

# 500 maisons rénovées basse consommation

*Enseignements opérationnels des programmes  
« Je rénove BBC » en Alsace*



## Fascicule F : la mise en œuvre



Fascicule F - juin 2017



L'appel à projet « 50 chantiers pionniers » a permis de mettre en évidence que la performance énergétique et environnementale d'une rénovation globale est fonction du niveau de conception globale du projet et de la bonne coordination des travaux. Il a ainsi mis en évidence l'intérêt d'un pilotage et d'une coordination de l'opération tenant compte des interfaces (jonctions physiques) et des interactions (conséquences sur d'autres lots des actions menées sur un lot). Les travaux sur l'existant étant susceptibles de créer un grand nombre de non-qualités, une bonne conception permet de les anticiper, d'apporter une solution à une majorité d'entre elles et de faire émerger de bonnes pratiques.

Le retour d'expérience a permis, à l'issue d'un partenariat entre EDF/ES, l'AQC et la Région Alsace, de porter un premier regard sur les bonnes et les mauvaises pratiques, tant sur la rénovation globale que sur celle effectuée par étapes.

Ces éléments ont été consignés dans deux plaquettes à destination des professionnels du bâtiment, maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage. Ils sont repris ici de manière plus détaillée.

Enfin, il est développé un point d'attention particulier au sujet de la mise en œuvre de l'étanchéité à l'air.

# SOMMAIRE

<b>RETOURS SUR LES BONNES, LES MAUVAISES PRATIQUES ET LEURS SOURCES ...</b>	<b>3</b>
Présentation de l'enquête menée dans le cadre du dispositif REX BP .....	3
Illustration des bonnes et mauvaises pratiques .....	3
Tentatives d'interprétation des causes de la non-qualité au-delà du dispositif REX BP ....	8
<b>FOCUS SUR L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR .....</b>	<b>9</b>
Inventaire des défauts d'étanchéité à l'air récurrents .....	9
Préconisations pour le traitement de l'étanchéité à l'air, issues du retour d'expérience.....	12
<b>RÉNOVATION GLOBALE OU PAR ÉTAPES .....</b>	<b>13</b>
Rénovation globale .....	13
Rénovation par étapes .....	15



## RETOURS SUR LES BONNES, LES MAUVAISES PRATIQUES ET LEURS SOURCES

Dans le cadre d'un partenariat réalisé en 2014, EDF/ES et l'AQC ont travaillé ensemble sur les origines des non-qualités et des bonnes pratiques d'un certain nombre de chantiers des programmes JRBBC. Cette collaboration s'est inscrite pour l'AQC dans une enquête « retour d'expérience – bâtiments performants et risqués » (REX BP) réalisée dans le cadre du programme RAGE (règles de l'art Grenelle de l'environnement).

### Présentation de l'enquête menée dans le cadre du dispositif REX BP

Cette enquête sur les retours qualité des chantiers s'est traduite par 21 visites d'opérations. À la suite de chaque visite ont été élaborées une fiche « opération » – synthétisant les caractéristiques du chantier – ainsi que des fiches « événement » regroupant les non-qualités ou les bonnes pratiques observées, avec une analyse portant sur l'origine de ces dernières. Ces visites se sont déroulées in situ et via des entretiens téléphoniques avec les acteurs du chantier par un interlocuteur des programmes JRBBC.

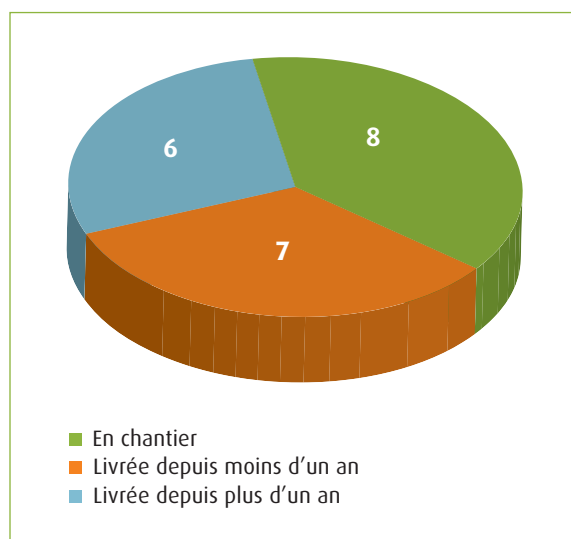


Figure 1 : Avancement des opérations visitées.

Ces visites ont permis de rencontrer 64 acteurs et de détecter 137 événements, allant de considérations esthétiques à des sinistres.

Les logements visités se sont répartis de manière équitable entre des chantiers en cours, des logements livrés depuis moins d'un an et d'autres livrés depuis plus d'un an. La diversité des acteurs rencontrés a permis de recueillir différents points de vue.

### Illustration des bonnes et mauvaises pratiques

La démarche proposée par le dispositif REX BP permet de tirer des enseignements essentiellement qualitatifs. Nous allons présenter cinq exemples de non-qualités et cinq exemples de bonnes pratiques observées parmi les 21 opérations visitées. Ces illustrations ont été sélectionnées pour leur reflet des problématiques liées à la rénovation thermique. D'autres illustrations sont données dans les fascicules concernés.

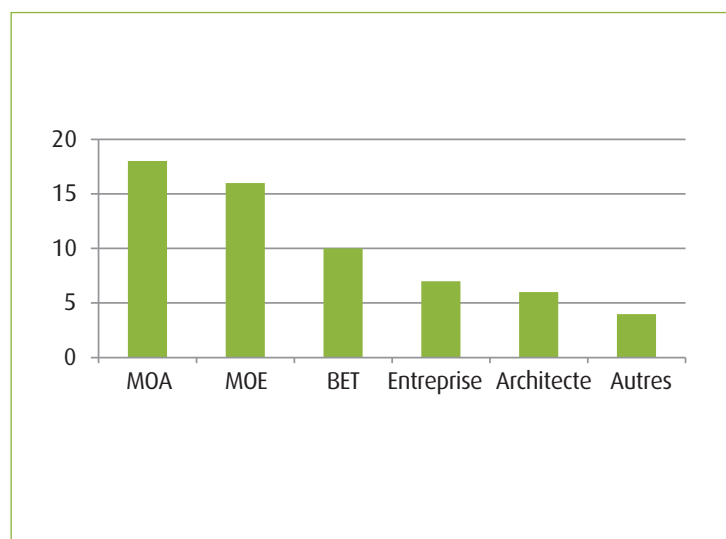


Figure 2 : Répartition des acteurs rencontrés.

## ■ Illustration des non-qualités

Illustrations	Constats	Analyses
<b>Défaut de conception à la suite de l'obstruction du maître d'ouvrage - Ventilation</b>		
	<p>Le client souhaitant particulièrement bien isoler acoustiquement une façade donnée, aucune entrée d'air n'est prévue dans les pièces donnant de ce côté de la maison (chambres et salon).</p>	<p>La réglementation n'est pas respectée : les pièces de vie n'ont pas de renouvellement d'air. Des solutions de conceptions autres auraient pu être mises en œuvre telles que des entrées d'air acoustiques ou une VMC double flux.</p>
<b>Problématique reflétée</b>		
<b>Défaut de conception - Isolation</b>		
	<p>Apparition de moisissures sur l'un des angles de l'arbalétrier.</p>	<p>Il y a création d'un pont thermique entre l'élément de charpente et le poteau en béton non isolé sur lequel il repose. Le pont thermique crée un point froid entraînant des condensations.</p>
<b>Problématique reflétée</b>		
<b>Défaut de conception - Ventilation</b>		
	<p>Moisissure au-dessus de la douche dont le développement est dû à la stagnation de l'humidité dans cette dernière.</p>	<p>La bouche d'extraction est à l'opposé de la douche, qui est elle-même dans un renforcement. Peu de balayage de l'air dans la pièce, phénomène accentué par une porte de douche prenant toute la hauteur. L'air humide de la douche est peu renouvelé.</p>
<b>Problématique reflétée</b>		

Illustrations	Constats	Analyses
<b>Défaut d'exécution - Isolation</b>		
	<p>Le réseau de gaines de la VMC double flux est noyé dans la mousse. De plus, la mousse ne doit pas être un espace de stockage ou de circulation, ce qui est le cas sur ce chantier. Jaunissement prématuré du matériau.</p>	<p>La mise en œuvre de ce produit, une mousse de polyuréthane, ne respecte pas les prescriptions de l'avis technique. Sa mise en œuvre doit se faire en sous-face de plancher et ne doit pas noyer le réseau de gaines de VMC.</p>
<p><b>Problématique reflétée</b></p> <p>Outre le choix de conception pouvant amener à discussion, ce cas illustre l'emploi de produits hors des champs d'application définis par les avis techniques. Une vigilance particulière doit être apportée afin que la mise en œuvre réelle des produits se fasse au plus près des prescriptions d'utilisation.</p>		
<b>Difficulté - Étanchéité à l'air</b>		
	<p>Malgré un traitement, persistance d'une fuite d'air due à une mise en œuvre difficile.</p>	<p>Les extrémités du plancher ont été évidées, mais les nombreux passages de solives et la présence des angles rendent la mise en œuvre difficile.</p>
<p><b>Problématique reflétée</b></p> <p>Le traitement des raccords d'étanchéité à travers les planchers en bois est un problème récurrent en rénovation. Hormis un cas favorable où le maître d'ouvrage autorise le démontage du plancher à sa périphérie, le traitement atteint rarement un résultat irréprochable malgré une mise en œuvre attentive. Passé un certain niveau de traitement, l'adéquation économique entre le temps de mise en œuvre (donc le coût) et les gains énergétiques devient discutable.</p>		

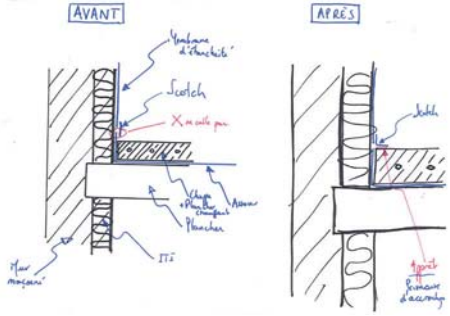

Ces exemples permettent d'illustrer des défauts d'exécution et de conception, mais également de mettre en évidence des facteurs limitant les réalisations dans le strict respect des règles de l'art.

En effet, les partis pris par les clients et les difficultés liées à l'intervention sur de l'existant peuvent également créer des événements « non-qualité » qui ne sont pas du ressort des intervenants.

## ■ Illustration des bonnes pratiques

Illustrations	Constats	Analyses
<b>Conception - Poêle à bois et isolation</b>		
	<p>Remplacement de la cheminée existante par un poêle à granulés étanche à prise d'air externe.</p>	<p>Avant les travaux, le bâti, peu étanche à l'air, permettait facilement le renouvellement de l'air comburant pour la cheminée. Après les travaux, le bâti ayant été rendu étanche à l'air, il a été assuré que le nouvel appareil de combustion dispose d'une amenée d'air dédiée et qu'il soit étanche.</p>
<p><b>Problématique reflétée</b></p>	<p>Les choix de conception témoignent du bon traitement d'appareils de combustion solide ou liquide non étanches, courants dans les bâtis non rénovés peu étanches à l'air, où l'air comburant est facilement renouvelé. Cette problématique est trop peu connue malgré le fait qu'elle puisse entraîner des intoxications au monoxyde de carbone. Un point d'attention particulier est développé dans le fascicule C.</p>	
<b>Caisson de volet roulant pris dans l'isolant</b>		
	<p>Le caisson de volet roulant est « pris » dans l'isolant, avec retour d'isolant sur et sous caisson.</p>	<p>Cette mise en œuvre permet de rompre le pont thermique dû au caisson du volet roulant. Un point froid et des risques de condensation associés sont donc évités.</p>
<p><b>Problématique reflétée</b></p>	<p>En rénovation, les caissons de volets roulants sont rarement traités jusqu'à ce niveau et demeurent souvent une source de ponts thermiques.</p>	
<b>Continuité de l'isolation et élément rapporté</b>		
	<p>Destruction de l'escalier extérieur en béton et remplacement de celui-ci par un escalier rapporté en structure métallique.</p>	<p>Le remplacement par un élément rapporté permet l'isolation extérieure qui rompt le pont thermique important, donc le point froid associé, sur une grande surface.</p>
<p><b>Problématique reflétée</b></p>	<p>Il est difficile d'apporter une solution à ce cas sans mettre en œuvre de gros moyens. Dans le cas présent, le maître d'ouvrage a souhaité diminuer la sensation de froid sur le seuil de la maison. La mise en œuvre de cette bonne pratique par une structure rapportée permet de réduire les coûts et le pont thermique.</p>	



Illustrations	Constats	Analyses
<b>Carnet de détails aux interfaces</b>		
	<p>Le MOE a réalisé un ensemble de croquis de détails aux interfaces entre produits (matériaux, isolants ou équipements) et points singuliers.</p>	<p>Outre les choix de conception, cette démarche en amont permet d'avoir une trace écrite des préconisations du MOE qui peuvent être mises à disposition des intervenants afin de donner une meilleure appréhension des moyens de traitement à mettre en œuvre.</p>
<p><b>Problématique reflétée</b></p> <p>Cette bonne pratique doit être effectuée en s'assurant de la réalité de l'état existant. Toujours dans le sens d'une efficacité optimale, il demeure nécessaire de vérifier la bonne exécution du traitement sur chantier. Ainsi, la démarche d'anticipation s'adapte à la réalité des ouvrages.</p>		
<b>Autocontrôle - Étanchéité à l'air</b>		
	<p>Réalisation de tests d'étanchéité par le maître d'œuvre au fur et à mesure de l'avancement du chantier.</p>	<p>Réaliser des tests d'étanchéité à l'air au cours du chantier permet d'éliminer les fuites avant la fermeture des cloisons. Meilleure performance, économie de temps et d'argent en cas de malfaçons.</p>
<p><b>Problématique reflétée</b></p> <p>Cette illustration d'autocontrôle permet d'éliminer un risque de surcoût important après un test d'étanchéité final défaillant. Cette pratique ne dispense pas de l'élaboration d'un plan d'étanchéité en amont des travaux.</p>		

Les bonnes pratiques ainsi mises en valeur découlent pour la plupart de la supervision d'un chantier par un interlocuteur ou un groupement ayant connaissance de différents domaines (sanitaire, bâtiment, thermique et aéraulique). Les bonnes

pratiques découlent aussi du traitement particulier de l'étanchéité à l'air. En effet, au-delà de l'atteinte d'une performance énergétique, cette exigence a permis de mieux coordonner les acteurs et de veiller à la bonne mise en œuvre des produits.

## Tentatives d'interprétation des causes de la non-qualité au-delà du dispositif REX BP

Au-delà des bonnes et des mauvaises pratiques mises en avant par le dispositif REX BP, les échanges de l'enquêteur avec les différents acteurs des chantiers permettent de proposer les hypothèses suivantes sur les grands facteurs de non-qualité :

- **Un des facteurs semble être une limitation trop importante du budget de la maîtrise d'ouvrage, qui peut induire des prestataires moins-disants.** Les travaux répondent aux exigences de performance du programme (étanchéité à l'air et niveau de consommation), mais ne traitent pas systématiquement l'intégralité des points qualitatifs des travaux (ex. : traitement des ponts thermiques présentant des risques importants de dommages/désordres). La réflexion globale peut donc être limitée par le traitement non intégral des différents lots. Certaines problématiques fondamentales d'un projet de rénovation sont ainsi susceptibles d'être traitées sans être étudiées.
- **Un autre facteur est le niveau de compétence et d'expérience des acteurs.** Certains acteurs rencontrés effectuent leur premier projet alors que d'autres non. Cependant, ce ne sont pas nécessairement les acteurs qui cumulent le plus de chantiers à leur actif qui réalisent les projets

les plus aboutis. La variable constatée comme étant la plus représentative du niveau de qualité de réalisation semble être le degré d'implication aussi bien de la maîtrise d'œuvre que des entreprises de travaux.

**D'une manière générale, aucune pathologie spécifique aux bâtiments performants n'a été constatée. En revanche, compte tenu des techniques mises en œuvre (exemple : membrane d'étanchéité à l'air), il arrive souvent que les pathologies traditionnelles (exemple : risque de condensation) soient accentuées. Ainsi, un soin tout particulier doit être apporté à la conception et à la mise en œuvre de ce type de projet.**

Un levier d'action consisterait à faire évoluer la formation des acteurs (entreprises, maîtres d'œuvre et bureaux d'études) vers la formation pratique aux gestes, à l'organisation et à la coordination du chantier.

D'une manière générale, le pilotage et la coordination du projet demeurent importants, dans un souci de qualité du projet. En effet, toutes les phases du projet sont concernées : programmation (commande du MOA), conception, réalisation et exploitation. Une approche globale et un dialogue accru entre les acteurs, bien qu'ils ne garantissent pas une absence de non-qualités, permettent cependant l'atteinte d'une certaine performance.





## FOCUS SUR L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

La bonne mise en œuvre de l'étanchéité à l'air est un paramètre clé dans l'atteinte de la performance. Elle nécessite une conception et une anticipation rigoureuses du chantier.


L'objectif fixé dans les programmes « JRBBBC » à un  $Q_{4-psurf}$  de  $0,8 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$  se rapproche de celui des maisons individuelles neuves ( $Q_{4-psurf} = 0,6 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$ ) en RT2012.

Dans ce sens, les opérations ont fait l'objet d'une sensibilisation et d'un accompagnement particulier sur le sujet de l'étanchéité à l'air, assuré par un opérateur dédié. L'accompagnement initial se poursuit par des visites complémentaires en cours de chantier, avec la possibilité de réaliser un test d'infiltrométrie intermédiaire. Cet ensemble est par la suite validé par un test d'infiltrométrie final, réalisé en fin de chantier par un organisme externe et certifié.

Ces missions de conseil ont permis d'accompagner les opérateurs des chantiers dans un double objectif : professionnaliser et sécuriser. En effet, l'étanchéité à l'air nécessite une approche spécifique à chaque chantier, qui se traduit par une formation, des préconisations et des solutions dédiées. Ainsi, les professionnels ont pu monter en compétences, en autonomie et en qualité, tout en intégrant ce nouveau savoir-faire dans leurs activités. Cela se traduit par un taux de réussite de 84 % des opérations vis-à-vis de l'objectif d'étanchéité à l'air. Ce taux démontre que l'objectif peut être atteint en présence de professionnels volontaires, sensibilisés et accompagnés.

### Inventaire des défauts d'étanchéité à l'air récurrents

En rénovation, la mise en œuvre d'une étanchéité à l'air du volume chauffé est la principale difficulté. Le développement suivant illustre les fuites d'air récurrentes rencontrées sur les chantiers et fournit des exemples de réponses correctives.

Défauts d'étanchéité à l'air	Bonnes pratiques
<b>Murs extérieurs</b>	
 <p>Ci-contre, une partie de l'isolation intérieure a été déplacée afin de faire passer des gaines électriques. Les laines de pare-vapeur n'ont pas été jointes par une bande adhésive. Le tout n'a également pas été relié à la sous-face du plafond.</p>	<p>La bonne mise en œuvre de l'isolant de manière continue et le raccord des laines de pare-vapeur entre eux permettent d'éviter toute infiltration d'air humide et de prévenir ainsi tout risque de condensation dans la paroi.</p>

## Défauts d'étanchéité à l'air

## Bonnes pratiques

### Planchers hauts et bas



Ci-contre, des fuites d'air importantes au niveau des liaisons des solives du plancher bois intermédiaire avec un mur extérieur.



L'ouverture des planchers bois sur la périphérie et la mise en place d'une membrane continue entre les niveaux permettent de limiter ces fuites d'air.



L'usage très récurrent de mousse polyuréthane pour combler les fuites d'air ne garantit pas une étanchéité pérenne dans le temps.



L'utilisation de ruban de raccord étanche adapté au support est recommandée.

### Menuiseries



L'utilisation de la mousse polyuréthane pour calfeutrer des menuiseries ne garantit pas l'étanchéité à l'air de manière pérenne.



Il est recommandé d'utiliser des compribandes et des bandes adhésives d'étanchéité à l'air sur support préparé et de veiller aux bons réglages des menuiseries.



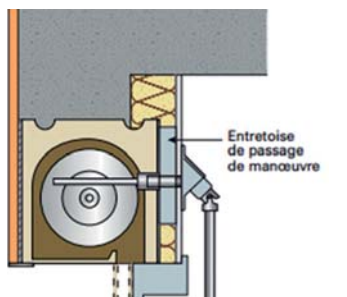
Dans cet exemple, une infiltration d'air au niveau du contour de la fenêtre a été constatée. Un glaçon de la forme du courant d'air s'est formé dans l'isolant.



La discontinuité du plan d'étanchéité à l'air a créé une fuite d'air entraînant la condensation de l'humidité contenue dans cette dernière. Afin d'éviter ce phénomène, un retour de membrane d'étanchéité doit être mis en place depuis l'isolant jusqu'au dormant de la menuiserie.



Ci-contre, le passage des sangles n'est pas étanche à l'air.



Dans ce cas de figure, il est recommandé l'utilisation de volets avec passage de manœuvre étanche à l'air (à manivelle ou motorisés).

Défauts d'étanchéité à l'air	Bonnes pratiques
<b>Trappes et passages de réseaux</b>	
 <p data-bbox="523 241 766 324">Les passages de gaines électriques ne sont pas étanchéifiés.</p>	 <p data-bbox="1203 241 1481 353">L'utilisation de manchettes d'étanchéité permet d'étanchéifier les gaines techniques.</p>
 <p data-bbox="523 524 801 584">Le passage de fluides n'est pas étanchéifié.</p>	 <p data-bbox="1203 524 1481 636">De la même manière, l'utilisation de manchettes d'étanchéité est recommandée.</p>
 <p data-bbox="523 806 801 866">La trappe d'accès aux combles n'est pas étanche.</p>	 <p data-bbox="1203 806 1497 918">L'utilisation d'une trappe avec joints de compression est recommandée pour garantir une trappe étanche.</p>
 <p data-bbox="523 1088 817 1211">Il est constaté une fuite d'air par les boîtiers électriques à la suite d'une circulation d'air dans le doublage.</p>	 <p data-bbox="1203 1088 1433 1211">Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser des boîtiers électriques étanches à l'air.</p>

## Préconisations pour le traitement de l'étanchéité à l'air, issues du retour d'expérience

Les difficultés de l'étanchéité à l'air sur chantier sont liées d'une part à la nouveauté de la technique et, d'autre part, à la mise en œuvre de cette dernière en rénovation. Afin de pallier cette problématique, il est préconisé :

- de prendre les conseils d'un spécialiste avant le démarrage des travaux ;
- d'anticiper le plan d'étanchéité lors de la conception ;
- de programmer une réunion de chantier initiale de sensibilisation des intervenants à la problématique ;
- de réaliser un test d'étanchéité à l'air intermédiaire ;
- de se référer aux documents techniques et normatifs (DTU, programme Pacte...) et à l'accompagnement des fabricants spécialisés.

En particulier, en ce qui concerne la conception, la stratégie d'étanchéité à l'air doit intervenir une fois le diagnostic initial du bâti réalisé et les besoins du MOA clairement identifiés. La démarche de réflexion doit, *a minima*, suivre le cheminement suivant, dans une vision transversale des différents lots de travaux, afin d'anticiper toutes les contraintes associées.

### 1. Définition du volume chauffé étanche à l'air :

Il s'agit de matérialiser sur les documents graphiques le plan d'étanchéité, afin de repérer toutes les liaisons et traversées de ce dernier. Le plan d'étanchéité doit être continu.

### 2. Identification des liaisons du plan d'étanchéité :

La matérialisation des liaisons permet de les anticiper et de définir les mises en œuvre associées :

- type de pose des menuiseries, raccord à l'étanchéité de l'isolation des parois opaques, définition des primaires d'accrochage si nécessaire, etc.
- raccord membrane/maçonnerie, membrane/dormant, etc.

### 3. Identification des traversées du plan d'étanchéité :

Comme précédemment, la matérialisation des traversées des fluides, réseaux aérauliques et électriques permet de savoir où le plan d'étanchéité est traversé et de définir les dispositions nécessaires :

- définition du nombre de boîtiers de prises étanches, spots encastrables, manchettes d'étanchéité, trappes d'accès, portes de service et d'entrée étanches, etc.

## 4. Points de vigilance particuliers :

### Les tableaux électriques :

Afin de faciliter la mise en œuvre d'un réseau électrique étanche, il est fortement conseillé de positionner le tableau électrique dans le volume chauffé. Ainsi, seul le raccordement aux éventuels locaux non chauffés et au réseau public sont à étanchéifier. Les interfaces avec le lot électricité et plâtrerie en seront simplifiées et les coûts seront donc mieux maîtrisés.

### La mise en place d'un doublage technique :

Dans le cas du recours à l'ITI, les dispositions générales du référentiel technique JRBBC ont préconisé la mise en œuvre suivante, afin de garantir la pérennité du plan d'étanchéité :

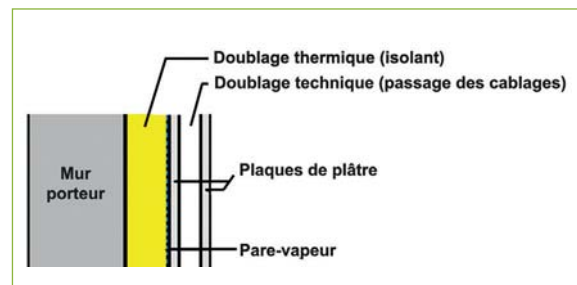


Figure 3 : Conseil de mise en œuvre en isolation par l'intérieur.

Cette mise en œuvre permet de réserver un espace dans le volume étanche, afin de créer un espace technique pour les passages de fluides et des réseaux électriques. Cette solution, avec un faible impact de l'emprise au sol de l'isolant, permet de préserver la membrane d'étanchéité vis-à-vis des passages de câbles et autres supports pour éléments décoratifs. Afin de maximiser sa rentabilité, cet espace technique peut être rempli d'isolant.



## RÉNOVATION GLOBALE OU PAR ÉTAPES

Les différents enseignements apportés par le programme JRBBBC et le dispositif REX BP permettent de souligner les éléments d'attention concernant la conception globale et par étapes d'un projet. Ces différents enseignements ont permis la production de deux plaquettes réalisées dans le cadre d'un partenariat entre EDF/ES, l'AQC, la Région Alsace et le centre de ressources Energivie pro et diffusées auprès des professionnels du bâtiment et des maîtres d'œuvre.

### Rénovation globale

Les informations issues de la plaquette *Bien concevoir un projet de rénovation thermique* sont destinées aux architectes, bureaux d'études, entreprises et artisans. Basé sur les retours d'expérience de l'AQC, EDF/ES, la Région Alsace via l'étude « REX BBC & Risques » et le programme « JRBBBC », ce document a pour but de sensibiliser, dès la conception, sur les étapes clés et les points de vigilance liés à ce type de projet.

En extrayant une partie de cette plaquette, le développement reprend ici principalement les points clés, éléments sensibles et interactions potentielles à chacune des étapes de la démarche, sous forme de tableau de synthèse.

#### ■ **Les bonnes questions à se poser avant rénovation**

Le cahier des charges de la rénovation, outre la performance énergétique, doit porter sur différents points qui sont rappelés par les sept questions clés suivantes :

**1. Quelles sont les motivations du maître d'ouvrage ?**  
*Définir les orientations : économiser l'énergie, améliorer le confort (acoustique, thermique, spatial).*

**2. Quel est l'usage actuel ou envisagé du bâtiment ?**

*Définir la typologie des occupants et leurs habitudes, leurs souhaits de consommation.*

**3. Quelles sont les solutions de financement les mieux adaptées au projet ?**

*Mettre en adéquation le budget avec les objectifs et les opportunités financières. (cf. fascicule G – Enseignements économiques).*

**4. Quelles sont les contraintes architecturales et locales du projet ?**

*Définir les contraintes extérieures afin de les prendre en compte dès le début de la conception.*

**5. Les travaux s'effectuent-ils en site occupé ?**

*Permet la définition de l'organisation et la programmation des travaux.*

**6. Le projet nécessite-t-il des travaux préparatoires ou ultérieurs ?**

*Définir l'impact sur les lots thermiques des autres aménagements extérieurs ou intérieurs.*

**7. Quelles sont les informations techniques mises à disposition par le MOA ?**

*Informé le MOE de l'historique technique du bâtiment et des diagnostics déjà effectués.*

Les points d'attention ainsi soulevés permettent de placer le projet de rénovation énergétique dans sa spécificité propre et permettent au maître d'œuvre et aux entreprises de mieux répondre aux attentes de la maîtrise d'ouvrage. Par la suite, il est nécessaire de procéder à l'analyse de l'existant.



## ■ Analyser l'existant

L'analyse de l'existant est essentielle afin de s'assurer que les solutions mises en œuvre reposeront sur des bases saines en évitant de créer des désordres avant même la conception du projet.

Elle porte sur :

### L'état général du bâti

- Analyser la structure de l'existant : fondations, parois verticales et horizontales, charpente, couvertures, présence d'amiante.
- Observer la présence éventuelle d'humidité dans le bâtiment : infiltrations, condensation, moisissures, mérules, salpêtres.
- Réaliser des relevés ou récupérer des plans : définir les surfaces, la taille des baies, connaître le plan des réseaux...

### L'évaluation thermique du bâtiment

- Déterminer le système constructif, la période de construction : connaître la composition des parois pour définir un traitement correspondant.
- Analyser la situation bioclimatique initiale ainsi que le confort thermique actuel : déterminer les points forts et les points faibles climatiques du bâti considéré.
- Repérer les ponts thermiques existants : idéalement à l'aide d'une caméra thermique pour anticiper le traitement de ces derniers.
- En cas de configuration du bâti sensible et de conservation d'équipements existants : définir les points faibles initiaux de l'étanchéité à l'air (liaisons façades/planchers, liaisons charpentes/murs extérieurs, état des menuiseries existantes et des caissons de volets roulants, équipements électriques, trappes et éléments traversants de parois).

Une fois le bâti diagnostiqué, les points faibles et les pathologies initiales sont identifiés et des solutions pourront être apportées lors de la conception des travaux. Les problématiques d'humidité du bâti devront être résolues avant toute isolation du bâti.

## ■ La conception et l'organisation des travaux

La rénovation globale sous-entend le traitement simultané de tous les lots liés à la performance énergétique du bâti et, dans certains cas, des lots liés à l'aménagement du logement lors d'une isolation par l'intérieur. Afin de mener à bien cette démarche, il est nécessaire de porter une réflexion en amont du projet, tant sur les choix de conception que sur ceux de coordination et d'exécution des différents lots.

### Choix de conception :

#### *Première étape : la ventilation*

La rénovation et la mise à niveau de l'enveloppe thermique renforcent l'étanchéité à l'air du bâti. En conséquence, il est nécessaire de la conditionner à l'installation d'une ventilation mécanique afin d'assurer un renouvellement d'air contrôlé et de prévenir les pathologies liées à l'humidité intérieure.

#### *Choix des matériaux :*

La rénovation porte sur une grande diversité de typologies de bâtis différenciés par leurs propriétés

hygrothermiques. Ainsi, pour les typologies anciennes, présentant un comportement hygrothermique sensible, il est primordial de ne pas rompre le flux d'humidité en n'utilisant que des matériaux ouverts à la migration d'humidité (cf. fascicule B).

#### *Anticipation des passages de fluides (hydraulique, électrique, ventilation)*

Une rénovation peut également être accompagnée de travaux de réaménagement. Il peut être nécessaire d'effectuer des modifications de passages de fluides, lesquels fluides doivent également être étudiés pour respecter le plan d'étanchéité à l'air. En complément, un plan d'implantation des réseaux doit être conçu afin d'anticiper caissonnages, faux plafonds et locaux techniques.

#### *Choix des mises en œuvre*

Les interfaces (jonctions physiques entre plusieurs lots) doivent également être étudiées pour sélectionner des mises en œuvre évitant la création de ponts thermiques, de défauts d'étanchéité à l'air et, ainsi, les pathologies associées. Un point d'attention particulier doit être porté aux jonctions menuiseries/isolation, isolation de toiture/parois verticales, planchers intermédiaires, soubassements et nez de dalle. Ces points d'attention thermiques doivent tous être consignés dans un plan de traitement de l'enveloppe thermique.



## Coordination et exécution des travaux :

### Organisation et contrôle des travaux

La bonne mise en œuvre des interfaces entre lots étant la clé d'une rénovation réussie, il convient d'organiser le chantier en conséquence. Plusieurs corps de métier pouvant intervenir sur le même ouvrage, une programmation minutieuse du chantier est nécessaire (étanchéité à l'air, fluides et isolation : lots indissociables). Entre chaque intervention, il est conseillé de contrôler les mises en œuvre afin de permettre des corrections de non-qualité à moindre coût.

### Contrôle par un test d'étanchéité

L'étanchéité à l'air est le point le plus sensible d'une rénovation énergétique performante. La réflexion sur la maîtrise de cette dernière doit être anticipée en amont, lors de la conception du plan de traitement de l'enveloppe thermique. Les éléments à ne pas négliger sont les réseaux électriques, les spots encastrés, les trappes d'accès, les portes d'entrée, les planchers bois et les réseaux aérauliques. La programmation d'un test d'étanchéité à l'air avant fermeture des parements est fortement conseillée afin d'assurer un débit de fuite en accord avec les objectifs.

L'anticipation des nombreuses interfaces et interactions entre les différents lots vaut aussi bien pour la rénovation globale que pour celle par étapes. Elles sont développées au paragraphe suivant.

## Rénovation par étapes

La rénovation énergétique complète permet de garantir une diminution rapide de la facture énergétique, de limiter le temps de travaux et de traiter au mieux les interfaces. Elle nécessite de mobiliser l'investissement en une seule fois, ce qui n'est pas possible dans tous les cas. Ainsi, une réflexion sur la mise en œuvre d'une rénovation énergétique par étapes a été faite afin de pouvoir proposer une solution avec investissements répartis dans le temps. Dans ce sens, les travaux réalisés et le suivi des programmes « 50 chantiers pionniers » et « Je rénove BBC » ont permis de développer, avec l'Agence de

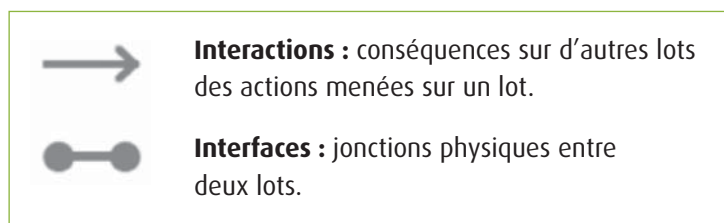
la qualité de la construction (AQC) et le centre de ressources energivie.pro pour les professionnels en Alsace, des « fiches rénovations par étapes » avec les objectifs suivants :

- sensibiliser les acteurs sur les impacts de leur intervention sur les autres lots de travaux en termes d'interactions et d'interfaces ainsi que sur les risques et pathologies potentiels ;
- proposer un catalogue de points de vigilance à traiter ou gérer, permettant de donner des conseils, d'indiquer des solutions, de bonnes pratiques et des réflexes à adopter lors de leur intervention ;
- fournir un support pour sensibiliser les maîtres d'ouvrages et usagers à l'intérêt de l'approche systémique ou globale afin de garantir confort, santé et économie d'énergie, dans le respect de la réglementation en vigueur.



En extrayant une partie des fiches réalisées avec l'AQC, le développement suivant reprend les différentes interfaces et interactions à prendre en compte sous forme de tableau, en considérant les impacts des travaux, leurs risques et les conséquences associées.

Avant chaque tableau, un schéma récapitulatif permet de mieux situer chacune des interfaces et interactions avec les légendes ci-dessous.



## ■ *Changement des menuiseries*

Changer les menuiseries implique de traiter les interactions avec la VMC et le système de chauffage ainsi que les interfaces avec les parois opaques.

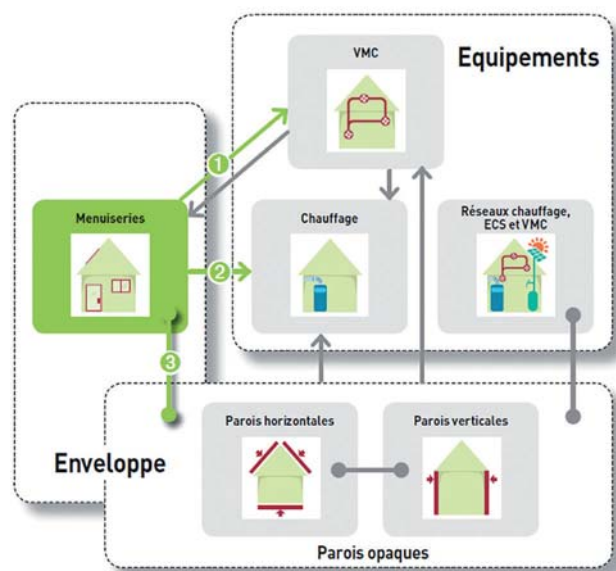


Figure 4 :  
Menuiseries : Interfaces et interactions. ►

### Interaction 1 : Menuiseries / VMC

Le remplacement des menuiseries renforce l'étanchéité à l'air des bâtiments, ce qui a pour effet de réduire les échanges d'air parasites avec l'extérieur. Afin de garantir une bonne qualité sanitaire et d'éviter des pathologies, ces travaux impliquent, selon le cas :

- la vérification et/ou l'adaptation du système de ventilation et des transferts aérauliques existants ;
- l'installation d'un système de ventilation performant.

Dans le cas où le changement des menuiseries s'accompagne de l'installation d'une nouvelle VMC, il est indispensable de s'assurer du bon confort acoustique intérieur par le biais du choix d'équipements performants.

Impacts	Risques	Conséquences
Renouvellement d'air insuffisant	Condensation	Santé (développement de moisissures)
	Condensation dans les parois	Dégradation du bâti
	Dégradation de la qualité de l'air intérieur	Santé (développement de maladies respiratoires)
Perception accrue des bruits intérieurs liés aux équipements	Dégradation acoustique	Inconfort ; impact sur la santé

## Interaction 2 : Menuiseries / Chauffage

L'amélioration de l'étanchéité à l'air du bâtiment à la suite du remplacement des menuiseries peut rendre certains systèmes de chauffage à combustion non fonctionnels et conduire à un risque sanitaire important. Il convient également d'adapter le système de chauffage existant afin de pallier un surdimensionnement des générateurs de chaleur.

La perception des bruits intérieurs est accrue à la suite d'un changement des menuiseries qui limite les nuisances sonores provenant de l'extérieur. De ce fait, dans le cas d'installation de nouveaux équipements de chauffage, ces derniers devront présenter des niveaux acoustiques faibles. Par ailleurs, le positionnement de ces nouveaux équipements devra se faire dans des locaux techniques adaptés et phoniquement isolés.

Impacts	Risques	Conséquences
Mauvais fonctionnement des systèmes à combustion non étanches, avec prise d'air intérieure	Combustion incomplète	Intoxication au monoxyde de carbone. Danger de mort Mauvais rendement et fonctionnement limité
	Entrée de fumée dans le logement	Inconfort ; impact sur la santé (développement de maladies respiratoires)
Surdimensionnement des générateurs de chaleur	Surchauffe	Inconfort
	Surconsommation	Surcoût
	Court cycle de chauffage	Mauvais fonctionnement des équipements (usure prématurée)
Perception accrue des bruits intérieurs liés aux équipements	Dégradation de la qualité acoustique	Inconfort ; impact sur la santé

## Interface 3 : Menuiseries / Parois opaques

Lors du remplacement des menuiseries, y compris des fenêtres de toit, il est essentiel de gérer au mieux les ponts thermiques aux interfaces menuiseries / parois opaques afin de réduire les besoins de chauffage et d'éviter la création de points froids.

Impacts	Risques	Conséquences
Augmentation des besoins de chauffage	Surconsommation	Surcoût
Création de points froids	Condensation	Santé (développement de moisissures)
	Condensation dans les parois	Dégradation du bâti
	Sensation de parois froides	Inconfort

### Pour en savoir plus :

<b>Textes de référence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques énergétiques des bâtiments existants.</li> <li>• NF DTU 36.5 – Mise en œuvre des fenêtres et portes extérieures.</li> </ul>
<b>MÉMO CHANTIER® AQC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacement des menuiseries extérieures.</li> </ul>
<b>Plaquettes AQC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration de la performance thermique du bâti en rénovation.</li> <li>• Efficacité énergétique des logements individuels existants.</li> </ul>
<b>Rapport RAGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stratégie de rénovation, fiches solutions techniques, « RAGE 2012 ».</li> </ul>

## ■ *Changement de l'isolation*

Isoler les parois opaques implique de traiter les interactions entre la VMC et le système de chauffage. Cela requiert également de traiter les interfaces avec les menuiseries, les réseaux des équipements et celles entre les parois verticales et les parois horizontales.

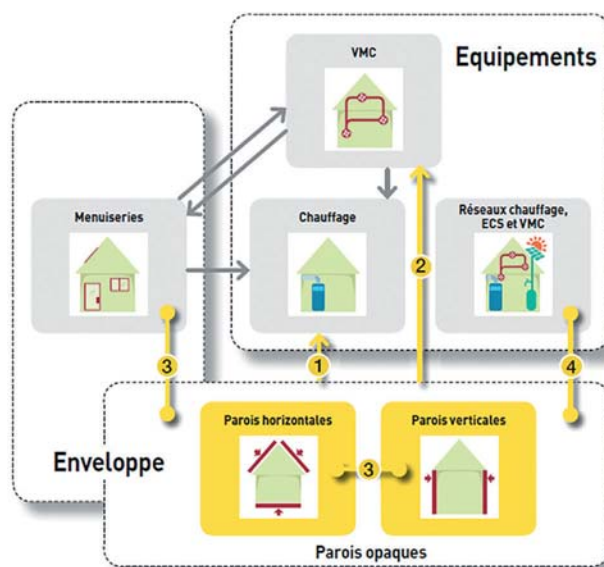


Figure 5 : Isolation des parois opaques : ► interfaces et interactions.

### Interaction 1 : Parois opaques / Chauffage

L'isolation des parois opaques contribue à diminuer fortement les besoins de chauffage du bâtiment. Le système de chauffage doit donc être adapté aux nouvelles caractéristiques thermiques de l'enveloppe rénoverée, afin d'éviter des risques de surchauffe, de surconsommation et de courts cycles de chauffage. Il convient également :

- d'adapter ou de changer certains systèmes de chauffage à combustion qui ne fonctionnent pas correctement à la suite de l'amélioration de l'étanchéité à l'air ;
- de limiter les nuisances acoustiques des équipements installés.

Impacts	Risques	Conséquences
Surdimensionnement du générateur de chaleur	Surchauffe	Inconfort
	Surconsommation	Surcoût
	Court cycle de chauffage	Mauvais fonctionnement des équipements (usure prématurée)
Mauvais fonctionnement des systèmes à combustion non étanches, avec prise d'air intérieure	Combustion incomplète	Intoxication au monoxyde de carbone. Danger de mort Mauvais rendement et fonctionnement limité
	Entrée de fumée dans le logement	Inconfort ; impact sur la santé (développement de maladies respiratoires)
Perception accrue des bruits intérieurs liés aux équipements	Dégradation de la qualité acoustique	Inconfort ; impact sur la santé

### Interaction 2 : Parois opaques / VMC

L'isolation et l'amélioration de l'étanchéité à l'air des parois opaques ont pour conséquence la réduction des fuites parasites avec l'extérieur. C'est pourquoi le système de ventilation et les transferts aérauliques intérieurs doivent être réétudiés afin de maintenir une bonne qualité de l'air.

Dans le cas où l'isolation des parois opaques s'accompagne de l'installation d'une nouvelle VMC, il est indispensable de s'assurer du bon confort acoustique intérieur au moyen du choix d'équipements performants.

Impacts	Risques	Conséquences
Renouvellement d'air insuffisant	Condensation	Santé (développement de moisissures)
	Condensation dans les parois	Dégradation du bâti
	Dégradation de la qualité de l'air intérieur	Santé (développement de maladies respiratoires)
Perception accrue des bruits intérieurs liés aux équipements	Dégradation de la qualité acoustique	Inconfort ; impact sur la santé

### Interfaces 3 : parois opaques / menuiseries et parois verticales / parois horizontales

Lors de l'isolation des parois opaques, il est essentiel d'assurer une bonne continuité de l'étanchéité à l'air aux interfaces parois verticales / menuiseries et parois verticales / parois horizontales afin de réduire les besoins de chauffage, les fuites d'air parasites et de garantir un fonctionnement optimal de la VMC.

Impacts	Risques	Conséquences
Augmentation des besoins de chauffage	Surconsommation	Surcoût
Fuites d'air parasites	Condensation dans les parois	Dégradation bâti
	Mouvements d'air importants	Inconfort ; impact sur la santé (infections ORL)
Fonctionnement non optimal de la VMC	Dégradation de la qualité de l'air intérieur	Santé (développement de maladies respiratoires)

### Interfaces 4 : Parois opaques / Réseaux des équipements

#### Cas des réseaux existants :

Lors de l'isolation des parois opaques, il convient d'assurer un bon traitement de l'étanchéité à l'air, des ponts thermiques et phoniques autour des réseaux existants.

#### Cas des nouveaux réseaux :

Les parois opaques isolées et étanches à l'air peuvent être dégradées a posteriori par les nouveaux réseaux. La création de vides techniques par anticipation permet de remédier à cela en garantissant l'intégrité de l'enveloppe dans la durée.

Impacts	Risques	Conséquences	
Mauvaise étanchéité à l'air	Augmentation des besoins de chauffage	Surcoût	
	Fuites d'air parasites importantes	Condensation dans les parois	Dégradation du bâti
	Fonctionnement de la VMC non optimal	Mouvements d'air importants	Inconfort ; impact sur la santé (infections ORL)
Ponts thermiques	Dégradation de la qualité de l'air intérieur	Santé (développement de maladies respiratoires)	
	Augmentation des besoins de chauffage	Surconsommation	Surcoût
	Création de points froids	Condensation	Santé (développement de moisissures)
Condensation dans les parois		Dégradation du bâti	
Ponts phoniques	Sensation de parois froides	Inconfort	
	Augmentation du niveau des bruits intérieurs	Dégradation de la qualité acoustique	Inconfort ; impact sur la santé

#### Pour en savoir plus :

<b>Textes de référence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques énergétiques des bâtiments existants.</li> <li>• NF DTU 20.1 : Ouvrage en maçonnerie de petits éléments – parois et murs.</li> </ul>
<b>MÉMO CHANTIER® AQC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation thermique par l'extérieur.</li> </ul>
<b>Plaquettes AQC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration de la performance thermique du bâti en rénovation.</li> <li>• Efficacité énergétique des logements individuels existants.</li> </ul>
<b>Rapport RAGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stratégie de rénovation, fiches solutions techniques, « RAGE 2012 ».</li> </ul>

## ■ **Changement des équipements**

Le changement du système de chauffage intervient idéalement après l'isolation de l'enveloppe. Son dimensionnement se calcule en fonction de la performance de cette dernière et du type de VMC utilisé. La mise en place d'une VMC implique de s'assurer que les menuiseries sont adaptées au type de système choisi. Par ailleurs, quels que soient les équipements installés, il est nécessaire de traiter les interfaces entre les nouveaux réseaux et les parois opaques.

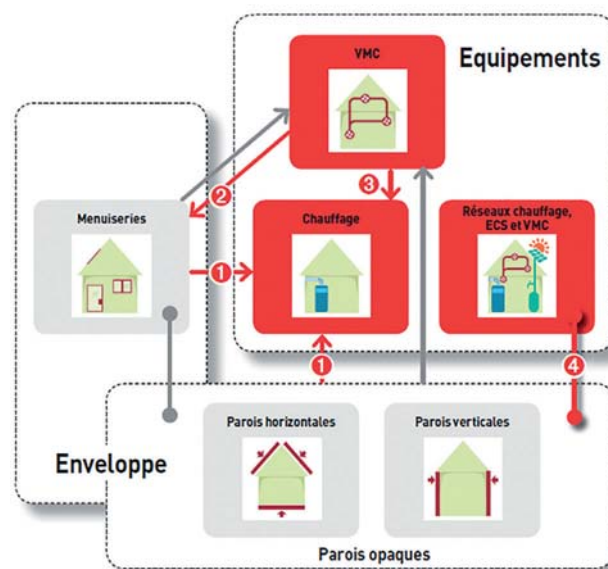


Figure 6 : Équipements : interfaces et interactions. ►

### **Interaction 1 : Enveloppe / Chauffage**

L'isolation de l'enveloppe, en limitant les pertes thermiques, contribue à diminuer les besoins de chauffage du bâtiment. Le système de chauffage doit donc être adapté aux nouvelles caractéristiques thermiques de l'enveloppe rénovée, pour éviter des phénomènes de surcharge et d'inconfort.

Impacts	Risques	Conséquences
Surdimensionnement des générateurs de chaleur	Surchauffe	Inconfort
	Surconsommation	Surcoût
	Court cycle de chauffage	Mauvais fonctionnement des équipements (usure prématurée)

### **Interaction 1 : Enveloppe / Chauffage**

La conservation de certains systèmes à combustion peut s'avérer incompatible avec l'amélioration de l'étanchéité à l'air du bâtiment et conduire à un risque sanitaire important.

Impacts	Risques	Conséquences
Mauvais fonctionnement des systèmes à combustion non étanches, avec prise d'air intérieure	Combustion incomplète	Intoxication au monoxyde de carbone. Danger de mort Mauvais rendement et fonctionnement limité
	Entrée de fumée dans le logement	Inconfort – impact sur la santé (développement de maladies respiratoires)



### Interaction 1 : Équipements / Enveloppe

Dans le bâtiment rénové, devenu plus étanche à l'air et mieux isolé, la perception des bruits intérieurs est accrue. Une vigilance particulière est donc à apporter aux nouveaux équipements installés (VMC, chaudières, PAC, etc.) dont les niveaux acoustiques devront être faibles.

Par ailleurs, le positionnement des nouveaux équipements devra se faire dans des locaux techniques adaptés et phoniquement isolés.

Impacts	Risques	Conséquences
Perception accrue des bruits intérieurs liés aux équipements	Dégradation de la qualité acoustique	Inconfort ; impact sur la santé

### Interaction 2 : VMC / Menuiseries

L'installation d'une VMC simple flux nécessite la création d'entrées d'air correctement dimensionnées au niveau des menuiseries dans les pièces principales. Les entrées d'air peuvent être réalisées sur les coffres de volets roulants. À l'inverse, dans le cas de l'installation d'une VMC double flux, il faut veiller à ce que toutes les entrées d'air initialement présentes pour une VMC simple flux soient bouchées.

Impacts	Risques	Conséquences
Renouvellement d'air contrôlé inexistant ou insuffisant	Condensation	Santé (développement de moisissures)
	Condensation dans les parois	Dégradation du bâti
	Dégradation de la qualité de l'air intérieur	Santé (développement de maladies respiratoires)

### Interaction 3 : VMC / Chauffage

L'installation et l'adaptation du système de VMC nécessitent un dimensionnement du chauffage en fonction des volumes d'air extraits. Dans le cas de l'installation d'une VMC double flux, les déperditions dues au renouvellement d'air sont fortement réduites par la récupération de la chaleur sur l'air extrait. Il faut en tenir compte lors du dimensionnement des nouveaux équipements de chauffage.

Impacts	Risques	Conséquences
Surdimensionnement des générateurs de chaleur	Surchauffe	Inconfort
	Surconsommation	Surcoût
	Court cycle de chauffage	Mauvais fonctionnement des équipements (usure prématurée)

## Interface 4 : Réseaux des équipements / Enveloppe

La mise en place de nouveaux équipements (VMC, chauffage, PAC, etc.) et de leurs réseaux engendre des percements de l'enveloppe du bâtiment (conduites de cheminée, gaines de ventilation ou d'alimentation électrique, etc.) qui peuvent conduire, s'ils sont mal gérés, à une détérioration de l'étanchéité à l'air du bâtiment ainsi qu'à la création de ponts thermiques et de ponts phoniques.

Impacts		Risques	Conséquences
Mauvaise étanchéité à l'air	Augmentation des besoins de chauffage	Surconsommation	Surcoût
	Fuites d'air parasites importantes	Condensation dans les parois Mouvements d'air importants	Dégradation du bâti Inconfort ; impact sur la santé (infections ORL)
	Fonctionnement de la VMC non optimal	Dégradation de la qualité de l'air intérieur	Santé (développement de maladies respiratoires)
Ponts thermiques	Augmentation des besoins de chauffage	Surconsommation	Surcoût
	Création de points froids	Surconsommation	Santé (développement de moisissures)
		Condensation dans les parois Sensation de parois froides	Dégradation du bâti Inconfort
Ponts phoniques	Augmentation du niveau des bruits intérieurs	Dégradation de la qualité acoustique	Inconfort ; impact sur la santé

### Pour en savoir plus :

<b>Textes de référence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques énergétiques des bâtiments existants.</li> <li>• Arrêté du 24 mars 1982 modifié le 28 octobre 1982 : dispositions relatives à l'aération des logements.</li> <li>• DTU 68.3 : Installations de ventilation mécanique.</li> </ul>
<b>MÉMO CHANTIER® AQC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La VMC simple flux en neuf.</li> </ul>
<b>Plaquettes AQC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rénovation des logements : l'acoustique.</li> <li>• Insert et foyers fermés. Les points sensibles en conception et mise en œuvre.</li> </ul>
<b>Rapport RAGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VMC simple flux en rénovation dans l'habitat individuel et l'habitat collectif, publication de recommandations professionnelles « RAGE 2012 ».</li> </ul>



## À retenir du fascicule

- Aucune pathologie spécifique aux bâtiments performants n'a été constatée. En revanche, compte tenu des techniques mises en œuvre [exemple : membrane d'étanchéité à l'air], il arrive souvent que les pathologies traditionnelles [exemple : risque de condensation] soient accentuées. Ainsi, un soin tout particulier doit être apporté à la conception et à la mise en œuvre de ce type de projet.
- La rénovation basse consommation requiert une approche globale, avec une coordination des travaux en conséquence. Ainsi, il est nécessaire de considérer l'impact des différents lots de travaux les uns par rapport aux autres [interactions]. Les jonctions physiques entre les lots doivent être particulièrement soignées avec du matériel adéquat [interfaces].
- Cette approche globale doit être réalisée par un acteur ou un groupement d'acteurs ayant une vision générale des problématiques énergétiques appliquées aux bâtiments et non par un spécialiste d'un lot particulier. La formation des acteurs [formation pratique au geste, organisation et coordination du chantier...] devrait évoluer en conséquence.
- L'exigence d'étanchéité à l'air, nécessitant justement une coordination des acteurs et une approche globale de la performance, constitue un levier important pour la qualité de mise en œuvre.

A - La performance énergétique globale et le confort thermique

B - La performance de l'enveloppe

C - Les systèmes de chauffage, d'ÉCS et de ventilation

D - Le bilan carbone des rénovations énergétiques

E - La qualité de l'air intérieur

F - La mise en œuvre

G - Les enseignements économiques

H - Les enseignements sociologiques

Directeur de publication  
Bernard Larrousturou

Directeur délégué de publication  
Christian Curé

Maquettage  
PAO Concept

Impression  
JOUVE 53100 Mayenne

© 2017 - Cerema  
La reproduction totale ou partielle du document doit être soumise à l'accord préalable du Cerema.

Collection  
Connaissances  
ISSN 2417-9701  
Dépôt légal : juin 2017



Fascicule réalisé sous la coordination de Sabine Mirtain-Roth (EDF) et Julien Burgholzer (Cerema)

### Rédacteurs

Vianney Leroy (EDF)

### Contributeurs

Bertrand Chauvet, Martin Guer, Arnaud Meyer (AQC)

Louison Riss, Anthony Bruniquet (EDF)

Ludovic Parisot (BET HD2E)

### Rellecteurs

Matthieu Flahaut (Région Grand Est)

Éric Gaspard (Ademe)

Bertrand Chauvet (AQC)

Marina Gaspard (Energivie.pro)

Olivier Eber (ES)

Fabien Auriat (DGALN)

Philippe Jary, Cyril Pouvesle, Pascal Cheippe (Cerema)

Laurent Grignon-Massé, Nadège Chatagnon, Maxime Raynaud (EDF)

### Contacts

sabine.mirtain@edf.fr

julien.burgholzer@cerema.fr

### Photos

Cerema, EDF, Legrand, Pro clima, Würth

**Boutique en ligne: [catalogue.territoires-ville.cerema.fr](http://catalogue.territoires-ville.cerema.fr)**

### La collection « Connaissances » du Cerema

Cette collection présente l'état des connaissances à un moment donné et délivre de l'information sur un sujet, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Elle offre une mise à jour des savoirs et pratiques professionnelles incluant de nouvelles approches techniques ou méthodologiques. Elle s'adresse à des professionnels souhaitant maintenir et approfondir leurs connaissances sur des domaines techniques en évolution constante. Les éléments présentés peuvent être considérés comme des préconisations, sans avoir le statut de références validées..

Aménagement et développement des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment