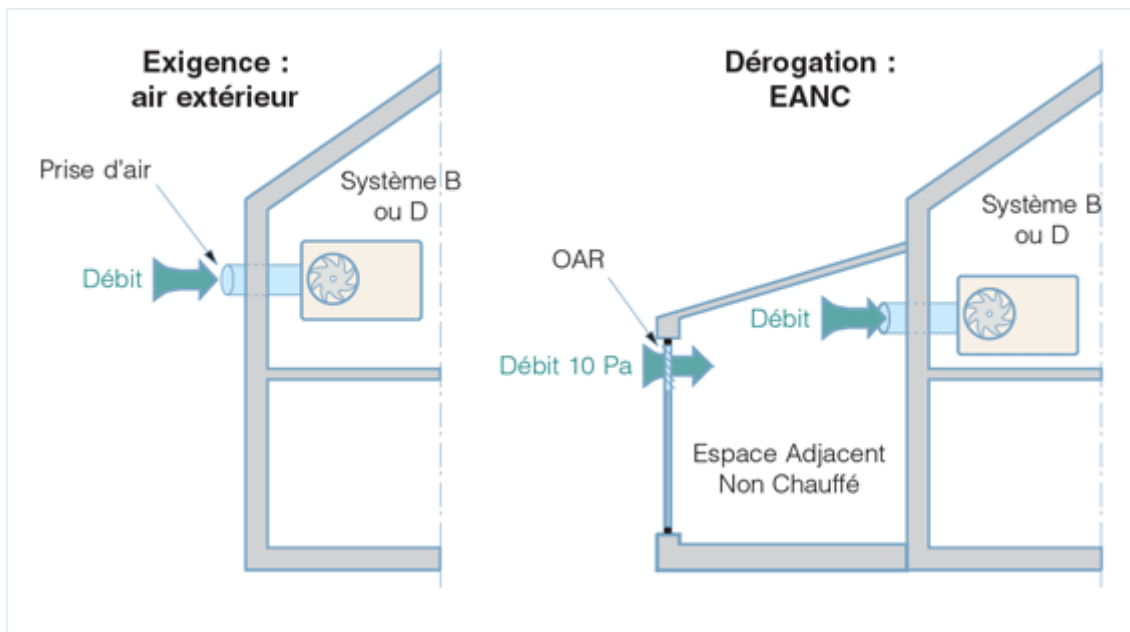


Figure 8 : Prise d'air des systèmes B et D (Infofiche CSTC)

Néanmoins, malgré ces dispositions réglementaires, aucun fabricant de ventilation par insufflation n'a été trouvé en Belgique.

3. Transferts d'humidité dans les parois

3.1. Approches théoriques

Un mur est une interface (parfois complexe) entre deux ambiances caractérisées par une pression absolue, une température et une humidité (relative et absolue). Différents mécanismes ont alors lieu pour transférer la chaleur et l'humidité afin d'atteindre un équilibre :

	Mécanismes	Cause, force motrice
Transfert de chaleur	conduction de chaleur	différence de température
	Radiation	différence de température
	convection (flux d'air)	pression totale, différence de densité
	flux enthalpique	diffusion de vapeur avec changement d'état et flux de transport liquide dans des champs de température différents
Transfert de vapeur	diffusion des gaz	pression de vapeur (température, pression totale)
	transport moléculaire (effusion)	pression de vapeur
	diffusion en solution	pression de vapeur
	convection (fuite d'air)	gradient de pression totale
Transfert de liquide	transport capillaire	succion capillaire
	diffusion de surface	humidité relative
	Drainage	gravité
	flux hydraulique	pression différentielle totale
	Electrokinesis	champ électrique
	Osmose	concentration en ions

Figure 9 : Mécanismes de transferts de chaleur et d'humidité. Source : passivhaus.fr

Pour étudier précisément les flux d'humidité (vapeur et liquide), il faudrait prendre en compte une dizaine mécanismes ! En réalité, certains d'entre eux ne jouent pas un rôle déterminant et sont donc négligés. Deux méthodes sont aujourd'hui couramment utilisées pour modéliser les transferts d'humidité dans une paroi :

- La méthode simplifiée de **Glaser** permet d'évaluer rapidement le risque de condensation. Le principe est de comparer les profils de pression partielle de vapeur et de pression de vapeur saturante pour identifier rapidement les zones à risque. Elle est statique, c'est-à-dire qu'elle étudie le système en régime permanent.
- La méthode récente pour évaluer les transferts d'humidité a été développée par Fraunhofer Institut et sert de base au logiciel de simulation **WUFI**. Cette méthode est dynamique. Elle prend en compte trois formes principales de transferts d'humidité : la diffusion de vapeur, la diffusion de surface et la capillarité.

3.1.1. La diffusion de vapeur

La diffusion de gaz est liée à la différence de pression partielle de vapeur. Par principe d'équilibre, la vapeur d'eau se déplace d'une pression partielle de vapeur élevée vers une pression partielle de vapeur plus faible.

La pression partielle dépend à la fois de l'humidité et de la température. Pour évaluer les ordres de grandeurs, on calcule la pression de vapeur pour des situations d'hiver et d'été :

	Intérieur	Extérieur	Transfert
--	-----------	-----------	-----------

	Température	Humidité relative	Pression de vapeur	Température	Humidité relative	Pression de vapeur	
Été	25°C	40%	1277 Pa	28°C	60%	2288 Pa	Int ← Ext
Hiver	20°C	40%	942 Pa	5°C	90%	789 Pa	Int → Ext

Figure 10 : Exemple de conditions climatiques types

Il apparait dans ce tableau que le flux n'a pas toujours lieu dans le même sens : vers l'extérieur en hiver et vers l'intérieur en été.

Par principe d'équilibre, le transfert de vapeur d'eau se déplace vers l'extérieur en hiver et vers l'intérieur en été.

La capacité d'un matériau à s'opposer à la diffusion de vapeur est évaluée par un certain nombre de grandeurs parmi lesquelles la perméabilité δ , la perméance W et l'épaisseur d'air équivalente S_d .

Ces valeurs sont expliquées plus en détail en annexe.

La stratégie couramment choisie pour maîtriser la diffusion de vapeur est de mettre en place un pare-vapeur ou un frein-vapeur : on rend le mur relativement étanche à la vapeur d'eau. Ce sont des membranes fines qui résistent très fortement à la diffusion de vapeur afin d'empêcher la migration de vapeur d'eau.

La limite n'est pas définie clairement mais on parle souvent :

- de frein-vapeur pour une résistance à la diffusion de vapeur $S_d < 18$ m,
- de pare vapeur pour $S_d > 18$ m.

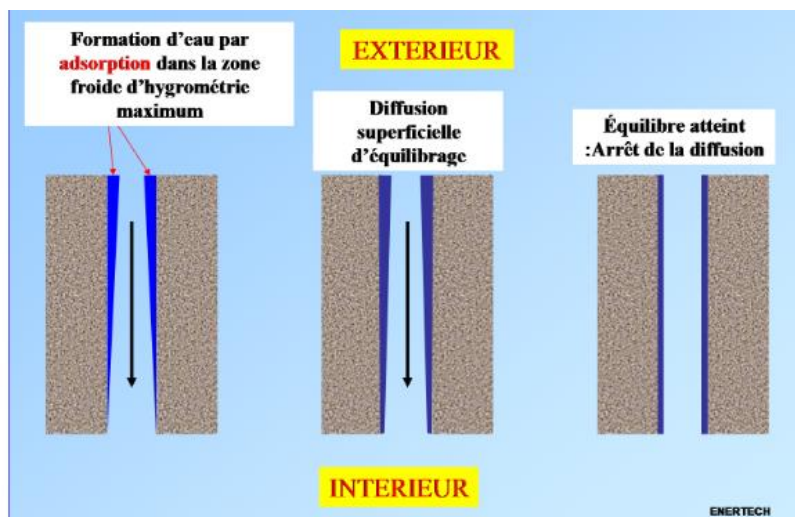
Le développement de frein-vapeurs hygrovariables permet aujourd'hui de mieux traiter le flux bi-directionnel en permettant le séchage du mur vers l'intérieur en cas d'humidification imprévue.

La diffusion de vapeur joue un rôle clé dans la conception de paroi du point de vue du comportement hygrothermique. Il est également à noter que dans beaucoup de cas, l'étanchéité à la vapeur et l'étanchéité à l'air sont obtenues par la même membrane, ce qui lie fortement les deux problématiques.

3.1.2. La diffusion de surface

La diffusion de surface est liée à la différence d'humidité relative : ce transfert se fait dans un état intermédiaire entre la phase gazeuse et liquide. L'eau est adsorbée sur la surface des pores des matériaux hygroscopiques. Elle forme un film mobile et le liquide migre en direction des endroits où ce film est plus fin. Comme l'épaisseur du film dépend de l'humidité relative du matériau, la migration d'eau a lieu de zone où l'humidité relative est élevée vers des zones où l'humidité relative est plus faible.

Figure 11 : Diffusion de surface. Source : Enertech



3.1.3. La capillarité

La capillarité est liée aux propriétés des matériaux (leur porosité notamment) et qui a lieu principalement sous forme liquide. Le phénomène est lié à la tension capillaire. On le rencontre dans le cas des remontées capillaires, mais aussi quand le mur est soumis à des ruissellements d'eau.

3.1.4. Transfert d'air

On a vu que la méthode WUFI est une approche qui ne prend pas en compte la totalité des modes de transferts qui ont lieu en pratique. On appelle ce type de modèle « HM » (heat-moisture, c'est-à-dire chaleur-humidité).

En particulier, WUFI néglige le transfert d'air humide causé par le gradient de pression totale, appelé dans la figure 4 « transfert par convection » (fuite d'air).

La différence de pression entre les deux environnements que la paroi sépare implique un mouvement d'air plus ou moins humide de la zone en surpression vers la zone en dépression. Quand le bâtiment est en surpression, $P_{intérieure} > P_{extérieure}$, l'air s'écoule des hautes pressions (de l'intérieur) vers les basses pressions (vers l'extérieur) : c'est un scénario d'exfiltration, lié à une ventilation par insufflation.

Dans le cas où le bâtiment est en dépression, comme c'est le cas avec une ventilation par extraction, ce sont des infiltrations qui sont à craindre.

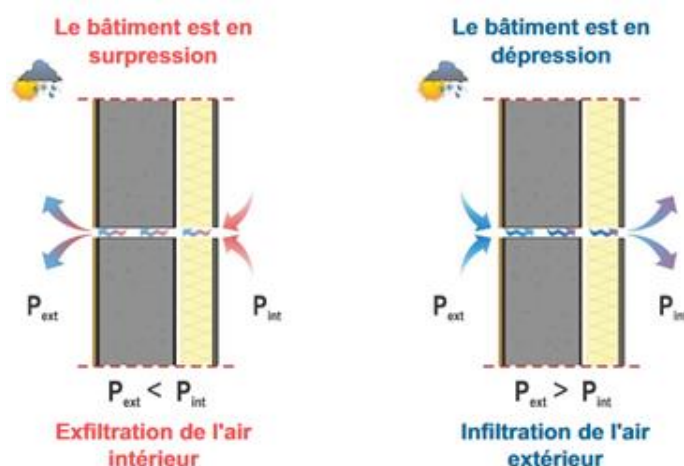


Figure 12 : Lien entre la pression et la direction du flux d'air. Source : CEREMA

On estime que ce phénomène de fuites d'air humide dans la paroi peut avoir un impact non négligeable sur les transferts d'humidité totaux, voire nettement plus important que la diffusion de vapeur, selon la qualité de l'étanchéité à l'air mise en œuvre et les conditions de pression.

En conclusion, on peut constater que les outils classiques à disposition pour étudier les transferts d'humidité dans les parois ne permettent pas d'appréhender la problématique des transferts d'airs. Pour étudier l'impact de la VI sur l'enveloppe, il est nécessaire de se munir de nouveaux outils prenant en compte ce nouveau phénomène. C'est l'un des objectifs de la thèse qu'a effectué Clément Belleudy.

3.2. Modélisation des transferts d'air : thèse de Clément Belleudy

Clément Belleudy. Modélisation des transferts d'air et leur impact sur le comportement hygrothermique de l'enveloppe des bâtiments. 2006

La thèse de Clément Belleudy a permis de créer un nouvel outil HAM pour évaluer les transferts d'humidité dans les parois et de l'exploiter pour étudier les phénomènes d'infiltration et d'exfiltration dans les bâtiments à ossatures bois.

3.2.1. Etude

C. Belleudy a créé et appliqué son outil de modélisation HAM à un cas d'étude décrit ci-dessous : c'est un défaut d'étanchéité classique propre aux bâtiments à ossature bois. Il fait l'hypothèse d'une mauvaise mise en œuvre impactant les joints flexibles d'étanchéité et le pare-vapeur : on a donc une lame d'air de 2mm courant entre la lisse basse et le mur de fondation ainsi qu'une fissure dans le parement intérieur.

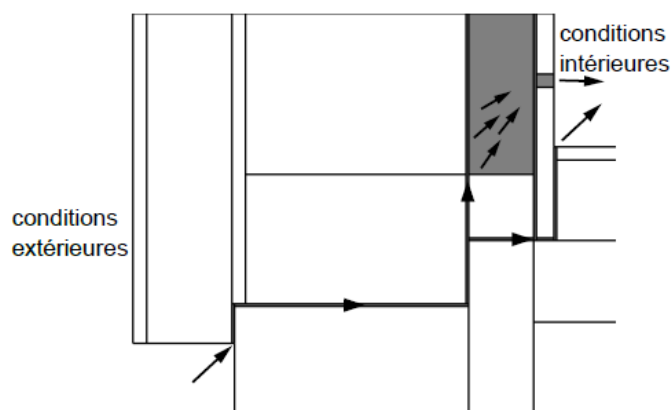


Figure 13 : Coupe de la paroi étudiée. Le chemin d'air en cas d'infiltration est indiqué par les flèches. Source : Belleudy

On impose des conditions aux limites suivantes, correspondant à des scénarios à forte humidité issus de la base de données WUFI :

	Intérieur		Extérieur	
	Température	Humidité Relative	Température	Humidité relative
Eté	22°C	60%	18°C	70%
Hiver	20°C	50%	0°C	90%

Figure 14 : Conditions aux limites

La modélisation est effectuée dans 5 cas : la différence de pression est fixée à -1 Pa, -0,1 Pa, 0 Pa, +0,1 Pa ou +1 Pa.

Dans chaque cas, pendant la première année, il n'y a pas de différence de pression, on revient donc à un cas « simple » de type chaleur-humidité comme WUFI peut en traiter.

Le graphe ci-dessous résume les scénarios : il indique les différences de pression appliquées en fonction du temps en années.

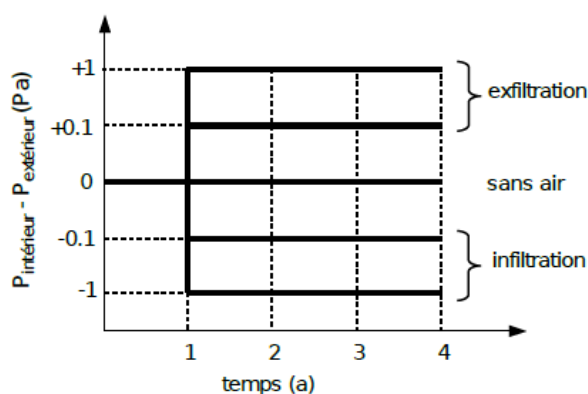


Figure 15 : Conditions de différentiel de pression selon les scénarios traités. Source : Beulledy

Cela permet d'atteindre les résultats ci-dessous :

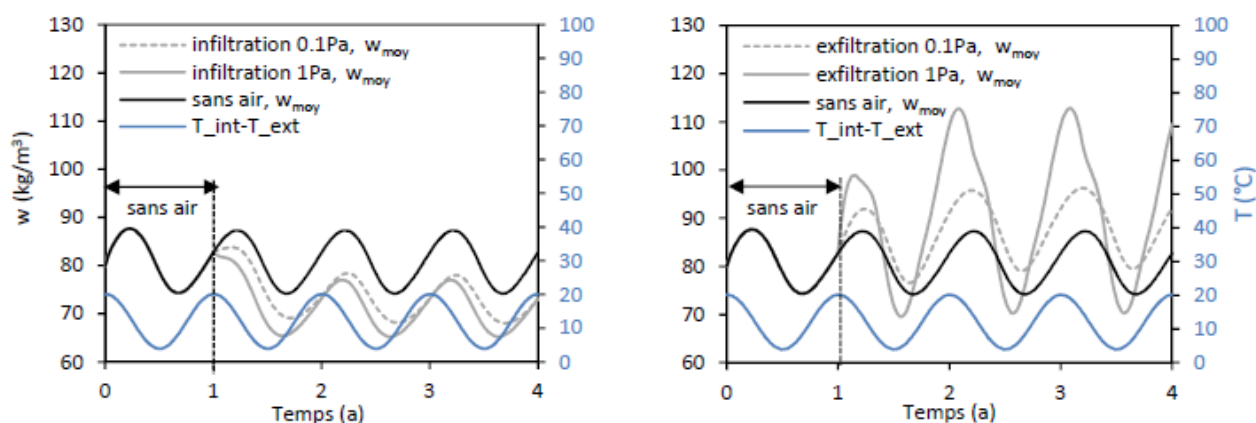


Figure 16 : Teneur en eau moyenne de la lisse basse sans fuite d'air (en noir), en infiltration (gauche) et en exfiltration (droite) pendant quatre ans. Source : Belleudy

La courbe en noir est le témoin : elle représente la teneur en eau moyenne de la lisse basse en absence de fuite d'air. Les courbes en gris représentent la teneur en humidité, mais quand on impose une différence de pression. La courbe en bleu représente la différence entre la température intérieure et extérieure, soit 2 [K] en été et 20 [K] en hiver.

En l'absence de fuite d'air, l'humidité moyenne de la lisse basse oscille autour d'une valeur moyenne stable 80 [kg/m³], avec un maximum hivernal qui n'atteint pas 90 [kg/m³].

A contrario, **l'infiltration** mène à un assèchement du bois : les deux courbes grises de gauche se trouvent bien au-dessous de la courbe témoin, avec une moyenne d'environ 70 [kg/m³] une fois stabilisée.

Dans le cas de l'exfiltration en revanche, on assiste à une humidification notable de l'élément. Plus la différence de pression est élevée, plus la tendance est marquée et, sous 1 [Pa], on atteint des valeurs d'humidité importantes : une moyenne autour de 90 [kg/m³] mais aussi des pics de plus de 110 [kg/m³].

D'autre part, la courbe des différences de températures (en bleu) atteint son maximum en hiver, quand la température extérieure est minimale. A hauteur de ce pic, on atteint les moments critiques où le risque de condensation est accru car la température de rosée peut être atteinte au milieu de la paroi.

On note que, sans air, le pic d'humidité est atteint avec un déphasage d'environ 3 mois. Ce décalage est réduit dans les cas d'infiltration et les pics d'humidité tendent à se synchroniser avec le rythme saisonnier. Ainsi, en exfiltration et pour les années 3 et 4, le record d'humidité dans le matériau a lieu en même temps que le risque maximal de condensation.

On voit sur la figure ci-dessous les champs d'humidité relative après 3 ans de simulation. Sous une exfiltration de 1 [Pa], la lisse basse est chargée en humidité et proche de la saturation. Le risque de condensation est incomparable à celui que présente la situation d'infiltration, globalement nettement plus sec.

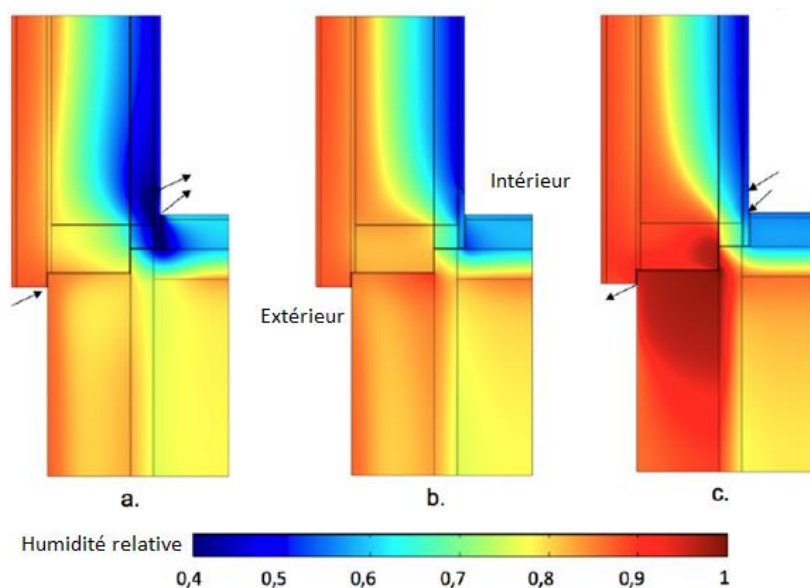


Figure 17 : Champ d'humidité relative (ϕ) au début de la quatrième année : dans le scénario d'infiltration (a) et d'exfiltration (c), et sans air (b)

Ces résultats paraissent cohérents : l'air extérieur infiltré, plus froid et donc plus sec, peut emmagasiner l'humidité du mur en se réchauffant à son contact. L'air intérieur, quant à lui, est chargé d'humidité et se refroidit dans le mur, augmentant par là son humidité relative.

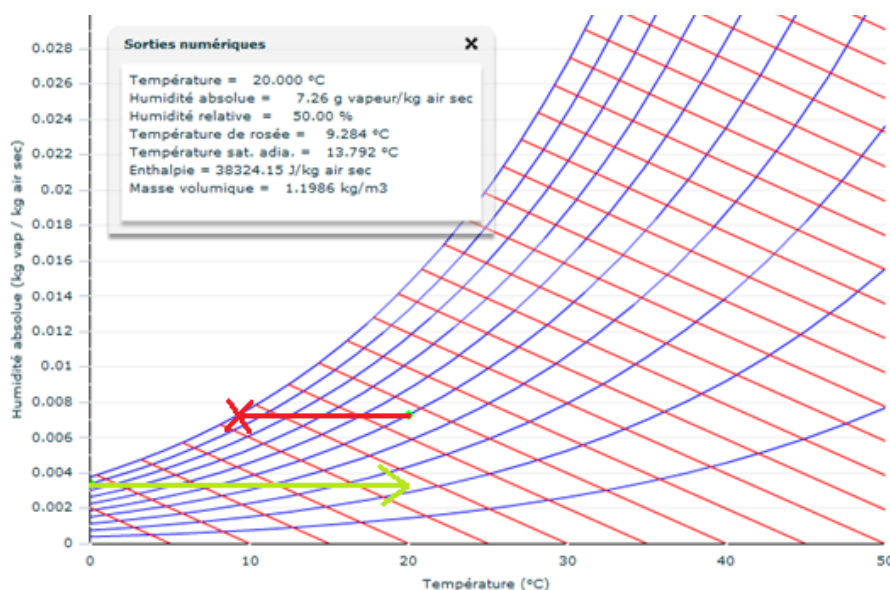


Figure 18 : Tracé sur le diagramme de l'air humide des phénomènes d'infiltration et d'exfiltration

Le diagramme de l'air humide, dressé pour les conditions d'hiver, illustre le phénomène de façon simplifiée. La température de rosée de l'air humide dans les conditions intérieures est de 9.284 [°C]. Comme l'ambiance extérieure est à 0 [°C], cette température est nécessairement atteinte à un certain point dans la paroi. Si l'air circule dans la paroi de l'intérieur vers l'extérieur, il va atteindre ce point et va condenser. Par contre, de l'air extérieur qui circulerait vers l'intérieur va se réchauffer sans se rapprocher de la courbe de saturation, il aurait même tendance à assécher l'ambiance intérieure.

La modélisation de l'humidité relative met en avant sa valeur particulièrement élevée dans le scénario d'exfiltration à 1 [Pa]. On peut se poser la question du risque que cela implique, ici dans le cas spécifique d'une maison à ossature bois sensible au pourrissement.

Pour évaluer le risque de pourrissement des matériaux biosourcés (d'origine animale ou végétale, comme le bois), C. Belleudy se base sur la recommandation du FCBA qui prend en compte la durée cumulée d'humidification à plus de 23%.

Au-delà de 8 semaines cumulées, la durabilité de l'assemblage est mise en question. On peut atteindre 23% sur une durée continue de 8 semaines sur l'année, ou en accumulant plusieurs périodes plus courtes (par exemple 8 fois 1 semaine, 4 fois 2 semaines, etc).

On considère que l'épicéa constituant la lisse basse présente une masse volumique de 455 kg/m³.

$$x_{max} = 0.23 \times 455 = 104.65 \text{ kg/m}^3$$

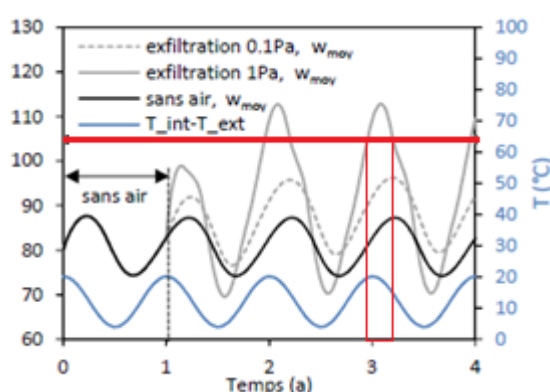


Figure 19 : Limite acceptable d'humidité absolue sur la durée de la modélisation (en rouge)

On voit sur le graphe ci-dessus que ce seuil n'est jamais atteint en l'absence de fuite d'air (ou en infiltration). Cependant, dans le scénario d'exfiltration à 1 [Pa], on dépasse largement ce seuil. La durée de dépassement cumulé est supérieure à 8 semaines : il y a donc un risque réel pour la structure.

3.2.2. Bilan

L'approche de C. Belleudy permet de quantifier très précisément le risque lié à l'exfiltration, en fonction de la différence de pression. Comme ses travaux permettent de montrer comparativement la réaction d'une paroi sans flux d'air, en infiltration et en exfiltration, on peut mieux cerner les faiblesses engendrées par la mise en surpression indépendamment des autres critères.

Son étude confirme que, dans le cas particulier qu'il traite (celui d'une maison à ossature bois) et dans les conditions de l'étude, le phénomène d'exfiltration est bien la source d'une humidification incontrôlée de l'assemblage, au contraire de l'infiltration qui tend à l'assécher. En conséquence, on fait face à un risque de pourrissement nettement plus important du bois de la structure.

En revanche, l'étude présente quelques défauts qui limitent les conclusions qu'il est possible d'en tirer.

Les conditions aux limites choisies par C. Belleudy sont contestables et en particulier la température extérieure estivale de 18°C. En prenant le parti de garder constamment une

température extérieure inférieure à la température intérieure, on ne prend pas en compte l'inversion du flux de chaleur dans la paroi et du flux de diffusion de vapeur. On ne peut pas évaluer le potentiel de séchage de la paroi par l'air extérieur en été et l'impact du rayonnement solaire sur la paroi. De ce fait, l'étude dynamique sur plusieurs années est amputée d'une part importante des phénomènes et pourrait être désavantageuse.

De la même façon, l'humidité relative de 70% en été n'est pas représentative de l'ensemble des situations, même à l'échelle de la France. On peut consulter le site Météociel pour s'en rendre compte : pour une journée aléatoire d'été, on retrouve au même moment en France des humidités relatives allant de 30% sur la côte Sud à 90% dans le Finistère.

Un exemple en est présenté en annexe. Il faudrait donc affiner l'étude en affinant les scénarios utilisés et en définissant plus précisément à quels climats ils se rapportent, et donc pour quelles régions ils sont valables.

Les modélisations de C. Belleudy étudiées ici se rapportent à un défaut d'étanchéité à l'air bien précis. Il s'agit spécifiquement d'une configuration concernant une construction à ossature bois et les conclusions qui en découlent se concentrent donc sur ce procédé constructif.

Effectivement, il est difficile de rendre un bâtiment à ossature bois étanche à l'air et sa part de marché dans le domaine de la maison individuel est en plein essor : quelques pourcents en 2000 contre 12% en 2013. Cependant, cela ne permet pas de conclure pour les autres procédés constructifs, en particulier ceux que l'on rencontre couramment en rénovation.

Quant à la création d'un outil de modélisation HAM, Clément Belleudy n'est pas le seul à s'être attelé à cette tâche. Un certain nombre d'universitaires ont également élaboré des outils comparables. Malheureusement, ce sont encore des outils logiciels complexes qui ne sont pas utilisables par le public. Pour que la problématique des infiltrations et des exfiltrations puissent être globalement mieux appréhendées lors des conceptions d'enveloppes innovantes, il serait souhaitable que de tels outils soient rendus disponibles.

Dans les conditions de l'étude de C. Belleudy, pour une maison à ossature bois, une mise en surpression de 1 Pa est la source d'une humidification incontrôlée de l'assemblage, au contraire d'une mise en dépression de 1 Pa qui tend à l'assécher.

3.3. Contrôle de l'humidité dans les bâtiments: Article de A. Tenwolde et W. Rose

Anton TenWolde and William B. Rose. Moisture Control Strategies for the Building Envelope. Journal of Building Physics, 19(3):206-214, 1996

Cet article traite globalement des défis que représente l'humidité dans les bâtiments. Il ne traite pas spécifiquement de la ventilation par insufflation mais il aborde la mise en surpression comme technique pour réguler l'humidité.

3.3.1. Etude

Comme expliqué plus haut, la diffusion de vapeur est un mécanisme lié à la charge hydrique. Quand la concentration de la vapeur d'eau est différente de part et d'autre d'un mur, un mouvement se crée tendant à l'égaliser : la vapeur est transférée de la haute pression partielle de vapeur vers la basse pression partielle de vapeur.

La charge interne

On retrouve trois grandes sources d'humidités dans les bâtiments :

- Les sources liées aux usagers : les personnes, par la respiration et la sudation, rejettent de l'humidité dans leur environnement. Leurs activités (cuisine, douche...) sont également source d'humidité.

Source d'humidité	Production
Personne au repos	40 g/h
Personne en activité modérée	60 g/h
Cuisson	2 kg/jour
Séchage du linge	1,5 kg/jour

Figure 20 : Production de vapeur d'eau due aux usagers. Source : Enertech

- Les sources liées aux matériaux : les matériaux de construction doivent évacuer de l'humidité quand ils sont mis en œuvre, comme le séchage du béton. Le bois d'une structure n'est jamais totalement sec non plus.
- Les sources externes : l'air extérieur contient naturellement plus ou moins de vapeur et les précipitations peuvent apporter de l'eau sous forme liquide en surface des parois. Le contact avec la terre est aussi le lieu de remontées capillaires.

La charge externe : les différents climats

Cependant, la différence de pression partielle de vapeur ne dépend pas uniquement de la charge hydrique dégagée à l'intérieur du bâtiment ; elle dépend également du climat dans lequel est située la construction. Ten Wolde et Rose définissent donc deux cas de figure : les « climats froids » et les « climats chauds » d'après Lstiburek et Carmody (1991) selon les définitions suivantes :

- Climats froids : plus de 4000 degrés-jours base 18°C. En Amérique du Nord, on retrouve la moitié nord des Etats-Unis, l'Alaska, le Canada
- Climats chauds :
 - (1) Au moins 19°C de température de bulbe humide pendant au moins 3000 heures, au cours de 6 mois consécutifs
 - (2) Ou au moins 23°C de température de bulbe humide pendant au moins 1500 heures, au cours de 6 mois consécutifs.

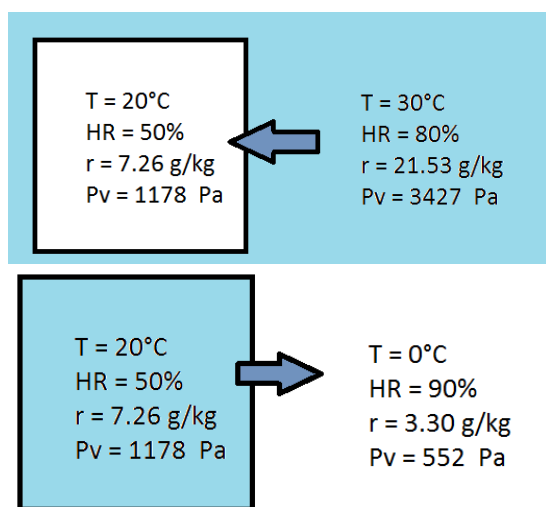
Les climats côtiers du Sud-Ouest des Etats-Unis appartiennent à la catégorie des climats chauds.

Le fait d'utiliser la température de bulbe humide et non sèche permet de considérer l'humidité relative afin de ne retenir dans cette catégorie que les climats chauds et humides (voir annexe).

Beaucoup de climats n'entre dans aucune de ces catégories, ils sont mixtes. Dans l'hypothèse où les degrés-jours préconisés par TenWolde et Rose correspondent aux DJU français, aucun département français ne correspond à la définition d'un climat froid.

Diffusion de vapeur

Les schémas ci-dessous présentent, pour des valeurs classiques, les valeurs de pression partielle de vapeur. On en déduit directement le sens de l'échange par diffusion de vapeur, représentée par la flèche. On voit que selon le climat, la diffusion de vapeur a plutôt tendance à aggraver la charge hydrique interne (climat chaud et humide) ou à l'évacuer (climat froid et sec).



Dans les climats où l'air extérieur est chaud et humide, la charge est principalement extérieure et il est nécessaire d'éviter qu'elle ne pénètre dans l'enveloppe.

Par contre, dans les climats où l'air extérieur est froid et sec, la plus grande partie de la charge est interne et doit être évacuée.

Le climat a une importance quant au risque de condensation : il faut déterminer si la température de rosée risque d'être atteinte dans les parois. Il convient d'être particulièrement attentif quand le climat est extrême.

Stratégies

TenWolde et Rose citent une observation de Merrill and TenWolde (1989) : c'est un exemple de dégradation sévère dans un ensemble de logements dans le Wisconsin [Figure 21]. « *La combinaison d'une humidité intérieure importante, de la faible tolérance à l'humidité des murs et des conditions climatiques rigoureuses ont mené à des dégâts majeurs et à des problèmes de santé chez les habitants* ».



Figure 21 : Exemple de dommages dus à la condensation. Source : TenWolde et Rose

Cette citation permet de dégager les grands axes sur lesquels on peut agir pour lutter contre l'humidité. Comme le climat extérieur est une contrainte, c'est le climat intérieur et la conception des murs qu'il est nécessaire d'adapter.

Le schéma ci-dessus résume les stratégies de contrôle de l'humidité telles qu'évoquées par TenWolde et Rose :

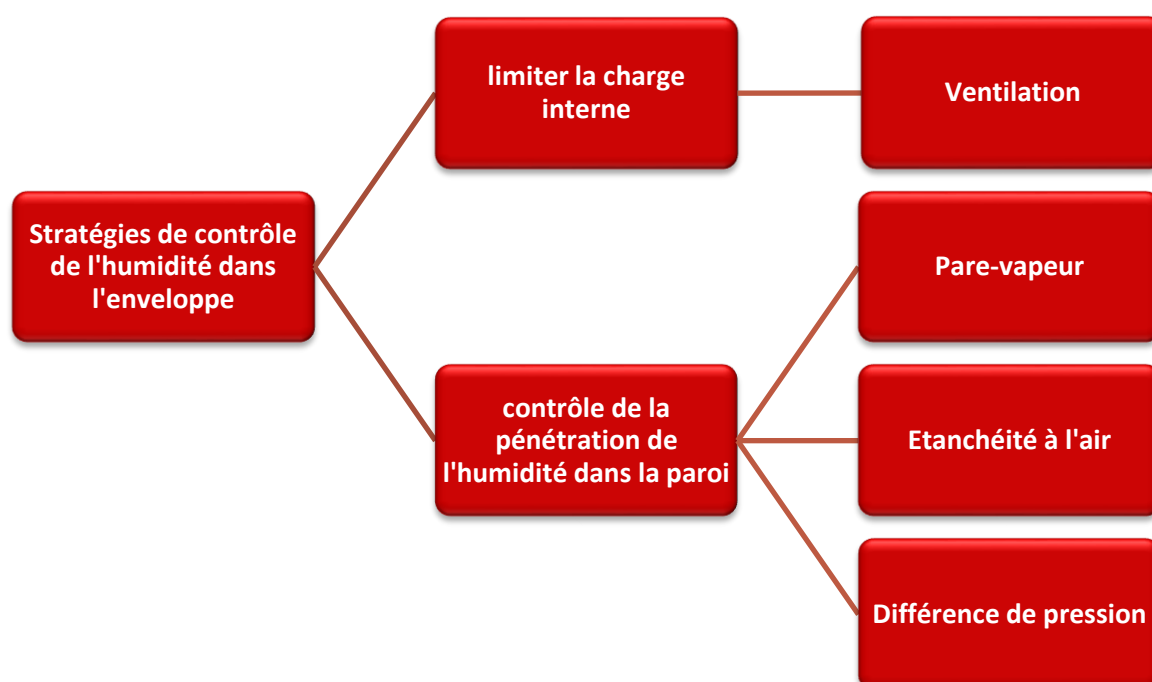


Figure 22 : Stratégies de contrôle de l'humidité dans l'enveloppe

La première stratégie est de **limiter la charge hydrique** en assainissant l'air intérieur.

Dans certains cas, la différence de climat entre l'intérieur et l'extérieur peut même aider à limiter la charge en humidité à l'intérieur des bâtiments. Comme on a vu précédemment, dans les climats froids, l'air extérieur est sec. On peut l'utiliser pour évacuer l'humidité interne grâce

à la ventilation. De cette façon, le renouvellement de l'air intérieur, même s'il est d'abord effectué pour des questions d'évacuation des polluants, permet dans le même temps de rejeter vers l'extérieur une partie importante de la charge hydrique.

Cependant, dans le cas des climats humides, l'air extérieur contient d'ors et déjà trop d'humidité. Il risque d'aggraver l'humidité intérieure. Il peut alors être nécessaire de mettre en place des systèmes complémentaires de déshumidification de l'air intérieur via une centrale de traitement d'air.

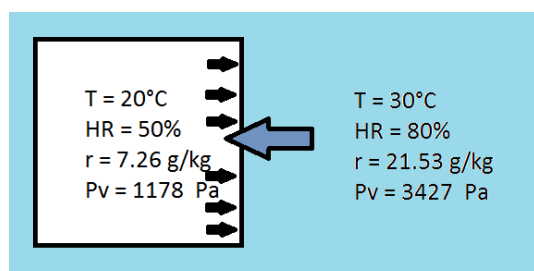
Ensuite, il faut **protéger la paroi**.

La différence de climats intérieur et extérieur est la source d'échanges au sein de la paroi. L'interface entre les deux ambiances n'est pas une simple ligne virtuelle : elle est composée d'une paroi plus ou moins complexe (monocouche, multicouche) composée de matériaux aux caractéristiques hydriques variées et supportant plus ou moins la présence d'humidité. Dans les deux cas de climats, le phénomène de diffusion de vapeur a lieu et fait transiter une certaine quantité d'humidité dans les murs.

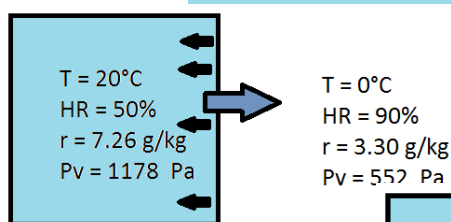
Il faut donc commencer par mettre en place une **étanchéité à la vapeur d'eau et à l'air** en fonction du sens des flux et de la composition du mur : cet aspect est développé au chapitre 2.4.

Pour éviter que l'humidité ne s'accumule dans les parois, on peut également jouer sur les mouvements d'air pour tenter de compenser le phénomène de diffusion. Le principe est de soumettre le bâtiment à une **différence de pression** dans le but de faire transiter de l'air sec au travers du mur en direction de la zone « humide ».

Dans les schémas ci-après, la flèche bleue représente le transfert de vapeur par diffusion tandis que les flèches noires représentent le mouvement d'air.

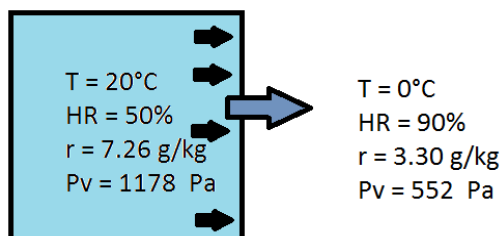


Dans les climats chauds, on impose une pression à l'intérieur du bâtiment légèrement plus élevée qu'à l'extérieur. Cela permet d'éviter l'entrée d'humidité portée par l'air extérieur.



A contrario, en climat froid, la pression intérieure peut être légèrement inférieure à la pression extérieure. Ainsi, le mouvement d'air s'effectue bien en sens inverse du transfert par diffusion de vapeur.

existe
lesquels on
surpression
exemple
qualité de
pour empêcher la pénétration d'air extérieur vicié : musées, hôpitaux par exemple.



TenWolde remarque qu'il cependant des cas dans maintient des bâtiments en dans des climats froids, par dans le but de maîtriser la l'air (filtration de l'air entrant) et

Dans ce cas de figure, les deux flux vont dans le même sens et s'accumulent au lieu de se compenser. La quantité d'humidité transitant potentiellement dans la paroi est accrue. Pour la maîtriser il faut agir sur l'étanchéité à la vapeur d'eau d'une part et à l'air d'autre part. Ce cas de figure semble défavorable et à éviter dans la mesure du possible.

Ce document permet de comprendre assez simplement et schématiquement en quoi mettre en surpression un bâtiment situé dans un climat « froid » va à l'encontre de la compensation des flux d'humidité et augmente le risque de surcharger les parois en humidité.

En revanche, il s'agit ici d'un raisonnement basé uniquement sur l'expérience de l'auteur et qui n'est pas étayé de données chiffrées permettant de le justifier : les valeurs numériques données en exemple ont été calculées pour illustrer le résumé.

On n'a en fait pas ou très peu d'informations quantitatives. TenWolde et Rose ne donnent que des grands principes de réflexion pour aborder la régulation de la pression interne dans l'objectif de traiter l'humidité d'un bâtiment.

De ces grands principes, il ressort que la VI paraît beaucoup plus adaptée aux climats dits « chauds et humides » qu'aux climats « froids », dans lesquels elle correspond à un cas défavorable et considéré comme risqué. En conséquence, il faut nuancer l'affirmation de certains industriels conseillant la VI spécifiquement pour traiter les problèmes d'humidité interne, quel que soit le climat.

Globalement, on voit qu'en hiver sec, il est plus logique de mettre le bâtiment en dépression qu'en surpression. En considérant qu'on installe quand même un VI dans un climat considéré comme « froid et sec », il est nécessaire d'adapter la paroi pour supporter le flux hydrique supplémentaire : étanchéités à la vapeur et à l'air, choix de matériaux supportant l'humidité, etc. Une fois de plus est soulignée la nécessité d'obtenir une étanchéité à l'air élevée, condition difficile à assurer en rénovation.

Cependant, la définition un peu simpliste des climats ne prend en compte que des cas extrêmes. Cela ne permet pas de conclure dans le cas de la France qui ne rentre pas dans la catégorie « climat froid ».

On voit que pour décider de la pertinence et des risques d'une installation VI, il est nécessaire de dresser un diagnostic des sources d'humidité (liées à l'usage, au contact avec le sol, à la protection aux intempéries, etc.) et de définir assez précisément les conditions dans lesquelles le système va être mis en place. Une bonne connaissance du climat local (température et humidité tout au long de l'année), de la composition des murs et l'étanchéité à l'air et à la vapeur de l'enveloppe sont indispensables. Quand les conditions ne sont pas réunies, le choix de la solution de ventilation par insufflation est susceptible d'avoir des conséquences néfastes.

Pour décider de la pertinence d'installation d'une VI, il faut dresser une liste des sources d'humidité et connaître les conditions climatiques dans lesquelles le système va être installé.

3.4. Réhabilitation hygrothermique des parois anciennes: Etude Hygroba

HYGROBA, étude de la réhabilitation hygrothermique des parois anciennes, CETE Est, ENSA, LMDC

L'étude Hygroba menée par le CETE se propose d'étudier la réaction à l'humidité de plusieurs configurations de parois, et pas seulement les ossatures bois. C'est une recherche qui se concentre sur la question de la rénovation des bâtis anciens. Les configurations étudiées sont composées d'une structure traditionnelle à laquelle sont ajoutées plusieurs couches : isolation, membranes d'étanchéité à l'air et à la vapeur, finitions.

3.4.1. Etude

L'étude Hygroba a conduit à la rédaction de 5 cahiers (numérotés de 0 à 4) qui résument les performances hygrothermiques de plusieurs types de parois anciennes, selon le type d'isolation auquel elles sont soumises.

- Une paroi en terre crue (pisé banché)
- Une paroi en brique de terre cuite (hourdée au mortier de chaux)
- Une paroi en pierre dure (pierre calcaire dure hourdée au mortier de chaux)
- Une paroi en pan de bois et torchis

Dans chaque cas, on applique plusieurs configurations d'isolation : par l'intérieur (ITI) et par l'extérieur (ITE), étanche à l'humidité (E) ou perméable à l'humidité (P).

- On appelle « perméable à l'humidité » les matériaux peu résistants à la vapeur d'eau, généralement capillaires et/ou hygroscopiques
- au contraire, on appelle « étanche à l'humidité » les matériaux résistants à la vapeur d'eau, généralement peu capillaires et/ou peu hygroscopiques.

Les isolants mis en œuvre sont les suivants : laine de roche, ouate de cellulose, fibre de bois, polystyrène. Ils sont couplés à des revêtements ou enduits parmi les suivants : enduit organique, enduit chaux, enduit ciment, plaque de plâtre, papier peint vinyle. Ces éléments sont choisis en fonction de la configuration ITE/ITI et des caractéristiques hydriques recherchées.

Une simulation hygrothermique dynamique sur 10 ans est conduite avec WUFI en considérant le climat de Nancy. La température intérieure est comprise entre 20°C en hiver et 25°C en été, avec des conditions d'humidité relativement élevées, comparables à une « pièce humide » d'un logement.

Une source d'humidité a été intégrée à l'interface entre l'isolant et la paroi, au cœur même de la paroi. Elle modélise le phénomène de condensation interne par infiltration d'air. Pour évaluer la quantité d'eau présente, on utilise le débit de fuite de référence Q4Pa_surf de 1,7 [m3/h.m2], ce qui correspond à la RT 2005.

On observe comment le mur gère cette présence d'humidité : il peut sécher si sa composition le permet ou au contraire laisser l'eau s'accumuler : c'est la capacité de séchage.

Le critère n'est pas quantifié avec beaucoup de précision. La stabilisation et la tendance à l'accumulation sont évaluées, sans que des seuils ne soient précisés.

On distingue les résultats en trois catégories :

Risque de condensation faible (HR constamment inférieur à 85%)	Risque de condensation modéré (HR atteignant des valeurs comprises entre 85% et 95%)	Risque de condensation important (HR atteignant des valeurs supérieures à 95%)

Figure 23 : Evaluation de la capacité de séchage

Ces résultats sont évalués par rapport à une configuration de base

		Extérieur	Paroi ancienne	Intérieur
	Matériaux retenus	Enduit chaux		Enduit chaux
	Epaisseur (mm)	20		20
	Hygroscopicité	Elevée		Elevée
	Résistance à la diffusion de vapeur	Faible		Faible
	Capillarité	Moyenne		Moyenne

Figure 24 : configuration de base

N.B. : L'étude ne parle que d'infiltration (et pas d'exfiltration comme observé en surpression), mais ce n'est qu'un choix sémantique arbitraire. En fait, la source d'humidité modélisée est générée au sein même du mur, il n'y a donc pas à proprement parler de flux depuis le climat intérieur (= exfiltration) ou extérieur (=infiltration). Pour ne pas alourdir le texte, nous choisissons donc d'adopter la même convention et de ne parler que d'infiltration.

Pour chaque cas de figure, on évalue la performance de la paroi selon plusieurs critères, dont cette capacité de séchage en présence d'infiltrations. Dans le contexte de l'étude de la VI, c'est l'indicateur que nous choisissons de considérer.

Un tableau récapitulatif des résultats concernant la capacité de séchage est dressé ci-dessous. Les parois y sont classées par isolation extérieure et intérieure et par comportement hygroscopique (« P » pour perméable à l'humidité et « E » pour étanche à l'humidité). La première lettre caractérise le traitement extérieur tandis que la seconde lettre caractérise le traitement intérieur : ainsi P-E signifie que la face extérieure est perméable à la vapeur tandis que la face intérieure est étanche à la vapeur.

Capacité de séchage		Terre crue	Terre cuite	Bois	Pierre
Base	Base				
ITE	E-E				
	E-P				
	P-E				
	P-P				
ITI	E-E				
	E-P				
	P-E				
	P-P				

Figure 25 : Récapitulatif des résultats (capacité de séchage)

On constate que globalement, l'isolation par l'intérieure est moins performante que l'isolation par l'extérieure sur tous les critères. Les risques hygrothermiques sont plus importants, quel que soit le matériau mis en œuvre dans la paroi ancienne.

Ce constat est valable également à propos de la capacité de séchage : dans la configuration ITI, la capacité de séchage est jugée « faible » pour 10 cas sur 16, « moyenne » pour 6 sur 6. A contrario, en ITE, 9 cas sur 16 ont une capacité de séchage « élevée ». Cela est dû à la mise en œuvre systématique d'un frein vapeur côté intérieur quand l'isolation est de type ITI : même si l'enduit intérieur est théoriquement perméable à la vapeur d'eau, le frein vapeur empêchera ou limitera l'évacuation de l'humidité de ce côté.

Cette étude permet de mettre en évidence les configurations qu'il faut à tout prix éviter vis-à-vis du risque d'infiltration et celles qui sont le plus favorables :

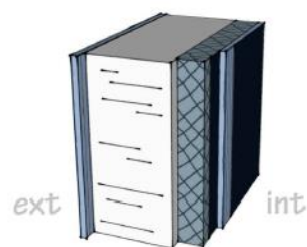
- L'isolation par l'intérieur est à éviter.
- Il faut impérativement choisir un traitement extérieur perméable. On peut utiliser par exemple un enduit chaux, en isolant avec de la fibre de bois dans le cas de l'ITE.
- La configuration étanche-étanche est à bannir, que ce soit en isolation extérieure ou intérieure.

Par exemple, des configurations incorrectes (car trop étanches) qui présentent un risque particulièrement important :



en ITE :

- Isolation extérieure en polystyrène avec un enduit organique,
- Intérieur constitué d'une plaque de plâtre et papier peint vinyle



en ITI :

- Enduit ciment à l'extérieur
- Isolation intérieure en laine de roche, frein-vapeur, plaque de plâtre et papier peint vinyle

- Quand le matériau de la structure présente une résistance à la vapeur d'eau importante, comme dans notre cas la pierre calcaire dure, on ne peut pas isoler par l'intérieur. Sinon, l'eau se retrouve piégée entre le pare-vapeur et le mur maçonné.

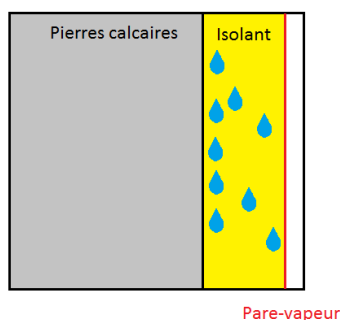


Figure 26 : Coupe d'une paroi maçonnée isolée par l'intérieur

3.4.2. Bilan

Cette étude n'a pas pour but d'évaluer directement la réaction de différentes parois à la mise en place d'une VI : la différence de pression n'est pas modélisée. En revanche, grâce à l'indicateur de la capacité de séchage, on peut évaluer les configurations très défavorables et les configurations qui tolèrent mieux les flux accrus d'humidité.

Quel que soit le type d'isolation, les configurations de type E-x (étanches à l'extérieur) sont globalement moins performantes que les configurations de type P-x (perméables à l'extérieur). On peut expliquer ce phénomène par le fait que le climat intérieur est peu propice à assécher la paroi à cause de son humidité élevée, ce qui implique que le climat extérieur doit jouer ce rôle.

Même en ne considérant qu'une seule contrainte (la capacité de séchage), seul un petit nombre de configurations sont saines et peuvent être utilisées en rénovation, de façon générale.

Pourtant, cette contrainte n'a pas été testée dans un cas extrême comme peut le représenter l'utilisation d'une ventilation par insufflation.

Dans l'hypothèse où on choisit de mettre en place une ventilation présentant un risque accru (l'insufflation), il convient donc d'étudier en profondeur la composition de la paroi à rénover et ses caractéristiques hygroscopiques afin de faire un choix de traitement cohérent et sans danger.

Quand la paroi a été rénovée suivant une configuration risquée (par exemple les types étanche-étanche décrit ci-dessus), l'ajout d'une VI n'est pas pertinent.

A contrario, en présence de murs à la capacité de séchage importante, l'option de la VI n'est pas à exclure.

Cependant, dans la réalité, ces principes risquent d'être difficile à appliquer. Globalement, les configurations optimales sont composées systématiquement d'une isolation extérieure et d'un traitement de surface extérieur largement perméable à la vapeur d'eau. Or, en rénovation, les contraintes liées à la préservation des façades rendent souvent l'isolation par l'extérieur impossible et limitent fortement les possibilités d'enduits ou de revêtements.

Lors d'une rénovation de paroi avec des isolants étanches à l'humidité, l'installation d'un système de ventilation doit se faire en maîtrisant de manière précise les flux d'air.

3.5. Perspectives: L'étanchéité par l'extérieur thèse de Jelle Langmans

Jelle Langmans. Feasibility of exterior air barriers in timber frame construction. Mai 2013

L'importance de l'étanchéité à l'air fait l'unanimité pour protéger l'enveloppe d'une humidité excessive. Pour des raisons de performance énergétique et de traitement de l'humidité, les réglementations européennes tendent, depuis une décennie, à abaisser la valeur limite de débit de fuite par les parois, souvent donné à 50 [Pa]. En France, la RT 2012 impose des seuils réglementaires de **débit de fuite** à 4 [Pa] q_4 :

- 0,6 [m³/ (h.m²)] pour les maisons individuelles,
- 1 [m³/(h.m²)] pour les logements collectifs.

Le label Passivhaus impose lui le respect d'un **taux de renouvellement d'air** à 50 [Pa] $n_{50} \leq 0,6$ [1/h].

On peut estimer que cela correspond grossièrement à un $q_4 \leq 0,2$ [m³/(h.m²)], donc environ trois fois plus performant que la RT2012.

L'utilisation du débit de fuite ou du taux de renouvellement n'est pas unifiée selon les différentes réglementations européennes et les labels disponibles, ce qui rend les comparaisons approximatives.

Jelle Langmans a choisi de travailler avec le taux de renouvellement à 50 [Pa] avec comme valeur de référence $n_{50} \leq 0,6$ [1/h] du label Passivhaus.

Dans les chapitres précédents, nous avons vu que l'étanchéité à l'air est une notion clé lorsque l'on envisage la mise en surpression d'un bâtiment.

Il est donc légitime de quantifier l'objectif d'étanchéité et les moyens d'y parvenir.

Dans ce contexte, Jelle Langmans a étudié la mise en œuvre d'une étanchéité à l'air du côté extérieur de la paroi dans le cas des bâtiments à ossature bois.

3.5.1. Etude

En général, l'étanchéité à l'air est traitée par une membrane ou une couche qui joue également le rôle de pare-vapeur, par exemple des plaques d'OSB complétées par un adhésif.

Ce composant est traditionnellement placé du côté intérieur de la paroi. Dans certains cas, on utilise des écrans sur le côté extérieur pour se protéger du vent, mais on n'en exige pas une performance aussi élevée.

Cette utilisation habituelle d'OSB n'est pas complètement satisfaisante sur plusieurs plans.

- d'une part, les performances sont très disparates entre les différents fabricants d'OSB,
- d'autre part, les caractéristiques de l'OSB ne permettent pas d'atteindre les niveaux d'étanchéité les plus exigeants comme le label Passivhaus,
- enfin, la mise en œuvre d'une très bonne étanchéité par l'intérieur nécessite beaucoup d'anticipation et de coordination sur le chantier.

La thèse de Jelle Langmans pose la question de placer un film d'étanchéité en continu à l'extérieur dans le but d'en simplifier la mise en œuvre et d'en améliorer l'efficacité.

Jelle Langmans a donc effectué une série de mesures en laboratoire et sur le terrain pour mesurer les performances d'étanchéité à l'air et pour évaluer les comportements et les risques vis-à-vis de l'humidité.

Tout d'abord, il apparaît qu'atteindre un niveau d'étanchéité de l'ordre de celui annoncé pour le label Passivhaus n'est pas possible sans prendre en compte un minimum d'étanchéité au vent, même en gardant l'étanchéité principale à l'air et à la vapeur sur la face intérieure. La mise en pratique sur des bâtiments réels permet de confirmer que la mise en œuvre d'une étanchéité extérieure performante est plus efficace et plus facile que par l'intérieur.

Des tests d'étanchéité ont été menés sur une même maison à différents stades d'avancement de la construction.

- Etanchéité extérieure finie. Elle est effectuée avec des panneaux de fibres bituminés de 18 [mm].
- Après l'insufflation de la cellulose (400 [mm])
- Etanchéité intérieure. Les plaques d'OSB constituant l'étanchéité à la vapeur sont étanchéifiées par un film adhésif, rendant l'ensemble étanche à l'air.

Il relève les valeurs suivantes de n_{50} :

	n_{50} (1/h)
Exterior air barrier	0.60
Cellulose insulation blown in	0.25
Interior air barrier	0.13

Figure 27 : Tableau récapitulatif des n_{50} obtenus à différentes étapes de la construction

Une étanchéité à l'air extérieure soignée permet d'atteindre à elle seule un n_{50} conforme à la labellisation Passivhaus.

Avec de bonnes connaissances artisanales, un matériel adapté et en cumulant une étanchéité à l'air à l'extérieur et à l'intérieur, il est possible d'atteindre un très haut niveau d'étanchéité. Avantage notable, le prix de la mise en œuvre est réduit d'environ 60% par rapport à une étanchéité par l'intérieur.

En revanche, il est toujours nécessaire de bien anticiper quelques détails de l'enveloppe : la jonction des murs avec les fondations et avec le toit, notamment.

Dans un second temps, J. Langmans étudie les niveaux d'étanchéité nécessaires pour éviter les problèmes liés à l'humidité sous une surpression intérieure de 10 [Pa].

Il montre ainsi qu'un film de perméabilité 0,1 [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$] échoue à protéger l'enveloppe d'exfiltrations forcées.

Par contre, une perméabilité de l'ordre de 0,005 [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$] est assez basse pour éviter d'atteindre une quantité d'eau exfiltrée dangereuse. C'est une valeur très faible et que seuls certains films d'étanchéité peuvent atteindre.

Les essais en laboratoire mettent en valeur l'impact fort du choix des isolants : alors que les laines minérales présentent souvent un risque accru vis-à-vis de l'humidité, la cellulose soufflée montre des performances remarquables.

De façon générale, les isolants en panneaux ont le défaut de laisser une fine lame d'air de part et d'autre de l'isolant. Les exfiltrations d'air profitent de ces larges passages.

Ainsi, il est important de favoriser les isolants soufflés. Un isolant dense est également préférable (30 à 40 [kg/m^3]) afin d'éviter les phénomènes de convection à l'intérieur de la paroi.

Ces constats ont été confirmés par la conduite de simulations numériques de type HAM. Les simulations numériques ont permis de tester plusieurs types de pare-air : panneau de fibres de bois bituminé, OSB, plaque de fibrociment, panneau de gypse et différentes membranes.

Combiné avec de la laine minérale, la plupart de ces pare-air ont conduit au développement de moisissures. En présence de cellulose, seules les plaques de fibres de bois les moins étanches à l'air menaient à un tel développement.

L'étanchéité à la vapeur intérieure ne joue plus qu'un rôle secondaire dans les performances hydriques du mur une fois que l'ensemble du traitement extérieur est conçu selon les principes ci-dessus.

Cela signifie que quelques défauts ne sont pas très impactant, ce qui justifie de réserver à la membrane externe les efforts de mise en œuvre.

En résumé, il est possible d'atteindre un bon niveau d'étanchéité en soignant le pare-air continu à l'extérieur, sans rendre le pare-vapeur intérieur étanche à l'air. Si on cumule un pare-air à l'extérieur et un pare-vapeur étanchéifié, on atteint de très hauts niveaux d'étanchéité, mais sans profiter du gain de mise en œuvre.

3.5.2. Bilan

La thèse montre que le fait de déplacer l'étanchéité à l'air principale de l'intérieur vers l'extérieur peut être une solution susceptible de se développer dans le futur dans le but d'obtenir une étanchéité à l'air très élevée.

Dans le cas de la ventilation par insufflation, cela pourrait se révéler être une technique intéressante en raison de ce besoin d'atteindre un très haut niveau d'étanchéité à l'air.

Il faut noter que la thèse de Jelle Langmans souligne que l'étanchéité à l'air par l'extérieur implique de prendre en compte un certain nombre de phénomènes et ne peut pas être improvisée. La question du choix des isolants et des revêtements mis en œuvre sont des contraintes fortes qui ne doivent pas être négligées au risque de faire courir un danger réel à la paroi.

Les caractéristiques des matériaux choisis pour l'étanchéité à l'air extérieure jouent un rôle important dans la réaction globale de la paroi. Cette membrane doit être :

- largement perméable à la vapeur afin de ne pas bloquer le transfert d'humidité par diffusion,
- hygroscopique : capable d'absorber l'humidité de l'air,
- légèrement résistante thermiquement.

Dans cette perspective, le pare-air en panneaux de fibre est le plus performant.

Vis-à-vis des isolants, l'étude a également souligné la supériorité de la cellulose sur les laines minérales ainsi que des isolants soufflés sur les isolants en panneaux. Le choix de la cellulose soufflée est préconisé pour diminuer les risques dû à l'humidité.

Cependant, ces conclusions présentent quelques limites qu'il faut prendre en compte.

L'étude de faisabilité ne répond qu'au cas de constructions à ossatures bois neuves.

En effet, Jelle Langmans s'inscrit dans le contexte architectural belge.

Il serait donc intéressant d'étendre l'étude aux autres types de structure et à la rénovation, qui représente une part importante du marché de la VI.

D'une part, il faudrait déterminer s'il est imaginable d'adapter une paroi a posteriori avec les contraintes dégagées par l'étude, en particulier dans la prise en compte des jonctions fondations/murs et murs/toit.

D'autre part, pour élargir le champ d'application du pare-air extérieur, une étude comparable mais pour les parois maçonnées serait pertinente.

Des éléments pratiques manquent encore pour envisager de mettre en œuvre l'étanchéité à l'extérieur dès aujourd'hui. Par exemple, la résistance de la couche étanche aux aléas climatiques n'est pas encore assurée.

Une autre limite de l'étude est le peu d'informations sur les traitements de la toiture, qui est un élément de l'enveloppe non négligeable vis-à-vis de l'étanchéité à l'air.

Déplacer l'étanchéité à l'air principale de l'intérieur vers l'extérieur peut être une solution pour d'obtenir une étanchéité à l'air très élevée compatible avec les exigences de la VI.

3.6. Synthèse

3.6.1. Bilan général

Les études précédentes confirment en théorie le danger de la surpression si elle est mise en place sans vigilance particulière.

Elles permettent de dégager deux stratégies pour combattre le risque d'exfiltrations accru par la mise en place d'une VI dans un bâtiment.

Globalement, il est nécessaire de bien comprendre la différence entre l'étanchéité à la vapeur et l'étanchéité à l'air et apprendre à les traiter de façon complémentaire, en adéquation avec la composition du mur.

D'une part, il est nécessaire de rendre le bâtiment **étanche à l'air** afin de lutter directement contre les exfiltrations, notamment si la structure est mise en péril par l'humidité comme dans le cas des ossatures bois.

L'étanchéité à l'air doit toujours être soignée. La RT 2012 impose aujourd'hui un niveau d'étanchéité dans les constructions neuves. Cependant, dans le cas particulier de la VI, ce seuil paraît encore largement sous-estimé. La question se pose également pour la rénovation pour laquelle l'étanchéité n'est pas réglementée.

Cet objectif paraît atteignable en neuf, si la contrainte est prise en compte en amont lors de la conception.

Par exemple, l'étanchéité par l'extérieur est une technique qui pourrait potentiellement aider à atteindre un très haut niveau d'étanchéité à l'air. Cependant, dans le cas de la rénovation, il paraît difficile de garantir une étanchéité à l'air aussi élevée. Le bâti ancien est justement caractérisé par sa faible étanchéité à l'air et la pose d'un film d'étanchéité en continu est très difficile si elle n'est pas prise en compte dès la conception de l'enveloppe.

D'autre part, il faut que l'enveloppe soit conçue pour réguler au mieux les exfiltrations qui n'auront pas pu être évitées.

Le projet HYGROBA montre qu'il faut favoriser une **isolation par l'extérieur** et un enduit **perméable à la vapeur** au moins sur la face extérieure. Ces contraintes vont également à l'encontre d'une utilisation en rénovation.

La conception et la mise en œuvre d'une enveloppe compatible avec la VI semblent donc atteignables dans le cas d'une construction neuve, au prix de contraintes importantes.

L'intérêt que représente la VI vis-à-vis d'autres systèmes (simple flux par extraction classique ou double flux) ne paraît pas flagrant au vu des complications impliquées.

Cependant, l'ensemble de ces contraintes et les risques encourus en cas de conception lacunaire rend difficilement imaginable l'installation d'une VI dans le cadre d'une rénovation, que ce soit vis-à-vis de la mise en œuvre d'une étanchéité à l'air hautement performante ou du choix de matériaux adaptés au risque hydrique.

Le paradoxe de cette synthèse réside dans le fait que la réglementation limite fortement l'installation de la VI dans le neuf mais n'exclue pas son utilisation dans des projets de rénovation de bâti ancien.

C'est la rénovation qui forme le cœur du marché de la ventilation par insufflation. Pourtant, on constate que ce type de bâti est loin de rassembler les conditions nécessaires pour envisager un fonctionnement en surpression sans risque, à commencer par l'étanchéité à l'air.

La conception et la mise en œuvre d'une enveloppe compatible avec la VI semblent atteignables dans le cas d'une construction neuve mais très difficile dans des projets de rénovation.

3.6.2. Limite des études bibliographiques

Il faut noter que plusieurs points faibles reviennent dans les documents étudiés et limitent le champ de leurs conclusions.

Le problème des **climats** est récurrent : nous avons vu dans les études de Clément Belleudy et de TenWolde et Rose qu'une définition un peu simpliste du climat extérieur empêche de tirer des conclusions.

De la même façon, Jelle Langmans souligne la difficulté de dresser des années type pertinentes : il n'y a pas de consensus sur des données climatiques de référence pour les simulations hygrothermiques de composants de construction.

La question des **différentiels de pression** se pose également.

Alors que C. Belleudy dresse des modélisations pour une différence de 0,1 pascals et 1 pascal, J. Langmans travaille à 10 pascals.

La valeur réglementaire pour caractériser les entrées d'air en infiltration s'élève à 20 pascals. Un tel écart est étonnant car la différence de pression est une donnée de base pour étudier les flux d'air et que sa bonne évaluation est primordiale pour quantifier correctement les quantités d'humidité exfiltrées.

De plus, il faut souligner que les études présentées se concentrent presque uniquement sur l'**ossature bois**, qui ce n'est pas un procédé majoritaire en France.

Globalement, cette étude bibliographique gagnerait à être complétée par plusieurs publications qui ne seront disponibles que dans les mois prochains.

Les études MOBAIR et HUMIBATEX n'ont pas pu être incluses dans ce travail et apporteront probablement des éléments importants à la réflexion.

4. Etat de l'offre

Dans ce chapitre, nous allons recenser les produits du marché permettant d'assurer une ventilation par insufflation en mode centralisé ou décentralisé.

4.1. Systèmes centralisés en 1 point

4.1.1. Murprotec

La société Murprotec a été créée en 1954 en Angleterre.

Elle est conceptrice et détentrice d'un brevet d'assèchement des murs humides au moyen de tubes de céramique en aluminosilicates soudées au verre. Elle fabrique également des unités de ventilation fonctionnant par insufflation.

Murprotec se présente comme un réseau de professionnels proposant une solution globale de traitement de l'humidité par le traitement des murs et de l'air.

Le traitement de l'air consiste à installer un caisson d'insufflation dans le logement. Deux solutions sont proposées en fonction de la taille du logement :

- Logement d'une surface inférieure à 25 m²,
- Logement d'une surface supérieure à 25 m².

L'installation peut s'effectuer en mural, ou dans les combles.



Figure 28 : Murprotec, installation en mural (photo installateur)

Nous n'avons pas réussi à nous procurer d'informations techniques sur ce produit, malgré nos nombreuses relances mails et téléphoniques à la société.

Murprotec utilise sur son site Internet, comme garant de sérieux, les contrôles effectués par Socotec. En effet, après vérification, Socotec a effectué une enquête de technique nouvelle sur les produits mis en œuvre pour lutter contre les remontées par capillarité.

Cette enquête ne concerne pas la VI.

En absence de données techniques sur ce produit, nous restons réservés sur la mise en place de cette solution de VI.

4.1.2. Unelvent

Unelvent est la filiale française du groupe SOLER & PALAU. Elle commercialise des produits de ventilation. Dans sa gamme, Unelvent propose une ventilation centralisée par insufflation : série Pulsive Ventil.

Ce produit est positionné sur le marché de la rénovation de la maison individuelle, dans le cas où il n'est pas possible d'installer une VMC.

Unelvent préconise d'installer le caisson dans les **combles**, de manière à valoriser l'apport gratuit de chaleur.

Sur certaines versions, un by-pass automatique permet de prendre l'air directement à l'extérieur dès que la température des combles est supérieure à 25 °C.

L'air neuf est filtré par un filtre dont les caractéristiques ne sont pas données. Les conseils d'entretien de ce filtre préconisés par l'industriel sont de 5 ans.

L'insufflation de l'air dans le volume habitable s'effectue par une seule bouche de diamètre $\varnothing$ 200, placée en un point central de la maison (couloir, palier d'étage...),
L'air extrait est évacué naturellement par les défauts naturels d'étanchéité du bâti.

La puissance électrique de ce produit est de 9 W.

Conformément à la directive européenne 2009/125/CE, ces UVR (Unité de Ventilation Résidentielle) d'une puissance électrique inférieure à 30W ne sont pas soumises aux exigences de performances et d'étiquetage.

Néanmoins, les exigences en matière d'information devraient être fournies.

Une batterie électrique d'appoint préchauffe l'air neuf en période froide.

Cette batterie électrique d'appoint intégrée de 500W préchauffe l'air neuf insufflé en cas de besoin. Elle se déclenche automatiquement si la température dans les combles est inférieure à 10°C.

Le niveau sonore indiqué est de 28 dB(A). Il n'est pas précisé s'il s'agit de puissance ou de pression acoustique.

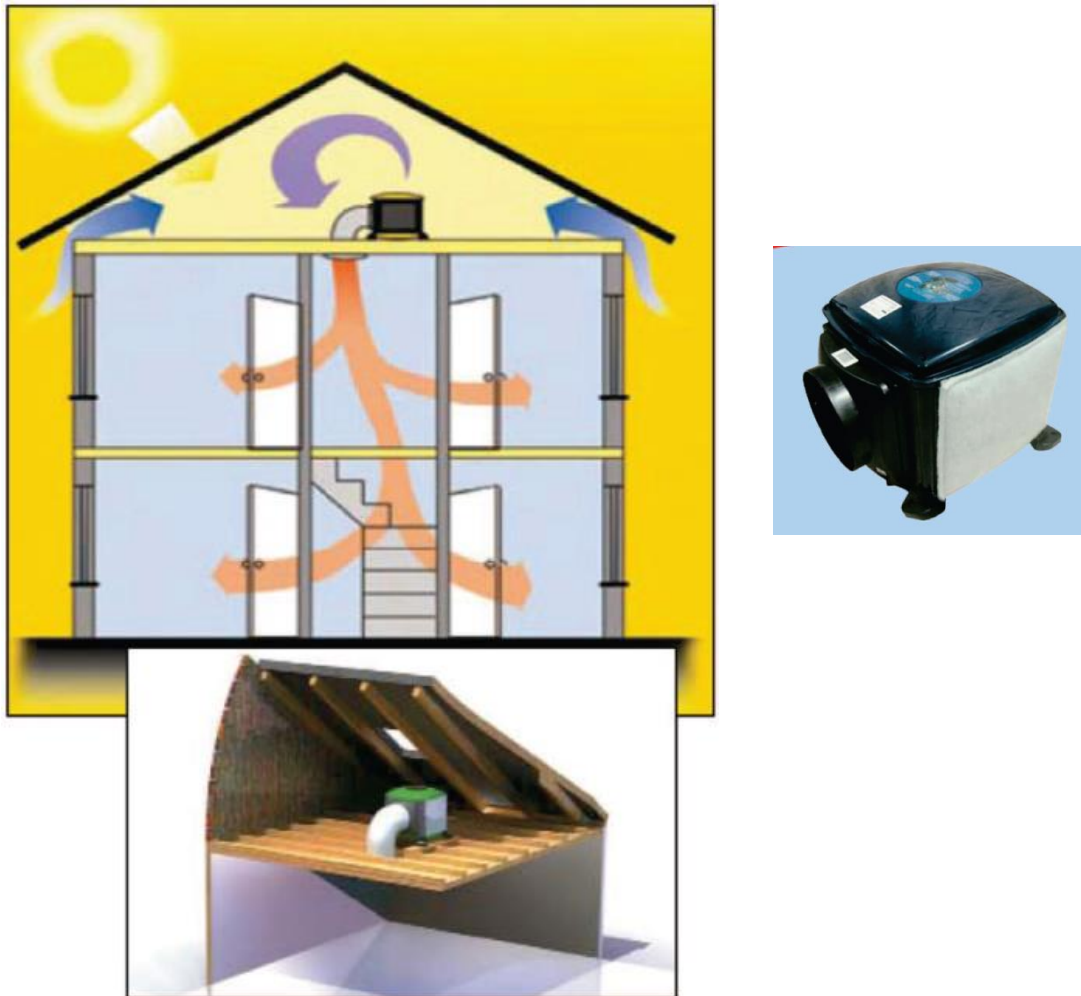


Figure 29 : Pulsive Ventil, ventilation centralisée par insufflation (UNELVENT)

Le prix HT de ce produit est de 492 €.

4.1.3. Envirovent

Envirovent est la filiale anglaise du groupe SOLER & PALAU. Elle commercialise des produits de ventilation. Dans sa gamme, Envirovent propose une ventilation centralisée par insufflation : PIV (Positive Input Ventilation).

Ce produit est positionné sur le marché du neuf et de la rénovation. Il est certifié BBA : 03/4043. Il s'agit du produit que nous avons décrit pour Unelvent au chapitre 4.1.2.



Figure 30 : PMIV ventilation centralisée par insufflation (ENVIROVENT)

4.1.4. Eoletec

Eoletec est un fabricant français qui conçoit et fabrique ses produits à Tremblay en France (93).

Eoletec commercialise une ventilation par insufflation appelée VPH, système de Ventilation Positive pour l'habitat.

Deux produits constituent la gamme VPH et VPH ecodesign, ®.

La VPH s'installe soit en version apparente soit en version combles avec prise d'air extérieur.



Figure 31 : VPH, ventilation centralisée par insufflation (EOLETEC)

Pour assurer le chauffage de l'air insufflé, une batterie électrique de 1700 W peut être associée à la centrale.

Un filtre G4 est installé d'origine sur la VPH.

Le nom *ecodesign*, ®, utilisé introduit une confusion quant à la conformité réglementaire à la directive 2009/125/CE communément appelée « Eco-design ».

Cette directive conditionne le marquage CE des produits à des exigences d'ecoconception pour une efficacité énergétique meilleure avec un impact environnemental plus faible ;

Cependant, à ce jour, ni la VPH, ni la VPH *ecodesign*, ®, n'ont d'étiquettes énergétiques. Ces produits ne sont pas conformes aux exigences européennes.

Le prix de ce produit ne nous a pas été communiqué

4.1.5. Ventilairsec

Ventilairsec est un fabricant français qui conçoit et fabrique ses produits à Saint-Herblain (44). Ventilairsec commercialise une ventilation par insufflation brevetée appelée VMI ®.

3 versions de produits existent :

- Cube,
- Compact,
- Galbé



Figure 32 : Version produits (VENTILAIRSEC)

Ces produits sont regroupés 4 gammes :

- Cave2 associé à une commande 3 vitesses assurant un débit de 82, 143 et 218 m³/h,
- Basic2 associé à une commande 10 vitesses assurant un débit fixe de 20 à 218 m³/h,
- Prestige 2 et 2+ associé à une commande de régulation des vitesses en fonction de l'hygrométrie intérieure et extérieure (débit 20 à 218 m³/h).

La puissance électrique absorbée au débit maximum est comprise entre 58.3 W et 60.3 W.

Les filtres associés à ces produits sont de type G4, sauf pour la gamme Prestige2+ associé à un filtre F7.

Une batterie d'une puissance électrique de 1140 W peut être installée sur l'insufflation.

Tous les produits ont une étiquette ErP disponibles sur le site de Ventilairsec. Ils ont une classe énergétique C, à l'exception de la gamme Cave 2 qui affiche une classe énergétique F.

Le classement énergétique C s'explique par la prise en compte d'un coefficient Ctrl de 0.65 associé à une double commande locale modulée. (température dans le caisson et dans l'ambiance).

Le règlement ErP ne prend en compte que la partie ventilation, pas la partie chauffage.

Les prix de ces produits en kit varient de 972 € à 1153 € en fonction de la gamme.

La prise d'air neuf se fait toujours à l'extérieur.

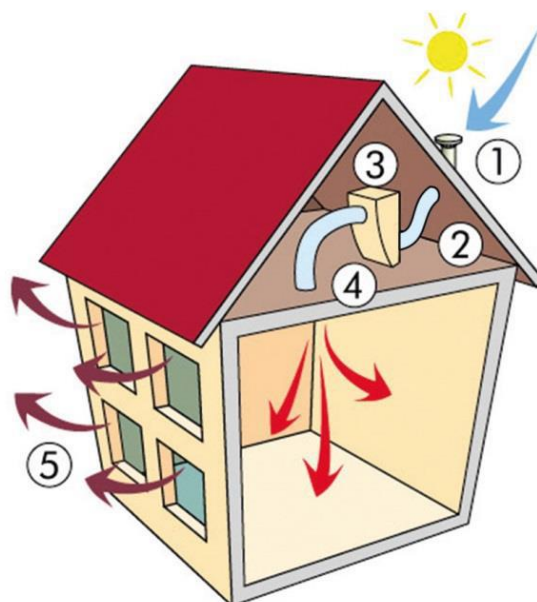


Figure 33 : VMI ®, ventilation centralisée par insufflation (Ventilairsec)

4.1.6. Nuaire

NUAIRE est un groupe britannique qui conçoit et fabrique des systèmes de ventilation par insufflation et les exporte dans plus de 40 pays.

NUAIRE propose une plus large gamme de ventilation centralisée par insufflation : PIV (Positive Input Ventilation).

Le principe de diffusion de l'air est identique quelque soit les modèles :

- Insufflation au point le plus haut et le plus centré du logement
- Extraction de l'air uniquement par les fuites et les ouvrants

Le fonctionnement de la ventilation n'est pas permanent.

Le système s'arrête si la température extérieure (ou en combles) dépasse la température de consigne fixée (exemple 24°C). Le ventilateur redémarre automatiquement lorsque la température diminue.

Quand l'air extrait (combles ou extérieur) dépasse 19°C en hiver, le ventilateur passe à une vitesse supérieure. Ce mode est qualifié de "**récupération de chaleur**", par le fabricant.

Aucune information exigée selon la directive européenne 2009/125/CE n'est fournie.

Les seules informations techniques concernent la puissance de ces ventilateurs

Les modèles avec prise d'air en combles (série Drimaster)



Figure 34 : PIV ventilation centralisée par insufflation (NUAIRE)

La gamme Drimaster est certifiée BBA : 03/3727. L'air pris dans les combles est filtré par 2 filtres de type G4.

Différentes variantes existent :

- DRI-ECO-LC, insufflation simple, $P_{\max}=15.3 \text{ W}$,
- DRI-ECO-link-HC, insufflation asservie à la concentration en CO_2 et à l'humidité relative intérieure de la maison, $P_{\max}=15.3 \text{ W}$
- DRI-ECO-heat-LC, insufflation raccordée à une batterie électrique de 400 W intégrée dans le conduit. Cette version est en attente de brevet, $P_{\max}=15.3 \text{ W}$
- DRI-ECO-3 storey, insufflation adaptée aux maisons à 3 étages, $P_{\max}=24 \text{ W}$.

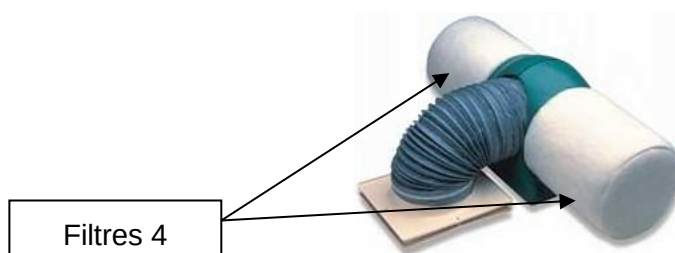


Figure 35 : Drimaster (NUAIRE)

Aucune information exigée selon la directive européenne 2009/125/CE n'est fournie. Les seules informations techniques concernent la puissance de ces ventilateurs.

Modèle avec prise d'air à l'extérieur : DRI 365

Le DRI 365 n'est pas certifié BBA. Il est constitué d'un caisson métallique un piquage. La prise d'air se fait à l'extérieur à l'aide d'un conduit de raccordement. L'air est ensuite insufflé en un point central dans le logement.

Un filtre G4 peut être positionné dans le caisson en option.
La puissance maxi indiquée de 24 W.

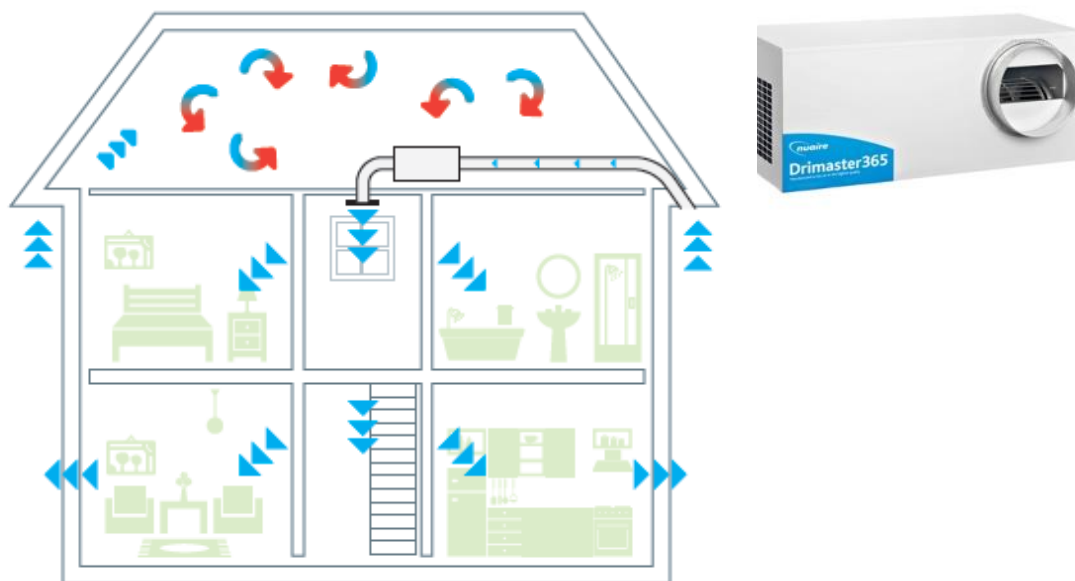


Figure 36 : DRI 365 (NUAIRE)

Le mode 'récupération de chaleur' du système NUAIRE consiste à prendre un air d'une température supérieure à 19°C dans les combles.

Modèle avec prise d'air à l'extérieur : DRI 365

Le FLATMASTER est certifié BBA : 03/3727. Il est plus particulièrement destiné aux logements collectifs. L'air neuf est pris directement à l'extérieur. Il est équipé d'un filtre G3.

Le FLATMASTER fonctionne avec trois vitesses de fonctionnement d'une puissance maxi respectives de 1.5 W, 8W et 13W.



Figure 37 : FLATMASTER (NUAIRE)

4.2. Systèmes décentralisés en 2 points

4.2.1. Unelvent

Unelvent propose une ventilation décentralisée par insufflation : série Pulsive Ventil roof.

Ce produit est positionné sur le marché de la rénovation de la maison individuelle, dans le cas où il n'est pas possible d'installer une VMC.

Unelvent préconise d'installer le caisson dans les **combles**, de manière à valoriser l'apport gratuit de chaleur.

Sur certaines versions, un by-pass automatique permet de prendre l'air directement à l'extérieur dès que la température des combles est supérieure à 25 °C.

L'air neuf est filtré par un filtre G4. Les conseils d'entretien de ce filtre préconisés par l'industriel sont de 5 ans.

L'insufflation de l'air dans le volume habitable s'effectue par deux bouches de diamètres $\varnothing$ 100 placées en deux points de la maison (couloir, palier d'étage...).

L'air extrait est évacué naturellement par les défauts naturels d'étanchéité du bâti.

La puissance électrique de ce produit est de 9 W. ($P < 30W$)

Conformément à la directive européenne 2009/125/CE, ces UVR (Unité de Ventilation Résidentielle) ne sont pas soumises aux exigences de performances et d'étiquetage.

Néanmoins, les exigences en matière d'information devraient être fournies.

Une batterie électrique d'appoint préchauffe l'air neuf en période froide.

Cette batterie électrique d'appoint intégrée de 500W préchauffe l'air neuf insufflé en cas de besoin. Elle se déclenche automatiquement si la température dans les combles est inférieure à 10°C. ,

Le niveau sonore indiqué est de 28 dB(A). Il n'est pas précisé s'il s'agit de puissance ou pression acoustique.

Le prix HT de ce produit est de 536 €.



Figure 38 : Pulsive Ventil roof 2S, ventilation décentralisée par insufflation (UNELVENT)

4.2.2. Envirovent

Envirovent propose une ventilation décentralisée par insufflation : MIV® (Multiple Input Ventilation Unit).

Ce produit est positionné sur le marché du neuf et de la rénovation. Il est certifié BBA : 03/4043 et breveté.

Il s'agit du produit que nous avons décrit pour Unelvent au chapitre 4.2.1.



Figure 39 : MIV®, ventilation décentralisée par insufflation (ENVIROVENT)

4.2.3. Ventilairsec

Les produits utilisés pour l'insufflation en 2 points sont les mêmes que ceux décrits au chapitre 4.1.5. Ils sont installés avec 2 branches de soufflage en utilisant un té de raccordement.

4.3. Système décentralisé avec insufflation dans toutes les pièces de vie

Seul VENTILAIRSEC propose cette solution.

Le produit mis en œuvre est le Maxi. Il est associé à une commande de régulation des vitesses en fonction de l'hygrométrie intérieure et extérieure (débit 70 à 400 m³/h).

La puissance électrique absorbée au débit maximum est comprise entre 66.5 W.

Un filtre F7 est monté sur le caisson Maxi.

Une batterie d'une puissance électrique de 2200 W peut être installée sur l'insufflation.

La classe énergétique du maxi est la classe B.

Le prix de ce produit en kit est de 1473 €.



Figure 40 : Maxi (VENTILAIRSEC)

Le système décentralisé avec insufflation dans toutes les pièces de vie consiste comme nous l'avons décrit au chapitre 1.3.2 à mettre en place un réseau de soufflage.

L'extraction, quant à elle peut s'envisager de différentes façons :

- Par les défauts d'étanchéité du bâti,
- Par les fenêtres,
- Par des conduits verticaux à tirage naturel,
- Par des extracteurs mécaniques.

L'extraction par les fuites du bâti n'est pas une solution autorisée par l'arrêté du 24/03/82.

L'extraction par ouverture des fenêtres est une solution autorisée par l'arrêté du 24/03/82, en zone H2 et H3 dans les pièces techniques autres que la cuisine.

L'extraction par des conduits verticaux à tirage naturel dans toutes les pièces techniques est une solution autorisée par l'arrêté du 24/03/82.

L'extraction par des extracteurs mécaniques dans toutes les pièces techniques est une solution autorisée par l'arrêté du 24/03/82.

Afin de proposer des solutions conformes à l'arrêté du 24/03/82, VENTILAIRSEC propose deux solutions différentes en logement selon les zones climatiques.

Pour les maisons situées en zone H2 et H3.

Le principe du système est représenté sur le schéma ci-dessous.

- Une prise d'air neuf située soit en toiture soit en façade,
- Un réseau de soufflage dans toutes les pièces principales du logement,
- L'air vicié est évacué par un extracteur ponctuel en cuisine,
- L'air vicié est évacué par les fenêtres dans les autres pièces techniques (WC, salle de bain, etc.)



Figure 41 : Ventilation décentralisée par insufflation (VENTILAIRSEC), proposée en zone H2 et H3

Pour les maisons situées en zone H1.

Le principe du système est représenté sur le schéma ci-dessous.

- Une prise d'air neuf située soit en toiture soit en façade,
- Un réseau de soufflage dans toutes les pièces principales du logement,
- L'air vicié est évacué dans les pièces techniques par un réseau d'extraction.

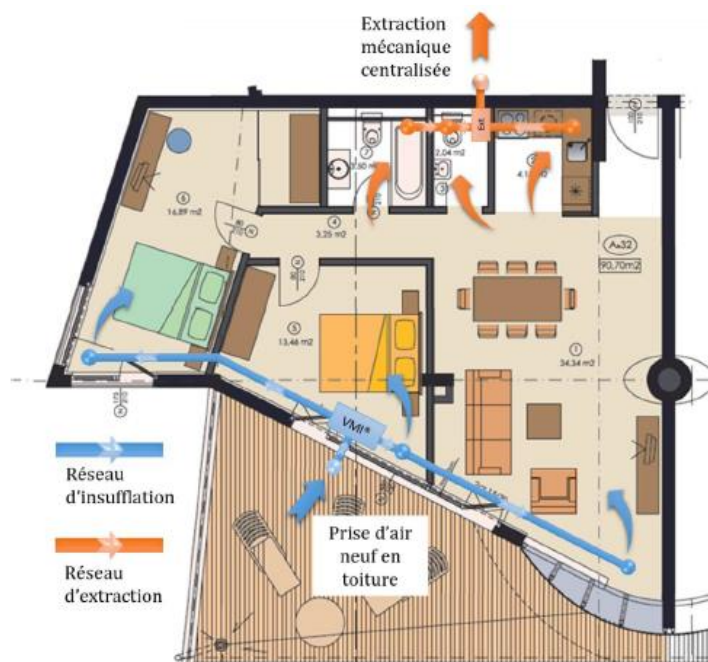


Figure 42 : Ventilation décentralisée par insufflation (VENTILAIRSEC), proposée en zone H1

Notons qu'il correspond à **une ventilation double flux sans récupération de chaleur**.

4.4. Synthèse

4.4.1. Les configurations

Les produits de ventilation par insufflation ne sont définis ni par un nom, ni par une technique de ventilation précise, seul le sens de l'air permet de les ranger dans cette famille.

Les vocables suivants sont utilisés :

- Ventilation Mécanique par Insufflation, VMI ®,
- Ventilation Positive Habitat, (VPH), eco design ®,
- Ventilation Centralisée par Insufflation, (VCI),
- Positive Input Ventilation (PIV), DRI-ECO-heat-LC en cours de brevet
- Multiple Input Ventilation Unit (MIV®)

Comme le montre la liste précédente, les systèmes de VI sont généralement brevetés.

La prise d'air neuf peut se faire :

- Dans les combles,
- A l'extérieur

La distribution de l'air peut se faire en :

- Un seul point,
- Deux points,
- Plusieurs points

La sortie de l'air peut se faire :

- Par les défauts d'étanchéité du bâti,
- Par les fenêtres,
- Par des conduits verticaux à tirage naturel,
- Par des extracteurs mécaniques.

Les passages de transit sont rarement pris en compte

4.4.2. Le prix

Le prix catalogue des VI est très élevé. Ces prix ne sont généralement pas indiqués dans les documentations.

Unelvent est le seul industriel donnant un prix public dans son catalogue.

Le prix du caisson VMC Venturia autoréglable est de 98.96 € HT,

Le prix du caisson Pulsive Ventil est de 492 € HT

4.4.3. Les caractéristiques techniques produits

Les fiches techniques des produits de ventilation par insufflation sont très sommaires. Ni la plage de débits, ni la plage de pression n'est pas clairement définies. Il paraît difficile d'assurer les débits de l'arrêté du 24/03/82 avec les vitesses minimum de ces groupes.

Des batteries électriques d'une puissance très importantes sont associées au système. Les filtres installés sur les versions de base sont généralement de type G4. Les filtres utilisés sont généralement de type G4, même quand l'air est pris dans les combles. Certaines versions haut de gamme peuvent être équipées d'un filtre F7.

Règlement ErP

Seul Ventilairsec communique les informations réglementaires obligatoires du règlement ErP. Certains ventilateurs d'une puissance électrique inférieure à 9 W ne sont pas soumis à l'étiquetage énergétique.

4.4.4. La conformité réglementaire

Modalité d'application de la réglementation ventilation

Les installations de ventilation dans les bâtiments sont soumises à l'application de la réglementation en vigueur à la date de la première demande de dépôt du permis de construire de ce bâtiment.

Exemple : un bâtiment dont la date du dépôt du permis de construire date de 1965, ne doit respecter que le RSDT. Les arrêtés du 22/10/69 et du 24/03/82 modifié ne s'appliquent pas.

Acoustique.

La position centrale de la bouche d'insufflation en VI centralisée permet généralement de répondre aux exigences de la réglementation acoustique du 30/06/99.

Par contre en ce qui concerne, une distribution répartie dans les chambres, cette conformité reste à démontrer. Aucun rapport d'essai n'existe pour garantir ces performances.

Aéraulique

La VI prenant l'air neuf dans les combles pourrait ne pas satisfaire l'article 24 de la circulaire du 9 août 1978 qui demande un prélèvement en un point présentant le maximum de garantie quant à la pureté de l'air.

Le tableau suivant synthétise la conformité aux exigences aérauliques de ces différents produits en fonction des différentes configurations trouvées.

Produits	Insufflation		Extraction		Prise d'air	RSDT	Arrêté 22/10/69	Arrêté 24/03/82
	Mécanique		Naturel par conduit ou mécanique	Ouverture des fenêtres				
	Centralisée En 1 ou 2 points	Toutes les pièces principales	cuisine	Autres pièces de service				
Pulsive ventil Unelvent, Envirovent, Eoletec	Oui	Non	Fonction de l'installation	Oui, si pièces non aveugles	Dans les combles	Doute quant à la pureté de l'air	Non conforme article 1	Non conforme article 1
Murprotec, Eoletec, Ventilairsec (centralisé)	Oui	Non			Extérieur	Oui	Non conforme article 1	Non conforme article 1
Ventilairsec (décentralisé)	Non	Oui			Extérieur	Oui	Conforme si évacuation en cuisine et autres pièces techniques non aveugles	Conforme en zone H2 et H3 si évacuation en cuisine et autres pièces techniques non aveugles Non conforme en zone H1

Figure 43 : Conformité aux réglementations aérauliques de la VI

4.4.5. Les interrogations sur le système

De nombreuses interrogations se posent sur le principe même de l'utilisation de l'insufflation.

- Diffusion de l'humidité dans les parois

Les études analysées au chapitre 3 confirment en théorie le danger de la surpression si elle est mise en place sans vigilance particulière.

En logement neuf, il est possible de mettre en œuvre des solutions pour combattre le risque d'exfiltrations. Elles sont par contre, difficilement imaginables dans l'habitat existant, cœur du marché de la ventilation par insufflation.

- Dispersion des polluants.

La dispersion ou la diffusion des polluants dans le logement et l'extraction par un système non mécanisé, peut amener à une perte globale d'efficacité du système au niveau du captage.

- Ouverture des fenêtres.

Il existe un risque lié à l'ouverture d'une fenêtre lors de la préparation d'un repas par exemple: Que se passe-t-il au niveau de l'extraction en cuisine ? Est-ce que l'air « pollué » ne va s'évacuer par le chemin le plus court, c'est-à-dire la fenêtre ouverte dans le salon, auquel cas, les buées et les graisses de cuisson ne seront pas évacuées dans la cuisine ? Les odeurs gênantes de cuisine vont transiter par le salon.

Le même risque existe si l'on ouvre une fenêtre dans une pièce sèche lors de la prise d'une douche par exemple. Le sens d'extraction de l'air vicié risque de s'inverser également. L'air humide va transiter par le salon ou la chambre avant de s'évacuer vers l'extérieur.

- Débits d'extraction

Les groupes d'insufflation fonctionnent avec plusieurs vitesses. Il n'est pas garanti que les débits réduits soient suffisamment à l'évacuation des polluants.

- Consommations électriques

Les ventilateurs ont des puissances électriques faibles, néanmoins les batteries électriques associées indispensables pour des questions de confort ont des puissances électriques très élevées, de 500 W à 2200W !

- Présence d'appareil à combustion

En cas de présence d'un appareil à combustion non étanche dans la cuisine, il faudrait s'assurer que l'extraction naturelle dans la cuisine ne vient pas perturber le tirage de la chaudière.

La meilleure solution consistant dans ce cas à prévoir un appareil à combustion à circuit étanche.

- Information des occupants

Les occupants d'une maison où est installée une VI doivent connaître le fonctionnement de leur système. Un livret devrait pouvoir les renseigner quant à l'utilisation de leur système

5. RETOUR D'EXPERIENCE

Pour pouvoir se prononcer définitivement sur la ventilation par insufflation, il est nécessaire de se baser sur des retours d'expérience afin de confirmer les réserves formulées lors de l'étude théorique.

Malheureusement, cette étape est difficile. Du fait de la réglementation, il y a peu de bâtiments équipés de VI en France et encore moins de constructions instrumentalisées en vue de suivre ses performances. On doit donc s'appuyer sur un nombre réduit de documents et d'expériences de professionnels.

Ce nombre est d'autant plus faible que beaucoup des documents sont issus des industriels du secteur.

5.1. Etanchéité à l'air dans les bâtiments de Olivier Siedler

Olivier Siedler. L'étanchéité à l'air dans les bâtiments : pourquoi et comment faire ? 2010

Le document rédigé par Olivier Siedler a vocation à démontrer l'importance de l'étanchéité à l'air des parois. Il a été rédigé avant la mise en place de la RT2012 et la prise en compte de ce paramètre, notamment par le test à la porte soufflante.

Olivier Siedler ne traite pas de la ventilation par insufflation en particulier : les exfiltrations dont il parle peuvent être liées à d'autres phénomènes engendrant un différentiel de pression, comme le vent.

Concernant le risque spécifique lié aux exfiltrations, Olivier Siedler écrit :

« Les infiltrations à travers les parois sont forcément associées, sur la façade opposée, à des exfiltrations. Celles-ci peuvent être très dangereuses car l'air est alors chargé d'une grande quantité de vapeur d'eau qui ne manquera pas de condenser en traversant la paroi. On a pu ainsi observer, notamment sur des maisons à ossature bois, des pathologies redoutables dues non pas à la migration de vapeur associée au gradient de pression partielle mais à un transport de vapeur d'eau par l'air exfiltré (voir photo). Il est donc essentiel de protéger les parois extérieures de ce phénomène, et seule une bonne étanchéité à l'air le permettra. »

Il illustre son propos par la photo suivante, reprise dans son ouvrage par Clément Belleudy :

Passage de l'air exfiltré
chargé de vapeur d'eau



Figure 44 : Dommages sur une construction bois liés à des exfiltrations d'air
Contacté pour des explications complémentaires sur ce document, il ajoute :

« La photo des pathologies sur les zones d'exfiltration d'air a été faite par Jean Claude Scherrer, directeur d'Afordex, aujourd'hui à la retraite, sur sa propre maison à ossature bois en Alsace (qui avait 41 ans).

Jean Claude Scherrer est la première personne en France qui a commencé à faire des tests à la porte soufflante dans les bâtiments. Il s'est ingénument posé des questions sur ce qui pouvait y avoir sous les bardages de sa maison, et après avoir retiré ceux-ci, la photo montre ce qu'il a trouvé.

Son explication, reprise dans nos documents est incontestable. Il y a quelques années j'ai fait une formation sur la rénovation à 160 personnes à Strasbourg précisément, et un expert auprès des tribunaux qui était dans la salle a dit que c'était un phénomène connu. Il est certain que les experts et les assureurs connaissent bien toutes ces pathologies que les concepteurs n'imaginent souvent pas... »

La photographie ci-dessus montre des dégâts liés à des exfiltrations d'air, non exacerbées par la mise en œuvre d'une surpression

En effet, l'exfiltration n'est pas un phénomène réservé à la VI : la différence de pression entre les deux faces d'une paroi est une combinaison de l'action du vent, du tirage thermique et de la ventilation.

Le phénomène peut donc être présent sans ventilation ou avec une ventilation à l'équilibre, notamment si la maison est soumise à des vents importants ou si sa hauteur est importante.

Ce témoignage confirme le danger que représentent les fuites d'air de l'intérieur vers l'extérieur.

Le diagnostic dressé par Olivier Siedler n'est pas appuyé sur des mesures ou un raisonnement chiffré mais par une expertise forcément subjective, expertise qu'il n'a pas été possible de compléter utilement par le témoignage des « experts et assureurs » évoqués.

On retrouve ici la problématique concernant le cas particulier des constructions à ossature bois, traité également par C. Belleudy, et il est légitime de se demander pourquoi la question de l'étanchéité à l'air est souvent abordée pour ce type de construction.

D'une part, de façon générale, que ce soit en construction lourde ou en construction bois, les fuites les plus récurrentes sont liées d'abord aux équipements électriques et aux menuiseries extérieures. Cependant, en construction bois, l'ossature bois elle-même apparaît fréquemment touchée par les faiblesses de l'étanchéité à l'air à cause de sa structure multicouche et des nombreux joints présents : cette complexité rend la mise en œuvre d'une étanchéité plus difficile.

De plus, les matériaux utilisés dans les parois sont plus ou moins sensible à la présence d'humidité : alors que l'eau met directement en péril la pérennité d'une structure bois ou d'une isolation biosourcée, elle n'a pas un impact aussi directement dangereux sur des matériaux minéraux (baisse des performances thermiques, développement fongique et bactérien).

Ainsi, on voit pourquoi la problématique des exfiltrations est traitée en particulier dans le cas des ossatures bois : non seulement le risque est plus global sur l'ensemble de l'enveloppe, mais il est aussi nettement plus élevé en terme de conséquences structurelles. De ce fait, les études ont tendance à se focaliser sur cette problématique et abordent moins les autres types de construction.

L'étanchéité à l'air doit donc être particulièrement soignée :

- quand le différentiel de pression est élevé : bâtiment exposé au vent, différentiel de pression dû à la ventilation (que ce soit en extraction comme en insufflation, mais avec des conséquences plus grave en insufflation comme montré dans au chapitre 3.
- quand les matériaux de construction mis en œuvre sont mis en danger par l'humidité.

Dans ce contexte, la mise en surpression d'une habitation exacerbe le risque d'exfiltrations. La gravité de ces exfiltrations est encore multipliée si les matériaux sont biosourcés, type ossature bois. La seule manière de protéger efficacement de bâti est de procéder à une imperméabilisation grâce à une membrane d'étanchéité à l'air.

Le choix de la surpression doit se faire en toute conscience des caractéristiques hygrométriques des matériaux et en mettant nécessairement en place une protection d'étanchéité à l'air.

5.2. Remplacement d'une VI par une VMC hygro B

Nous avons interrogé un installateur.

Ce dernier a été appelé par un particulier qui avait acheté une VI de chez Murprotec. Pour assurer la sortie d'air, l'installateur avait découpé les joints des fenêtres neuves !!!!

Cette ventilation chère (plus de 5000 €, fournie posée), inefficace, et gourmande en électricité ne donnait aucune satisfaction au client.

L'installateur a déposé l'appareil, rebouché la façade à l'endroit où la VI avait été placée et installée une VMC simple flux Hygro B, pour moins de la moitié de la somme déjà versée par la cliente pour la VI.

A ce jour, la maison est plus saine et les clients satisfaits.

5.3. Des règles mal définies en VI

Nous avons interrogé un Expert près de la Cour d'Appel.

Ce dernier émet quelques réserves sur la VI et pense qu'un encadrement mieux défini de cette technique est essentiel.

Il nous a communiqué son expérience sur la VI. Nous reportons ici notre entretien ;

« J'ai peu fait de VMI : seulement pour tenter d'assainir des bâtis malsains pour contrer des remontées capillaires d'humidité dans de vieilles bâtisses en pierre.

L'autre usage courant par ici (NDLR : Bretagne) est en traitement radon, permettant la surpression du bâtiment, donc empêchant l'entrée de radon.

Le problème est que le système est énergivore car il faut toujours filtrer et préchauffer l'air, souvent par batterie électrique de forte puissance.

Si on peut éviter une VI on l'évite !!

Peut-être est-ce envisageable avec un puits climatique. Encore que si on peut la remplacer par une double flux, c'est l'idéal.

Tout cela sans compter les coûts d'entretien (filtres) qui grèvent encore plus le budget d'usage de telles machines.

J'ai compris que des vendeurs ou des clients annoncent des économies d'énergie de l'ordre de 20% ... mais par rapport à des consommations avec ventilations naturelles.

Certains « banditherms » appellent ça de la VPH (ventilation Positive de l'Habitat) Murprotec, je les connaissais pour les injections dans les murs. Les voir parler de VMI appelée CTA qui fait faire des économies d'énergie de 20%, ça m'inquiète.

Voilà pour mon retour d'expérience et de sentiments sur ce produit. Néanmoins, vous avez raison de le traiter car il s'impose parfois et les règles sont mal définies. »

CONCLUSION

Les produits de ventilation par insufflation ne sont définis ni par un nom, ni par une technique de ventilation précise, seul le sens de l'air permet de les ranger dans cette famille.

Dans certain cas, la VI pourrait être une alternative intéressante au respect de la qualité d'air dans les logements individuels. Cependant dans l'état actuel, il est difficile de se prononcer de manière définitive par manque d'encadrement de cette technique.

Aucune réglementation, recommandation, ou règle de l'art n'existe. Cette absence de texte entraîne des configurations de système très disparates, dont certaines peuvent être mise en cause en ce qui concerne la qualité de l'air.

Les études analysées au chapitre 3 confirment en théorie le danger de la surpression vis-à-vis des transferts d'humidité, si elle est mise en place sans vigilance particulière.

En logement neuf, il est possible de mettre en œuvre des solutions pour combattre le risque d'exfiltrations. Elles sont par contre, difficilement imaginables dans l'habitat existant, cœur du marché de la ventilation par insufflation.

Pour améliorer les performances de la VI, il est nécessaire d'envisager une approche globale et maîtriser l'ensemble du circuit de l'air en incluant les batteries de chauffage associées, source de consommation énergétique importante.

Dans cette étude, nous avons identifié les points nécessaires à améliorer. Il faudrait à présent bâtir un guide fixant les exigences minimalistes permettant de respecter un niveau d'hygiène suffisant en fonction de l'état du bâti existant.

Un groupe de travail regroupant différents professionnels pourrait être constitué afin de bâtir des règles claires.

En effet, les retours d'expérience mettent en évidence une grande disparité entre la pratique du terrain et la théorie présentée dans les catalogues et sites internet des industriels.

Le Costic va réaliser sur l'année 2017, une série d'audits techniques afin de mesurer la qualité de ventilation obtenue réellement par la VI mise en œuvre sur le terrain: qualité du balayage, performance énergétique, confort acoustique, degré de satisfaction des clients vis-à-vis de cette technique.

BIBLIOGRAPHIE - WEBOGRAPHIE

- [1] Circulaire du 09/08/78 relative à la révision du règlement sanitaire départemental type
- [2] Arrêté du 24 mars 1982 relatif à l'aération des logements
- [3] Arrêté du 22 octobre 1969 relatif à l'aération des logements
- [4] NF DTU 68.3- 22 juin 2013- Travaux de ventilation mécanique
- [5] BENCHMARK EN EUROPE - Qualité de l'air intérieur et ventilation des logements – 2004- Strategic Scoot-FFB
- [6] NBN D50-001 : Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation
- [7] Belleudy, C. (2006). Modélisation des transferts d'air et leur impact sur le comportement hygrothermique de l'enveloppe des bâtiments.
- [8] Langmans, J. (2013). Feasability of exterior air barriers in timber frame construction.
- [9] MEDDE. (2013). HYGROBA, étude de la réhabilitation hygrothermique des parois anciennes.
- [10] Siedler, O. (2010). L'étanchéité à l'air dans les bâtiments : pourquoi et comment faire ? Enertech
- [11] TenWolde, A. (1996). Moisture Control Strategies for the Building Envelope. Journal of Building Physics, 206-214.
- [12] <http://www.vertuoze.fr/documentation/130131-Vertuoze-BDef.pdf>
- [13] <http://www.enertech.fr/pdf/45/transfert-d-humidite-dans-les-batiments.pdf>
- [15] www.envirovent.com
- [16] www.nuaire.co.uk
- [17] <http://energie.wallonie.be/fr/exigences-peb>
- [18] <http://www.ventilairsec.com>
- [19] www.eoletec.fr

ANNEXES

ANNEXE 1 : DOCUMENTATION ENVIROVENT	71
ANNEXE 2 : DOCUMENTATION NUAIRE	73
ANNEXE 3 : DOCUMENTATION EOLETEC	75
ANNEXE 4 : DOCUMENTATION VENTILAIRSEC.....	76

ANNEXE 1 : DOCUMENTATION ENVIROVENT

ANNEXE 2 : DOCUMENTATION NUAIRE

ANNEXE 3 : DOCUMENTATION EOLETEC

ANNEXE 4 : DOCUMENTATION VENTILAIRSEC